

الجزائرية الديمقراطية الشعبية الجمهورية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

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

Département des Sciences de l'Agronomie et des Forêts



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Science Agronomique

Spécialité : Production Végétale

Par : MEBKHOUT Haouaria

Thème :

**Evaluation de la diversité génétique par microsatellites (SSRs) du caroubier
(*Ceratonia siliqua* L.) au niveau des régions de Tlemcen et Naama**

Soutenu publiquement, le 26 /06 /2023 , devant le jury composé de :

Présidente : Mme BOURI Amina

Grade : MCA Université de Tlemcen

Examinatrice : Mme BELLATRECHE Amina

Grade : MCA Université de Tlemcen

Encadreur : Mr MAHDAD Moustafa Yassine

Grade : MCB C. Universitaire de Naâma

Co-encadreur : Mr MEDIOUNI Mohammed Rida

Grade : Dr Université de Tlemcen

Année universitaire : 2022 /2023.

وَأَخِرْدَعُوَاهِمَ إِنَّ الْجَدَّ لِلدَّبِّ الْعَالِيَيْنِ
Remerciement

Je tien tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté et la patience d'entamer et de terminer ce mémoire.

Mes parents qui ont été toujours le support tout au long de ma carrière et leur douaa.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements et mes profondes gratitude à mon encadreur Dr Mahdad Mostafa Yassine et Dr Mediouni Mohammed Ridha pour leurs conseils, leurs orientations, encouragements et l'importance qu'ils m'ont donnés tout au long de ce travail.

Je remercie par ailleurs vivement les membres du jury de m'avoir fait l'honneur de juger et examiner mon travail.

J'adresse aussi mes remerciements au Professeur Amrouche Abdalilah qui a bien voulu m'octroyer l'autorisation d'accès au laboratoire GDRN Centre Universitaire de Naâma pour faire la pratique et à monsieur Abdelghani, Othmane et Noureddine les ingénieurs du laboratoire du centre universitaire de Naâma.

Sans oublier aussi de remercier Dr Kazi-Tani Lotfi chef du département d'agronomie de l'université de Nemcen.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.



Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié « maman Khadidja ».

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, force et affection, mon premier amour, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon roi « papa Brahim ».

A ma **grande mère maternelle**, mes tantes paternelle « **Khenata** » et « **Zoulikha** » et maternelle, et mon très cher oncle **Abdelkrim** pour leurs encouragements et douaa.

A ma petite adorable cousine **Nardjesse** et mon cousin **Tarek** pour leur soutien.

A tous mes amis et mes camarades de classe en souvenir des moments heureux passés ensemble, avec mes vœux sincères de réussite, bonheur, santé et de prospérité.

A mon très cher ami et frère **Zakaria** pour son soutien moral et son encouragement, sa patience et sa présence à tout moment.

Sans oublier mon cousin **Miloud Mebkhout** et **Nassim, Abdelouahab** et **Abderezzak**.

Une spéciale dédicace à deux personnes pour leurs précieux conseils et leurs coordinations tout au long de la réalisation de mon mémoire et pratique, monsieur **Mahdad Mostafa Yassine** et monsieur **Mediouni Mohammed ridha**, Trouvez dans ce modeste travail mes sincères gratitude et reconnaissance. Ce travail est le vôtre.

A ma famille et toutes les personnes que j'aime.

Farah

ملخص:

شجرة الخروب هي نوع زراعي -غابي-رعوي ذات أهمية اجتماعية واقتصادية وبيئية كبيرة. شهدت زراعة نباتات الشجر في الجزائر تدهورًا منذ سنوات عديدة، ويرجع ذلك أساسًا إلى تأثير العوامل البشرية. ومع ذلك، أدى هذا الانحدار إلى ارتفاع أسعار الخروب، مما جعل هذه المضاربة مربحة للغاية للمزارعين والصناعيين الزراعيين. ومع هذا الانخفاض المسجل إذا لم يتم اتخاذ أي إجراء، وبالتالي من شأنه أن يتسبب حتماً في ضرر كبير للتنوع الجيني في الأنواع، ومن هنا الهدف من هذه الدراسة، وهو تحديد مجموعات البنية العامة لأشجار الخروب من اثنين المناطق، تلمسان ونعامة، من خلال تقدير المسافة الجينية داخل وبين السكان باستخدام الأداة الجزيئية SSRs (تكرار التسلسل الفردي). بالإضافة إلى ذلك، ستوفر نتيجة اتساع الاختلاف المطلوب بين أفراد *C. siliqua* نظرة عامة على الإمكانيات الجينية الموجودة في هذه الأشجار.

كشفت نتائج الدراسة عن متوسط قيمة تغايرية الزيغوت 0.48 بحد أدنى 0.39 وحد أقصى 0.86. يتراوح عدد الأليلات التي تم الكشف عنها بواسطة العلامة بين 1 و 6 بمتوسط 3.6 والقيمة العليا هي 6. يشير تحليل ترددات الأليل بواسطة العلامات الجزيئية الخمسة إلى توزيعات غير متجانسة بشكل رئيسي في SSR: Cs-187 و C-10 و C-31. كشفت HAC عن مجموعتين رئيسيتين على الأقل مقسمة إلى ثلاث مجموعات فرعية ثانوية. كشفت نتيجة مؤشر Nei عن سعة كبيرة جداً من الاختلاف بين أفراد *C. siliqua* ، تتراوح من 0.412 إلى 0.517 ، مما يعكس وجود إمكانيات وراثية مثيرة للاهتمام للغاية في مدخالت الخروب التي تمت دراستها. يمكن استخدام هذه الإمكانيات الوراثية في برامج التحسين الوراثي للأنواع من أجل تلبية توقعات المزارعين والصناعيين الزراعيين.

الكلمات المفتاحية: شجرة الخروب، تلمسان، نعامة، المسافة الجينية، التنوع الجيني، تقنية SSR

Abstract:

The carob tree is an agro-sylvo-pastoral species with major socio-economic and ecological implications. Ceratoniculture in Algeria has been declining for many years, mainly due to anthropogenic factors. Nevertheless, this regression has led to a rise in carob prices, making this speculation very lucrative for farmers and agro-industrialists. However, this decline in *C. siliqua*, if left unchecked, could inevitably have a detrimental effect on the species' genetic diversity, hence the aim of this study, which is to determine the general structure of carob groups in two regions, Tlemcen and Naâma, by estimating intra- and inter-population genetic distance using molecular tools such as SSRs (Single Sequence Repeats). In addition, the result of the amplitude of dissimilarity sought between *C. siliqua* individuals will provide an insight into the genetic potential present in these trees.

The results of the study revealed an average heterozygosity value of 0.48, with a minimum of 0.39 and a maximum of 0.86. The number of alleles revealed per marker ranged from 1 to 6, with an average of 3.6 and the highest value of 6. Analysis of allelic frequencies by the five molecular markers revealed heterogeneous distributions, mainly in SSR's: Cs-187, C-10 and C-31. CAH revealed a minimum of two major clusters subdivided into three minor sub-clusters. The result of the Nei index revealed a very high amplitude of dissimilarity between *C. siliqua* individuals, ranging from 0.412 to 0.517, reflecting the presence of very interesting genetic potential in the carob accessions studied. This genetic potential could be used in the species' genetic improvement programs to meet the expectations of farmers and agro-industrialists.

Key words: carob tree, Naâma, Tlemcen, genetic distance, genetic diversity, SSR microsatellites.

Résumé :

Le caroubier est une espèce agro-sylvo-pastorale présentant des enjeux socio-économiques et écologiques importants. Depuis de nombreuses années, la cératoniculture en Algérie est en régression, principalement à cause de l'effet des facteurs anthropiques. Néanmoins, cette régression a conduit à la hausse des prix du caroubier, rendant cette spéculation très lucrative pour les agriculteurs et les agro-industriels. Toutefois, ce déclin enregistré chez *Ceratonia siliqua*, risqueraient si aucune action n'est menée, de porter inéluctablement un grand préjudice à la diversité génétique chez l'espèce d'où l'objectif de cette étude, qui est de déterminer la structure générale des groupes de caroubier de deux régions, Tlemcen et Naâma via l'estimation de la distance génétique intra et inter-populationnelles en utilisant l'outil moléculaire de type SSRs (Single Sequence Repeats). Par ailleurs, le résultat de l'amplitude de la dissimilarité recherchée entre les individus de *C.siliqua* permettra d'avoir un aperçu sur le potentiel génétique présent chez ces arbres.

Les résultats de l'étude ont révélé une valeur d'hétérozygotie en moyenne de 0.48 avec un minima de 0.39 et maxima de 0.86. Le nombre d'allèles indiqué par marqueur varie entre 1 et 6 avec une moyenne de 3.6 et la valeur supérieure et de 6. L'analyse des fréquences alléliques par les cinq marqueurs moléculaires propose des distributions hétérogènes principalement chez les SSR's : Cs-187, C-10 et C-31. La CAH a affiché un minimum de deux clusters majeurs subdivisé en trois sous clusters mineurs. Le résultat de l'indice de Nei a montré une amplitude de dissimilarité très importante entre les individus de *C. siliqua*, allant de 0.412 jusqu'à 0.517 ce qui reflète la présence d'un potentiel génétique très intéressant chez les accessions de caroubier étudiées. Ce potentiel génétique pourrait être utilisé dans les programmes d'amélioration génétique de l'espèce afin de répondre aux attentes des agriculteurs et agro-industriels.

Mot clés : Caroubier, Naâma, Tlemcen, distance génétique, diversité génétique, microsatellites SSR.

SOMMAIRE

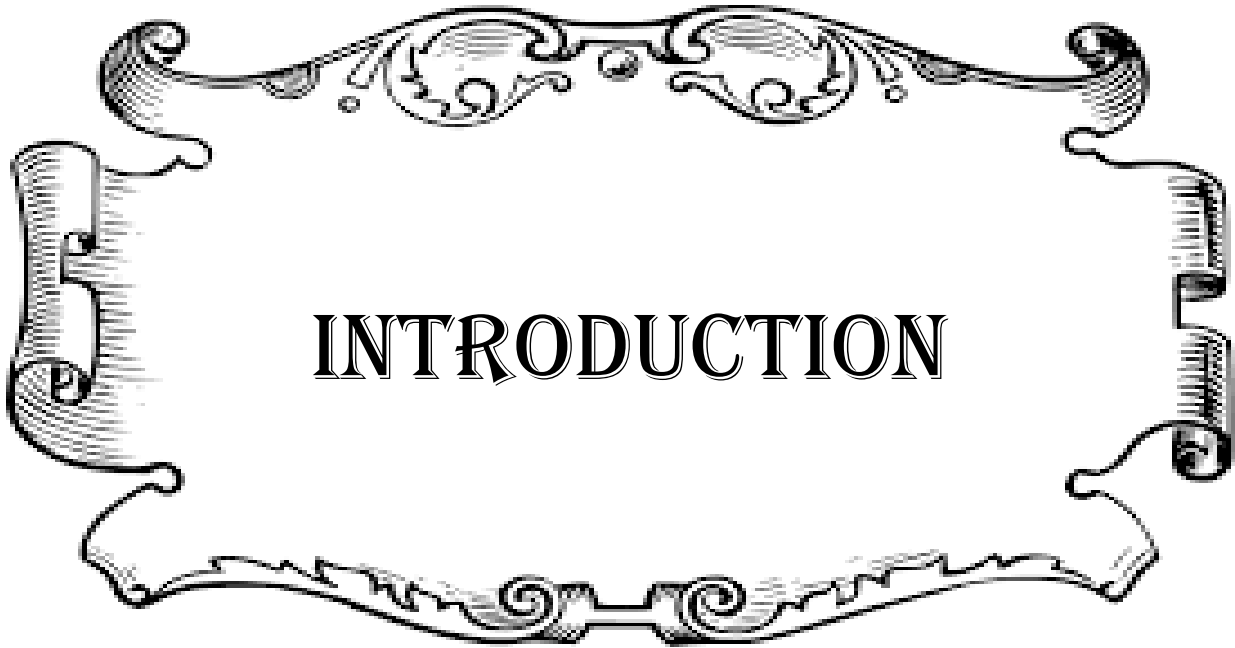
Introduction	01
Chapitre I : présentation du caroubier	
I. Le Caroubier.....	03
1. Etymologie.....	03
2. Origine et Distribution Géographique.....	04
3. Description Botanique.....	07
4. Ecologie du Caroubier.....	14
5. Exigences édaphoclimatiques.....	15
6. Multiplication du Caroubier.....	15
7. Réalisation du Verger.....	16
8. Propriétés et Utilisations du Caroubier.....	18
9. Intérêt du Caroubier.....	22
10. Composition Chimique du Caroubier.....	25
11. Maladies et Ravageurs.....	25
Chapitre II : Zones D'Echantillonnages	
1. Situation de la Région de Naâma et Tlemcen	27
2. Description des Stations	28
CHAPITRE III : MATERIEL et METHODES	
La diversité génétique et les marqueurs moléculaires	32
Matériel et Méthode.....	33
Analyse des Données.....	38
Résultats et Discussion.....	38
Conclusion	47
Références Bibliographiques	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1 : Superficie récoltée moyenne, production et rendement des principaux pays producteurs de caroube au cours des dix dernières année.....	06
Tableau2 : Différence Production du Caroubier dans les 4 wilaya en 2009 et 2018.....	07
Tableau3 : La Composition Moyenne de la Pulpe du Caroubier.....	19
Tableau4 : Principaux Produits de la Caroube et leurs utilisations majeurs	21
Tableau5 : Composition Chimique du Caroubier	24
Tableau6 : Nomination du Matériels utilisés.....	33
Tableau7 : Nomination du Produits utilisés	35
Tableau8 : Série SSR (C-10, C-31, Cs-187, Cs-98, Cs-249	37
Tableau9 : Résultats des Fréquences Génétique	38
Tableau10 : Résultats de Catégorie de Distance	42

LISTE DES FIGURES

Figure01 Origine Tropicale Pré-Méditerranéenne du Caroubier.....	05
Figure02 : Distribution du Caroubier dans le Monde	05
Figure03 : Arbre du Caroubier	07
Figure04 : Racines du Caroubier	09
Figure05 : Tronc du <i>Ceratonia siliqua</i>	10
Figure06 : Branches du Caroubier.....	10
Figure07 : Feuilles du Caroubier.....	11
Figure08a : Inflorescence Male du Caroubier	11
Figure08b : Inflorescence Femelle du Caroubier	12
Figure08c : Fleur Hermaphrodites du Caroubier	12
Figure09 : Fruit du Caroubier	13
Figure10 : Graines du Caroubier	14
Figure11 : Dispositif de Plantation de Caroubier avec 11% de Pieds Pollinisateurs.....	17
Figure12 : Farine de la Pulpe (A) ; Gomme de la Graine(B) ; produits de Confiseries Fabriqués à Partir de Caroube (chocolat, biscuits, confiture... etc) (C)	22
Figure13 : Principaux Ravageurs du Caroubier.....	26
Figure14 : Carte de Localisation des Zones d'Echantillonnages	28
Figure15 : Matériels utilisés dans la partie expérimentale	33
Figure16 : Produits utilisés dans la partie expérimentale	34
Figure17 : Gel C-10.....	40
Figure18 : Gel Cs-249.....	40
Figure19 : Histogrammes des fréquences Alléliques.....	41
Figure20 : Dendrogramme des Deux Configurations.....	44
Figure21 : la Fonction PCoA Basé sur les Données Moléculaires de la Zone de Naama et Tell.....	45



INTRODUCTION

INTRODUCTION

Introduction :

Les écosystèmes méditerranéens sont soumis à des conditions climatiques spécifiques car ils sont caractérisés par des précipitations rares ou irrégulières et par de longues périodes estivales sèches, et à des pressions anthropiques, qui conduisent souvent à un déclin souvent irréversible du couvert forestier, avec de graves conséquences environnementales : érosion rapide des sols et désertification. Face à cette situation critique, la reforestation est devenue plus que jamais un enjeu majeur et une nécessité absolue. L'utilisation d'essences pionnières adaptées aux aléas climatiques et capables de coloniser les sols érodés reste la solution la plus recommandée. Le caroubier fait partie des espèces d'arbres à fort potentiel, mais il est malheureusement rarement utilisé dans les programmes de reboisement menés dans plusieurs pays méditerranéens, notamment dans le Grand Maghreb (Benmahioul et al., 2011).

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est un arbre fruitier de la famille des Fabacées, ayant une origine tropicale pré-méditerranée (Mahdad et Gaouar, 2023). Cette espèce a été domestiquée depuis la nuit des temps, remontant à 4000 ans avant J.C. Elle est cultivée de manière extensive depuis au moins 2000 ans avant J.C. pour ses produits dérivés mais aussi pour sa tolérance au manque d'eau (Ait Chitt et al., 2007 ; Biner et al., 2007). C'est une espèce xérophile, sclérophylle, héliophile, calcicole, et thermophile (Mahdad et Gaouar, 2016).

Cette espèce agroforestière rustique joue un rôle socio-économique et écologique essentiel, en particulier dans les régions sèches et les zones où les processus de désertification se produisent à des magnitudes importantes, notamment en Algérie (Mahdad et al., 2022). Toutes les parties de ce précieux végétal (feuillage, fleur, fruit, bois, écorce, racine) sont susceptibles d'un réel intérêt et ont une valeur ornementale ou paysagère (Hariri et al., 2009). De ce fait, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers ayant le plus grand potentiel de valorisation, en raison de sa forte teneur en nutriments, qui a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs, mais surtout pour ses graines, qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse. Ainsi, les gousses entières, les graines, pulpe et la gomme sont largement vendues en Europe et largement utilisées dans l'agroalimentaire (Biner et al., 2007).

En Algérie, la production de caroube est en baisse continue et ce en raison du vieillissement de peu de vergers de caroubier existants, des incendies à répétitions ravageant des dizaines de milliers de caroubiers chaque année, mais aussi, de l'absence de programmes de renouvellement et d'installation de nouvelles plantations viables (Mahdad, 2022). De ce fait, la mise en place

INTRODUCTION

urgente de stratégies de gestion de l'espèce est fortement recommandée en vue de conserver sa diversité génétique et améliorer ses caractéristiques agronomiques et commerciales d'où l'objectif de cette étude qui est de comprendre la structure générale des groupes de caroubier de deux régions, Tlemcen et Naâma via l'estimation de la distance génétique intra et inter-populationnelles en utilisant l'outil moléculaire de type SSRs (Single Sequence Repeats). Par ailleurs, le résultat de l'amplitude de la dissimilarité recherchée entre les individus de *C. siliqua* permettra d'avoir un aperçu sur le potentiel génétique présent chez ces arbres, lequel pourrait être utilisé dans les programmes d'amélioration génétique de l'espèce afin de répondre aux attentes des agriculteurs et agro-industriels.

Ce manuscrit est divisé en trois parties, la première est dédiée à la synthèse bibliographique qui fournit des généralités sur le caroubier, la deuxième partie comprend une brève description des zones d'échantillonnage. Enfin, la dernière partie est consacrée aux résultats et discussion.



CHAPITRE I

PRESENTATION DU CAROUBIER

I. Le Caroubier :

1. Etymologie :

Scientifiquement, le caroubier est connu sous le nom *Ceratonia siliqua* L., et est dérivé du mot grec “Keras” = corne et du latin ‘siliqua’ (gousse) en allusion à la dureté et à la forme de la gousse. La nomination de cet arbre dans différents pays et langue provient d’une forme générale du nom arabe Al Kharroub ou kharroub (Mahdad, 2013).

Il est aussi appelé Carouge, Pain de Saint Jean Baptiste, figuier d’Egypte, ou fève de Pythagore (Batlle et Tous, 1997). En raison de son uniformité, les graines du caroubier sont appelées "carats" et sont utilisées depuis longtemps par les bijoutiers comme unité de poids pour les diamants, perles et autres pierres précieuses (1 carat = 205,3 mg) (Rejeb., 1995). On attribue aux Arabes l’utilisation de la graine entière du caroubier comme unité de poids dans le commerce des substances et matériaux précieux. Ainsi, « el kilate » en espagnol ou « carat » en français (0,2 gramme) semble provenir du nom arabe de la graine (Al-karat ou qirât), qui se caractérise par un poids relativement constant (Albanell, 1990).

L’espèce *C. siliqua* appartient à la famille des *Fabaceae*, ordre des *Rosales*, sous-famille des *Cesalpinoidae*, famille des *Cassieae*. Néanmoins, ce statut taxonomique reste controversé. En fait, Tucker (1992) a suggéré qu’il peut avoir un lien avec la sous-famille des *Mimosoideae*. En outre, certains auteurs ont conclu que le genre *Ceratonia* est isolé morphologiquement des autres genres de *Cassieae*. De plus, des études cytologiques ont révélé que le genre *Ceratonia* avec un nombre total de chromosome $2n = 24$ est éloigné des autres membres des *Cassieae* dont le nombre de chromosome est de $2n = 28$ (Mahdad, 2022).

Le caroubier n’est pas l’unique espèce qui représente le genre *Ceratonia*. En effet, une seconde espèce a été découverte par Hillcoat et al. (1980), à laquelle on a donné le nom scientifique de *Ceratonia oreothauma* Hillcoat, Lewis et Verdc. Selon ses origines, cette espèce se subdivise en deux sous-espèces différentes : la sous-espèce *oreothauma* native de l’Arabie (Oman) et la sous-espèce *somalensis* originaire du nord de la Somalie (Mahdad, 2022).

Ceratonia oreothauma est morphologiquement distincte de *C. siliqua*. En outre, son pollen est plus petit que celui de *C. siliqua* et il est tricolporé au lieu de tetracolporé. Hillcoat et al. (1980) suggèrent que *C. oreothauma* est l’ancêtre sauvage de l’espèce cultivée *C. siliqua*. Nonobstant, les enregistrements de pollen fossile de *C. siliqua* trouvés au Miocène en Méditerranée sont morphologiquement différentes du pollen de son espèce sœur *C. oreothauma*, par le nombre d’ouvertures et l’ornementation de surface, de plus, les analyses des

temps de divergence à travers les données moléculaires ont estimé une scission entre *C. siliqua* et *C. oreothauma* autour du Miocène tardif, estimée à 6,4 Millions d'années (Mahdad, 2022).

2. Origine et Distribution du Caroubier :

2.1 Origine :

Des preuves génétiques et fossiles soutiennent une origine pré-méditerranéenne du caroubier. Ses ancêtres ont été probablement largement distribués autour de la mer de Téthys au Paléogène 66 Ma, dans les forêts tropicales qui ont été appauvries par des extinctions en série lors de la transition vers un climat méditerranéen (Mahdad et Gaouar, 2023).

C. Siliqua conserve des caractéristiques physiologiques propres aux espèces tropicales, ce qui est inhabituel pour les arbres et les arbustes méditerranéens. Ces caractéristiques comprennent une période de floraison tardive, la présence du cauliflorie et un contenu enzymatique photosynthétique de type « C4 » lors des premiers stades de développement, qui est ensuite inhibé à maturité (Mahdad, 2022). En outre, les feuilles du caroubier ont une longévité plus élevée que la plupart des espèces méditerranéennes communes. Toutes ces caractéristiques tendent à confirmer l'origine tropicale pré-méditerranéenne du caroubier (Mahdad et Gaouar, 2023) (Fig01).

2.2 Distribution Géographique et Production du Caroubier :

2.2.1 Distribution et Centre de Diversité de l'espèce :

Le caroubier s'est récemment disséminé par l'homme de l'Espagne (Fig02) vers des régions à climat méditerranéen telles que la Californie (États-Unis), le Mexique (Tijuana), le Chili et l'Argentine, et a été introduite dans certaines parties de l'Australie, et par les immigrants méditerranéens et les Britanniques en Afrique du Sud et en Inde (Batlle et Tous, 1997).

De plus, il a été observé que les cultivars de caroubier s'adaptent bien en dehors de leur aire de répartition d'origine. Cette adaptation se manifeste par de bonnes performances agronomiques mais, pour certaines variétés, également par des changements de sexe (Mahdad et Gaouar, 2023).



Fig01 : Origine tropicale pré-méditerranéenne du caroubier (Mahdad et Gaouar, 2023)

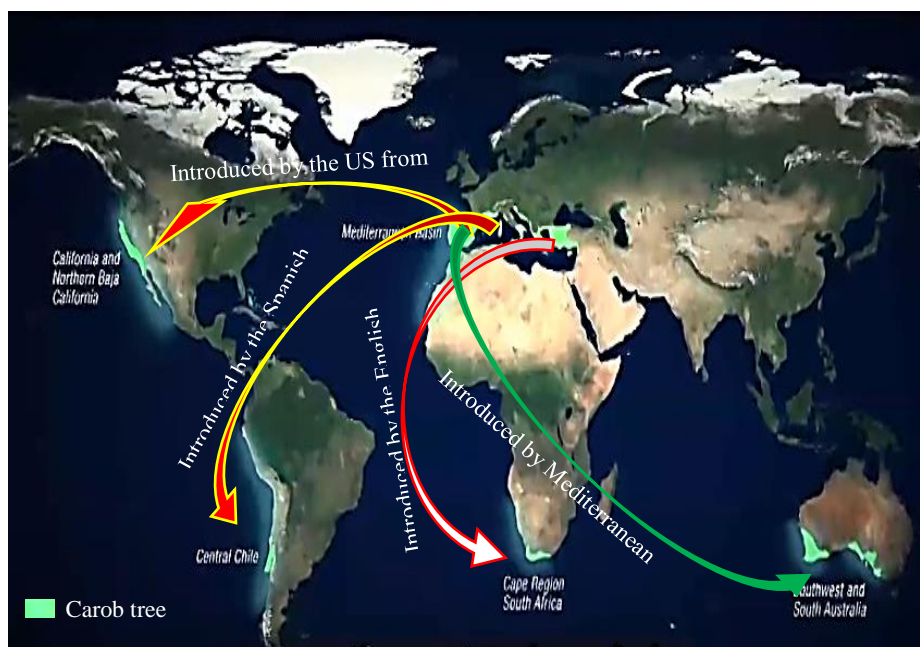


Fig02 : distribution du caroubier dans le monde (Mahdad et Gaouar, 2023).

2.2.2 Aire de Production du Caroubier dans le Monde :

La superficie mondiale totale récoltée de caroube au cours des dix dernières années (2012-2021) est estimée à 74 229 hectares (tab01), dont (90,18 %) sont répartis entre l'Espagne, le Portugal, le Maroc et l'Italie. La production mondiale moyenne de caroube de 2012 à 2021 est estimée à 183 915 tonnes, principalement concentrée en Espagne, suivie du Portugal ; en pourcentage de la production mondiale, l'Italie représentait 17% et le Maroc 12% de la production mondiale. Ces quatre pays représentent à eux seuls plus des trois quarts (76%) de la production mondiale de caroube (Mahdad et Gaouar, 2023).

La production mondiale de caroube a considérablement diminué au cours des 70 dernières années, (production moyenne mondiale de 2012 à 2021), soit une baisse de 72 %. Rien qu'en Espagne, la production a chuté de 88 % en 2021 ; en Algérie, la production de caroube a été réduite de 86 % entre 196 et 2021. Cette baisse considérable de la production est principalement due au vieillissement des vergers de caroubiers dans tout le bassin méditerranéen, mais aussi à l'absence de programmes de renouvellement et à l'installation de nouvelles plantations. (Mahdad et Gaouar, 2023).

Tab01 : Superficie récoltée moyenne, production et rendement des principaux pays producteurs de caroube au cours des dix dernières années (2012-2021) (Mahdad et Gaouar, 2023)

Pays	Superficie récoltée (ha)	Production (t)	Rendement (t/ha)
Espagne	37330	44114	1,18
Portugal	13599	42367	3,12
Italie	5599	31297	5,59
Maroc	10415	22031	2,12
Turquie	1911	15489	8,11
Grèce	2580	12753	4,94
Cyprès	1254	7932	6,33
Lebanon	348	3624	10,41

2.2.3 Aire de Production du Caroubier en Algérie :

La superficie récoltée du caroubier en Algérie (Tab2) a fortement diminué : passant de 11 000 hectares en 1961 à 732 en 2019 (Mahdad, 2022). En 2009, cette superficie était de 927 ha dont 645 ha, soit 69,58% de la superficie totale, sont situés dans la wilaya de Bejaia.

Tab02 : la différence de la production du caroubier dans les 4 wilayas en 2009 et 2018 (Mahdad et Gaouar, 2023).

	Bejaïa	Blida	Tipaza	Tlemcen
Année	2009	2009	2009	2018
Production (%)	54.42%	23.79%	16.55%	340%

Description Botanique :

Le caroubier est un arbre présentant un aspect général avec un feuillage abondant et persistant et son houppier est généralement peu dense à dense chez les pieds femelles et dense à très dense chez les arbres mâles et se caractérise par des branches solides. Il peut atteindre dans des conditions propices une hauteur de 12 mètres et enregistrer une circonférence au niveau de la base du tronc pouvant atteindre les 4 mètres. C'est une espèce rustique avec une longue durée de vie (jusqu'à 300 ans) ; elle possède un système racinaire puissant, très étendu et généralement réparti en surface. Sa croissance est lente, surtout au cours des cinq premières années (Mahdad, 2022). (fig03).



Fig03 : Arbre du caroubier (Mahdad, 2013)

3.1 Les Racines :

Les racines du caroubier sont très ramifiées en surface (Fig04), avec une structure épaisse dans leur partie supérieure qui, une fois détachée du tronc, va adopter une orientation oblique due au géotropisme positif. Ces formations caractérisent l'essentiel du système racinaire du caroubier et forment une base considérable, même si elle n'est pas aussi prononcée que celle formée chez l'olivier. Caractérisé par une croissance lente, mais avec des développements importants (Mahdad, 2013).

Les racines se caractérisent par une croissance lente mais avec un développement important au niveau des extrémités, de sorte que le volume des racines dépasse rapidement le double ou le triple de celui de l'houppier, ce qui permet de classer cette espèce parmi celles qui présentent un système racinaire très étendu et spécialement distribué en surface (Mahdad, 2022).

Les racines latérales très ramifiées, qui ont de nombreux poils absorbants, ont une longueur de 30 à 40 m (Tous., 1984), et elles peuvent se développer jusqu'à une hauteur de quatre fois celle des branches (Albanell, 1990). Avec des formations épaisses dans sa partie supérieure qui en se séparant du tronc vont prendre une direction oblique par géotropisme positif (Albanell, 1990). Les racines se distinguent par une croissance lente mais avec un développement important aux extrémités, de sorte que le volume des racines dépasse rapidement le double ou le triple de celui de l'houppier, Ceci nous permet de classer cette espèce comme ayant un système racinaire très étendu et particulièrement distribué en surface (Melgarejo et Salazar, 2003).

Non seulement ce système racinaire ancre fermement l'arbre dans le sol, mais il permet également l'absorption de l'humidité et des nutriments dans une vaste zone de terrain, en particulier dans la couche supérieure du sol, qui présente les niveaux les plus élevés de fertilité, d'aération et de matière organique. C'est très probablement l'une des principales explications pour laquelle cet arbre peut prospérer dans des environnements rocheux, à sol peu profond et secs (Albanell, 1990).

Bien que le caroubier ait été classé dans la "famille des légumineuses" grâce aux caractéristiques de son fruit, cependant, il n'a pas été possible de démontrer qu'il possédait des nodules symbiotiques de rhizobium excepté dans un seul cas (Mahdad, 2013). En effet, le caroubier est une légumineuse non nodulante (Mahdad, 2022).



Fig04. Racines du caroubier (Mahdad, 2013)

3.2 Le Tronc :

Le tronc du caroubier a un diamètre moyen de 50 centimètres en fonction de l'âge de l'arbre (Albanell, 1990), il est robuste, épais avec de clairs canaux de rotation de sève associés aux racines les plus épaisses, ce qui leur donne un aspect tortueux, particulièrement marqué chez certaines variétés (Melgarejo et Salazar, 2003). Le tronc a une circonférence comprise entre 1.5 et 4 m. (Mahdad, 2022) (Figure 05).

3.3 Branches

Les branches présentent des caractéristiques différentes selon leur âge (Albanell, 1990) : D'un âge avancé, les branches principales sont général, tortueuses, épaisses et ont tendance à être horizontales (Figure 06) en raison de leur poids et aux tailles de formation. Leur rôle principal est de servir d'éléments aux autres branches, même s'ils sont occasionnellement productifs.

Les secondes branches sont de taille moyenne et ont tendance à être plus ou moins érigées selon l'âge. Elles sont les principales branches de production ;

Les petites jeunes branches sont à l'extérieur de de la couronne ou de la zone de croissance. Elles sont flexibles et possèdent une écorce lisse recouverte de lenticelle qui permet les échanges gazeux avec l'atmosphère.



Fig05 : Tronc du *Ceratonia siliqua* (Rais et Adnane, 2022).

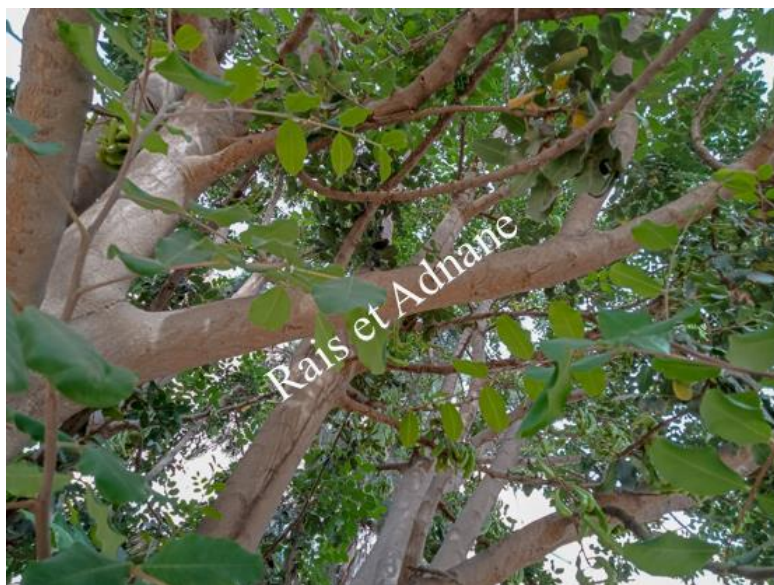


Fig06 : Branches du caroubier (Rais et Adnane, 2022).

3.4. Feuilles

Les feuilles (Figure 07) persistantes, d'une longueur de 12 à 25 cm, se caractérisent par un rachis mesurant 9 à 22 cm et portant 5 à 12 folioles opposées. Elles sont coriaces, entières, de forme ovale, lobée ou elliptique, avec une couleur vert foncé, verte ou vert clair (Mahdad, 2022). Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai (Ait Chitt et Al., 2007).



Fig07. Feuilles du caroubier (Web1, 2011)

3.5 Fleurs :

La plupart des caroubiers sont dioïques, parfois monoïques et rarement monoïques (Batlle et Tous, 1988). Ainsi :

- males (fig08a) ; Les fleurs sont caractérisées par des étamines à longs filaments et des pistils rudimentaires. Ces pieds pollinisateurs sont souvent appelés "borrers" ou "judíos" (Albanell, 1990) ou "bordes" (Melgarejo et Salazar, 2003) en espagnol.



Fig08a : inflorescence male du caroubier (photo prise à Tiloula « Ain Sefra » 2023)

- Femelles (fig08b) ; Avec des pistils bien développés et des étamines rudimentaires, ce sont les plus abondants.



Fig08b : inflorescence male du caroubier (Ait Chitt et Al., 2007).

- Et les hermaphrodites (fig08c) ; des fleurs avec des étamines et pistils développer bien.



Fig08c : fleur hermaphrodites du caroubier (Web2, 2013)

3.6 : Les Fruits :

Les caroubes sont rassemblées en grappes uniques. Ce sont de grosses gousses non déhiscentes : 10 à 30 cm de long, 1,5 à 3 cm de large et 1 à 2 cm d'épaisseur. Chaque caroube pèse environ 15 à 30 grammes (Batlle et Tous, 1997).



Fig09 : fruit du caroubier (Web3, 2020)

La gousse est divisée en trois parties : l'exocarpe, le mésocarpe et les graines, qui sont séparées par une cloison pulpeuse transversale et contiennent de 4 à 16 graines. Il mesure 8 à 10 mm de long et 7 à 8 mm de large, et est d'abord vert, puis brun, brun foncé à noir à maturité (Ait Chitt, 2007).

Le fruit du caroubier arrive à maturité à travers trois stades de développement :

- le premier stade est caractérisé par une croissance lente en automne et en hiver.
- La seconde correspond au développement actif et à la croissance rapide des cabosses printemps.
- Au stade final, les gousses mûrissent et durcissent en Aout-Septembre.

3.7 Graines :

Les graines de caroube sont petites, aplaties, presque ovales, avec une base tronquée dans la région apicale (Fig10). Son testa est généralement lisse, dur, brun rougeâtre et brillant (Albanell, 1990). Ils mesurent 8 à 10 mm de long, 6 à 8 mm de large et 3 à 5 mm d'épaisseur.

Les graines sont dures et ont de grandes révoltes. La graine de caroube se compose de trois parties (Melgarejo et Salazar, 2003) :



Fig10 : Graines du caroubier (Web4, 2019)

1/L'ectoderme, ou peau externe, qui recouvre la graine et se compose principalement de cellulose, de lignine et de tanins. Il se compose de deux enveloppes distinctes, une extérieure appelée testa, qui est colorée et dure, et une intérieure appelée tegmen, qui est plus blanche et plus douce. Le tégument représente 30 à 33 % de la graine.

2/ L'endosperme ou endosperme, situé sous l'endosperme, constitue le tissu de réserve pour la germination des embryons. Économiquement, c'est la partie la plus intéressante de la graine en raison de sa forte teneur en galactomannane ou gomme de caroube représentant de l'endosperme 42 à 46% des graines.

3/Le germe ou embryon, qui représente 23 à 25 % de la graine.

4. Ecologie du Caroubier :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce d'arbre appartient à l'écosystème "maquis du littoral méditerranéen", très plastique, héliotrope, thermophile, très tolérante à la sécheresse (200 mm de pluie par an) mais pas au froid (minimum 0°C). Il s'adapte à de nombreux types de sols. On le trouve généralement dans les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocheux et calcaires ; un arbre pérenne à feuilles persistantes, nappes, gréseux avec un pH de 6,2 à 8,6, mais il craint les sols acides et aqueux (BAUM, 1989 ; SBAY et al. ABROUCH, 2006). Le caroubier est une espèce bien établie dans les régions humides, subhumides et semi-arides.

En Algérie, il pousse généralement sous forme diffuse sur les sols de cèdres et de genévriers de Phénicie, dans les forêts de chênes verts, et en association avec l'olivier et le pistachier (BOUDY, 1950).

5. Exigences édaphoclimatiques :

5.1. Climat :

Les zones propices au caroubier doivent avoir un climat méditerranéen subtropical caractérisé par des hivers doux, des sources douces à chaudes et des étés chauds à très chauds et secs (Batlle et Tous, 1997). Les hivers sont froids car ils peuvent être endommagés lorsque les températures descendent en dessous de -2°C ou -4°C , selon les variétés. Et ne supporte pas les températures hivernales inférieures à -7°C (Mahdad et Gaouar, 2016).

5.2. Sol :

En général, la caroube a la capacité de produire dans des environnements très défavorables et où les cultures ne peuvent normalement pas pousser sur des sols pauvres, caillouteux, sableux, limoneux lourds, argileux, tout en préférant les sols calcaires à texture équilibrée, toujours accompagnés de sols bien drainés ; ne supporte pas les sols acides ou aqueux (risque d'étouffement des racines et de pourriture) (Sbay et Abourouh, 2006).

5.3. Eau :

Le caroubier est un arbre tolérant la sécheresse, capable de survivre dans des climats secs et sans irrigation ; il s'adapte bien aux milieux avec des précipitations annuelles moyennes comprises entre 250 et 500 mm (NAS, 1979). 550 mm assure une production rentable. Cependant, de nombreux auteurs considèrent une pluviométrie annuelle de 300 à 350 mm est suffisante pour une production acceptable (Batlle et Tous, 1997).

6. Multiplication du Caroubier :

La Multiplication du caroubier peut être réalisée par :

6.1. Semis :

C'est la méthode classique de propagation de la caroube. Cependant, elle présente de nombreux inconvénients, à savoir (Ait Chitt et al., 2007) :

- La caroube est une espèce dioïque, donc les semis donnent Plantes avec un ratio de 50 % de femelles et de 50 % de mâles non productifs ;
- Incohérences génétiques associées à l'hétérozygotie des espèces, donc Grande hétérogénéité dans la progéniture ;
- Lancement tardif, susceptible de prendre plus de 8 ans.

6.2. Bouturage :

Selon Mahdad (2022), la technique du bouturage chez le caroubier est très ancienne, elle remonte au 11^{ème} siècle où elle fut pratiquée par les musulmans en Andalousie ; Abū al-Kḥayr, cité par Ibn al-‘Awwām dans son livre Kitāb al-filāḥa, préconisa la technique du bouturage en crossette. En Espagne, le bouturage se faisait par des boutures, toutefois, on préférait le semis à cette technique, car elle est très limitée en pratique, variant en fonction des arbres (génétique) la nature de la bouture et de la concentration en auxine (AIB) (Mahdad, 2022).

6.3. Greffage :

La propagation par greffage chez le caroubier est une technique efficace et dominée (Mahdad, 2022). Il s'agit de greffer les pieds des mâles par les femelles. Cette méthode permet aux arbres mâles de fructifier dès la troisième année, de produire des cultivars garantissant la fructification et le maintien de la conformité des caractères sélectionnés chez de la plante mère (Gharnit, 2004 ; Ait Chitt et al., 2007).

En Algérie, la technique en placage d'écusson chez le caroubier a donné de bons résultats (Boublenza, 2019), toutefois, la greffe en écusson reste la technique la plus utilisée (Mahdad, 2022). De bons porte-greffes de greffage par fusion peuvent être obtenus.

7. Réalisation du Verger :

Le caroubier est un arbre exigeant en lumière et pour autant, il ne supporte pas les fortes densités (Mahdad, 2013). Ces dernières vont de 10×10 (100 arbres/ha) à 6×4 (240 arbres/ha) en Espagne, et sont en fonction de la disponibilité en eau, de la richesse du sol et l'architecture de l'arbre qui est très distingué selon les cultivars (Mahdad, 2022).

Ait Chitt et al. (2007) préconisent une densité de plantation de 8×8 (156 arbres/ha), tandis que Melgarejo et Salazar, 2003 considèrent une densité de 9×9 (123 arbres/ha) comme une plantation économiquement acceptable. En Algérie, il serait recommandable d'opter pour une densité extensive (10×10) et ce, en raison des multitudes de facteurs limitant (raréfaction d'eau, des sols fertiles, et de la main d'œuvre qualifiée) la production agricole nationale.

La qualité et surtout le rendement des variétés hermaphrodites ne sont pas toujours les plus satisfaisants, raison pour laquelle on continue à planter des variétés d'inflorescences femelles. Néanmoins, ce sont en général les variétés hermaphrodites que l'on utilise comme pollinisateurs, car elles assurent une plus grande efficacité dans la nouaison par rapport à quelques pollinisateurs mâles traditionnels (Mahdad, 2022).

La proportion idéale d'arbres staminés ou hermaphrodites par rapport aux pistillés dépend vraisemblablement de l'activité des insectes et du vent dans le verger pendant la floraison, ainsi que de la capacité de germination du pollen. En principe, il est suffisant d'installer un pied mâle ou hermaphrodite au centre, entouré de 8 arbres femelles, ce qui représente un total de 11% de pieds pollinisateurs au sein de la plantation (Fig11).

Il existe une autre alternative de pollinisation qui consiste à greffer des rameaux de fleurs mâles (pratiquée naguère) ou hermaphrodites (la plus courante actuellement) sur les 25 ou 50 % des arbres femelles du verger (Mahdad, 2022).

Les vergers de caroubier sont connus pour leur entrée tardive en production. Les plantations installées dans les zones marginales (zones arides et semi-arides dans la wilaya de Naâma ou la température est élevée, des précipitations limitées, avec des montagnes dans la wilaya de Tlemcen ou la géographie est difficile) commencent à porter des fruits après 6 à 8 ans, alors que dans de meilleures conditions, la culture commence à donner des fruits dès la 3ème ou 4ème année (Mahdad, 2022).



Fig11 : Dispositif de plantation de caroubier avec 11% de pieds pollinisateurs. (Mahdad, 2022)

8. Propriétés et Utilisations du Caroubier :

8.1. Propriétés :

La pulpe et les graines sont les deux composants principaux de la gousse de caroube, représentant respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend de la variété, de l'origine, du moment de la récolte, de l'environnement et des conditions de stockage (Mahdad, 2013).

La pulpe de caroube (Tab02) a une forte teneur en sucre (48-56%) et peut même atteindre 72%. De plus, il contient environ 18 % de cellulose et d'hémicellulose. L'analyse de la composition en sucre de la pulpe de plusieurs variétés algériennes a montré une teneur en sucres totaux allant de 37,5% à 45,3% (Gaouar, 2011).

La composition minérale (mg/100g poids sec) était la suivante : K=970 ; Ca=300 ; P=71 ; Magnésium=60 ; Fe=1,88, Mn 1,29 ; Cuivre=0,85 ; Zn=0,75. A noter les taux élevés de potassium et de calcium dans la pulpe, importants pour l'alimentation humaine et animale (plus du double du calcium présent dans le lait entier à 119 mg/100 g).

Les gousses contiennent peu de matières grasses ($0,6 \pm 0,1$ %) et beaucoup de protéines (3 ± 2 %) (Mahdad, 2022).

Ayaz et al. (2007) ont pu détecter 18 acides aminés présents dans les extraits de cabosses, principalement les acides aspartique et glutamique, l'alanine, la valine et la leucine.

Les gousses de caroube mûres contiennent de fortes concentrations de tanins concentrés (16 à 20 % de poids sec). En termes de valeur alimentaire, la caroube est similaire à la plupart des graines de céréales (Mahdad, 2013).

Les graines (Fig12) sont constituées de 30 à 33 % de tégument, de 42 à 46 % de protéines et de 23 à 25 % d'embryons (Neukom, 1988). L'endosperme est considéré comme une source naturelle de polyphénols antioxydants. L'endosperme est principalement composé d'une gomme appelée galactomannane. C'est une molécule de polysaccharide composée de deux unités de sucre : le mannose et le galactose dans un rapport 4:1. La propriété principale de ce polysaccharide naturel est qu'il confère une viscosité élevée à la solution lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, et cela est vrai sur une large plage de température et de pH (Mahdad et Gaouar, 2016).

La farine de germe obtenue à partir des cotylédons a une teneur en protéines de 50 % ; 27 % de glucides ; 8 % de lipides (neutres), 7 % d'eau et 6 % de cendres ; cette farine est recommandée pour l'alimentation humaine et animale. (Mahdad, 2022).

Puhan et Wielinga (1996) mentionné dans (Batlle et Tous, 1997).

Tab 03 : La composition moyenne de la pulpe du caroubier

Constituants	%
Sucre totaux	45-56
Saccharose	32-38
Glucose	5-6
Fructose	5-7
Pinnitol	5-7
Tanins condensés	18-20
Polysaccharides non amylacés	18
Cendres	2-3
Lipides	0.2-0.6

8.2. Utilisation :

Il s'agit d'une espèce forestière et arboricole d'une grande importance économique, écologique et sociale.

➤ Arbre :

Les arbres isolés peuvent être utilisés comme plantes ornementales ou comme ombre le long des routes, comme c'est le cas en Californie, en Australie et ailleurs. Les pieds mâles qui ne fournissent pas de gousses sont préférés pour l'ornementation (Batlle et Tous, 1997). Il est généralement disponible dans les vergers sous forme de plantation homogène pour la production commerciale (Espagne, Portugal et Grèce).

En raison de ses faibles exigences culturales et de sa grande tolérance aux sols pauvres, la caroube est de plus en plus recommandée pour le reboisement des zones côtières dégradées sous les effets de l'érosion ou de la désertification (Batlle et Tous, 1997). Actuellement, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants, car toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorce et racines) sont utiles et précieuses dans plusieurs domaines (Aafi, 1996).

➤ Feuille :

Dans les domaines forestiers, les plants mâles sont souvent taillés pour le fourrage. Plusieurs études ont montré que l'utilisation de feuilles associées au polyéthylène glycol (PEG) améliore la digestibilité et la qualité nutritionnelle des tanins contenus dans les feuilles (Silanikove et al., 1996 ; Priolo et al., 2000). Rejeb et al (1991) ont estimé la valeur nutritionnelle des feuilles de caroube à 0,25 uf/kg de matière sèche.

Les extraits de feuilles contenant des tanins sont utilisés en Turquie dans les médicaments "traditionnels" et les aliments thérapeutiques contre la diarrhée (Baytop, 1984). Ces extraits de feuilles ont également été désignés comme porteurs d'activités cytotoxiques et antibactériennes (Kivçak et Mart, 2002).

➤ Fleur :

Les apiculteurs ont utilisés les fleurs pour la production du miel de caroube (Gharnit, 2003).

➤ Fruit :

Dans les pays producteurs, les gousses de caroube sont traditionnellement utilisées non seulement comme nourriture pour les ruminants (Louca et Papas, 1973) ou les non-ruminants (Sahle et al., 1992), mais aussi pour l'homme. Une fois les gousses cassées et la pulpe séparée des graines, les produits extraits de ces deux éléments sont principalement utilisés dans plusieurs domaines (Tab04).

Tab04 : Principaux produits de la caroube (pulpe et gaines) et leurs utilisations majeures (Batlle et Tous, 1997).

Produits	Traitement reçu	Utilisations
Pulpe		
Brute	Aucun	Alimentation animale (cheval et ruminants)
	moulage	Alimentation humaine et animale (ruminants et non ruminants)
	Extraction et purification	Sucre et mélasse
	Fermentation et distillation	Alcool et production de protéines microbiennes
	Extraction	Tanins comme anti-diarrhée
Poudre	Lavage, séchage, torréfaction et moulage	Ingrédients alimentaires ; substituant du cacao ; préparation de produits diététiques et pharmaceutique
Graines		
Endosperme	Moulage	CBG ou E-10 ; additifs alimentaires ; fibre diététique ; aliments pour mascottes ; produits pharmaceutiques et cosmétiques
Embryon	Moulage	Farine de germe ; nutrition humaine et animale
Episperme	Extraction	Tanins pour le tannage des cuirs

➤ Pulpe :

Dans les pharmacopées traditionnelles, la pulpe est utilisée dans le traitement de la diarrhée et dans le traitement de certaines maladies gastrite, entérite, angine, rhume, cancer (Ait Chitt et al., 2007).

➤ Graine :

Tous les composants des graines de caroube (enveloppe, endosperme et cotylédons) ont des rôles industriels et médicaux importants, mais la pectine (endosperme) reste le plus important car elle est utilisée comme stabilisant, gélifiant et fixateur dans divers domaines (fig12), tels que l'industrie alimentaire (fromage, mayonnaise, salade...), cosmétique (crème, dentifrice...), industrie pharmaceutique (médicaments, sirops...), bronzage, textile. (Biner et al., 2007 ; Dakia et al., 2007).



Fig12 : farine de la pulpe (A) ; Gomme de la graine(B) ; produits de confiseries fabriqués à partir de caroube (chocolat, biscuits, confiture... etc.) (C) (Mahdad, 2013)

9. Intérêt du Caroubier :

9.1. Importance écologique :

Des sécheresses périodiques ont montré que le caroubier est plus résistant à la rareté de l'eau que les chênes verts, les cèdres et les oliviers qui lui sont apparentés. C'est une espèce malléable, héliotrope, thermophile, très tolérante à la sécheresse (200 mm/an). Il joue un rôle important dans la lutte contre la désertification et la protection des sols contre la dégradation et l'érosion (Zouhair, 1996). Les recherches de Rejeb (1995) ont confirmé que le caroubier se comporte comme une véritable espèce tolérante à la sécheresse en s'adaptant morphologiquement et physiologiquement à l'absence d'eau.

D'après (Gharnit et al., 2006) le caroubier pourrait contribuer au développement des zones défavorisées par ses aptitudes d'adaptation aux stress du sol et du climat.

9.2. Intérêt économique :

Les graines de caroube sont très recherchées pour leurs avantages économiques industriels ; elles sont utilisées dans l'imprimerie, la photographie, les textiles, les plastiques les encres, les matériaux adhésifs (Johnson et al., 1988) ; (Neukom, 1988). Le caroubier est une réelle source de profit pour les arboriculteurs, car le prix de vente du caroubier est très encourageant et la main d'œuvre (cueillette) moins chère par rapport aux pays concurrents (Espagne, Portugal, Italie, etc.) (Fadel et al., 2011).

9.3. Importance Pharmaceutique :

Grâce à sa richesse en fibres, la caroube agit comme un régulateur du transit intestinal. Traitement de la diarrhée chronique, des troubles gastro-intestinaux et de la constipation (Serairi-Beji et al., 2000).

La pulpe est utilisée dans le traitement de la diarrhée et dans le traitement de certaines maladies comme la gastrite, l'entérite, l'amygdalite, le rhume, le cancer (Crosi et al., 2002 ; Gharnit, 2004 ; Ait Chitt et al., 2007).

La gomme de caroube a les effets bénéfiques suivants traitement de l'anémie ; reflux gastrique, irritation du côlon et vomissements dus à des carences nutritionnelles (Doha et al., 2008 ; Kaderi et al., 2014).

9.4. Importance industrielle :

Le caroubier est un arbre d'une importance écologique, industrielle et ornementale incontestable. En ce qui concerne les produits, l'arbre et tous ses composants sont utiles, en particulier le fruit. Il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants car toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorce et racines) sont utiles et précieuses dans plusieurs domaines (Aafi, 1996 ; Mhirit et Tobi, 2002).

Il est utilisé pour le reboisement et le reboisement dans les zones touchées par l'érosion et la désertification (Rejeb et al., 1991 ; Biner et al., 2007).

Elle est également utilisée comme plante ornementale sur les bords de routes et dans les jardins (Batlle et Tous, 1997).

Le bois du caroubier appelé 'carouge' est dur et à grain fin, il est utilisé pour la fabrication d'ustensiles et la production de combustible (Batlle et Tous, 1997).

L'écorce est utilisée dans le tannage, en particulier dans la finition et le glaçage du cuir (Batlle, 1997).

Deux produits principaux proviennent de la caroube. Gomme extraite de L'endosperme de la graine est très recherché dans l'industrie alimentaire, notamment pour ses propriétés texturales (Avallone et al., 1997), ainsi que dans l'industrie pharmaceutique (Prajapati et al., 2013), la cinématographie, le textile et la cosmétique. En tant que dérivé de caroube le plus populaire, le chewing-gum a de très Multi-additif intéressant (Sbay, 2008) La farine obtenue par séchage, torréfaction et broyage après épépinage des gousses est riche en protéines (50%) et en glucides (27%). Il est principalement utilisé dans l'alimentation des enfants (Lizardo et al., 2002) et l'alimentation diététique humaine (Dakia et al., 2007), ou comme ingrédient potentiel dans les aliments céréaliers pour les patients atteints de la maladie cœliaque (Feillet et al., Rolland, 1998). (Tab05).

Tab05 : Composition chimique du caroubier

La pulpe 90%		La graine 10%	
Les constituants	%	Les constituants	%
Glucides	48 à 72%	L'enveloppe	30-33%
Protéines	1-2%	Tégumentaire (cuticule)	
Matières grasses	0.5-0.7%	L'endosperme	42-46%
Cellulose et hémicellulose	18%	(Albumen)	
Minéraux	(Ca, Mg, k, P)		
Pectines et Fibres	4.2 à 9.6%	L'embryon (germe)	23-25%
Cendre	1.5-2.4%		
Poly phénols	16-20%		

Il est également utilisé dans la production industrielle de bioéthanol et d'acide citrique (Makris et Kefalas., 2004 ; Sanches et al., 2010), mais est surtout utilisé comme antioxydant dans l'industrie alimentaire en raison de sa composition riche en polyphénols. En effet, la caroube contient 2 à 20 % de composés phénoliques (Owen et al., 2003 ; Makris et Kefalas, 2004), et Owen et al (2003) ont identifié 24 structures principales différentes et identifié leur contenu.

10. Composition Chimique du Caroubier :

La pulpe et les graines sont les deux composants principaux de la gousse de caroube, représentant respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend généralement de la variété, du lieu d'origine et parfois du moment de la récolte.

11. Maladies et ravageurs :

Le *C.siliqua* est un arbre résistant aux maladies, mais dans certains cas il peut être attaqué par le dendroctone du caroubier (*Sphaerella cuprea*), qui noircit parfois les folioles en grand nombre. De même, le tronc peut être attaqué par une petite coccinelle blanche (*Aspidiotus hederæ Vallot*) (Fig13). Ces derniers constituent souvent une menace plus évidente pour le caroubier qu'une menace réelle, car les coccinelles (*Chilocorus bipustulatus L.*) sont souvent responsables de la réduction des invasions avant qu'elles ne le fassent une proportion trop importante est atteinte (Kocherane, 2021).

En Espagne, des insectes omnivores (*Zeuzera pyrina L.*) (Fig13) attaquent le bois des troncs et des branches causant de graves dégâts. Le coléoptère *Cerambyx velutinus* peut également s'enfouir dans les troncs d'arbres (Batlle et Tous, 1997).

Les cabosses peuvent être infestées par : La teigne du caroubier (*Myelois ceratonia Z.*) C'est un petit polyphage qui pond des œufs sur les fleurs ou les gousses nouvellement formées, puis les larves pénètrent dans les gousses et les détruisent. Stockés dans un environnement humide, ils peuvent également être attaqués par les mites caroubier (*Ectmyelois ceratoniae*), avec des larves du moucheron *Asphondylia gennadii*.

Le champignon *Oidium ceratoniae* provoque la déformation des jeunes cabosses. Le champignon peut aussi endommager les feuilles (rouille, surtout en conditions humides). Les rongeurs tels que les spermophiles (*Pitymys spp.*). Les spermophiles (*Rattus spp*) peuvent gravement endommager le système racinaire des jeunes arbres. Ce sont des ravageurs importants qui, dans certaines conditions, peuvent grimper aux arbres et mordre l'écorce jusqu'à ce que les branches meurent (Sbay, 2008).



Fig13 : principaux ravageurs du caroubier.



CHAPITRE II

ZONES D'ÉCHANTILLONNAGES

1. Situation du Caroubier dans la Région de Naâma et Tlemcen :

1.1 Situation géographique :

La région de Naama, wilaya frontalière avec le royaume du Maroc sur 250 km, elle est située dans le Nord-Ouest des hauts plateaux entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien de l'Algérie (fig14), elle fait partie de la zone géographique connue sous le nom de Trara, qui se caractérise par un climat semi-aride avec des vastes plaines désertiques, des montagnes basses et un climat chaud et sec. Les températures estivales peuvent atteindre des niveaux très élevés, les précipitations sont rares et irrégulières. Elle abrite une végétation adaptée aux conditions arides. (Mekki, 2015).

La wilaya de Naâma est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès.
- A l'Est par la wilaya d'El Bayadh.
- Au Sud par la wilaya de Béchar.
- A l'Ouest par la frontière Algéro-marocaine.

Quant à la région de Tlemcen est située sur le littoral Nord-Ouest de l'Algérie (fig14) frontalière avec le Maroc, elle est caractérisée par des paysages montagneux et un climat méditerranéen. Les températures estivales peuvent atteindre environ 35C, les précipitations sont plus abondantes pendant les mois d'hiver. (Benamar, 2020).

Elle est délimitée :

- Au nord, par la Méditerranée.
- A l'ouest, par le Maroc.
- Au sud, par la wilaya de Naâma.
- A l'est, par les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Aïn Témouchent.

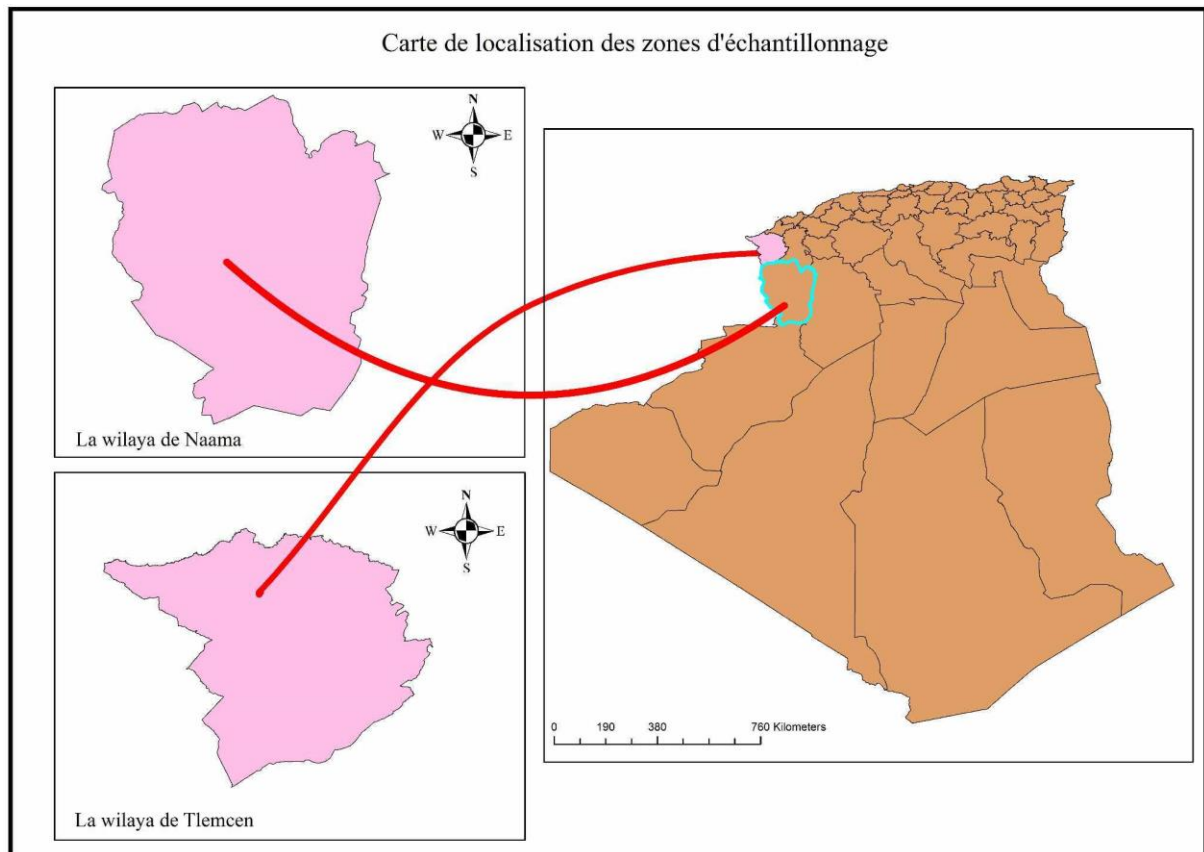


Fig14 : carte de localisation des zones d'échantillonnages.

1.2 Description des Station :

➤ Station Naâma :

Zone d'étude, la wilaya de Naâma, se situe dans la partie occidentale des hauts plateaux, aux confins algéro-marocains. Elle se décompose en deux zones d'échantillonnage :

- Région d'Ain Sefra à Djbel Aissa elle est située en côté sud de la wilaya et on attient deux positions (Ain Tiloula, Oued el Kherroub), pour coordonner géographique :
Ain Tiloula : $32^{\circ}50'34.8''N$ $0^{\circ}26'24.0''W$
Oued el Kherroub : $32^{\circ}44'20.4''N$ $0^{\circ}27'07.2''W$.
- Région d'Ain Sefra à Djbel Aissa toujours mais au côté Nord, on attient une seule position (Ain Aissa), pour coordonner géographique : $32^{\circ}55'55.2''N$ $0^{\circ}27'18.0''W$

➤ Station Tlemcen :

Zone d'étude, la wilaya de Tlemcen, se situe dans la partie littorale Nord-Ouest d'Algérie. Elle se décompose en deux zones d'échantillonnage :

- Région de Zenata situé au Nord de la wilaya (environ 16 Km au nord-ouest), pour coordonner géographique : $34^{\circ}59'04.0''N$ $1^{\circ}27'30.0''W$.

- Région de Henaya situé au Nord de la wilaya (environ 10 Km au nord-ouest), pour coordonner géographique : 34°57'00.0"N 1°22'00.0"W.

1 Cadre Topographique :

Les deux régions d'étude (Naâma et Tlemcen) sont caractérisées par un relief varié en raison de leurs positions géographique à la jonction des montagnes de l'Atlas tellien et du Sahara.

Dans la zone de Naâma, le relief est principalement composé de plaines et des hauts plateaux. On y trouve également quelques petites montagnes et collines.

Les plaines de Naâma sont généralement plates et fertiles.

Quant à Tlemcen, est entourée des montagnes appartenant à la chaîne de l'Atlas tellien. Elles sont caractérisées par des sommets escarpés, des vallées profondes et des gorges spectaculaires. La région est dominée par le massif de Tlemcen, qui culmine à environ 1400 mètres d'altitude.

2.2. Sol :

Les types de sol peuvent varier en fonction de la géologie, du climat et des conditions environnementales locales ; on attient alors :

- **Sol Alluvial** : Les plaines de Naama, traversées par des cours d'eau, peuvent présenter des sols alluviaux. Ces sols sont généralement fertiles et riches en matière organique, résultant du dépôt de sédiments transportés par les rivières au fil du temps.

- **Sol Argileux** : Les régions de Tlemcen peuvent avoir des sols argileux, en particulier dans les vallées et les zones plus humides. Les sols argileux sont souvent lourds et riches en nutriments, mais peuvent être sujets à la compaction et au drainage insuffisant.

- **Sol Calcaire** : Les montagnes de Tlemcen sont souvent composées de roches calcaires, ce qui influence la nature des sols dans la région. Les sols calcaires peuvent être bien drainés mais peuvent également être alcalins, ce qui peut avoir un impact sur les cultures spécifiques qui y poussent.

- **Sol Sableux** : Dans certaines parties de la région de Naama, en particulier dans les zones plus arides et désertiques, les sols peuvent être sableux. Ces sols sont souvent moins fertiles en raison de leur faible capacité de rétention d'eau et de nutriments, mais peuvent être adaptés à certaines plantes résistantes à la sécheresse.

2.3 Climat :

La zone d'étude a totalement des climats différents en raison de leur situation géographique et leur altitude :

- **Dans la région de Naâma** : Elle est caractérisée par un climat semi-aride. Les étés sont chauds et secs, avec des températures maximales qui peuvent dépasser les 40 degrés Celsius. Les hivers sont doux à froids, avec des températures minimales pouvant descendre en dessous de zéro degré Celsius. Les précipitations sont généralement faibles et se concentrent principalement pendant la saison hivernale.

- **Dans la région de Tlemcen** : Elle a un climat méditerranéen modéré. Les étés sont chauds et secs, avec des températures maximales qui peuvent atteindre les 35 degrés Celsius. Les hivers sont doux et pluvieux, avec des températures minimales autour de 5 à 10 degrés Celsius. Les précipitations sont plus abondantes que dans la région de Naama, avec des pluies réparties tout au long de l'année, mais plus marquées pendant les mois d'automne et d'hiver.

2.4 Température :

Les deux régions ont des températures qui varient en fonction des saisons ;

-**Naâma** : en été, les températures peuvent être très élevées, avec des moyennes maximales autour de 38 à 42 C°. Les températures minimales pendant cette période se situent généralement entre 20/25 C°. Les étés sont caractérisés par une chaleur intense et des journées ensoleillées. Alors qu'en hiver, les températures peuvent être fraîches à froides, avec des moyennes minimales variant de 2 à 7 C°. Les températures maximales pendant cette période se situent généralement entre 12 et 18 C°. Les hivers sont relativement doux par rapport à d'autres régions du pays, mais des périodes de froid plus intense peuvent également survenir. (Mekki, 2015)

-**Tlemcen** : en été, les températures sont élevées, avec des moyennes maximales autour de 30 à 35 C°. Les températures minimales pendant cette période varient généralement entre 17/22 C°. Les étés sont chauds mais moins extrêmes que dans certaines autres régions de l'Algérie. Alors qu'en hiver, les températures sont généralement douces, avec des moyennes minimales se situant entre 6/10 C°. Les températures maximales pendant cette période varient souvent entre 14/18 C°. Les hivers sont marqués par des périodes pluvieuses et des températures modérées. (Benamar, 2020).

2.5. Bioclimat :

La région de Naama a un bioclimat aride à semi-aride. Elle est située dans une zone plus sèche du pays, avec des précipitations annuelles relativement faibles. Les étés sont caractérisés par des températures élevées et des périodes prolongées de sécheresse. Les hivers sont doux à

froids, avec des variations de température entre le jour et la nuit. La région connaît souvent des vents forts, tels que le sirocco, qui peut influencer les conditions climatiques. En contrepartie, la région de Tlemcen a un bioclimat méditerranéen modéré. Elle est située près de la côte méditerranéenne, ce qui influence son climat. Les étés sont chauds et secs, avec des températures élevées, mais elles sont atténuées par les influences maritimes. Les hivers sont doux et pluvieux, avec des précipitations plus abondantes pendant cette saison. La région bénéficie de la douceur de la mer Méditerranée et des vents marins, ce qui crée des conditions plus tempérées par rapport aux régions intérieures de l'Algérie.



CHAPITRE III

MATERIEL ET METHODES

1. La diversité génétique et les marqueurs moléculaires :

Par définition de la diversité génétique : est la variation des gènes présents dans une population. Cette variation peut être due à des mutations, des recombinaisons génétiques et d'autres processus évolutifs. Elle est importante en agriculture car elle permet aux plantes de s'adapter à différents environnements et de résister aux maladies. (Brenugat et Al., 2003).

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la diversité génétique des plantes principalement le caroubier, notamment l'analyse de marqueurs moléculaires tels que les marqueurs AFLP, SSR et SNP.

Ces techniques permettent de déterminer la variabilité génétique au sein des populations de caroubiers et de mesurer la distance génétique entre ces populations.

Dans notre étude nous avons basé sur le marqueur moléculaire SSR (Simple Sequence Repeats).

Les marqueurs moléculaires SSR :

Sont des séquences d'ADN courtes et répétitives qui varient en longueur entre les individus. Ces variations peuvent être utilisées pour identifier les différences génétiques entre les plantes. Les marqueurs SSR sont utiles car ils sont hautement polymorphes, c'est-à-dire qu'ils présentent de nombreuses variations dans leur séquence. (Carlos et Al., 2003).

Ils sont utilisés pour créer des profils génétiques des plantes, qui peuvent ensuite être comparés pour évaluer leur diversité génétique. Cette méthode est non destructive et permet d'obtenir des résultats précis et reproductibles. Les marqueurs SSR sont largement utilisés dans l'évaluation de la diversité génétique du caroubier.

2. Matériels et Méthodes :

Le matériel et les produits utilisés dans la partie expérimentale sont dans les (fig15 et 16) ci-dessous :



Fig15 : matériels utilisés dans la partie expérimentale

Tab06 : nomination des matériels utilisés

Alphabets	Noms
A	Mortier
B	Bain Marie
C	Balance
D	Centrifugeuse
E	Chambre Noire
F	Thermocycleur
G	Electrophorèse Horizontale
H	Electrophorèse Verticale



Fig16 : produits utilisée dans la partie expérimentale.

Tab07 : nomination des produits utilisés dans la partie expérimentale

Alphabets	Noms
A	Echantillon (feuille du caroubier)
B	CTAB
C	Chloroforme
D	TE
E	TAE
F	Taq
G	Mgcl et master mix
H	Amorce
I	DAY (prêt)
J	Marqueur de taille
K	Taq
L	DAY (préparer)
M	Acrylamide
N	Agarose
O	APS
P	TMED
Q	Bac de BET

2.1. Extraction d'ADN :

L'ADN a été extrait de jeunes feuilles de caroubier collectée en trois phases (en début de mois de février 2023 à Tlemcen, et le 21 février 2023 à Ain Sefra côté sud et le 09 mai 2023 à Ain Sefra côté nord) et congelées à - 20 °C. . Les feuilles ont été broyées avec un mortier et un pilon afin d'homogénéiser le tissu végétal pour l'obtention d'un rendement optimal avant l'étape de la lyse.

La première étape de toute caractérisation génétique commence par l'isolement et la purification de l'ADN des cellules ou des tissus, une fois que l'ADN est extrait avec une pureté suffisante, d'autres techniques de biologie moléculaire, notamment /par exemple la PCR et l'électrophorèse devront être réalisées, et cela dépendra dès l'objectifs et de la problématique.

L'ADNg (Génomique) a été extrait à partir de 2g de feuilles fraîches de chaque génotype. Le protocole d'extraction appliqué est celui de (Doyle & Doyle) au bromure de méthyle d'ammonium tri méthylique (CTAB 2X) (Saghai-Marooof et al.,1984), modifié par Udupa et al(1999).

La qualité de l'ADN génomique a été évaluée par une électrophorèse sur gel d'agarose (1 %, avec TAE) (Tris acétate EDTA, un tampon de migration très commun lors des migrations, le TAE est connue par ses caractéristiques en terme de conductivité et de vitesse de migration), les électrophorèses ont été réalisé selon un rapport de 10cm/V dans un réservoir d'électrophorèse horizontale (Marque Hoefer « HE-PLUS ») et par spectrophotométrie respectivement. La quantification de l'ADN a également été effectuée par spectrophotomètre UV (Nano drop ND-1000). Les échantillons d'ADN qui présentaient une bande unique sur le gel d'agarose et avaient un rapport A260 nm/A280 nm de ~1,8 sont choisis pour les étapes suivantes de l'analyse génétique.

Dans la présente étude, un total de 16 marqueurs SSR initialement criblés sur des génotypes de caroubier a été utilisé. Ces marqueurs ont été téléchargés à partir des traveaux validé sur la base de données NCBI (Tab06), uniquement les marqueurs les plus performants et qui expriment un taux de polymorphisme élevé ont été sélectionné pour cette étude. Le nombre est de 05 SSRs.

Tab08 : Série des SSR (C-10, C-31, Cs-187, Cs98 et Cs-249) (Originale).

Identifiant de marquer	Forward	Reverse	T d'hybridation	Motif
C-31	TCAAGGGTTGCAT TCGGAG	GCTTTCCCAAGTGCTT CAAC	55	(AAAG)
C-10	TGGATCACAACTT AAAAGCCCG	TGCCGAAATCGCTCGT AAAC	55	(TTCT)
Cs-187	ATACTGGGCGTTC TTTGCTT	ATTATCTCTTGCTTTG TGGTCCT	55	(AT) 15
Cs-98	GCCACCACTTTGA AGGAAGA	GCTAGAAGCAGGAGC AGGAG	55	(GCT) 6
Cs-249	GGGCATCAACCTC AACATTC	CTGTAAAGAAGGGAT ACAAGCTG	55	(TG) 7

1.3 Amplification par PCR :

L'amplification par PCR a été réalisée par un thermocycleur (marque Prime) en utilisant cinq marqueurs moléculaires de type SSR. La réaction d'amplification se fait à l'aide d'un mélange réactionnel de 50 µl, contenant l'extrait d'ADN (3µl), les amorces spécifiques à une concentration de 0.5mM et un volume de 1µl pour chacune (Forward / Reverse), la Taq polymérase (marque sigma Aldrich) (0.5 Unité) dont le terme unité indique le lot nécessaire pour amplifier 10ng d'ADN à 72°C en 30 minutes, les quatre désoxyribonucléotides triphosphates (1 µl a une concentration de 0.2mM pour chaque base), une solution tampon 10x (5µl) et de l'eau ultra pure.

Les amplifications ont été programmées pour une étape initiale à 94°C pendant 3 min, suivie de 35 cycles de dénaturation à 94°C pendant 30 sec, d'hybridation à 55°C pendant 45 sec, d'élongations à 72°C pour 60sec puis d'une étape finale d'élongation à 72°C pendant 7 min. il faut noter par le passage que la température d'élongation est responsable de taille maximale de produit de PCR selon une formule de 60sec à 72°C pour attendre un max de 1Kb (fragments 1000 bases).

Les produits PCR ont été analysés sur des gels de polyacrylamide 40%, (concentration finale de 5%) par électrophorèse en utilisant du tampon TBE et le schéma d'amplification a été

visualisé en utilisant le BET sous lumière UV de (BIORAD GelDoc XR+). Les profils de bande pour chacun des marqueurs microsatellites ont été enregistrés pour chaque génotype en attribuant une lettre à chaque bande.

3. Analyse des données :

L'estimation statistique de tous les paramètres de la diversité génétique ont été déterminés à l'aide de trois logiciels, Power Marker ver. 3.25 (lie, 2005), GenAlex ver. 6.4 (Peakall et Smouse, 2006) et Popgene 1.32 Yeh et al. (1997).

Les marqueurs SSR ont été utilisés pour déterminer les paramètres statistiques. Les paramètres obtenus après le criblage de 10 génotypes de Caroubier à 05 loci SSR sont les suivants : le nombre d'allèles (Na) nombre d'allèles effectifs (Ne), indice de Shannon (I), hétérozygotie théorique (H0), polyvalence (H0), etc.

Hétérozygotie théorique (H0), contenu d'information polymorphe (PIC).

Résultats et discussion :

➤ Analyse des fréquences :

- Fréquences Génétiques :

Les résultats des fréquences génétiques est devisé en cinq paramètres qui sont principalement le PIC et l'Hétérozygotie, suivie par le Nombre d'allèles détecté est la Diversité génétique et finalement la fréquence d'allèles les plus dominants (Tab06) :

Tab09 : résultats des fréquences génétiques. (Originale).

Marqueur SSR	Fréquence d'allèle dominant ou Majeur	Nombre d'Allèles Détectés	Diversité Génétique	Hétérozygotie	PIC
C-31	0.41	5.00	0.73	0.64	0.69
C-10	0.34	6.00	0.76	0.50	0.72
Cs-187	0.50	3.00	0.62	0.86	0.55
Cs-98	0.68	3.00	0.48	0.39	0.42
Cs-249	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Moyenne	0.59	3.60	0.52	0.48	0.48

PIC : un terme qui signifie Polymorphic Information Content, une mesure qui estime le pouvoir d'un SSR pour assumer ou visualiser la diversité génétique lors d'une investigation de diversité génétique chez une espèce ou parfois population bien déterminée.

La moyenne de PIC est 0.48 dont La valeur de la plus faible est de 0.0 pour l'SSR Cs-249 (Marqueur Monomorphe), d'une autre part pour les marqueurs Polymorphe la valeur la plus inférieure est celle de Cs-98 (0.42) suivie par 0.55 pour le marqueur Cs-187 sinon la valeur la plus élevée est 0.72 signalé pour le SSR C-10.

L'Hétérozygotie, une mesure pour identifier le taux de variabilité génétique à travers la fréquence des hétérozygotes chez un pool d'Allèles dans notre cas l'hétérozygotie en moyenne est de 0.48 avec un minima de 0.39 pour le marqueur Cs-98 et un maxima de 0.86 pour le marqueur Cs-187.

Le nombre d'allèles révélé par marqueur varie entre 1 et 6 avec une moyenne de 3.6 dont les valeurs les plus faibles sont marquées de 1 et 3 respectivement pour Cs-249, Cs-98 et Cs-187 Alors que la valeur supérieure est de 6 marquée pour le C-10, tenant en compte ce paramètre le calcul de fréquence d'allèle majeur aussi joue un rôle très important pour évaluer le pool d'allèles, dans notre cas la fréquence varie entre 0.34 pour le C-10 et 0.68 pour le Cs-98.

Pour la Diversité Génétique parfois nommé l'hétérozygotie attendue (Expected Heterozygosity) la moyenne est de 0.52 ce qui est largement supérieur à la valeur de l'hétérozygotie réel ou observé (0.48), les valeurs de la Diversité génétique aussi varient entre un minima de 0.48 pour le Cs-187 et un maxima de 0.76 pour le C-10 Par l'élimination de marqueur Cs-249.

La mesure de la diversité génétique est très importante à ce stage d'analyse vu qu'elle indique de valeurs supérieures à celle de l'hétérozygotie observé, dans ce cas-là il est très clair que les populations de caroubier en Algérie sont considérées sous le stress des forces évolutives telles que le Inbreeding (Consanguinité), le drift génétique et la sélection naturelle.

Et donc la conclusion de ce résultat indique que le marqueur le plus robuste pour étudier les populations de Caroubier est le C-10 tant qu'il est très informatif avec un nombre d'allèles très supérieur (égale à 6 dans cette étude), (Fig17).

L'intégration d'un marqueur monomorphe n'a pas d'avantages sur le plan d'analyse statistique mais techniquement a pour objectif de favoriser la possibilité de détecter des formes différentes d'allèles sinon des allèles privés.

Pour parler de l'intégration de marqueur monomorphe Cs-249 (Fig18) il faut d'abord signaler que la documentation concernant la génétique de Caroubier est considérée comme étant rare sinon ils nous restent beaucoup de travaux surtout ce qui concerne l'évaluation des populations marginales telles que les populations de la steppe en Algérie.

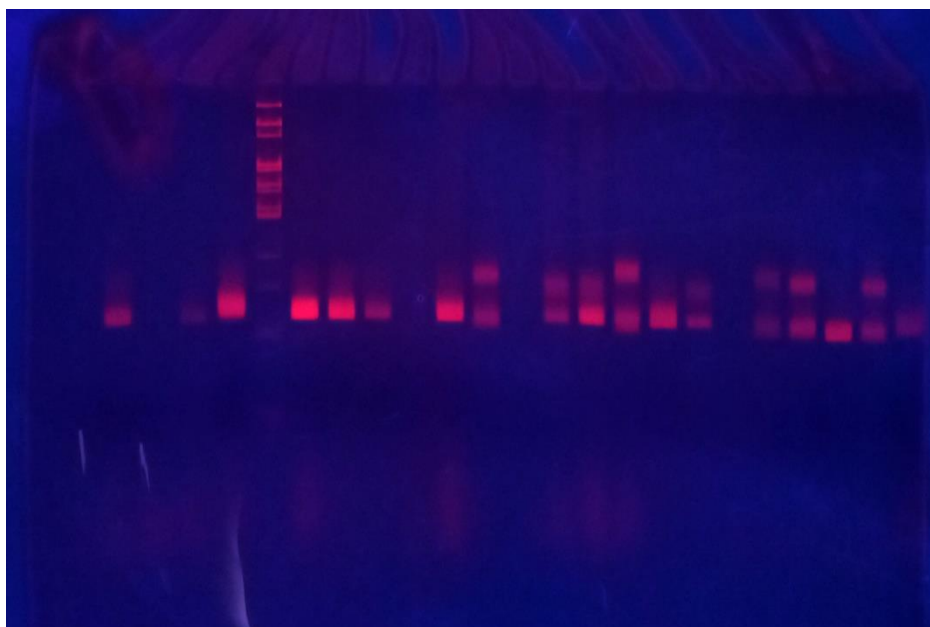


Fig17: Gel C-10.



Fig18: Gel Cs-249.

Fréquences Alléliques :

L'analyse des fréquences Alléliques par les cinq marqueurs moléculaires propose des distributions hétérogènes principalement chez les SSR's : Cs-187, C-10 et C-31. Sinon pour déposer une description sur ces fréquences il faut d'abord diviser l'analyse en deux chapitres, Chapitre 1, cible uniquement les populations de Tell alors que chapitre 2 se focalise les populations de la zone de Naama. (Fig19).

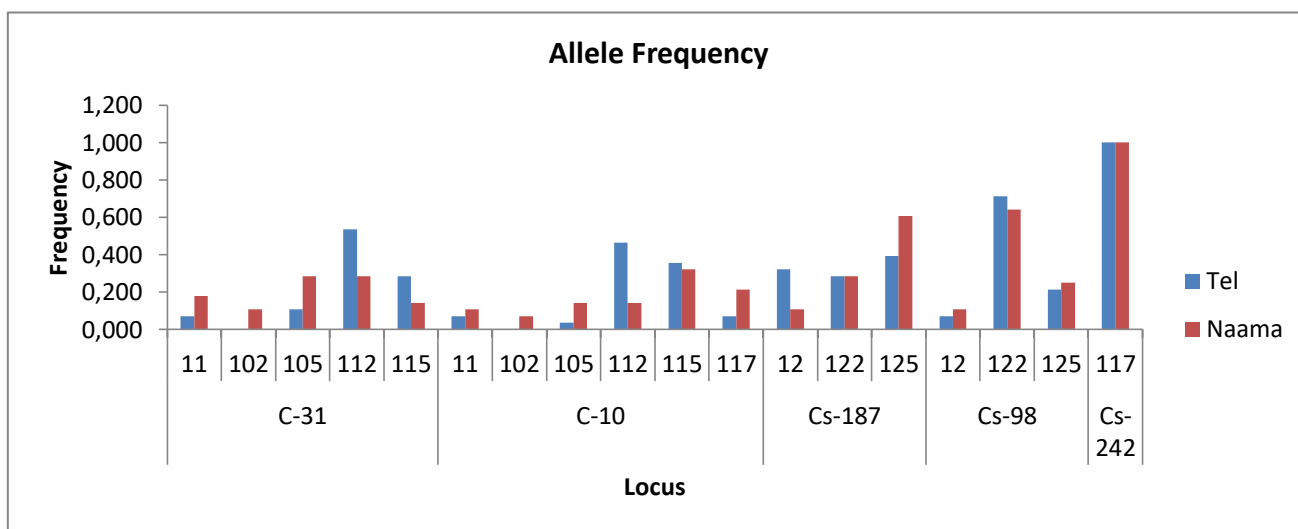


Fig19 : Histogrammes des fréquences Alléliques.

Fréquences Alléliques représenté par la zone de Naama :

Il est très clair que les populations de Naama subissent une diminution allélique sur la majorité des marqueurs à l'exception du C-31 et Cs-187 pour le premier (C-31) en peut distinguer des fréquences assez élevées pour l'allèle 11 avec une dominance totale de l'allèle 102 et 105 d'une autre part le marqueur (Cs-187) aussi exprime une dominance d'allèle 125 par rapport à la population du Tell.

Fréquences Alléliques représenté par la zone du Tell :

Les populations Telliennes ont en général un taux de fréquences assez élevé en totalité pour plusieurs marqueurs et plusieurs allèles, par exemple le (C-31) est relativement dominant sur le locus 112 et 115 suivis par le (C-10) qui est aussi dominant sur le même locus 112. Finalement pour le (Cs-187) on peut clairement remarquer la fréquence élevée pour l'allèle 12 chez la population Tellienne.

Distance :**Analyse des groupes et des distances Génétiques :**

La méthode de calcul des distances est de Nei-1983, un model très courant et fiable pour les analyses génétiques. Le résultat (Tab08) indique une catégorie de distances élevée donc systématiquement un éloignement génétique, ainsi une autre catégorie qui indique des distances faibles et donc par conséquence un rapprochement entre les populations étudiée.

Tab10 : résultats de catégorie de distance.

OTU	Belabbes	Chlef	Jbel Issa	Maghnia	Msila	Oued	Relizan	Tiloula
Chlef	0.227							
Jbel Issa	0.220	0.379						
Maghnia	0.171	0.056	0.379					
Msila	0.252	0.158	0.395	0.144				
Oued kherroub	0.159	0.286	0.158	0.260	0.301			
Relizan	0.317	0.317	0.347	0.317	0.517	0.260		
Tiloula	0.251	0.210	0.205	0.238	0.279	0.195	0.216	
Tlemcen	0.333	0.412	0.236	0.441	0.395	0.263	0.447	0.166

- *OTU : vient de l'abréviation Operational Taxonomical Unite ce qui est considéré comme l'unité ou le rassemblement fondamental de calcule des distances génétiques.*

Section I (Populations éloignées sur le plan Génétique) :

Cette section regroupe majoritairement la population de Tlemcen versus plusieurs régions notamment Chlef (0.412), Maghnia (0.441), Msila (0.395) et Relizan (0.447), ces derniers sont très différents de celle de Tlemcen sur le plan génétique avec des valeurs qui se varie en 0.39 comme minima et 0.447 comme maxima comme déjà mentionné sinon, il faut signaler une grande dissimilitude entre Msila et Relizane avec un score considérablement supérieur de 0.517 Unités de Nei.

Section II les populations Proches sur le plan Génétique :

D'après le tableau 7 on peut facilement distinguer plusieurs groupes très similaires ou rapprochés sur le plan génétique avec des distances qui se varient entre 0.05 comme minima et 0.17 (Unité de Nei) comme maxima, parmi ces groupes on a la population de BelAbbes et Chlef, considéré comme très proche à Maghnia avec des scores de 0.17 et 0.05 respectivement très proche aussi à Oued Kherroub (Naâma) et Msila avec des scores de 0.159 et 0.158 respectivement.

Sinon Oued Kherroub et Jebel Issa (Zone de Naama), un score de 0.158 et finalement la population de Tlemcen avec Tiloula (Naâma) avec un score très faible de 0.166.

Analyse Hiérarchique (Dendrogramme) :

L'interprétation des résultats des distances est parfois très limitée en utilisant les paramètres descriptifs sinon elle nécessite toujours une technique pour partitionner les données, dans notre cas la Classification Ascendante Hiérarchique.

La CAH est considérée aussi comme une technique Agglomérative qui propose une séparation ou une configuration des groupes de populations (parfois nommés clusters) dans un dendrogramme, c'est une méthode très courante et robuste qui dépend aussi d'aspect visuel. Pour notre cas, le dendrogramme est basé toujours sur les distances de Nei 1983 néanmoins, il est clair que la fonction propose un minimum de deux clusters majeurs subdivisés en trois sous-clusters mineurs.

Cluster Primaire (Configuration I) :

Représente deux groupes dont groupe 1 propose une séparation parfaite des populations de Naama avec Tlemcen ce qui est très intéressant alors que groupe 2 propose un ensemble de populations représentatif au Tell notamment Chlef et Maghnia Msila Relizan et Belabess.

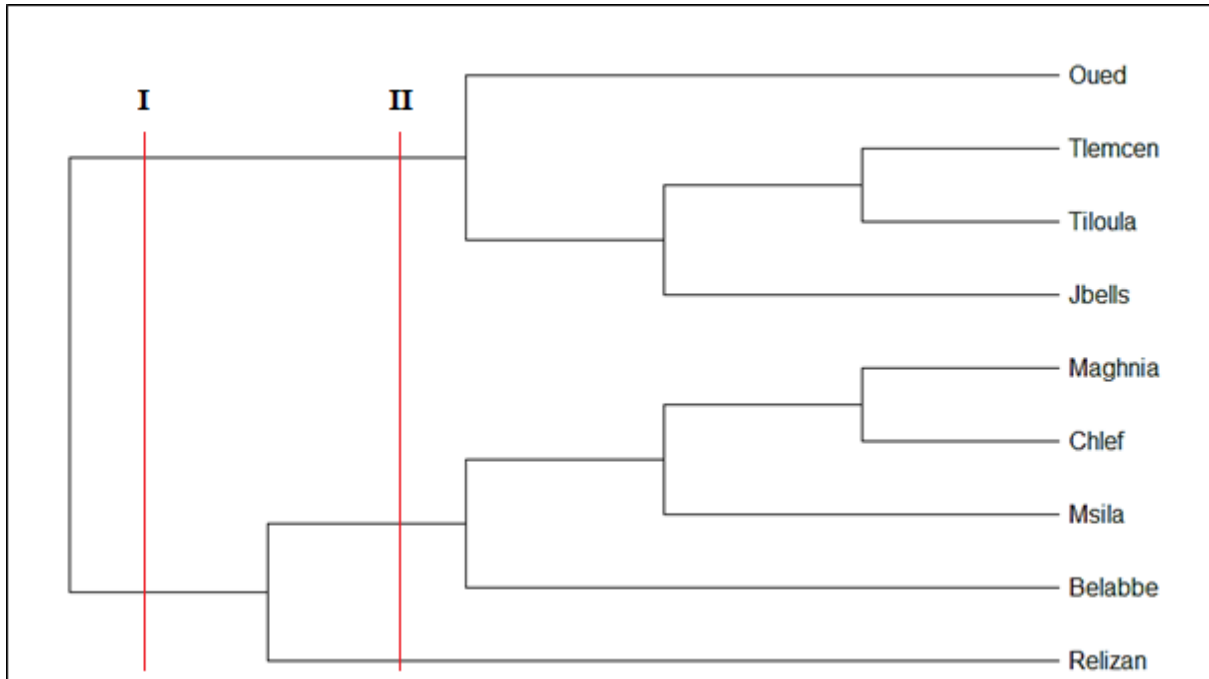


Fig20 : Dendrogramme des Deux Configuration.

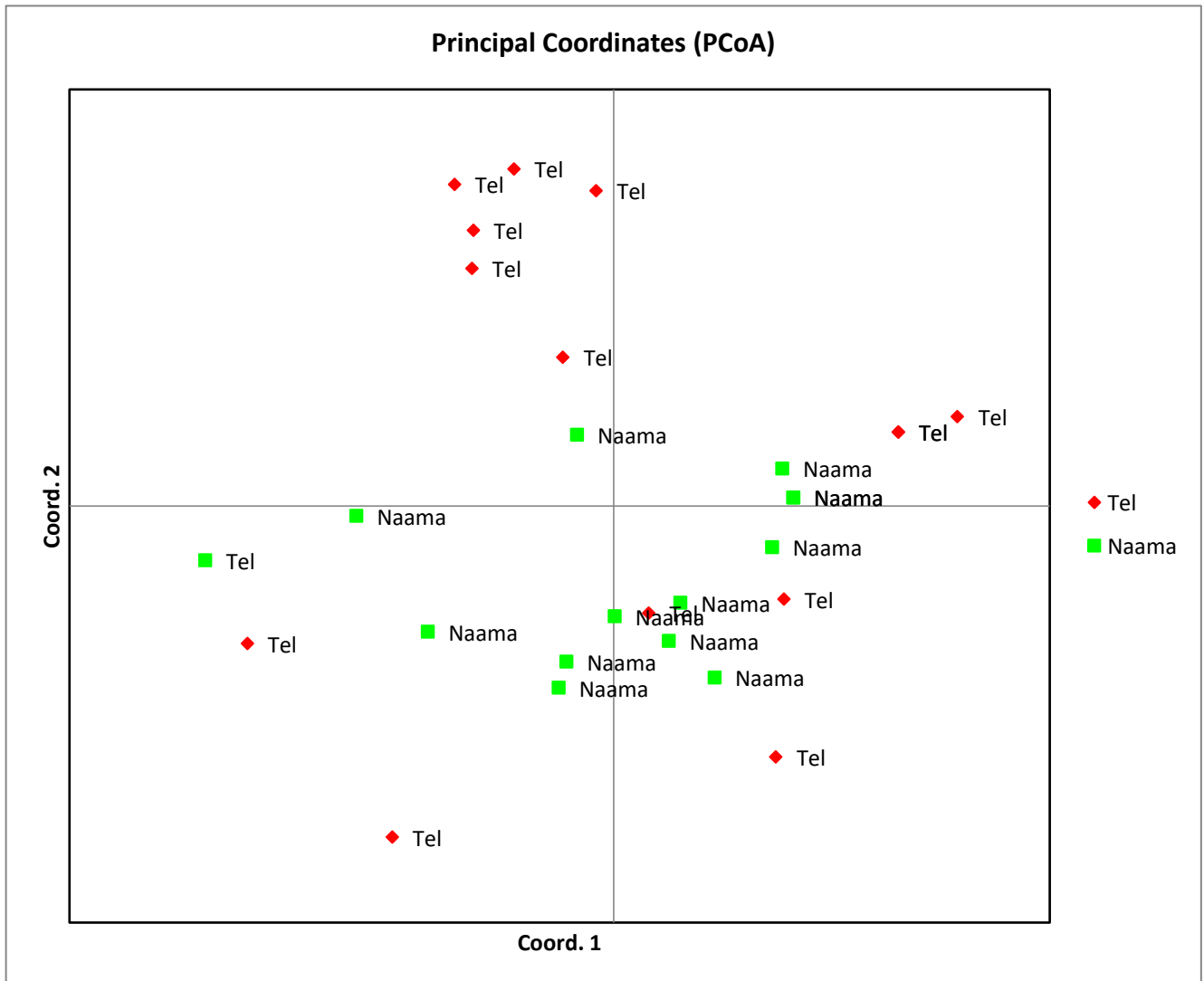
Dendrogramme des deux configurations, I avec une séparation de deux clusters Majeurs et II avec une séparation de deux clusters mineurs.

Clusters Secondaire (Configuration II) :

La configuration II garde presque la même séparation mais uniquement propose Relizane autant que population isolée ou distingué par rapport au deuxième groupe de la configuration précédente.

Analyse Multivariée (PCoA) :

Cette analyse réfère le terme anglais *Principale Coordinate es analysis*, c'est une méthode multivariée inspiré de l'ACP (*Analyse en Composantes Principale*) mais conditionné pour les données moléculaires.



La fonction de la PCoA regroupe 44.53 d'inertie totale dans les deux axes, le premier Axe (Coord. 1 affiche 24.53%) et le deuxième axe (Coord. 2 représente 20% d'inertie).

Selon le model multivarié, deux critères majeurs doivent être inclus lors de l'interprétation des résultats, le premier critère et l'hétérogénéité des observations (points de nuages très dispersé) ce qui indique la présence des populations marginales. Le deuxième critère déclare une notion de groupes de population dont il est clair d'après le graphe la présence de deux à trois groupes de populations, l'un est contrôlé par l'axe des « X » soit sur coté négative ou positive de la fonction et la majorité des points représenté par ces groupes sont de nature Aride (Zone de Naama) alors que l'axe des « Y » contrôle la distinction entre les populations de Sud (Naama) et les populations du Nord (Tell) Avec quelques exceptions.



CONCLUSION

CONCLUSION

La culture du caroubier joue un rôle très important dans la structure économique et sociale des régions rurales des pays méditerranéens, grâce à ses fruits qui sont utilisés dans l'industrie alimentaire, plus la production du bois dense et durable. En outre, l'espèce est utilisée pour la lutte contre l'érosion des sols grâce à son système racinaire profond et étendu qui aide à stabiliser les sols.

En Algérie, le caroubier reste très négligé et n'a pas eu la place qu'il mérite dans les programmes de reboisement malgré les différentes études qui ont montrés que cette espèce agro-sylvo-pastorale est très intéressante aussi bien du point de vue économique qu'écologique.

Notre étude a été réalisée dans le but de comprendre la structure génétique des populations du caroubier, la distance génétique entre les individus et les populations, et caractériser la variabilité génétique globale de l'espèce. Ces informations peuvent être utilisées pour la conservation et la gestion des ressources génétiques du *C. siliqua*, ainsi que pour les programmes de sélection et d'amélioration génétique dans les deux régions Naâma et Tlemcen.

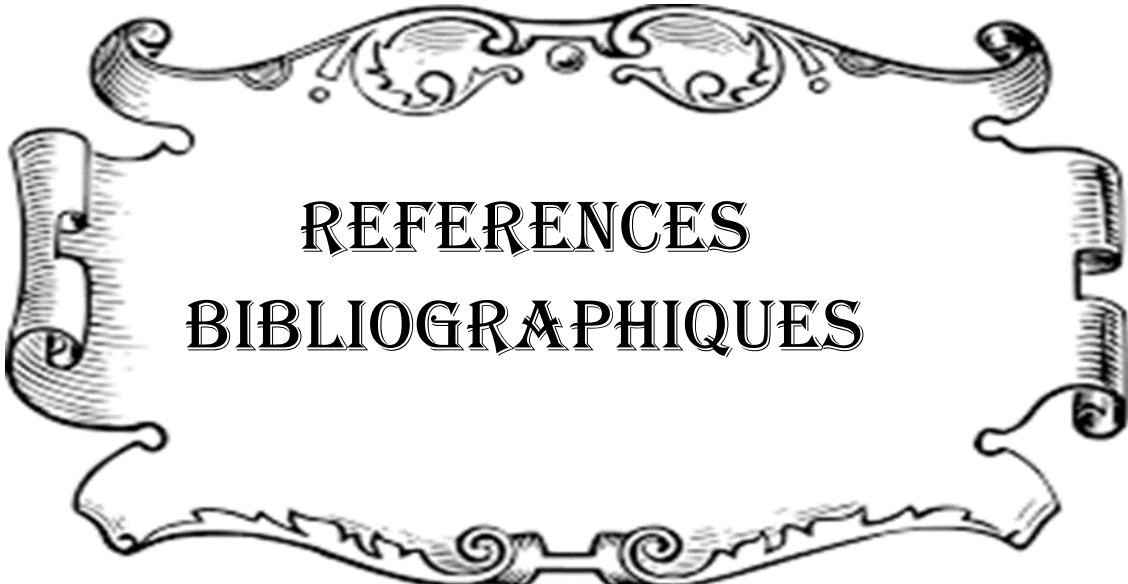
L'outil moléculaire utilisé pour cette étude sont les SSRs qui permettent de mesurer et caractériser plusieurs paramètres importants, tels que l'hétérozygotie, le nombre d'allèles, la structure de la population et la distance génétique entre les individus ou les populations.

Les résultats de l'étude ont révélé une valeur d'hétérozygotie en moyenne de 0.48 avec un minima de 0.39 pour le marqueur Cs-98 et un maxima de 0.86 pour le marqueur Cs-187. Le nombre d'allèles révélé par marqueur varie entre 1 et 6 avec une moyenne de 3.6 dont les valeurs les plus faibles sont marqué de 1 et 3 respectivement pour Cs-249, Cs-98 et Cs-187 Alors que la valeur supérieure et de 6 marquée pour le C-10. Ce dernier marqueur est le plus robuste pour étudier les populations de Caroubier car il est très informatif avec un nombre d'allèles très supérieur (égale à 6).

L'analyse des fréquences alléliques par les cinq marqueurs moléculaires propose des distributions hétérogènes principalement chez les SSR's : Cs-187, C-10 et C-31. Enfin, La CAH a révélé un minimum de deux clusters majeurs subdivisé en trois sous clusters mineurs. Par ailleurs, le résultat de l'indice de Nei a révélé une amplitude de dissimilarité très importante entre les individus de *C. siliqua*, allant de 0.412 jusqu'à 0.517 ce qui reflète la présence d'un potentiel génétique très intéressant chez les accessions de caroubier étudiées. Ce potentiel génétique pourrait être utilisé dans les programmes d'amélioration génétique de l'espèce afin de répondre aux attentes des agriculteurs et agro-industriels.

CONCLUSION

Cependant, malgré cette diversité génétique élevée, nous avons également observé une certaine structuration génétique entre les populations, ce qui peut être attribué à la sélection naturelle et à la fragmentation de l'habitat. Ainsi, des mesures de conservation sont nécessaires pour préserver la diversité génétique du caroubier dans les deux régions.

A decorative border made of stylized scrollwork and flourishes, framing the central text. The border is composed of several curved, overlapping elements that create a rectangular frame with ornate corners and midpoints.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aafi A. (1996).** « Note technique sur la caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). Centre Nationale de la recherche Forestière. Rabat (Maroc). 10p.
- Ait Chitt M., Belmir H. & Lazrak A., 2007.** Production de plants sélectionnés et greffés de
- Albanell E., 1990.** Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. Tesis doctoral. Barcelona. España.
- Avallone R., Plessi M., Baraldi M. & Monzani A., 1997.** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, fat, carbohydrates, and tannins. *J. Food Com. Anal.* 10: 166-172.
- Battle I. & Tous J., 1997.** Carobtree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/ International Plant Resources Institute. Rome. Italy.
- Battle I. & Tous J., 1997.** Carobtree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/ International Plant Resources Institute. Rome. Italy.
- Battle I. & Tous J., 1988.** Lineas de investigación sobre el algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.) en el IRTA, Cataluña (España). In: Brito De Carvalho JH, ed. *I Encorto Linhas de Investigaçao de Alfarroba*. AIDA, Oeiras: AIDA.
- Baum N. (1989).** «Arbres et arbustes de l’Egypte ancienne», pp. 354.
- Benamar R, 2020.** Etude comparative de la diversité floristique de trois stations (wilaya de Tlemcen). Mémoire Master en Ecologie. Univ de Tlemcen.
- Benmahioul B, Kaid-Harche M et Daguin F. 2011.** Le caroubier une espèce méditerranéenne à usage multiples.
- Benmahioul B, Daguin F, Kaid Harche M. 1 January 2011** Association Forêt Méditerranéenne, 14 rue Louis Astouin, 13002 MARSEILLE, France/ Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples.
- Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., AKSU, M., AND PEKMEZCI, M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chemistry*, 100(4), 1453–1455, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.11.037.
- Can carob powder be used with oral rehydration solution for the treatment of acute diarrhea. *Médecine Tropicale*, 60, 125– 128.
- Caroubier. Transfert de technologie en agriculture. Maroc. N° 153.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boublenza I., El Haitoum A., Ghezlaoui S., Mahdad MY., Vasai F., Chemat F 2019.** Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds.
- Brenugat V., Fridlansky F., Marie F., Mitteau M. (2003).** *Le patrimoine génétique : la diversité et la ressource = Genetic inheritance : the diversity and the resource.* Paris (FRA) ; Paris : BRG ; Ministère de la Jeunesse, de l'Education Nationale et de la Recherche.
- Carlos Romero, Andrzej Pedryc, Verónica Muñoz, Gerardo Llácer, and María Luisa Badenes. (2003).** Article Genetic diversity of different apricot geographical groups determined by SSR markers.
- Dakia, et al, e. (2008).** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment.
- Evreinoff VA., 1947.** Agriculture tropicale Le Caroubier ou *Ceratonia siliqua* L. Rev. Bot.
- Fadel, F., Chebli, B., Tahrouch, S., Benddou, A., & Hatimi, A. (2011).** Activité antifongique d'extraits de *Ceratonia siliqua* sur la croissance in vitro de *penicillium digitatum*. Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux, 150, 19-30.
- Gaouar N., 2011.** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Thèse de Magistère. Université de Tlemcen.
- Gharnit N., 2003 :** Caractérisations et essai de régénération in vivo du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) Originaire de la province de chefchaou en (Nord-ouest du Maroc). Thèse de Doctorat en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger.
- Johnson, et al, e. (1988).** Application of LBC in food and pet food systems. Dans Bruun, okkala, Neukom, P. Fitoanf, & A. Mulet (Éds.), in Proceedings of the II Internationa Carob Symposium (pp. 577-587). Valencia, Spain.
- Kocherane R 2021 -** Caractérisation morpho-écologique et phytochimique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) En Algérie – these de doctorat en sciences agronomiques univ Djelfa.
- Liu K, Muse SV. (2005).** Power Marker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. Bioinformatics. 1: 21(9) : 2128-9. Epub 2005 Feb 10. MADR.2018. Ministère de l'Agriculture et Développement Rural.
- Lizardo, R., Canellas, J., Mas, F., Torrallardona, D., et Brufau, J. (2002).** L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets. Journées de la recherche porcine, 34, 97-101.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Louca, A., And Papas, A. (1973).** The effect of different proportions of carob pod meal in the diet on the performance of calves and goats. *Animal Science*, 17, 139–146, doi: 10.1017/S0003356100016871.
- Mahdad M Y et Gaouar S B S. 2016.** Le caroubier (*Ceratonia Siliqua*) dans le nord-ouest de l'Algérie. Livre.
- Mahdad M Y et Gaouar S B S. 2023.** Origin, distribution and domestication of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). *Turkish Journal of Botany*.
- Mahdad M Y. 2013.** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) Dans le Nord-ouest de l'Algérie. Mémoire Magister en agronome. Univ de Tlemcen.
- Mahdad M Y. 2022.** Caractérisation par l'outil morphométrique, physico-chimique et moléculaire de la diversité génétique chez *Ceratonia siliqua* L. : identification et sélection des premiers cultivars de Caroubier en Algérie. Thèse doctorale en agronomie. Univ de Tlemcen.
- Makris D.P. & Kefalas P., 2004.** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidant. *Food Technol. Biotechnol.* 42: 105-108.
- Mekki, A, 2015.** Contribution à l'étude écologique de la region de Naama. Mémoire magister en Ecologie Animale. Univ de Tlemcen.
- Melgarejo P. & Salazar D.M., 2003.** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España.
- Mhirit O. & Et-Tobi M., 2002.** Les arbres hors forêt : le cas du Maroc. Archives de documents de la FAO.
- Mhirit O. & Et-Tobi M., 2002.** Les arbres hors forêt : le cas du Maroc. Archives de documents de la FAO.
- NAS. (1979).** Tropical legumes: resources for the future, pp. 109- 116. National Academy of Sciences, Washington DC. USA.
- Neukom. (1988).** Carob bean gum: properties and applications. (In: P. Fito, & A. Mulet, Éds.) Proceedings of the II International Carob Symposium.
- Nei M. and Saitou N. (1987).** The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. 4(4): 406-25.
- Owen, R. W., Haubner, R., Hull, W. E., Erben, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H., et Haber, B. (2003).** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre. *Food and Chemical Toxicology*, 41(12), 1727-1738.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Peakall, R. and Smouse, P. (2006).** Genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research. *Mol. Ecol. Notes.* 6: 288-295.
- Prajapati, S. K., Kaushik, P., Malik, A., et Vijay, V. K. (2013).** Phycoremediation coupled production of algal biomass, harvesting and anaerobic digestion : possibilities and challenges. *Biotechnology Advances,* 31(8), 1408-1425.
- Priolo A., Waghorn G.C., Lanza M., Biondi L. & Pennisi P., 2000.** Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. *J. Anim. Sci.* 78: 810-816.
- Rais S., Adnane Y, 2022.** Identification par caractérisation morpho-géométrique des folioles de populations males, femelles et hermaphrodites du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Algérie. Univ de Tlemcen.
- Rejeb M.N., 1994.** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans : Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris.
- Rejeb M.N., 1995.** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans : Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris.
- Rejeb M.N., Laffray D. & Louguet P., 1991.** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi arides, Groupe d'Etude de l'Arbre, Paris, France, pp. 417-426.
- Saghai-Marroof, M.A, Soliman, K.M, Jorgensen, R.A, Et Allard, R. W. (1984).** Ribosomal DNA spacer-length polymorphism Mendelian inheritance, chromosomal location and population dynamics. *PNAS,* 8.
- SAHLE, M., COLEON, J., AND HAAS, C. (1992).** Carob pod (*Ceratonia siliqua*) meal in geese diets. *British Poultry Science,* 33, 531–541.
- Sánchez S., Lozano L.J., Godinez C., Juan D., Pérez A. et Hernández F.J.(2010).**Carob pod as a feedstock for the production of bioethanol in Mediterranean areas. *Applied Energy* 87: 3417-3424.
- Sbay H. & Abrouch M., 2006.** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier. Centre de Recherche Forestière Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification. Rabat, 1-9.
- Sbay, H., 2008.** Le caroubier au Maroc, Un arbre d'avenir. CRF Collection Maroc Nature. 50 p. *Scientia Horticulturae,* 256: 108537. DOI:10.1016/j.scienta.2019.05.064.

REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

SERAIRI-BEJI, R., MEKKI-ZOUITEN, L., TEKAYA-MANOUBI, L., LOUESLATI, M.H., GUEMIRA, F., AND BEN MANSOUR, A.B. (2000).

Yeh, F. C. and Boyle, T. J. B. (1997). Population genetic analysis of co-dominant and dominant markers and quantitative traits. *Belg. J. Bot.* 129: 157.

Zouhair, O. (1996). Le caroubier : situation actuelle et perspectives d'avenir. Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp. 22.

ملخص:

التنوع الجيني لشجرة الخروب: شجرة الخروب هي نوع زراعي-سيلفو-رعوي ذات أهمية اجتماعية واقتصادية وبيئية كبيرة. شهدت زراعة نباتات الشجر في الجزائر تدهورًا منذ سنوات عديدة، ويرجع ذلك أساسًا إلى تأثير العوامل البشرية. ومع ذلك، أدى هذا الانحدار إلى ارتفاع أسعار الخروب، مما جعل هذه المضاربة مربحة للغاية للمزارعين والصناعيين الزراعيين. ومع هذا الانخفاض المسجل إذا لم يتم اتخاذ أي إجراء، وبالتالي من شأنه أن يتسبب حتماً في ضرر كبير للتنوع الجيني في الأنواع، ومن هنا الهدف من هذه الدراسة، وهو تحديد مجموعات البنية العامة لأشجار الخروب من اثنين المناطق، تلمسان ونعمة، من خلال تقدير المسافة الجينية داخل وبين السكان باستخدام الأداة الجزيئية SSRs (تكرار التسلسل الفردي). بالإضافة إلى ذلك، ستوفر نتيجة اتساع الاختلاف المطلوب بين أفراد *C. siliqua* نظرة عامة على الإمكانات الجينية الموجودة في هذه الأشجار. كشفت نتائج الدراسة عن متوسط قيمة تغايرية الزيغوت 0.48 بحد أدنى 0.39 وحد أقصى 0.86. يتراوح عدد الأليلات التي تم الكشف عنها بواسطة العلامة بين 1 و 6 بمتوسط 3.6 والقيمة العليا هي 6. يشير تحليل ترددات الأليل بواسطة العلامات الجزيئية الخمسة إلى توزيعات غير متجانسة بشكل رئيسي في SSR: Cs-187 و C-10 و C-31. كشفت HAC عن مجموعتين رئيسيتين على الأقل مقسمة إلى ثلاث مجموعات فرعية ثانوية. كشفت نتيجة مؤشر Nei عن سعة كبيرة جداً من الاختلاف بين أفراد *C. siliqua*، تتراوح من 0.412 إلى 0.517، مما يعكس وجود إمكانات وراثية مثيرة للاهتمام للغاية في مدخلات الخروب التي تمت دراستها. يمكن استخدام هذه الإمكانات الوراثية في برامج التحسين الوراثي للأنواع من أجل تلبية توقعات المزارعين والصناعيين الزراعيين.

الكلمات المفتاحية: شجرة الخروب، النعامة، تلمسان، المسافة الجينية، التنوع الجيني، تقنية SSR.

Abstract :

Carob tree genetic diversity :

The carob tree is an agro-sylvo-pastoral species with major socio-economic and ecological implications. Ceratoniculture in Algeria has been declining for many years, mainly due to anthropogenic factors. Nevertheless, this regression has led to a rise in carob prices, making this speculation very lucrative for farmers and agro-industrialists. However, this decline in *C. siliqua*, if left unchecked, could inevitably have a detrimental effect on the species' genetic diversity, hence the aim of this study, which is to determine the general structure of carob groups in two regions, Tlemcen and Naâma, by estimating intra- and inter-population genetic distance using molecular tools such as SSRs (Single Sequence Repeats). In addition, the result of the amplitude of dissimilarity sought between *C. siliqua* individuals will provide an insight into the genetic potential present in these trees.

The results of the study revealed an average heterozygosity value of 0.48, with a minimum of 0.39 and a maximum of 0.86. The number of alleles revealed per marker ranged from 1 to 6, with an average of 3.6 and the highest value of 6. Analysis of allelic frequencies by the five molecular markers revealed heterogeneous distributions, mainly in SSR's: Cs-187, C-10 and C-31. CAH revealed a minimum of two major clusters subdivided into three minor sub-clusters. The result of the Nei index revealed a very high amplitude of dissimilarity between *C. siliqua* individuals, ranging from 0.412 to 0.517, reflecting the presence of very interesting genetic potential in the carob accessions studied. This genetic potential could be used in the species' genetic improvement programs to meet the expectations of farmers and agro-industrialists.

Key words: carob tree, Naama, Tlemcen, genetic distance, genetic diversity, SSR microsatellites.

Résumé :

La diversité génétique du caroubier :

Le caroubier est une espèce agro-sylvo-pastorale présentant des enjeux socio-économiques et écologiques importants. Depuis de nombreuses années, la cératoniculture en Algérie est en régression, principalement à cause de l'effet des facteurs anthropiques. Néanmoins, cette régression a conduit à la hausse des prix du caroubier, rendant cette spéculation très lucrative pour les agriculteurs et les agro-industriels. Toutefois, ce déclin enregistré chez *C. siliqua*, risqueraient si aucune action n'est menée, de porter inéluctablement un grand préjudice à la diversité génétique chez l'espèce d'où l'objectif de cette étude, qui est de déterminer la structure générale des groupes de caroubier de deux régions, Tlemcen et Naâma via l'estimation de la distance génétique intra et inter-populationnelles en utilisant l'outil moléculaire de type SSRs (Single Sequence Repeats). Par ailleurs, le résultat de l'amplitude de la dissimilarité recherchée entre les individus de *C. siliqua* permettra d'avoir un aperçu sur le potentiel génétique présent chez ces arbres.

Les résultats de l'étude ont révélé une valeur d'hétérozygotie en moyenne de 0.48 avec un minima de 0.39 et maxima de 0.86. Le nombre d'allèles révélé par marqueur varie entre 1 et 6 avec une moyenne de 3.6 et la valeur supérieure et de 6. L'analyse des fréquences alléliques par les cinq marqueurs moléculaires propose des distributions hétérogènes principalement chez les SSR's : Cs-187, C-10 et C-31. La CAH a révélé un minimum de deux clusters majeurs subdivisé en trois sous clusters mineurs. Le résultat de l'indice de Nei a révélé une amplitude de dissimilarité très importante entre les individus de *C. siliqua*, allant de 0.412 jusqu'à 0.517 ce qui reflète la présence d'un potentiel génétique très intéressant chez les accessions de caroubier étudiées. Ce potentiel génétique pourrait être utilisé dans les programmes d'amélioration génétique de l'espèce afin de répondre aux attentes des agriculteurs et agro-industriels.

Mot clés : Caroubier, Naâma, Tlemcen, distance génétique, diversité génétique, microsatellites SSR

