

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

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 de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

Présenté par :

Sahari Abdelkader

Bensmain Abdelwahab

*En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER en Agronomie*

Option : Production végétale

## Thème

**Inventaire variétale du caroubier *Ceratonia siliqua*. (Fabacées)  
dans la région du Tlemcen: comparaison phrénologique**

Soutenu publiquement, le 08 /07 / 2021, devant le jury composé de :

Président	El Haitoum Ahmed	M.C.A	Université de Tlemcen
Encadrant	Bendi-Djelloul S.B.E	Professeur	Université de Tlemcen
Examineur	Barka Fatiha	M.C.A	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

## *Remerciement*

Après avoir achevé mon travail et élaboré ma thèse de recherche sur le Caroubier dans tout ses états, je profite de cette occasion pour exprimer toute ma gratitude et mes remerciements et ma reconnaissance pour notre **Dieu** qui nous a éclairé la voie et nous a guidé dans notre chemin ensuite, je tien a remercier monsieur **Bahaeddine Bendi-Djelloul-Ghezlaoui** directeur encadreur de mon mémoire, qui ma laissé une part d'autonomie dans le travail tout en m'aiguillant sur des pistes de réflexion riches en recherches .

Je remercie également mes professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils mon prodigué tout au long des années passées à la faculté de biologie végétale.,

Je remercie profondément **Barka Fatiha**, pour sa participation à la correction du manuscrit.

Je dois mes remerciement aussi pour **Mr El haitoum. A.**, pour avoir accepté de présider le jury.

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mes très chers parents mon chère père BOUNOUAR qui ma aider dans ma thèse avec ses brillantes idées et ma mère*

*Mes adorables sœurs*

*A mes amis Nassim, Ahmed, Younes, Ibrahim, Zaki et a tous ceux dont l'amitié sincère m'est agréable ....*

*Sans oublier mes cousins Youcef, Ismail, Mouhamed, Yahya et Walid*

*A toute LA famille SAHARI et MEDJAOUI*

*A tous mes professeurs,*

*SAHARI Abdelkader*

## *Dédicace*

*À ma mère, À mon père,  
À mon frère et ma sœur,  
À mes grands-parents,  
À toute ma grande famille et mes amis*

*BENSMAIN Abdelwaheb*

## Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*.) est une espèce agro-sylvo-pastorale possédant d'énormes intérêts socio-économiques et écologiques. Avec sa capacité à développer différentes méthodes d'adaptation à l'irrégularité des précipitations du climat méditerranéen en exception et stress hydrique, cet arbre méditerranéen s'installe favorablement dans les zones semi-arides et arides.

Cette investigation a été effectuée afin d'étudier et monter la richesse de notre région (Tlemcen, Remchi, Bénisaf, Sidi Belabes) en variétés de caroube. On a étudié les gousses de caroube phénotypiquement et morphologiquement.

Notre classification se base sur trois échantillons pris dans trois régions autour du wilaya de Tlemcen (Bénisaf, Remchi et Sidi Belabes). on a comparé entre les échantillons selon six critères: la largeur de la gousse, le poids de la gousse, l'épaisseur, la longueur de la gousse, nombre de graines par gousse, le poids des graines par gousse et leurs couleurs. les résultats obtenus sont classés sur un tableau pour visualiser les différences entre les échantillons afin de faire la distinction entre eux. Ces variations peuvent être attribuées au génotype de la plante, l'origine géographique, les conditions climatiques et les méthodes de récolte et de stockage. Malgré les conditions sanitaires défavorables (covid-19) qui nous ont empêchés d'intégrer plusieurs établissements de recherches et le court temps d'études que nous l'avons en mains ( les gousses sont en vert on ne peut pas étudier la fleur et les gousses mûres) nous avons classé trois variétés selon les critères cités.

Selon les études qui disent que, plus l'épaisseur est élevée, plus le taux de pulpe et de noyau est élevé et par conséquent les gousses ont une meilleure qualité, basée sur cette règle, on peut dire que la variété de Remchi est de bonne qualité par rapport aux deux autres.

**mots clés:** variétés, phénotypique, les gousses, graines,

## ملخص

إن شجرة الخروب من الأشجار ذات الاستخدامات الزراعية ورعوية ذات مصالح اجتماعية واقتصادية وبيئية هائلة. ومع قدرتها على تطوير أساليب مختلفة للتكيف مع عدم انتظام هطول الأمطار في مناخ البحر الأبيض المتوسط بالأخص الجفاف وقلة الماء، فإن شجرة البحر الأبيض المتوسط هذه تستقر بشكل جيد في المناطق شبه القاحلة والقاحلة.

ويستند تصنيفنا إلى ثلاث عينات أخذت في ثلاث مناطق حول ولاية تلمسان (تلمسان، الرمشي، وبني صاف، وسيدي بلعباس). وتُقارن العينات وفقاً لستة معايير: عرض الحظيرة، ووزن القرون، وسمكها، وطول القرون، وعدد البذور لكل القرون، ووزن البذور لكل القرون وألوانها. وتصنف النتائج المتحصل عليها في جدول لملاحظة الاختلافات بين العينات من أجل التمييز بينها. يمكن أن تعزى هذه الاختلافات إلى النموذج الجيني النباتي، والأصل الجغرافي، والظروف المناخية، وطرق الحصاد والتخزين. وعلى الرغم من الظروف الصحية المعاكسة التي منعتنا من دمج العديد من المؤسسات البحثية. وعلى الرغم من الظروف الصحية غير المواتية (covid-19) التي منعتنا من دمج العديد من المؤسسات البحثية والوقت القصير من الدراسات التي أجريناها (لا نستطيع أن ندرس الزهرة والحظيرة الناضجة) فقد صنفتنا ثلاثة أصناف وفقاً للمعايير المذكورة.

طبقاً لدراسات، فقد لاحظوا أنه كلما ارتفع سمك اللب والمضمون الجوهري، وبالتالي فإن القرون تتمتع بنوعية أفضل استناداً إلى هذه القاعدة. يمكننا أن نقول أن تنوع الرمشي هو من نوعية جيدة مقارنة مع اثنين آخرين.

# - Table des matières -

---

## Table des matières

<i>Remerciement</i> .....	2
<i>Dédicace</i> .....	3
<i>Dédicace</i> .....	4
- Table des matières -.....	7
- Tables des figures - .....	9
- Table des tableaux -.....	9
<i>Liste des abréviations</i> .....	11
Chapitre 1 : Analyse bibliographique.....	10
I.1. Introduction .....	11
I.2. Classification .....	12
I.3. Origine de caroubier.....	12
I.4. Distribution géographique du caroubier dans le monde.....	13
I.4.1. La distribution du caroubier en Algérie.....	16
I.5. Aire de production en Algérie .....	17
I.6. Particularités du caroubier.....	19
I.7. Description botanique.....	19
I.7.1. Les Racines.....	20
I.7.2. Le Tronc .....	21
I.7.3. Les Branches .....	22
I.7.4. Les Feuilles.....	24
I.7.5. Les Fleurs .....	25
I.7.6. Les Fruits.....	26
I.7.7. Les Graines.....	27
Chapitre 2 : Milieu physique .....	29
II.1. Situation géographique de la willaya de Tlemcen :.....	30
II.2. Situation géographique de la commune de Tlemcen.....	30
II.3. Situation géographique de périmètre d'étude.....	32
II.4. Taxonomie.....	33
II.5. Facteurs édaphiques .....	34

II.6.	Facteurs climatiques .....	34
II.6.1.	Le climat méditerranéen .....	34
II.6.2.	Les précipitations.....	34
II.6.3.	Température.....	37
II.6.4.	Le vent.....	39
II.7.	Intérêt et utilisation de caroubier .....	41
II.7.1.	L'utilité du caroubier pour l'environnement.....	41
II.7.2.	Les vertus médicinales du caroubier .....	42
Chapitre 3 :	Matériels et méthodes .....	44
III.1.	Inventaire variétale du caroubier .....	45
III.1.1.	Étude des variations phénotypique des gousses et des feuilles de caroubier.....	45
III.1.2.	Variabilité du caroubier dans le monde .....	45
III.1.3.	Échantillonnage des gousses de caroubier.....	47
III.1.4.	Variabilité des gousses et feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> de l'Ouest algérien.....	47
III.2.	Résultats et Discussion .....	49
III.2.1.	Caractérisation morphologique des gousses.....	49
III.2.2.	Discussion .....	54
III.3.	Conclusion Générale .....	55
Références bibliographiques.....		58

- Tables des figures -

---

Figure 1 : Arbre du caroubier a Remchi (photo originale de Sahari AEK 2021).....	13
Figure 2 : Aire de répartition du caroubier (Batlle et Tous, 1997).....	14
Figure 3 : Aire de répartition du caroubier en région méditerranéenne (Rejeb, 1994).....	14
Figure 4 : Répartition du caroubier en Algérie (A.N.R.H, 2004).....	17
Figure 5 : Production de la caroube en Algérie (2009) .....	18
Figure 6 : Racines de caroubier.....	21
Figure 7 : tronc du caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021) .....	22
Figure 8 : Branches de caroubier(photo originale de Sahari AEK 2021).....	23
Figure 9 : feuilles de caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021).....	24
Figure 10 : Fleurs de caroubier.....	26
Figure 11 : Les fruits de caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021) .....	27
Figure 12 : Graine du caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021).....	28
Figure13 : Situation géographique de la willaya de Tlemcen	31
Figure12 : La relation entre Précipitation/Altitudes	36
Figure 13 : Régime annuel des précipitations	37
Figure 14 : Comparaison entre les diagrammes ombro-thermiques de Tlemcen et Zénata.	38
Figure 19 : Instrument de mesure:(photo originale de Sahari AEK 2021)	45
Figure 20 : Feuilles caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021)	48

- Table des tableaux -

---

Tableau 1 : Superficie (ha) du caroubier dans les pays producteurs, (FAOSTAT, 2008 modifié) .....	15
Tableau 2 : Production mondiale de Caroubes (tonnes) (FAOSTAT 2008 modifié).....	15
Tableau 3 : Production mondiale de Caroubes (tonnes)(FAOSTAT 2017) .....	16
Tableau 4 : Surface cultivée production et rendement de la caroube en Algérie .....	18
Tableau 5 : Précipitations mensuelles et annuelles wilaya de Tlemcen .....	35

Tableau 6 : Cultivars du caroubier dans le monde .....	46
Tableau 7 : Caractérisation morphologique des gousses (lang/larg/ep) .....	49
Tableau 8 : Caractérisation morphologique des gousses(pg/nbg/pgr).....	49

## Liste des abréviations

Ha : hectare

PH :Potentiel hydrogène.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

°C: Degré Celsius

Cm: centimètre

Cm2:Centimètre carré

Kg: kilogramme

LNGS: Longueur de la gousse

LRGS: Largeur de la gousse

Mg: Milligramme

Ml: Millilitre

Mm: Millimètre

MS: Matière sèche

TRE: Teneur relative en eau

UV: Ultra violet

# Chapitre 1 : Analyse bibliographique

## I.1. Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*), qui appartient à la famille des légumineuses, (Ait Chitt et al. 2007). est un arbre largement cultivé dans les pays méditerranéens, il détient une grande capacité d'adaptation aux contraintes hydriques, tout en en présentant un grand bénéfice à la fois économique, écologique et ornemental. Depuis des millénaires, son fruit, la caroube a été utilisée pour traiter les maladies, alors que son écorce et ses feuilles ont été employés dans la médecine traditionnelle comme anti diarrhéique et pour le traitement de la gastro-entérite chez les bébés. La caroube est utilisée par l'industrie agroalimentaire pour l'alimentation humaine et l'alimentation animale. L'arbre peut également être planté pour limiter la propagation des incendies, ou dans un but ornemental dans les jardins et les bordures des routes. En fin de compte, le caroubier reste considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus adaptés du bassin méditerranéen puisque presque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont encore utilisables.

La caroube est une gousse constituée par une pulpe enveloppant les graines. La pulpe est très riche en sucre, plus que la canne à sucre et la betterave sucrière. Ainsi, elle est utilisée dans la préparation de jus sucrés, du chocolat et comme substitut au cacao. En plus des glucides, la pulpe est riche en fibres alimentaires et en protéines, mais aussi en tanins et en polyphénols, ce qui confère à la caroube une activité antioxydant. Toutefois, c'est la graine qui reste la plus utilisée industriellement en Europe pour préparer la gomme de caroube, un agent de texture (E410) apprécié comme additif par l'industrie agroalimentaire, en particulier dans les crèmes glacées. Au Liban, la pulpe est souvent utilisée pour préparer la mélasse de caroube ou Dibs el Kharroube, un substitut au sucre qui présente l'aspect d'un sirop brun épais. La fabrication de cette mélasse suit un procédé d'extraction liquide/solide à l'eau, suivi par une concentration par évaporation jusqu'à l'obtention d'un sirop brun visqueux. Il s'agit d'un procédé traditionnel simple qui n'a jamais été étudiée dans la littérature, ni été rigoureusement optimisé. L'extraction génère un déchet solide qui est, en général, utilisé pour l'alimentation animale.

Le caroubier est connu comme l'un des arbres fruitiers et forestiers qui présente la plus grande capacité de valorisation puisque toutes les parties de cette plante sont utilisables dans plusieurs applications industriels (Haddarah 2013). Le caroubier est cultivé dans plusieurs régions du monde mais peu d'études sont disponibles sur les voies de valorisation et sur les propriétés fonctionnelles et structurales des graines et des gousses. Ainsi, dans le cadre d'une

démarche qui vise à promouvoir et contribuer à une meilleure exploitation et gestion de cette ressource renouvelable(Haddarah 2013).

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une Caesalpiniaceae arborescente, spontanée ou cultivée, et de grand impact économique ; elle tolère bien la sécheresse expliquant sa grande répartition dans les régions arides et semi-arides du climat méditerranéen

## **I.2. Classification**

- Règne : plantae
- Sous-règne : tracheobionta
- Division : magnoliophyta
- Classe : magnoliosida
- Sous-classe : rosidae
- Ordre : rosales
- Famille : légumineuses
- Sous-famille : Caesalpinioideae
- Sous-tribu : ceratoniinae
- Genre : *Ceratonia*

## **I.3. Origine de caroubier**

Le mot « caroubier » descend de l'arabe marocain el kharroube, tasliroua ou tikida en berbère, caroubier en français et carobtree en anglais, algarrobo en espagnol, carrubo en italien, alfarrobeira en portugais, karubenbaum en allemand, charaoupi en grec et charnup en turc. Il est aussi appelé pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Égypte ou fève de Pythagore (Batlle et Tous, 1997). Il est connu sous le nom scientifique de *Ceratonia siliqua* L. *Ceratonia*, du grec *keratia*, désigne une petite corne et le nom d'espèce *siliqua*, désigne en latin une siliqua ou gousse. Le genre *Ceratonia*, appartient à la famille des légumineuses, ordre des Rosales, sous famille des Caesalpinioideae.

Le lieu d'origine du caroubier demeure incertain. (Schweinfurth 1894) a insinué qu'il est originaire du Sud de l'Arabie (Yémen). Cependant, (Zohary 1973) a considéré le caroubier comme originaire de la flore d'Indo Malaisie, groupé avec *Oléa*, *Laurus*, *Myrtus*. D'autres auteurs, comme (Vavilov 1951 et De Candolle 1983), ont rapporté qu'il serait natif de la région Est méditerranéenne (Turquie et Syrie). Le caroubier était connu dans le proche Orient et les

îles de la Méditerranée. En Egypte, les pharaons utilisaient la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIe siècle avant J.C).



**Figure 1 : Arbre du caroubier a Remchi (photo originale de Sahari AEK 2021)**

#### **I.4. Distribution géographique du caroubier dans le monde**

Le caroubier est domestiqué depuis le néolithique 4000 ans avant J.C, et sa culture extensive date au moins de 200 ans avant J.C (Batlle et al. 1997 ,Gharnit 2003 etberrougui 2007).Il était connu dans le proche Orient et les îles de la méditerranée. En Egypte les pharaons ont utilisé la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des mamies (XVIIesiècle avant J.C). Les Numides s'en servait pour l'alimentation des bêtes de valeur et, selon Gsell, il entrain dans la préparation de la nourriture humaine (Lavallée 1962). Au Moyen-âge, le caroubier donnait lieu à un commerce important entre les provinces du Midi et du Nord, les Etats Germaniques et la Grande-Bretagne. Son bois était employé dans l'ébénisterie de l'époque et son fruit servait à la préparation des confitures (Lavallée., 1962).

Pour certains auteurs le caroubier a été introduit très anciennement par les grecs, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce, en Italie, en Espagne et au Portugal (Rejeb, 1994). Il est également implanté dans plusieurs autres pays, ayant des régions à climat

méditerranéen comme l’Australie, l’Afrique du Sud, les États-Unis (notamment l’Arizona et la Californie du Sud), les Philippines et l’Iran (Evreinoff, 1947).

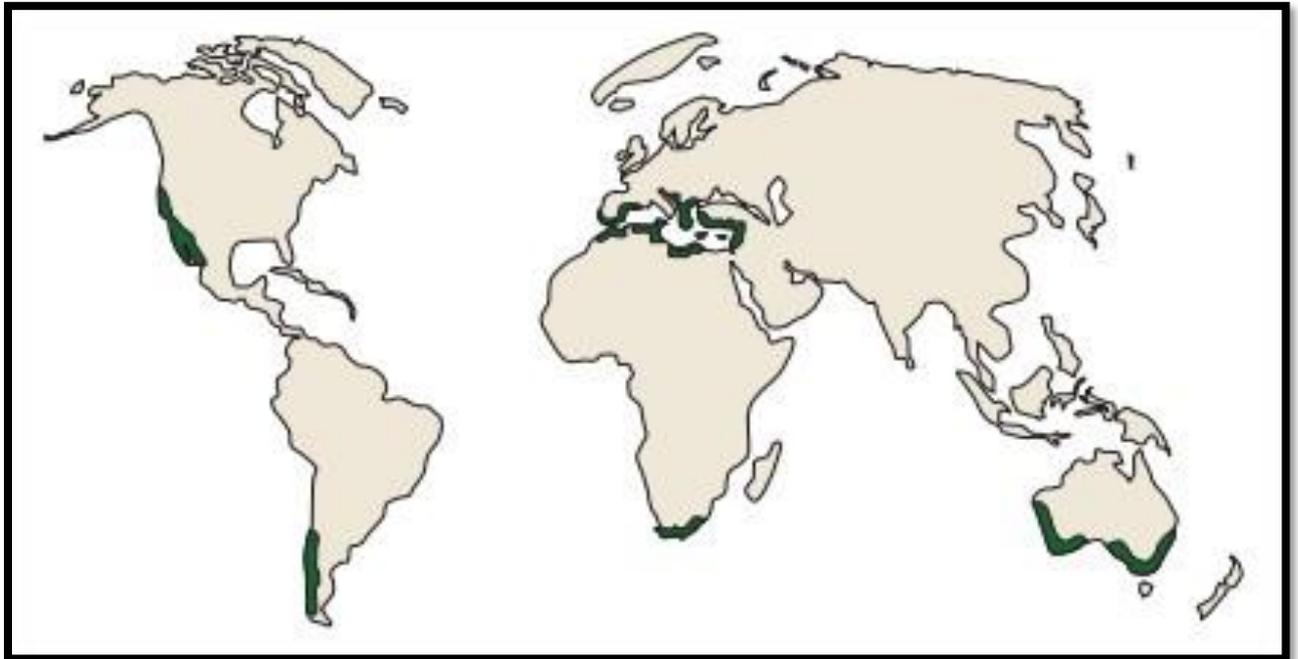


Figure 2 : Aire de répartition du caroubier (Batlle et Tous, 1997)

Le caroubier est aujourd’hui répandu dans tout le bassin méditerranéen. On le trouve à l’état naturel principalement dans les pays suivants : Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Égypte, et Chypre

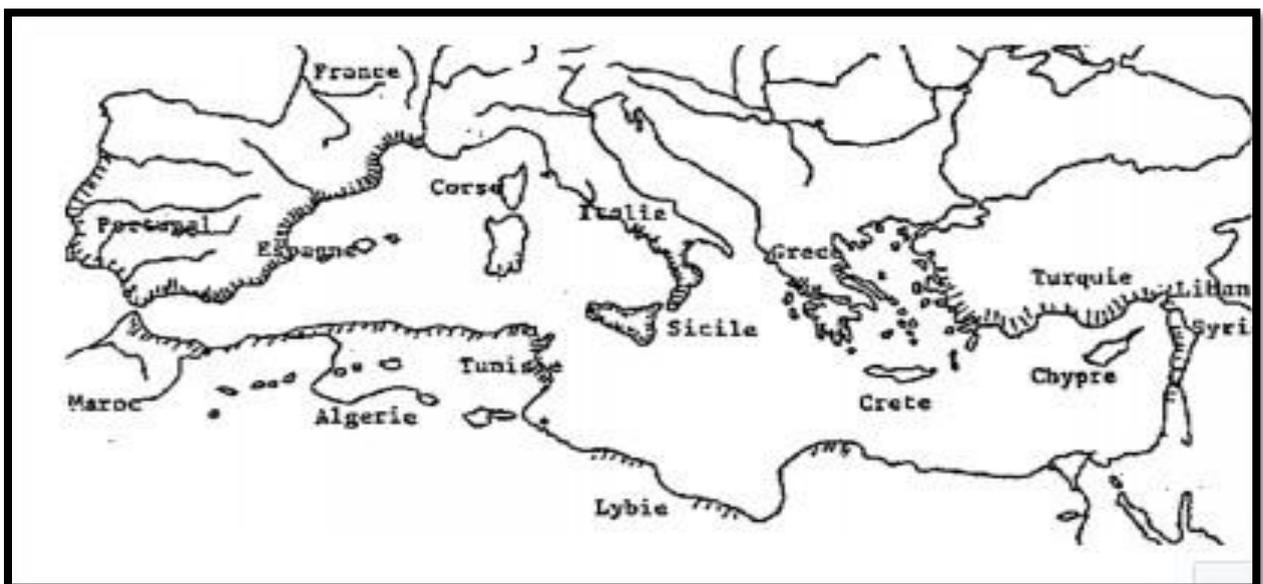


Figure 3 : Aire de répartition du caroubier en région méditerranéenne (Rejeb, 1994)

La superficie mondiale réservée à la production des caroubes avoisine les 104 000 ha en 2006. Les pays européens (Espagne, Italie, Portugal, Grèce et Chypre) représentent 79,7%. Le Maroc occupe la deuxième place après l'Espagne avec 11,5%.

**Tableau 1 : Superficie (ha) du caroubier dans les pays producteurs, (FAOSTAT, 2008 modifié)**

<b>PAYS</b>	<b>2006</b>	<b>%</b>
Espagne	58000	55.8
Maroc	12000	11.5
Portugal	9100	8.8
Italie	8754	8.4
Grèce	4861	4.7
Chypre	2066	2.0
Turquie	3150	3.0
Autres	6000	5.8
<b>Total</b>	<b>103931</b>	<b>100</b>

En 2006, la production mondiale est estimée à 186 279 tonnes, produites dans environ 103 931 ha, soit 1,8 tonnes/ha. L'Espagne est le premier producteur avec 70 000 tonnes.

**Tableau 2 : Production mondiale de Caroubes (tonnes) (FAOSTAT 2008 modifié)**

<b>Pays</b>	<b>2006</b>	<b>%</b>
Espagne	70000	37.6
Italie	26110	14
Maroc	26000	14
Portugal	20000	10.7
Grèce	14815	8
Turquie	12388	6.7
Chypre	5650	3
Algérie	3000	1.6
Liban	2500	1.3
Tunisie	1000	0.5
Autres pays	4800	2.6
<b>Total</b>	<b>186279</b>	<b>100</b>

L'évolution de la production de caroube est variable selon les pays, en Espagne par exemple la production est passée de 550 000t en 1930 à 70 000t en 2006 soit 480 000t en moins. Les

principales raisons sont l'augmentation du coût de la main-d'œuvre conjuguée au développement urbain dans les régions côtières.

En 2017, la production mondiale de caroube était de 136 540 tonnes, le Portugal en tête, avec 30 % du total mondial. L'Italie, le Maroc, la Turquie, la Grèce et l'Espagne ont été les prochains grands producteurs.

**Tableau 3 : Production mondiale de Caroubes (tonnes)(FAOSTAT 2017)**

<b>Pays</b>	<b>Tonnes</b>
Portugal	41.909
Italie	28.910
Maroc	21.983
Turquie	15.016
Grèce	12.528
<b>Monde</b>	<b>136.540</b>

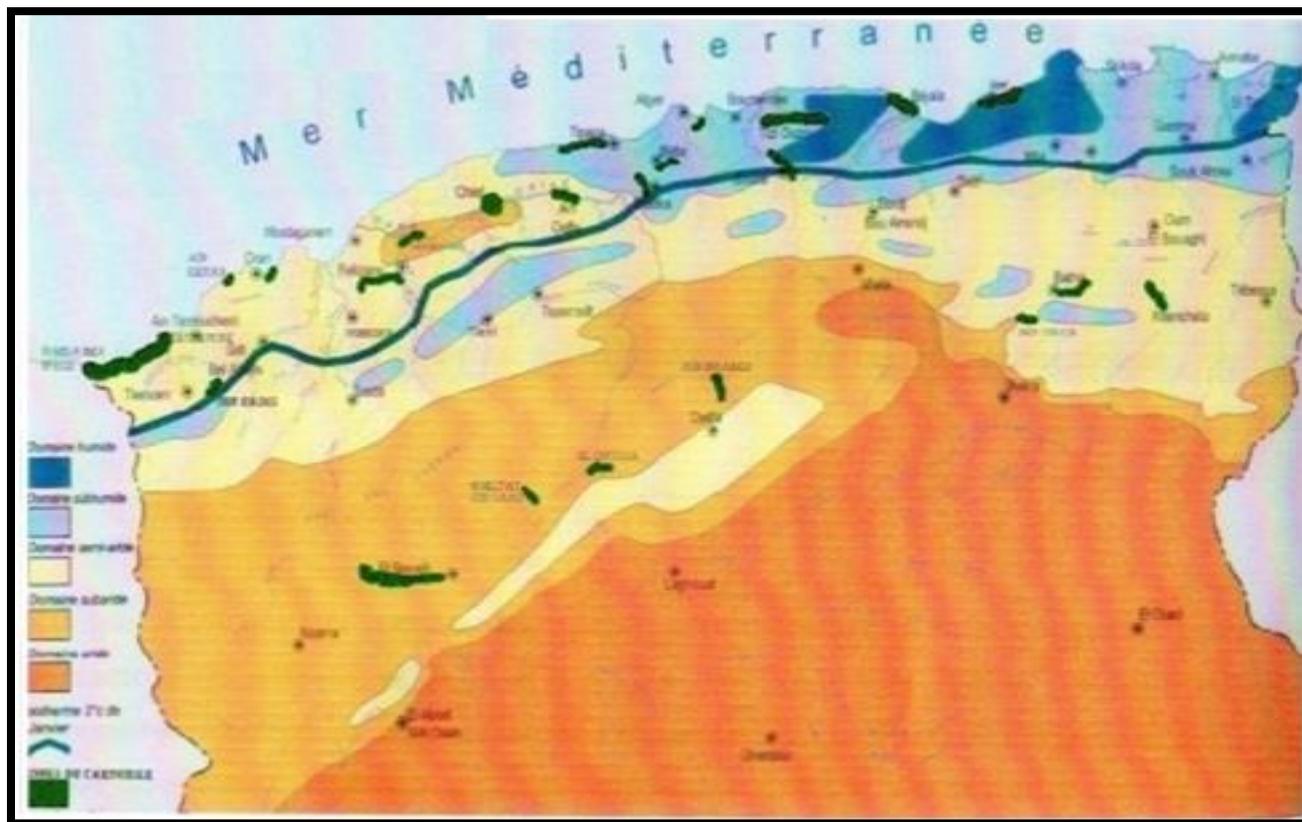
#### **I.4.1. La distribution du caroubier en Algérie**

Les écosystèmes méditerranéens sont caractérisés par des précipitations rares ou irrégulières et par de longues périodes estivales sèches. Ces contraintes climatiques combinées à une pression anthropique, conduisent généralement à une dégradation du couvert végétal et à une érosion rapide des sols. Pour contrecarrer ce fléau, sauvegarder la fertilité des sols et améliorer le niveau de vie de la population rurale, l'utilisation des espèces arborescentes pionnières à usage multiple comme le caroubier, adaptées aux aléas climatiques et pouvant s'installer sur des terrains marginaux, dans les programmes de reboisement et de restauration des sols dégradés reste une bonne stratégie (Ait Chitt M., Belmir M. Et Lazrak A., 2007)

Le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et Santa., 1962). Ses lieux de prédilection sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sub-littorales : Sahel Algérois, Dhahra, Grande-Kabylie, Vallée de la Soummam et de l'Oued-Isser, Collines d'Oran et des coteaux Mostaganem à étage semi-aride

Selon les critères climatiques, les lieux de prédilection de caroubier sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sub-littorales : Sahel algérois, Dahra, Grande Kabylie et Petite- Kabylie, vallée de la Soummam (1074 ha) et de l'Oued-Isser, collines d'Oran et des coteaux Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaines de Bône, Mitidja et les vallées

intérieures (1054 ha), il descend jusqu'à Boussaâda et dans la zone de Traras au Nord de Tlemcen (276 ha) (Lavallée, 1962).



**Figure 4 : Répartition du caroubier en Algérie (A.N.R.H, 2004)**

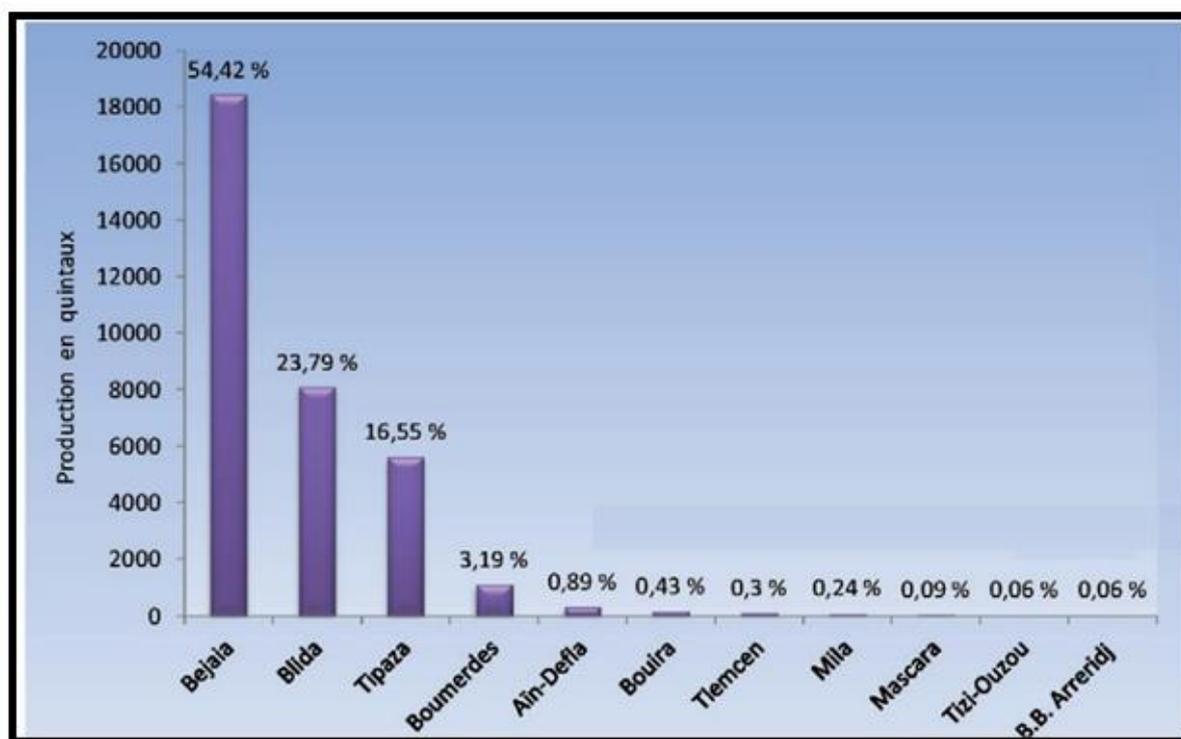
A Tlemcen, on trouve le caroubier dans les régions suivantes : Sidi m'djahed, Sabra, Henaya, Tlemcen, Aïn Tellout, Sidi Abdli, Remchi, Ben Sekran, Aïn Youcef et de Beni Saf jusqu'à Marsat Ben M' hidi, oulhaca.

### **I.5. Aire de production en Algérie**

La superficie exploitée totale du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011 (FAOSTAT). En 2009, cette superficie était de 927 ha dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia. La production nationale de la caroube est évaluée à 33841 Qx et se concentre principalement dans la wilaya de Bejaia avec une production de 18.417 Qx, ce qui représente 54,42 % de la production nationale, suivie par la wilaya de Blida (23,79%) et Tipaza (16,55%). La superficie cultivée du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie (comprenant la wilaya de Tlemcen et Mascara) ne représente que 6 ha, soit 0,65 % de la superficie nationale, tandis que la production de la caroube est de seulement 0,39 %.

**Tableau 4 : Surface cultivée production et rendement de la caroube en Algérie**

Wilaya	Surface cultivée	Production (qx)	Rendement (qx /ha)
Bejaia	645	18417	28.6
Tipaza	105	5600	53.3
Blida	100	8050	80.5
Boumerdes	32	1080	40
Bouira	22	144	6.9
Mila	10	80	8
Tlemcen	5	100	20
B.B.arredidj	4	20	5
Ain-defla	2	300	150
Mascara	1	30	30
Tizi-ouzou	1	20	20
<b>Total</b>	<b>927</b>	<b>33841</b>	<b>36.5</b>

**Figure 5 : Production de la caroube en Algérie (2009)**

## I.6. Particularités du caroubier

- Le caroubier peut vivre jusqu'à 200 ans avec des records de 500 ans mais il a une croissance assez lente
- C'est un arbre de 5 à 7 m qui atteint exceptionnellement 15 m. Le tronc est épais, parfois à multi-troncs, tortueux et sinusoïdal, le port étalé, l'écorce lisse, du gris au marron foncé et rugueuse à l'âge adulte.
- La racine est pivotante. En tant que légumineuse, les racines vivent en symbiose avec des bactéries pour fixer l'azote dans des nodules
- Les nouvelles branches poussent dans n'importe quel sens ce qui lui donne souvent un aspect enchevêtré. Les nouvelles tiges prennent une couleur rosâtre.
- Les grandes feuilles persistantes sont renouvelées environ tous les 2 ans. Elles sont alternes, généralement paripennées, composées de 2 à 5 paires de folioles ovales, portées par de petits pétioles ; elles sont coriaces, leur bord est ondulé ; de couleur cuivre à l'émergence, elles deviennent vert clair brillant puis sombre, le revers est plus clair.
- Les fruits appelés caroubes forment de longues gousses (caractéristique des fabacées), plates et arquées, de 10 à 20 cm, pendantes, coriaces, épaisses, indéhiscentes, vertes devenant brun foncé, parfumées. La maturité se fait onze mois après la nouaison. Un arbre ne produit de fruits que vers sa quinzième année avec une moyenne de 300 à 500 kg de caroubes par an.
- Les graines brunes, nombreuses de 5 à 16, sont séparées par des cloisons pulpeuses, farineuses et sucrées. Les graines au goût de chocolat/châtaigne sont mures l'année suivante et sont comestibles. Dissémination zoochore.

## I.7. Description botanique

Le caroubier dont le nombre de chromosome est de  $2n = 24$ , est un arbre au feuillage abondant, persistant et très dense. Il peut atteindre dans des conditions propices une hauteur de 7 à 10 m, voire 15 à 20 m en orient et enregistrer une circonférence au niveau de la base du tronc de 2 à 3 m. C'est un arbre xérophile avec une longévité considérable (jusqu'à 200ans). Il présente de puissantes racines qui pénètrent dans le sol à une profondeur de 18 mètres ou plus. Sa croissance est très lente, en particulier au début de son existence. Il peut émettre des rejets de souche avec vigueur et se caractérise par des branches solides et robustes (Ait Chitt et al. 2007).

### **I.7.1. Les Racines**

La racine du caroubier est très ramifiée en surface, avec des formations épaisses dans sa partie supérieure qui en se séparant du tronc vont prendre une direction oblique par géotropisme positif. Ces formations caractérisent la majeure partie du système racinaire du caroubier et forment un socle considérable même s'il est moins marqué que celui formé chez l'olivier.

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 du houppier, ce qui permet de classer cette espèce parmi celles qui présentent un système racinaire très étendu et spécialement distribué en surface (Melgarejo et Salazar, 2003).

La racine principale est ramifiée en plusieurs racines latérales ou secondaires de grande longueur et avec une tendance à être superficielles, en particulier sur les sols compacts ou peu profonds. Les racines latérales très ramifiées et avec de nombreux poils absorbants sont capable de s'étendre sur une longueur de 30 à 40 m (Tous, 1984) et peuvent atteindre un développement quatre fois supérieur à celui des rameaux (Albanell, 1990).

En plus de fixer, vigoureusement l'arbre dans le sol ce système racinaire permet l'absorption de l'humidité et des éléments nutritifs sur une grande surface de terrain particulièrement à partir de la couche la plus superficielle du sol, laquelle présente les niveaux les plus élevés de fertilité, d'aération et de matière organique, c'est probablement l'une des raisons principales pour laquelle cet arbre peut croître dans un terrain rocailleux avec des sols peu profonds et dans des conditions arides qui seraient Restrictifs pour d'autres cultures (Albanell, 1990)

L'absence ou la présence des rhizobiums chez le caroubier peut être considéré comme une des caractéristiques agronomiques des plus importants en vue d'une mise en place d'un programme d'amélioration génétique de l'espace



**Figure 6 : Racines de caroubier**

### **I.7.2. Le Tronc**

Le tronc du caroubier est épais, robuste avec de clairs canaux de circulation de la sève associés aux racines les plus épaisses, ce qui leur donne un aspect tortueux, particulièrement marqué chez certaines variétés (Melgarejo et Salazar, 2003). L'écorce est rugueuse à la base de couleur grise à rougeâtre (Melgarejo et Salazar, 2003), brin-grisâtre (Albanell, 1990) Brin selon (batlle et tous 1997), tandis que l'écorce est lisse sur la partie supérieure du tronc et à la base des branches et à la base des branches.

Le tronc chez les arbres épais et vieux est tortueux et sinusoïdal (figure 06), le diamètre moyen est de 50 centimètres en fonction de l'âge de l'arbre (Albanell, 1990), sa circonférence à sa base est comprise entre 2 et 3 mètres (Ait Chitt et Al. 2007).



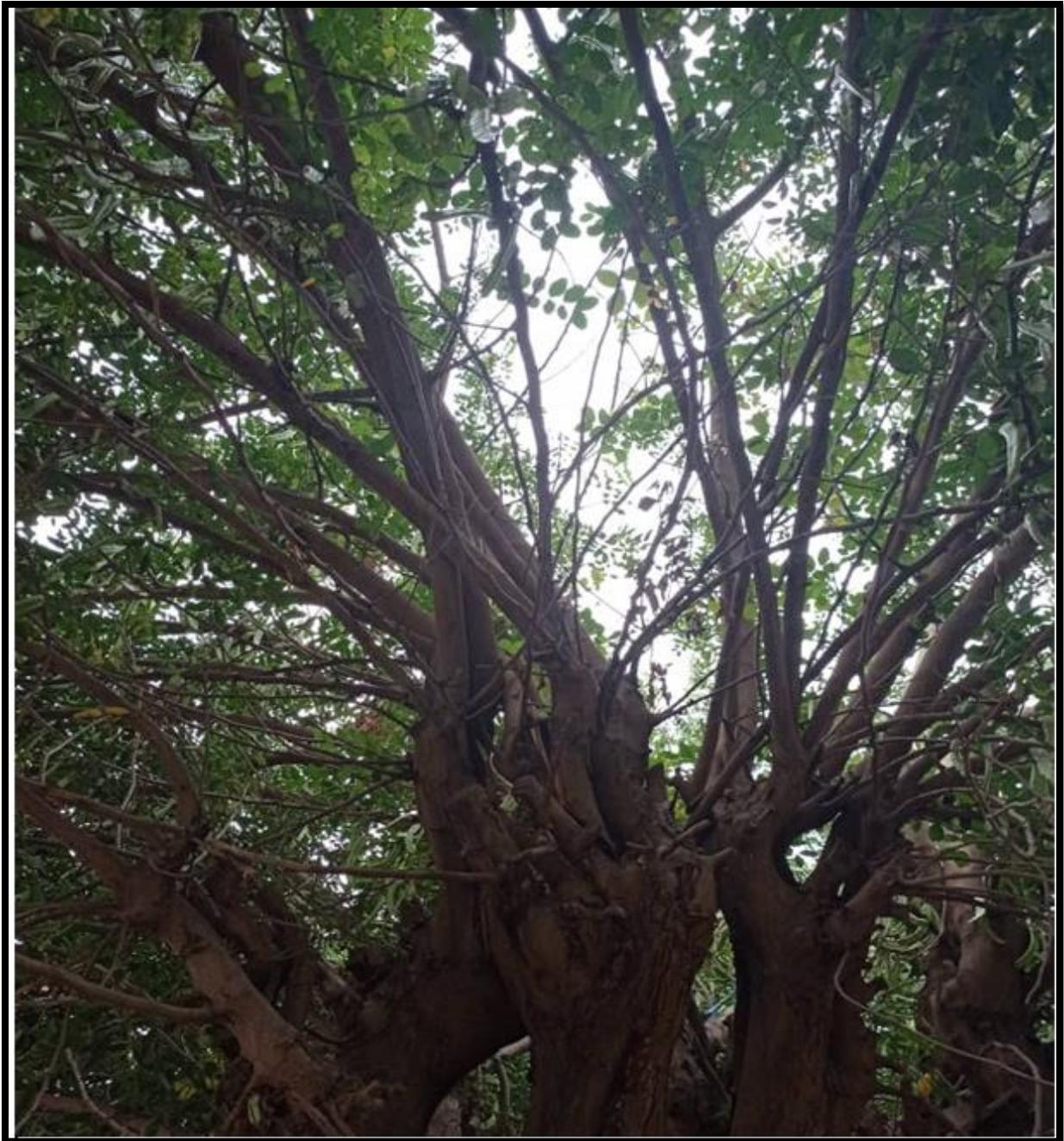
**Figure 7 : tronc du caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021)**

### **I.7.3. Les Branches**

Selon leur âge, les branches présentent les différentes caractéristiques suivantes (Albanell, 1990) :

- Les branches principales d'âge avancé sont généralement épaisses tortueuses et avec une tendance à l'horizontalité dû à leur poids et taille de formation, Leur rôle principal est celui de servir comme élément support d'autres branches même si elles peuvent occasionnellement être productives
- Les branches secondaires sont de taille moyenne avec une tendance à être plus au moins érigées selon leur âge en particulier dans la partie supérieure de la couronne. Elles constituent les principales branches de production
- Les jeunes branches ou rameaux, de taille plus petite, sont situées dans la partie externe de la couronne ou zone de croissance. Elles sont flexibles et ont une écorce lisse recouverte de

lenticelles qui permettent les échanges gazeux avec l'atmosphère. Elles présentent généralement et selon les variétés des tons jaune-verdâtres ou rougeâtres dans la zone de bourgeonnement.



**Figure 8 : Branches de caroubier(photo originale de Sahari AEK 2021)**

### **I.7.4. Les Feuilles**

Les feuilles persistantes, de longueur de 10 à 20 cm, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant de 8 à 15 folioles, opposées, de 3 à 7 cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert sombre brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (Ait Chitt et Al. 2007).

Occasionnellement chez les arbres cultivés et plus fréquemment chez les caroubiers sauvages, le nombre de folioles peut être impair chez quelques feuilles (Albanell, 1990).

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).



**Figure 9 : feuilles de caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021)**

### **I.7.5. Les Fleurs**

Le caroubier est une plante dioïque, il existe toutefois des pieds aux fleurs hermaphrodites mais rarement et encore plus rarement des pieds polygames-trioïques (trimonécie).

Les inflorescences de 32 à 40 fleurs se développent à la fin de l'été, en grappes ou en solitaires ; elles forment des épis cylindriques, de 5 à 12 cm, presque sessiles, directement sur les rameaux de 3 à 5 ans minimum et plus rarement sur le tronc – on les dit cauliflores, elles sont parfois axillaires.

Les fleurs nectarifères et mellifères ont un parfum peu agréable. La pollinisation est entomophile.

- La fleur mâle est dépourvue de corolle, les 5 étamines aux longs filaments sont insérées entre le minuscule calice à 5 sépales et le petit disque charnu nectarifère et portent selon les variétés des anthères jaune-orangé ou rouges, le pistil n'est pas développé. Les variétés à anthères rouges produisent plus de pollen mais sont plus sensibles au froid
- La fleur femelle apétale est insérée sur un minuscule calice à 5 sépales, soudé à un petit disque nectarifère, charnu et pourpre d'où se développe un long ovaire arqué vert pâle surmonté d'un style très court et épais terminé par un très épais stigmate orbiculaire et échancré. Photo de droite : après la nouaison.

Les fleurs du caroubier sont nombreuses et petites, de 6 à 12 mm de long (Batlle et Tous, 1997) ; elles sont regroupées en grappes latérales, généralement érigées ou ascendantes, brièvement pétiolées, disposées la longe d'un axe ou rachis d'un couleur vert-jaunâtre ou rougeâtre de 4 à 10 cm de longueur sur lequel sont insérées entre 10 à 30 fleurs, voire plus (Albanell, 1990).

Les fleurs sont d'une couleur verte teintée de rouge ; ne présentant pas de corolle, elles sont par conséquent visuellement peu attractives (Albanell, 1990). En général, les inflorescences mâles sont plus courtes que celles des femelles et aussi plus compactes et nombreuses (Melgarejo et Salazar, 2003).

La fleur du caroubier est pentamère présentant un seul ovaire supère chez les fleurs femelles et hermaphrodites. Les étamines sont aux nombres de cinq chez les fleurs mâles et hermaphrodites.



**Figure 10 : Fleurs de caroubier**

### **I.7.6. Les Fruits**

Le fruit du caroubier connu sous le nom de kharrouba en arabe, algarroba en castillan et garrofa en catalan est classifié habituellement compte tenu de sa faible teneur en eau au moment de sa collecte comme un fruit sec et cela malgré son aspect pulpeux (Albanell, 1990).

La caroube est un fruit indéhiscent d'une grande taille de 10 à 30 cm de long et de 2 à 3,5 cm de large. Il est vert puis brun et au moment de la maturité d'un ton brun foncé, rouge ou noir selon les variétés mais toujours très brillant (figure 16). Il est sinueux autour des bordures, aplati, droit ou courbé et présente un tissu pulpeux sucré et rafraichissant (Batlle et Tous, 1997).

La gousse est divisée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et contient de 5 à 16 graines, soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction de la variété, des conditions environnementales, l'efficacité de la pollinisation et de la conduite technique (Melgarejo et Salazar, 2003 ; Ait Chitt et al. 2007).

Le fruit du caroubier croît très lentement à ses débuts durent l'automne. Sa croissance s'accélère au printemps et croît d'une manière visible jusqu'au début de l'été où il atteint sa taille maximale. La maturité est atteinte à partir du début septembre. Entre la nouaison et la maturité, peut s'écouler une période de 11 mois (Melgarejo et Salazar, 2003).



Figure 11 : Les fruits de caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021)

### **I.7.7. Les Graines**

Les graines du caroubier son petit est aplati d'une forme presque ovale, avec un pôle basal tronqué et écrasé en zone apicale (figure 17). Son tégument est normalement lisse, dur, de couleur brun rougeâtre et brillant (Albanell, 1990). Elles présentent des dimensions de 8 à 10 mm de long sur 6 en 8 mm de largeur avec 3 à 5 mm d'épaisseur. Les graines sont très dures et présentent une grande résistance.

La graine du caroubier est composée de trois parties (Melgarejo et Salazar, 2003) .

#### **- Episperme ou tégument :**

Il recouvre la graine et est constitué principalement de cellulose, de lignine et de tanin il se compose de deux enveloppes distingués une externe appelée testa colorée et dure l'autre interne nommée tegmen qui est plus blanche et moue. Le tégument représente 30 à 33 % de la graine.

### - Endosperme ou albumen

Il se situe sous l'épisperme et constitue le tissu de réserve pour la germination de l'embryon économique comment c'est la partie la plus intéressante de la graine grâce à sa teneur en élevée en glucomannane ou gomme de caroube, l'endosperme représente 42 à 46 % de la graine « Germe ou embryon », représente 23 à 25 % de la graine.



**Figure 12 : Graine du caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021)**

# Chapitre 2 : Milieu physique

## II.1. Situation géographique de la willaya de Tlemcen :

La willaya de Tlemcen, placée au Nord-Ouest du pays à la frontière Alger - Marocaine et occupant l'Oranie occidentale, elle est centrée sur le chef-lieu d'autant que l'ancien capital du Maghreb central, soit l'Etat ayant précédé l'Etat d'Alger, occupe une position remarquablement stratégique. En effet, elle s'étend sur une superficie de 9017,69km<sup>2</sup>, située à environ 800m d'altitude limitée par les coordonnées suivantes :

- **Longitude** : 1°16 ' 12'' et 1°22' 58'' Ouest
- **Latitude** : 34°47'52'' et 34°52'58'' Nord

Elle s'étale sur le versant septentrional des monts éponyme l'un des chaînons de l'Atlas Tellien dans sa terminaison occidentale extrême (A.S.P.E.WLT.2008), bornée géographiquement par :

- Au Nord par la mer méditerranée ;
- Au Nord –est par la wilaya d'Ain t'émouchent ;
- A l'Est par la wilaya de sidi Bel Abbés ;
- A l'Ouest par le Royaume du Maroc;
- Au Sud par la Wilaya de Naama

## II.2. Situation géographique de la commune de Tlemcen

Le groupement des communes de Tlemcen, Chetouane et Mansourah occupe environ 11.220 hectares composant le bassin intérieur de Tlemcen. Ce bassin est borné :

- Au Sud par la falaise de Lalla Setti ;
- Au Nord par la haute colline de Ain El Houtz ;
- A l'Est par Oum El Allou ;
- A l'Ouest par les monticules de Béni Mester.

Les monts de Tlemcen correspondent à une vaste superficie de 300 km<sup>2</sup> où affleurent des roches carbonatées très karstifiées (80 %). Ils sont assez arrosés (500 à 800 mm/an) et s'y infiltrant 200 à 400 mm/an. Ces eaux souterraines constituent le principal réservoir souterrain de l'Ouest Algérien.

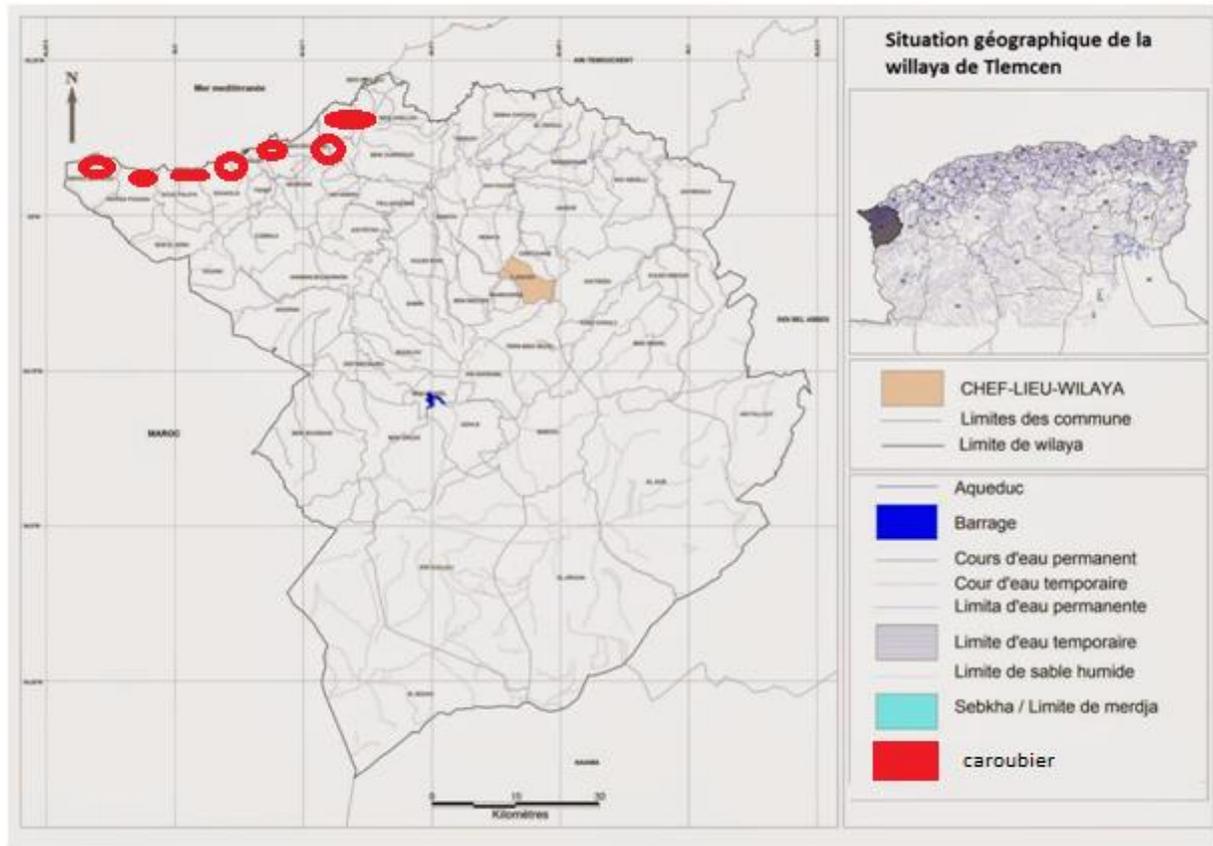


Figure13 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen

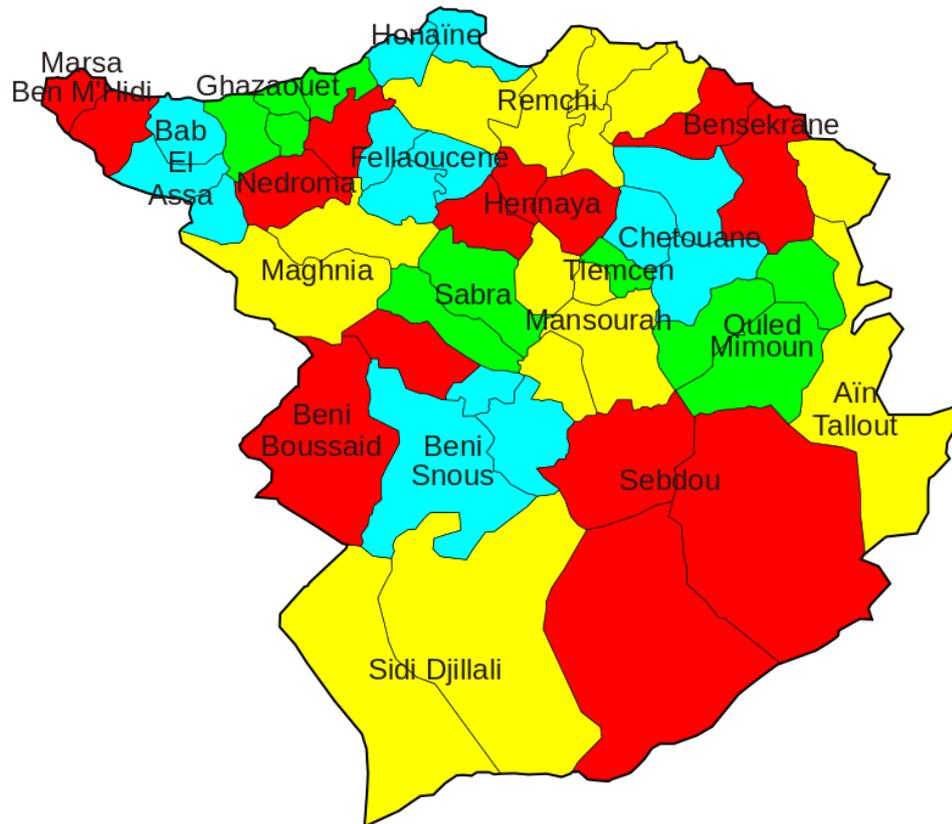


Figure14 : La commune de Tlemcen

### II.3. Situation géographique de périmètre d'étude

Notre recherche s'étend sur trois zones dans lesquelles on a travaillé :

- La station boublemza de Zénata.
- Les épiciers de la ville de Remchi
- Les épiciers de la ville de Tlemcen

#### - La station de Zénata

Cette station se trouve sur la longue de l'axe routier qui relie Zenâta à Maghnia (RN35), plus exactement dans la limite de Zénata vers le Sud et la limite de Hennaya vers le Nord, elle se caractérise par le passage de la route nationale du Sud vers le Nord. Elle s'élève à une altitude de 200m environ et présente les coordonnées Lambert suivantes :

- 1°33' Longitude Ouest
- 35°02' Latitude Nord

Dans cette station les deux versants s'opposent d'une façon nette, l'un Nord et l'autre Sud. Ils forment un véritable talweg. La pente atteint 15 à 20% d'inclinaison.

## II.4. Taxonomie

- La systématique de l'espèce

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L. Dérive du grec Keras (=corne) et du latin siliqua désignant une silique ou gousse et faisant allusion à la dureté et à la forme du fruit, il est connu aussi sous le nom de pain de St. Jean-Baptiste (Battle et Tous, 1997).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des *Légumineuse*(*Fabacae*) de l'ordre des *Rosales*. Ce genre regroupe en plus de *Ceratonia siliqua*, deux autres espèces : *Ceratonia oreothauma* qui est originaire d'Arabie (Oumane) et *Ceratonia somalensis* originaire du nord de la Somalie (Battle et Tous, 1997).

Certains auteurs ont désigné *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses (Tucker, 1992a) et qui serait complètement isolé des autres genres de sa famille (Zohary, 1973).

Les graines de caroube, vu leur uniformité, sont appelées 'carats' et ont servi pendant longtemps aux joailliers comme unité de poids pour peser les diamants, les perles et d'autres pierres précieuses (1 carat = 205,3mg) (Rejeb, 1995).

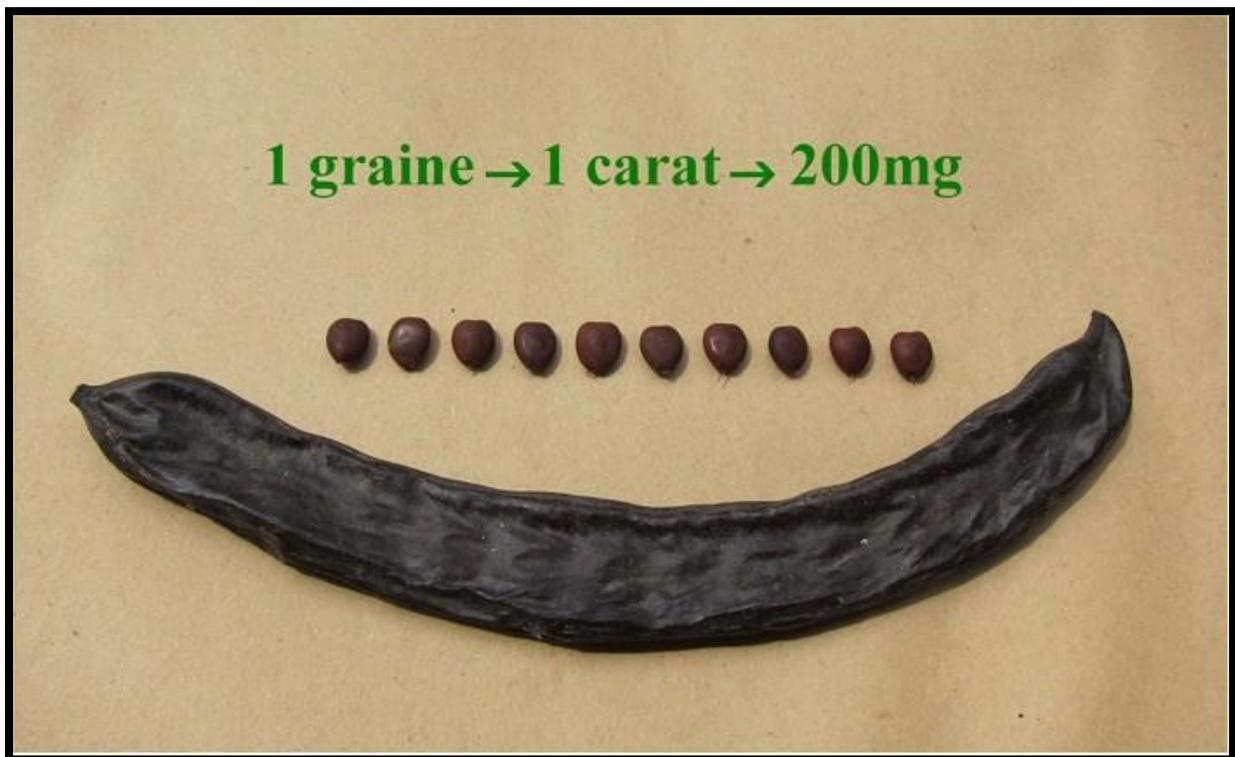


Figure 15 : gousse et graines de caroubier

## **II.5. Facteurs édaphiques**

### **II.5.1. Sol**

Le Caroubier réussit surtout dans des terrains profonds, riches en chaux, perméables. Il redoute les terrains compacts, imperméables, humides. Il supporte fort bien des terrains salins, jusqu'à 3 % de Na Cl. Les terrains caillouteux arides des Versants du Midi lui conviennent assez bien, pourvu que le pourcentage du Calcaire soit élevé. (Dr V. A. Evreinoff 1947.)

Le caroubier peut aussi s'adapter dans les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocaillieux et calcaires, schisteux, gréseux et des ph de 6,2 jusqu'à 8,6; mais il craint les sols acides et très humides (Baum, 1989 ;Sbay et Abrouch, 2006; Zouhair, 1996).

## **II.6. Facteurs climatiques**

Selon Dr (V. A. Evreinoff 1947), les conditions climatiques favorables au Caroubier sont celles du climat méditerranéen qui présentent les indices suivants: hiver doux gelées rares et faibles ; précipitations abondantes, surtout en Automne, avec faible humidité de l'air ; été chaud, sec et long. Pour cela on a pris les trois principaux facteurs de climat à étudier la température, les précipitations et l'exposition aux vents.

### **II.6.1. Le climat méditerranéen**

La définition climatique de la région méditerranéenne selon L. Emberger (1955) est fort simple pour l'écologiste, le phyto-géographe ou le bioclimatologiste, c'est l'ensemble des zones qui se caractérisent par des pluies concentrées sur la saison fraîche à jours courts avec de longues sécheresses estivales. Ce même auteur reconnaît deux composantes essentielles au climat méditerranéen, l'été est la saison la moins arrosée et c'est la saison biologiquement sèche.

### **II.6.2. Les précipitations**

Pour définir les précipitations, on va passer par plusieurs domaines d'études. Pour la variabilité des pluies elle-même, peut expliquer certaines limites de végétation, comme le passage entre la végétation forestière et la végétation steppique (Houerou 1995).

Pour l'écologue, la pluviosité revêt un caractère capital étant donné qu'elle agit directement sur le bilan hydrique du sol dont dépend le comportement des végétaux. Elle régit également le cycle salin des sédiments et les oscillations de la nappe phréatique. Aussi, les

pluies sont un facteur permettant l'enrichissement de nappe phréatique en chlorure de sodium et en d'autres sels en particulier les sulfates ou carbonates (Bendaanoun.1981).

Du point de vue quantitatif la pluviosité est exprimée par la pluviosité moyenne annuelle.

En effet quand la pluviosité affaiblit, l'évapotranspiration et la durée de la saison sèche augmente (le Houerou, 2000).

**- Répartition mensuelles et annuelles des précipitations du wilaya de Tlemcen :**

**Tableau 4 : Précipitations mensuelles et annuelles wilaya de Tlemcen**

Stations Périodes	Automne			Hiver			Printemps			Été		
	J	F	M	A	M	J	J	O	S	A	N	D
Remchi	41.6	47.8	52	31.6	20.9	10	3.1	1.4	15.4	27	34.7	42
Tlemcen	50.6	55.6	48.3	42.3	30.9	10.6	2.8	2.2	18.9	28.6	40.7	47.8
Zénata	43.6	42.9	43.4	31.1	26.8	3.3	16.3	25.2	23	20.9	37.4	46.2

La distribution saisonnière de la précipitation est aussi variable selon la région analysée, comme on peut le constater sur (le tableau 4), Il est a signalé que l'essentielle des précipitations est enregistré en hiver et en automne, ou nous avons remarqué que plus de 70% de la pluie annuelle est concentrée sur les mois d'hiver et d'automne, alors que la saison la moins arrosée s'étend de juin à Aout. Les précipitations moyennes. et cela pour l'ensemble des stations étudiées.

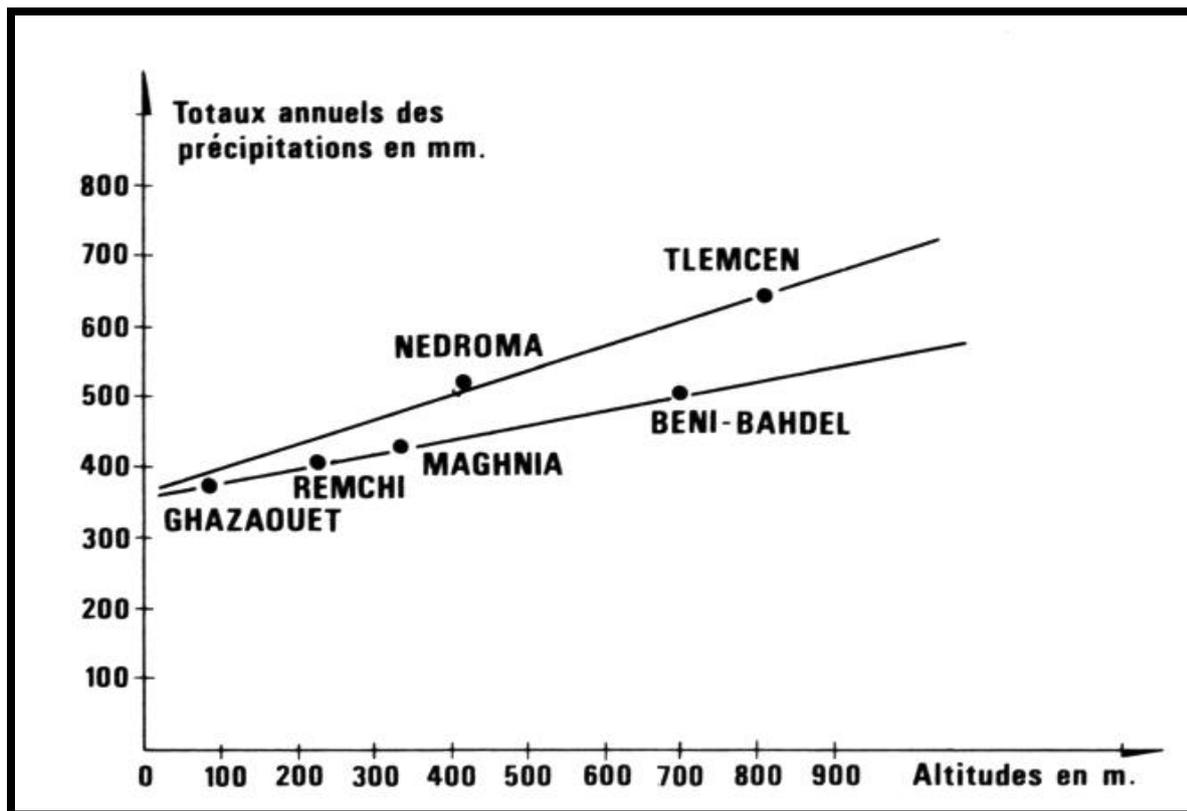


Figure12 : La relation entre Précipitation/Altitudes

La figure 1 montre que les totaux annuels se dispersent en fonction de l'altitude entre deux droites, la supérieure, avec Nedroma et Tlemcen correspond à un gradient de 35 mm par 100 m (Seltzer, 1946) et rassemble des stations exposées à la trajectoire des perturbations pluvieuses (venant du secteur NW), la droite inférieure correspond à un gradient de 20 mm par 100 m (Seltzer, 1946) et regroupe des stations qui sont en position d'abri : Béni Bahdel, derrière les premiers contreforts des monts de Tlemcen, est abrité des influences venant du N et du NW. Remchi et surtout Maghnia sont abritées du secteur pluvieux par le massif des Traras

#### - Variation annuelle des précipitations

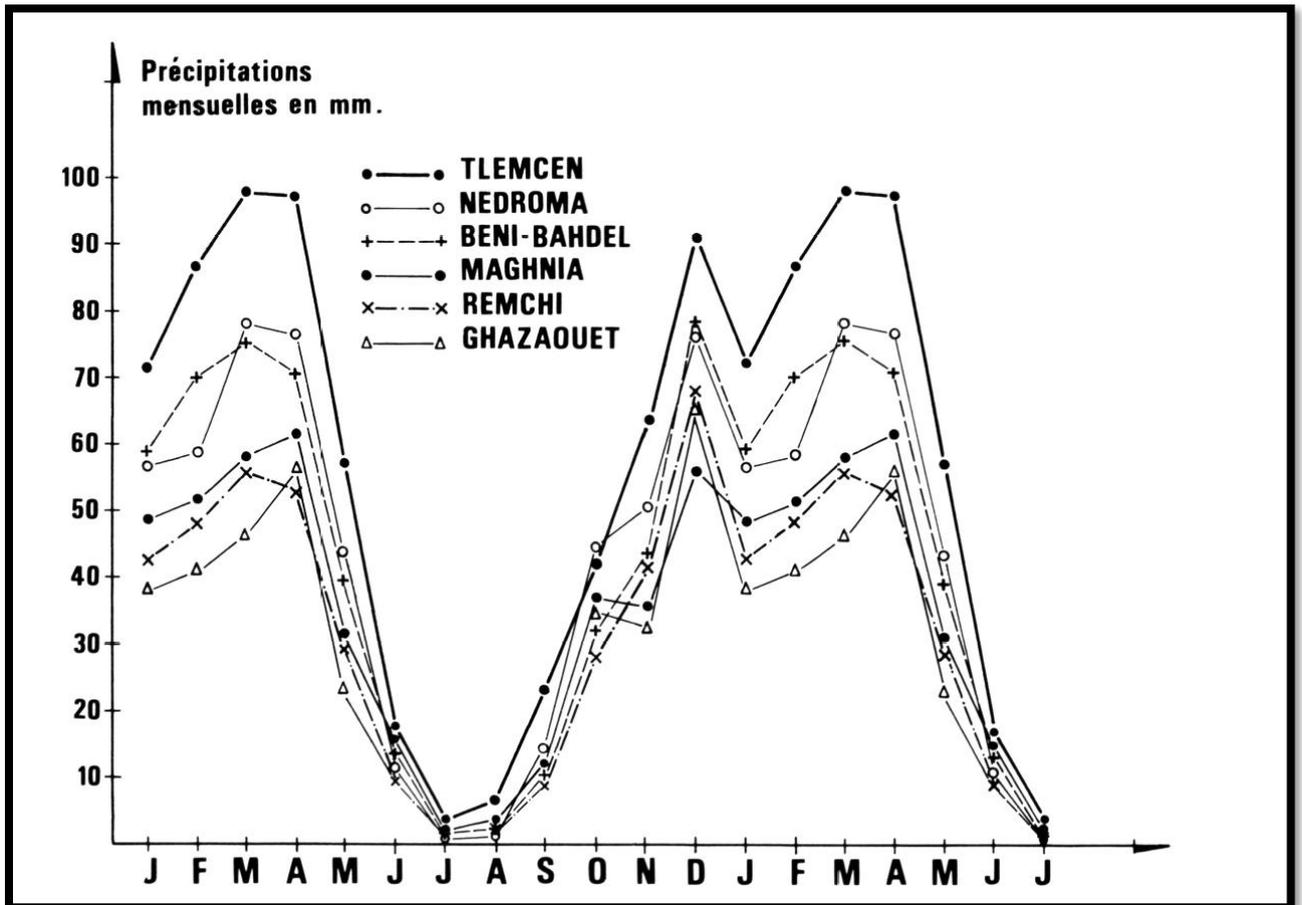


Figure 13 : Régime annuel des précipitations

La figure 19 montre que le régime annuel est homogène sur l'ensemble du bassin : deux périodes humides en décembre et mars-avril, encadrées par une période sèche en juillet-août et un léger minimum en janvier. Tlemcen est la station la plus arrosée, avec un pic principal au printemps la période que la végétation a plus besoin des pluies. Pour Remchi et Maghnia on se trouve la station du caroubier de Zénatala valeur annuelle est plus faible, mais aussi il y a égalité entre les pics d'hiver et de printemps. Pour les trois autres stations, non seulement le total annuel diminue, mais les pluies de printemps sont plus faibles que les pluies de décembre, phénomène qui explique encore le déficit pour la végétation

### II.6.3. Température

La température joue un rôle majeur dans la vie du caroubier en conditionnant la durée de la période de végétation et, selon les espèces, la possibilité ou non d'assurer la maturation des gousses. Les valeurs extrêmes constituent des facteurs limitants énergétiques dont l'efficacité résulte de certains seuils et de leur fréquence d'apparition. Dans la région de Tlemcen, Remchi et Zénata, le gel est exceptionnel et n'a pas d'influence sur l'arbre du caroubier car la gelée est rare et faible et ce dernier montre une bonne résistance aux gelées faibles.

Par contre, les températures maximales se joignent au déficit hydrique de la période estivale pour accentuer l'aridité des milieux. Pour cela, le caroubier a une très bonne adaptation.

- Les températures moyennes mensuelles et annuelles

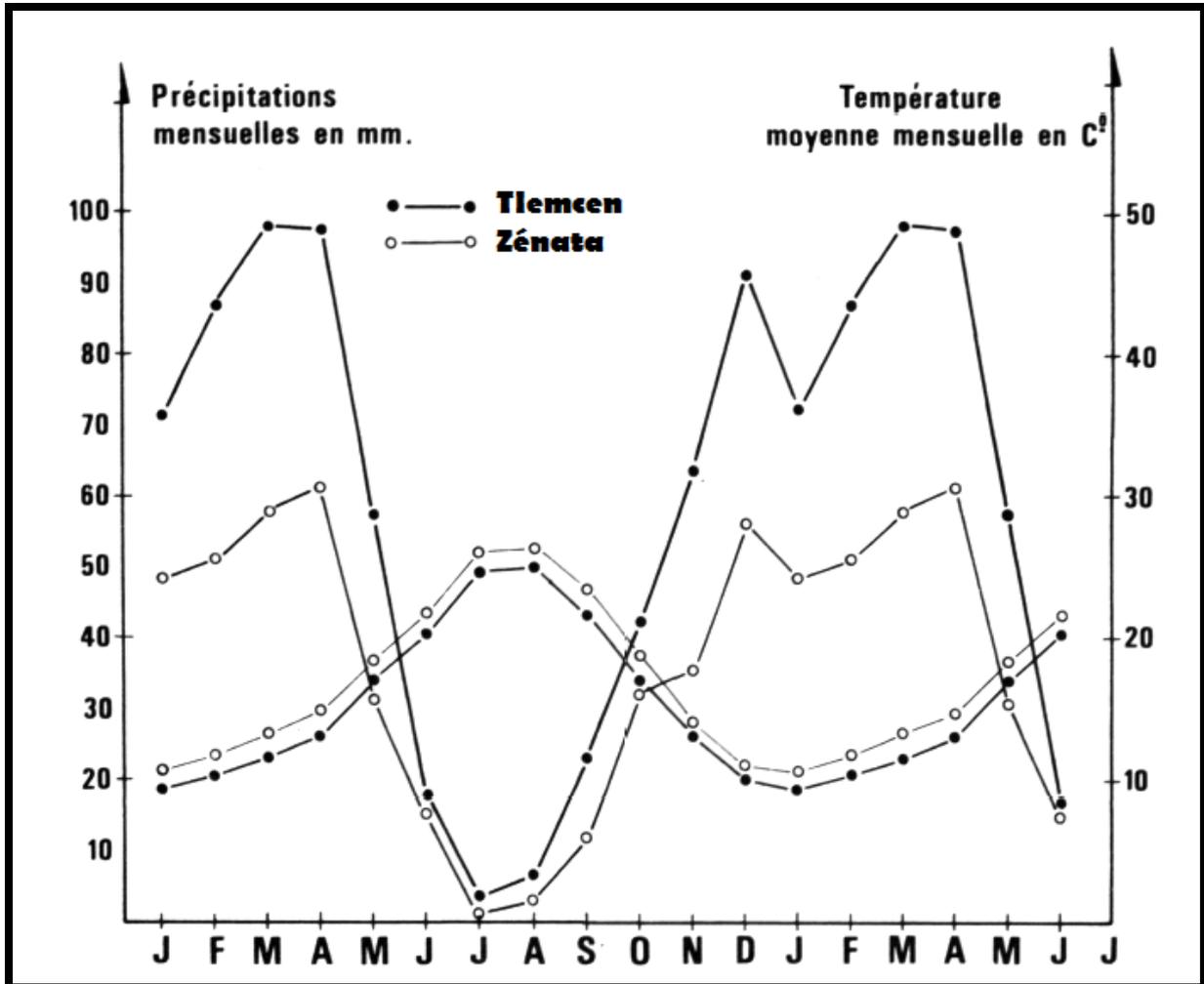


Figure 14 : Comparaison entre les diagrammes ombro-thermiques de Tlemcen et Zénata.

Selon les résultats de (*Office National de la Météorologie*) on peut dire que Les températures moyennes ne présentent pas de relations significatives avec l'altitude, les maxima croissent de Ghazaouet à Zénata (avec la continentalité), puis décroissent avec l'altitude à Béni Bahdel et Tlemcen alors que les minima décroissent pour Remchi et Zénata (continentalité) tout en se stabilisant pour les stations d'altitude. L'amplitude est faible à Ghazaouet (influence de la mer qui réduit les maxima et augmente les minima), elle est modérée à Tlemcen (altitude qui diminue les maxima) et elle augmente fortement à Maghnia qui, par sa position abritée au sud-est des Traras, présente les plus forts maxima et les minima les plus faibles. L'enclave aride qui entoure Maghnia se caractérise ainsi par un microclimat thermique de type continental, froid l'hiver et très chaud l'été.

Les dernières années ont connu une légère augmentation de la température à cause du réchauffement climatique global qui est un phénomène d'élévation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale et sur plusieurs années. Pour cela, on a dit que le climat méditerranéen est un climat idéal pour le caroubier car la chaleur n'a pas d'influence néfaste sur son développement si l'apport d'eau est suffisant. (Richardson et Haddad, 1964).

#### **II.6.4. Le vent**

Le Caroubier réussit aussi bien en plaine que sur les coteaux de leur exposition aérée et en même temps abritée des vents du Nord s'impose.

La ville de Tlemcen connaît tout le long de l'année des vents de directions et d'intensités variables. En hiver, ce sont les vents de directions Ouest et Sud-ouest ; en été, c'est le sirocco soufflant depuis le sud qui est le plus redoutable (Bendahmane, 2010). Son rôle est aussi important tout comme la température et les précipitations. En effet, le vent est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat, il agit par son action sur le couvert végétal et sur la formation du microrelief (Babinot, 1982).

- **Vents du Sud –Est**

L'influence des vents Sud Est desséchante se fait surtout en été, par ailleurs la position protégée par les Monts de Traras limite les vents du sirocco.

- **Vents du Nord –Ouest**

Les vents humides d'ouest et du Nord – Ouest sont très fréquents et très intenses. Ils engendrent des perturbations barométriques qui vont du mois de septembre au mois d'avril. Leur apport dans le bilan pluviométrique s'inscrit en baisse à cause de leur passage au-dessous de la barrière montagneuse de la SIERRS-NEVADA.

- **Effet du stress hydrique sur les traits morphologiques**

L'insuffisance hydrique, continu ou temporaire, limite la croissance et la répartition de la végétation naturelle ainsi que le rendement des plantes cultivées, plus que tout autre facteur environnemental (Shao et al., 2008). En effet, la croissance est l'un des processus physiologiques le plus sensible à la sécheresse. De nombreuses adaptations sont conditionnées directement (vitesse de croissance) ou indirectement (réduction du nombre d'organes portant des feuilles) par le déficit hydrique. Sur le plan quantitatif et qualitatif, la croissance des plantes

dépend de la division et la différenciation cellulaire, et tous ces événements peuvent être due aux stress hydrique (Correia et al., 2001 ; Cabuslayetal., 2002). Le stress hydrique réduit considérablement l'expansion des cellules et la croissance cellulaire en raison de la réduction de la pression de turgescence. Il réduit significativement la croissance des racines en longueur ainsi que leur biomasse (Nativ et al., 1999 ; Marron et al., 2002, Kusaka et al., 2005)

La longueur des tiges est également limitée sous déficit hydrique (Pita et Pardes,2001 ; Marron et al., 2002). De plus, le nombre de ramifications et le nombre d'organes élémentaires de la tige sont drastiquement réduits (Lecoeur et al., 1995 ;Bélaygue et al., 1996).Le déficit hydrique peut réduire le nombre des feuilles par plante, la taille des feuilles ainsi que leur longévité par la baisse du potentiel hydrique du sol, ce qui influence négativement la surface foliaire assimilatrice. En effet, la réduction de la surface foliaire peut provenir d'une diminution de l'expansion foliaire et/ou d'une sénescence accélérée dela feuille.

#### - **Réponses de la plante à la sécheresse**

Les plantes détiennent de divers mécanismes de tolérance à la sécheresse. Lors d'un déficit en eau, les stomates se ferment, la biosynthèse d'osmolytes particuliers augmente, le système de défense antioxydant s'active, la composition des membranes se modifie et une cascade de signalisation s'initie. La multitude de réponses de cette contrainte varient généralement avec la sévérité et la durée de la contrainte, le génotype de la plante, le stade de développement et les facteurs environnementaux (Chaves et al., 2003). Selon (Zhu 2002), trois aspects de la réponse des plantes soumises à des déficits hydriques successifs se distinguent dans le cadre de l'ajustement de la plante à son environnement :

- Le maintien de l'alimentation en eau et du volume cellulaire lorsque l'environnement devient sec soit par le maintien des entrées d'eau, soit par la restriction des sorties d'eau, (Karakas et al., 1997 ; Martinez et al., 1987 et 2005).
- La mise en place de processus de réparation visant à rétablir les dommages engendrés. Ils servent à rétablir la régulation de la perméabilité membranaire par l'ajustement osmotique et une reprise minimale du métabolisme
- Une reprise modérée de la croissance après une période d'inhibition. La limitation de la croissance foliaire est un mécanisme adaptatif qui permet de réduire la transpiration. La réduction de croissance est l'une des premières manifestations du déficit hydrique (Kramer et Boyer, 1995 ; Saab et Sharp, 2004).

### - **Tolérance au stress hydrique**

Il s'agit d'une stratégie permettant à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré le déficit hydrique. La tolérance à la sécheresse est le résultat de mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires complexes. L'expression de différents gènes et l'accumulation de divers osmolytes (proline, sucres solubles, ...) couplés à un système antioxydant efficace sont souvent les principaux mécanismes de tolérance au déficit hydrique (Tardieu, 2005). A l'échelle cellulaire, l'ajustement osmotique joue un rôle déterminant dans le maintien de la turgescence aux faibles potentiels hydriques foliaires. En effet, cette aptitude qui confère à la plante une meilleure tolérance permet un fonctionnement prolongé de la photosynthèse. Les différents mécanismes intervenant dans la tolérance à la sécheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé sont principalement :

- L'augmentation de la vitesse d'absorption de l'eau,
- La réduction des pertes en eau par transpiration grâce à des traits adaptatifs morphologiques

La tolérance à la sécheresse est un mécanisme par lequel les plantes maintiennent un métabolisme régulier malgré une réduction du potentiel hydrique foliaire. Le maintien de nombreuses fonctions vitales de la plante est assuré grâce au maintien de la turgescence cellulaire consécutive à une diminution du potentiel hydrique lié à la baisse du potentiel osmotique.

## **II.7. Intérêt et utilisation de caroubier**

La gomme, extraite de l'endosperme blanc et translucide de la graine, est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire, pharmaceutique (principalement contre les diarrhées), cinématographique, textile et cosmétique. 100 kg de graines donnent en moyenne 20kg de gomme pure et sèche (Ait Chitt et Al., 2007).

### **II.7.1. L'utilité du caroubier pour l'environnement**

Le caroubier est utilisé comme brise-vent et comme arbre ornemental. En outre, cette espèce ligneuse à multiples utilités joue un rôle vital dans la protection de l'environnement.

Le caroubier protège par son ombre les autres plantes. Un rideau de caroubiers peut constituer un excellent pare-feu : il suffirait d'arroser derrière avec des canadais afin d'empêcher les flammèches emportées par le vent de mettre le feu au-delà du pare-feu feuillu, pour que l'incendie soit le plus souvent arrêté (Mares,1971).

Selon Ait Chitt et al., (2007) la *Ceratonia siliqua* peut être utilisé pour lutter contre l'érosion des sols, comme brise vent et comme arbre ornemental compte tenu de sa couronne sphérique, et de son feuillage persistant, dense et brillant. Son bois est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage.

### **II.7.2. Les vertus médicinales du caroubier**

#### **- Participe à la défense de l'organisme**

D'après les études de (Nicoletti, I., Bello, C., De Rossi, A., et Corradini, D. 2008), les graines de caroube contiennent une quantité non négligeable d'actifs antioxydants comme les polyphénols. Ces molécules organiques, présentes dans de nombreux végétaux, luttent efficacement contre les radicaux libres et limitent leurs dommages.

Les vitamines de la caroube participent elles aussi à la défense de l'organisme. La vitamine A, par exemple, soutient le fonctionnement du système immunitaire et ralentit le vieillissement cellulaire, tout comme la vitamine E. Quant à la vitamine B2 (ou riboflavine), elle est impliquée dans la fabrication de nombreuses enzymes et dans la régénération du glutathion, un puissant antioxydant.

Enfin, les graines de caroube possèdent aussi du fer qui un agent majeur pour la construction des enzymes antioxydants de l'organisme.

#### **- Soulage les troubles digestifs**

Les graines de caroube sont d'une aide précieuse pour soulager les troubles digestifs et gastro-intestinaux : digestion difficile, diarrhée, constipation, brûlures d'estomac, maux de ventre, intestins paresseux, irritations du côlon...

Grâce à sa haute teneur en fibres (40 g pour 100 g), la caroube participe au bon fonctionnement du transit intestinal. C'est un excellent anti-diarrhéique mais aussi un laxatif naturel qui facilite la progression des selles dans le côlon pour lutter contre la constipation.

Les graines contiennent aussi de la pectine, une substance végétale qui assure la protection des muqueuses gastriques et des parois intestinales. La caroube contribue également à améliorer la flore intestinale grâce à son effet pré-biotique (Benguiar, R., Benaraba, R., & Riazi, A. 2015).

### - Réduit le taux de cholestérol

La caroube pour réduire le taux de « mauvais cholestérol » (ou cholestérol LDL) et de triglycérides dans le sang. Cette action est due à la présence de polyphénols et de fibres solubles (El Rabey, H. A., Al-Seeni, M. N., et Al-Ghamdi, H. 2017).

En même temps qu'ils augmentent le taux de « bon cholestérol » (ou cholestérol HDL), les polyphénols de la caroube luttent contre l'oxydation du cholestérol LDL. Ils évitent ainsi la formation de plaques dans les artères, responsable de l'athérosclérose.

Les fibres solubles contribuent elles aussi à diminuer le taux de cholestérol en limitant l'absorption des glucides et des lipides.

### - Régule le taux de glycémie

La caroube est intéressante pour les personnes diabétiques car elle exerce un effet hypoglycémique. Elle participe au contrôle et à la réduction du taux de sucres dans le sang, et ce malgré sa haute teneur en glucose et en saccharose. En effet, la grande quantité de fibres solubles qu'elle contient suffit à ralentir l'absorption de ces sucres (Papakonstantinou, 2017).

Par conséquent, la caroube a tendance à augmenter la sensibilité à l'insuline et à interagir avec les médicaments antidiabétiques. Si vous souffrez de diabète, demandez conseil à votre médecin avant de consommer de la caroube.

### - L'influence sur la perte du poids

Grâce à sa richesse en fibres et sa faible teneur en matières grasses, la caroube est une bonne alliée lorsqu'on souhaite perdre du poids. Les fibres contenues dans les graines sont des fibres dites « solubles » : une fois dans l'estomac, elles gonflent, s'épaississent et forment une sorte de gel. Grâce à ce processus, la caroube favorise la sensation de satiété et agit comme un coupe-faim naturel.

A part sa richesse en nutriments, la caroube est également intéressante pour éviter les carences pendant un régime. Bien entendu, comme le cacao, elle ne doit pas être consommée en excès car elle est relativement calorique (220 kcal pour 100 g).

# Chapitre 3 : Matériels et méthodes

### III.1. Inventaire variétale du caroubier

#### III.1.1. Étude des variations phénotypique des gousses et des feuilles de caroubier

Cette étude a été effectuée à la maison à l'aide des instruments de mesures (une règle graduée, balance numérique) puisque des établissements ont refusé de nous aider. Notre étude a comme objectif la caractérisation phénotypique des gousses. La variabilité morphologique a été étudiée sur des gousses matures par des mesures biométriques et des évaluations qualitatives des caractères illustrés dans le tableau 6.



Figure 19 : Instrument de mesure:(photo originale de Sahari AEK 2021)

#### III.1.2. Variabilité du caroubier dans le monde

Le caroubier a été, depuis des siècles, propagé en culture par semis et plus tard par bouturage et greffage. Ainsi, les arbres choisis au hasard, dans les populations locales, ont été à la base de la sélection des cultivars et de l'établissement des vergers commerciaux (Batlle et Tous 1997). De ce fait, le caroubier cultivé ne diverge pas beaucoup de son ancêtre sauvage (Zohary, 1973). Toutefois, les différents cultivars recensés actuellement dans le monde se distinguent entre eux par leur vigueur, leur taille, la qualité de leurs gousses et de leurs graines, leur productivité et leur résistance aux maladies (Batlle et Tous, 1997).

Les cultivars communément connus dans les vergers commerciaux sont essentiellement composés de pieds femelles sélectionnés et de quelques pieds mâles et hermaphrodites. La

sélection a été traditionnellement basée sur la qualité du fruit notamment la taille de la gousse, le poids de pulpe et la teneur en sucre.

**Tableau 5 : Cultivars du caroubier dans le monde**

<b>Pays</b>	<b>Région</b>	<b>Cultivars</b>
<b>Espagne</b>	Tarragona, Castellon, Barcelone, Valence, Alicante, Majorque, Ibiza, Murcia, Malaga.	Negra, Matalafera, Duraio, Rojal, Bugadera, Costella dAse, Mollar, Lindar, Melera, Sayalonga, Boval, Del Pom, 'Banyeta, 'Borrera, Cacha, Banya de Cabra, Casuda.
<b>Italie</b>	Sicile, Apulia	Gibiliana, Racemosa, Saccarata, Amele di Bari.
<b>Portugal</b>	Algarve, Alentej	Mulata, Galhosa, Canela, AIDA.
<b>Maroc</b>	Fès, Marrakech, Agadir, Mokrisset, Bab Taza.	Lanta, dkar: types sauvages non greffés.
<b>Turquie</b>	Côte méditerranéenne, Izmir	Type sauvage et charnu, type Sisam

Les principaux cultivars de caroubier recensés à travers les différents pays du monde, ont été consignés dans (Tab.6). En Espagne, les cultivars sont caractérisés par leur haute teneur en pulpe dans les gousses, avec un rendement moyen en graine de 8 à 10%. Les cultivars des Îles Baléares se distinguent par une grande production en graines pouvant atteindre 16%, contrairement aux populations spontanées d'Andalousie où le rendement en graines est inférieur à 8% (Batlle et Tous, 1997). Au Maroc, il existe deux cultivars, "lanta" qui sont le type greffé et "dkar" le type sauvage. La production massive de gousse est assurée par des populations spontanées qui enregistrent un rendement très élevé en graines, 15% selon Ouchkif, (1988) et 12 à 25% selon Gharnit et al., (2001).

#### - **Polymorphisme phénotypique**

Les caractéristiques phénotypiques constituent un outil incontournable dans la classification et la taxinomie des organismes (Stuessy, 1990). Elles servent à repérer d'éventuelle contamination ou encore à permettre un étiquetage ultérieur. Les caractères morphologiques sont très importants et comprennent d'une part des mesures biométriques portant sur la plante (taille et forme des gousses, des feuilles, longueur d'inflorescence, nombre de fleurs, etc.). Et d'autre part des données qualitatives comme la couleur des gousses, le taux de graines (Batlle et Tous, 1997; Gharnit et al., 2004). Ils sont généralement quantitatifs et ont un déterminisme mono et polygénique. Toutefois, ils peuvent être influencés par des facteurs environnementaux.

L'analyse de diverses données morphologiques permet d'identifier et de caractériser des groupes de diversité et de préciser leur constitution. Cette description a été utilisée pour caractériser les types sauvages et cultivés du caroubier (Crossa-Raynaud, 1960; Navarro, 1992; Tous et al., 1996). Elle a été, en grande partie, à la base d'identification et de sélection des cultivars qui constituent le principal germoplasme espagnol (Tous et al., 1996; Batlle et Tous, 1997). Par ailleurs, les traits liés à la taille de l'inflorescence et au nombre de fleurs par inflorescence, qui sont indépendantes des conditions environnementales, ont servi d'outils, dans plusieurs pays, pour caractériser et étiqueter les pieds mâles et femelles du caroubier (Linskens et Scholten, 1980; Retana et al., 1994; Gharnit et al., 2004).

### **III.1.3. Échantillonnage des gousses de caroubier**

L'échantillonnage des graines et des fruits a été effectué dans trois régions géographiquement distinctes du nord-ouest de l'Algérie, à savoir Remchi (wilaya de Tlemcen), Sidi Belabes et Bénisaf (wilaya de Ain Témouchent) (Figure 8).

La période de notre travail était en dehors de la saison des récoltes du caroubier, les gousses sont vertes et on ne peut pas faire toutes les études nécessaires. C'est pour ça on a étudié la récolte de l'année dernière afin de voir et différencier quelques variétés qui se trouvent à l'ouest de l'Algérie.

### **III.1.4. Variabilité des gousses et feuilles de *Ceratonia siliqua* de l'Ouest algérien.**

#### **- Feuilles**

Les feuilles (Fig.) Persistentes, de 10 à 20 cm de longueur, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant de 8 à 15 folioles, opposées, de 3 à 7 cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert sombre brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (Ait Chitt et al., 2007).



**Figure 20 : Feuilles caroubier (photo originale de Sahari AEK 2021)**

### - Variabilité des gousses

Les gousses ont été caractérisées par six caractères morpho métriques : longueur de la gousse (cm), largeur de la gousse (mm), poids de la gousse (g), poids des graines par gousse (g), nombre de graines par gousse et la couleur des graines. Les résultats des différents traits observés lors de l'expérimentation sont présentés dans le tableau 12.



**Figure 21 : Variabilité des gousses (photo originale de Sahari AEK 2021)**

## III.2. Résultats et Discussion

### III.2.1. Caractérisation morphologique des gousses

Selon les variétés, les gousses de caroube sont différents morphologiquement dans leur taille, leur forme, leur qualité, leur couleur et dans leur rendement en graines. Ces variations peuvent être attribuées au génotype de la plante, l'origine géographique, les conditions climatiques et les méthodes de récolte et de stockage.

Les variables morphologiques : pois, largeur, épaisseur et longueur, et le nombre, poids et la couleur des graines dans 3 populations de caroubier sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous.

**Tableau 6 : Caractérisation morphologique des gousses (lang/larg/ep)**

Echantillons	Longueur(cm)	Largeur(cm)	Epaisseur(mm)
Bénisaf	16,4±1,8	2,7±0,4	4
Remchi	18±2,2	1,7±0,4	8
Sidi Belabes	9,4±1,3	2,5±0,2	6

**Tableau 7 : Caractérisation morphologique des gousses(pg/nbg/pgr)**

Echantillons	Poids de gousse(g)	Nombre de graines/gousse	Poids des graines/gousse(g)
Bénisaf	14,8 ±2	12 ±1	2 ±0,2
Remchi	24,2 ±1,8	17 ±3	2,3 ±0,4
Sidi Belabbès	10,6 ±2,6	8 ±1	1,8 ±0,2

#### a) Longueur des gousses

La taille des gousses est définie par la valeur moyenne de la longueur des trois échantillons prise de chaque population. Dans le cas de notre collection, la taille la plus longue a été enregistrée chez la population Remchi(18±2,2) et Bénisaf(16,4±1,8) et la plus petite chez la population de sidi Belabbès (9,40 cm ± 1,3) (Tableau 7) (Figures24,25 et 26).

Les figures montrent clairement que les gousses provenant de la région de Remchi et Bénisaf ont une taille importante par rapport à la variété de Sidi Belabbès qui se caractérise par des minuscules gousses.



**Figure 22 : Variété de Remchi (photo originale de Sahari AEK 2021)**



**Figure 23 : Variété de Bénisaf (photo originale de Sahari AEK 2021)**



**Figure 24 : Variété de sidi Belabes (photo originale de Sahari AEK 2021)**

### b) Largeur des gousses

Comme on peut constater dans le (Tab.7) la largeur des gousses s'ajuste entre (1,70 cm et 2,7 cm), qui donne une moyenne de  $(1,48 \pm 0,26 \text{ cm})$ . Les gousses Bénisaf sont des gousses larges avec une valeur de  $(2,7 \pm 0,4) \text{ cm}$ , tandis que la plus faible largeur a été enregistrée chez la population de Remchi  $(1,7 \pm 0,40)$ .

Les résultats sur le caractère « largeur des gousses » ont été représentés dans le (Tab.7). Pour l'ensemble des populations étudiées, la largeur des gousses a marqué une différence significative.

### c) Épaisseur des gousses

Des différences significatives de l'épaisseur de la gousse entre les trois variétés, le (Tab.7) montre que l'épaisseur des gousses des variétés de Remchi et sidi Belabes sont les plus épais tant dis que la variété de Bénisaf la plus mince entre eux.

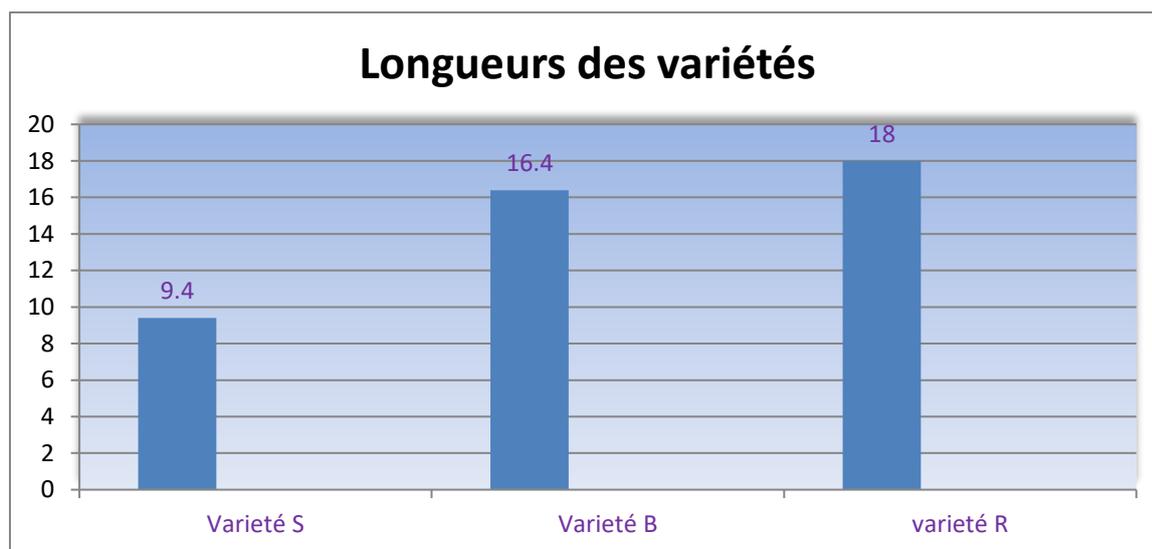


Figure25 : Longueurs des variétés

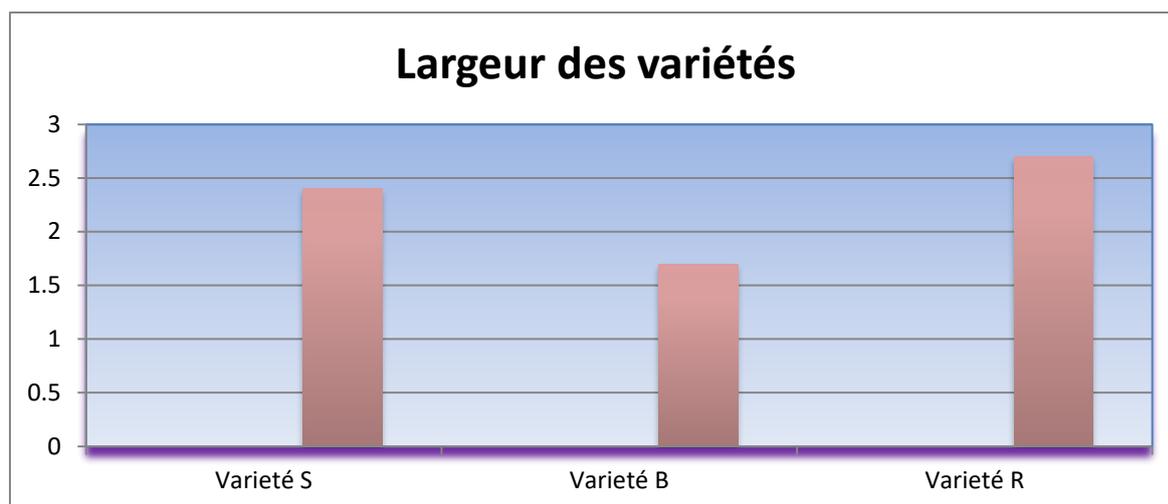


Figure 26 : Largeur des variétés

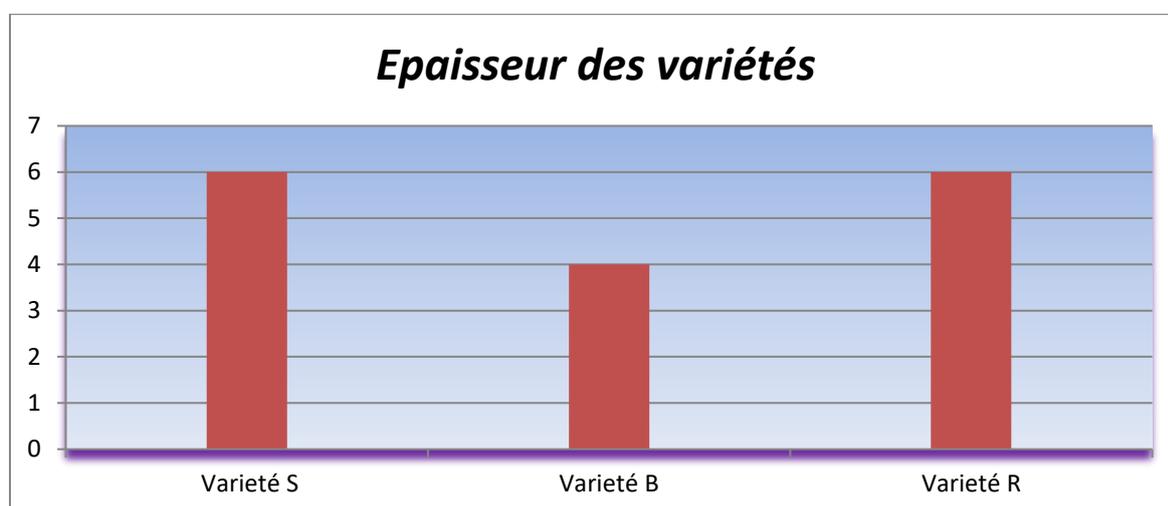


Figure 27 : Epaisseur des variétés

#### d) Poids de la gousse

La population Sidi Belabbès a montré le plus faible poids des gousses parmi trois populations étudiées avec ( $10,6 \pm 2,6$ ) alors que Remchi a la variété la plus pesante ( $24,2 \pm 1,8$ ) (Tableau8). Les variables longueur, largeur et épaisseur de la gousse sont en relation directe avec le poids de la gousse (Tableau7). En effet, une corrélation positive entre les paramètres mesurés (longueur, largeur, épaisseur et le poids de la gousse) a été observée. Les gousses de poids important sont celles qui ont des gousses longues, larges et épaisses.

La taille des gousses de caroube est de 10 à 20cm de longueur, 1.5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2 cm d'épaisseur (Batlle 1997). Nos résultats de longueur et largeur sont en accord avec

ces données alors que l'épaisseur est un peu faible, ceci est peut-être dû à la non maturité des gousses.

(Yousif et Alghzawi, 1999) ont bien établi que les mesures physiques de la totalité des gousses de caroubes indiquent indirectement la qualité des gousses. Ils ont observé que, plus l'épaisseur est élevée, plus le taux de pulpe et de noyau est élevé et par conséquent les gousses ont une meilleure qualité basée sur cette règle. On peut dire que la variété de Remchi est de bonne qualité par rapport aux deux autres.

#### e) Nombre de graines par gousse

Le nombre moyen de graines par gousse est très variable. La population Bénisaf a le nombre de graines par gousse le plus faible (8graines par gousse) et la population Remchi, le nombre de graines le plus important avec ( $17 \pm 3$  graines par gousse).

On remarque que les graines ont des tailles différentes d'une variété à une autre, même la couleur et la forme comme on peut les voir dans la figure 30



**Figure 28 : Graines caroubier (V.R,V.B,V.S) (photo originale de Sahari AEK 2021)**

La graine du caroubier souffre de dormance physique causée par la résistance de son enveloppe qui empêche l'absorption de l'eau favorisant ainsi sa conservation qui peut dépasser 5 années (Coit, 1951;Goor et Barney, 1968).

### f) Poids des graines

Comme on peut voir dans le (Tab.8) le poids des graines varie d'une population a une autre, la variété de Remchi avec un poids de  $(2,3 \pm 0,4g)$  de graine par gousse a le meilleur poids de graines que les deux autres variétés, malgré que la différence avec la variété de Bénisaf ( $2 \pm 0,2g$ ) ne soit pas très vaste. La variété de Sidi Belabes a la plus faible quantité de graines par rapport aux deux autres variétés.

### III.2.2. Discussion

La taille des gousses, définie par la valeur moyenne de sa longueur a donné lieu à la classification de nos populations en trois catégories : taille légèrement longue ( $15 < L \leq 20$  cm), taille moyenne avec ( $14 \leq L \leq 15$ ) et taille légèrement courte avec ( $10 \leq L < 14$ ), conformément aux travaux de catégorisation de taille réalisées par Tutin et al., (1993), Tous et al., (1996) et Batlle et Tous (1997). Dans le cas de notre étude, nous pouvons classer les gousses de la population Remchi et Bénisaf, comme des gousses légèrement longues, tandis que celles les populations de Sidi Belabes sont caractérisées par des gousses de taille courte. La largeur des gousses du caroubier a une indication d'ordre agronomique importante. Elle est indépendante de la taille de gousse et peut renseigner non seulement sur son état comprimé ou élargi, mais aussi sur le volume des graines et de la pulpe. Elle varie de 1,5 à 2,5 cm selon (Tutin et al., 1993) et de 1,5 à 3,5 cm selon (Batlle et Tous 1997).

L'épaisseur des gousses est également variable d'une population à une autre et forme un critère de distinction entre les gousses comprimées ou volumineuses. Elle peut atteindre 1cm notamment chez les gousses charnues (Batlle et Tous, 1997).

Le poids de la gousse est un critère distinctif sur le plan agro-morphologique, mais il reste toujours lié et influencé par les mesures de la taille (longueur, largeur et épaisseur).

En effet, nous avons observé que généralement, les populations ayant un important poids de gousse sont celles qui ont des gousses longues, larges et épaisses. Les niveaux de variation du poids de la gousse sont très comparables entre les trois populations étudiées ; les valeurs de la moyenne, révèlent une différence entre nos populations en fonction des conditions climatiques. En effet, les valeurs du poids de la gousse du caroubier demeurent pratiquement inchangées sous les mêmes conditions environnementales, (Melgarejo et Salazar, 2003).

Le nombre moyen des graines par gousse des différentes populations est très variable. L'abondance des graines dans les gousses d'une production de caroubier, serait un caractère

distinctif entre les types sauvages et les cultivars. En effet, les types sauvages sont connus pour leur grande production de graines qui sont généralement petites et non charnues (dépourvu d'une enveloppe épaisse) (Marakis et al., 1988; Ouchkif, 1988; Di Lorenzo, 1991).

De nombreux facteurs expérimentaux peuvent influencer les réponses de la plante à la sécheresse :

- Le statut de la plante (nutrition, âge, vigueur générale, etc.),
- Les conditions édaphiques (aération, teneur en ions, type de sol, humidité du sol, etc.),
- Les facteurs atmosphériques (température de l'air, irradiation, déficit de pression de vapeur atmosphérique, etc.).

Notre approche multifactorielle dans des conditions normalisées a révélé des relations et des différences entre les trois populations étudiées. Le caroubier présente une variabilité intra spécifique des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation au déficit hydrique.

La TRE est un bon indicateur utilisé pour évaluer l'état hydrique de la plante (Teulat et al., 1997) et elle a également été proposée comme un indicateur relatif à l'utilisation des ressources végétales (Garnier et al., 2001). L'état hydrique de la plante, exprimé par la teneur relative en eau (TRE), s'est montré sensible aux variations des disponibilités en eau dans le sol. En effet, le déficit hydrique provoque une réduction des valeurs de la teneur relative en eau.

### **III.3. Conclusion Générale**

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), arbre endémique en Algérie, se développe particulièrement au Nord. La recherche sur cette espèce s'accroît ces dernières années en raison de son intérêt économique et agronomique.

L'exposition des plantes à des stress environnementaux comme la sécheresse se traduit par des changements de leur état physiologique et biochimique. Pour éviter ces perturbations, revenir à l'état d'équilibre et assurer leur survie, les plantes ont développé des mécanismes physiologiques et biochimiques de tolérance, qui comprennent diverses molécules remplissant leurs fonctions pour contrer les effets négatifs des contraintes environnementales.

Le caroubier est une essence qui fait partie du paysage de la méditerranée et qui est fortement adaptée aux conditions extrêmes, notamment à la sécheresse. Il possède des particularités physiologiques et biochimiques lui permettant de s'adapter à certains régimes

climatiques caractérisés par une aridité plus ou moins accentuée dans son aire de répartition.

Les études sur le plan morpho-métrique des trois populations récoltées et étudiées au Nord-Ouest de l'Algérie ont permis de sélectionner les variétés les plus intéressantes. Une analyse quantitative et l'analyse en composantes principales ont permis de regrouper les variétés en trois groupes et trois variétés malgré le coût temps d'étude et les conditions sanitaires de notre pays à cause du covid-19.

Les caractères morpho-métriques de la gousse ont été utilisés pour la caractérisation de la variabilité génétique au sein des peuplements naturels de *C. siliqua* du centre et du nord-ouest de l'Algérie. Tous les caractères morpho-métriques étudiés sont influencés à la fois par le génotype mais surtout par les conditions environnementales. Des variations importantes sont apparues pour tous les traits considérés et entre toutes les populations. Nous remarquons que chaque critère de gousse analysé peut être considéré comme un moyen distinctif d'une population à l'autre et chacun de ces six caractères pourrait, sur le plan agro-morphologique, discriminer nos populations de caroubier.

L'étude phénotypique basée sur les traits des gousses de différentes populations de caroubier a permis de révéler un polymorphisme inter-populations et de catégoriser et d'établir une fiche descriptive préliminaire pour chaque population. Selon l'importance morpho-agronomique et économique de certains traits du fruit, nous avons distingué trois catégories de populations ; la première catégorie comprend les peuplements situés dans la région de REMCHI. La deuxième comprend un constitué par tous les échantillons de la région de BENISAF et l'autre formée par les échantillons de SIDI BELABES..De l'étude comparative des trois populations de *C. siliqua*(Remchi, Bénisaf, Sidi-Bel-Abbès), nous remarquons la présence de différences significatives en termes de réponses physiologiques en conditions de stress hydrique. Des différences intra-spécifiques de l'état hydrique de la feuille, de la teneur en pigments photosynthétiques, de l'osmo-régulation entre les trois populations ont été observées.

Ces travaux qui permettent l'évaluation de la diversité phénotypique et génétique du caroubier et qui étudient les réactions physiologiques et le comportement de *C. siliqua* face au stress hydrique, elle constitue une contribution à la connaissance de cette espèce délaissée. Ce travail permet aussi l'ouverture de nouvelles perspectives, telle que :

- Développer la culture du caroubier en tant qu'arbre aux multiples vertus pouvant jouer un rôle important dans la sécurité alimentaire et la réduction du réchauffement climatique.
- Informer et sensibiliser les usagers mais aussi toute l'opinion publique nationale sur les spécificités, l'importance et l'intérêt de la conservation et du développement de cet arbre .
- Approfondir les études scientifiques sur les mécanismes de tolérance liés aux adaptations morphologiques.
- L'élargissement de la collection du caroubier en y apportant de nouvelles populations provenant de toutes les régions de l'Algérie.
- L'enrichissement des données de différentes collections ou populations avec d'autres informations utiles telles que la nature de plantation (cultivée ou spontanée), âge, production, exposition, ....

## Références bibliographiques

- Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., (2007), Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, N°153, IAV Rabat, pp.1-4. *Office National de la Météorologie*. — Archives météorologiques, Or an.
- 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, pp. 209.
- Aimé S., Remaoun K. Variabilité climatique et steppisation dans le bassin de la Tafna (Oranie occidentale). In: Méditerranée, troisième série, tome 63, 1-1988. pp. 47-48
- Aimé S., Remaoun K. Variabilité climatique et steppisation dans le bassin de la Tafna (Oranie occidentale). In: Méditerranée, troisième série, tome 63, 1-1988. pp. 46
- Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S., Correia, P. J., Alaiz, M., Sanz, C., ... & Strnad, M. (2007). Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *Journal of Food Quality*, 30(6), 1040-1055.
- Battle I. et Tous J., 1997. Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the protection and use of underutilized and neglected crops». 17. Institute of plant Genetic and crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome. Italy. 97 p.
- Benguiar, R., Benaraba, R., & Riazi, A. (2015). Effet de l'extrait de caroube sur la croissance de deux candidats probiotiques: *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus rhamnosus*. *Nature & Technology*, (13), 22.
- Bouzouita, N., Khaldi, A., Zgoulli, S., Chebil, L., Chekki, R., Chaabouni, M. M., & Thonart, P. (2007). The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia. *Food Chemistry*, 101(4), 1508-1515.

- Bélaygue, C., Weery, J., Cowan, A., and Tardieu, F. (1996). Contribution of leaf expansion, rate of leaf appearance, and stolen branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. *Crop science*, 37(5), 1241-1247.
- Baum N., (1989), Arbres et arbustes ancienne de l’Egypte , pp. 353
- Coit, J. E. (1951). Carob or St. John’s bread. *Economic Botany*, 5(1), 82-96
- C. Abdelbaki, M. Habi et A. Benmansour, ‘Création de la Base de Données des Points d’Eau du Groupement Urbain de Tlemcen’, Séminaire National sur l’Eau et l’Environnement, Béchar, Algérie, 2003.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understandings plants response to drought—from genes the whole plants. *Functional plant-biology*, 31(3), 249-255.
- Cabuslay, G. S., Ito, O., & Alejar, A. A. (2002). Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Science*, 163(4), 815-827.
- De Candolle A., 1983. L’origine des plantes cultivées. Balière, Paris, France.
- Evreinoff VA., 1947. Agriculture tropicale Le Caroubier ou *Ceratoniasiliqua* L. *Rev. Bot. Appl* : 389 - 401.
- Evreinoff V. A. Le Caroubier ou *Ceratoniasiliqua*L. .In: Revue internationale de botanique appliquée et d’agriculture tropicale, 27<sup>e</sup> année, bulletin n°299-300, Septembre-octobre 1947. pp. 391.
- Evreinoff V. A. Le Caroubier ou *Ceratoniasiliqua*L. .In: Revue internationale de botanique appliquée et d’agriculture tropicale, 27<sup>e</sup> année, bulletin n°299-300, Septembre-octobre 1947. pp391-392.
- El Rabey, H. A., Al-Seeni, M. N., & Al-Ghamdi, H. B. (2017). Comparison between the hypolipidemic activity of parsley and carob in hypercholesterolemic male rats. *BioMed research international*, 2017.
- El Rabay, H. A., Al-Seeni, M. N., & Al-Ghaamdi, H. B. (2017). Comparison between the hypolipidemic activity of parsley and (*Ceratonia siliqua* L.) in hyper-cholesterolemic male rat. *Bio-Med research international*, 2017.
- Kusaka, M., Lalusin, A. G., & Fujimura, T. (2005). The maintenances of growths and tirgor in pearls millets (*Pennisetum glaucums* [L.] Leake) cultivar with different roots structures and osmo-régulation under droughts stress. *Plant Science*, 168(1), 1-14.

- Lavalée P., 1962. Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie ». Alger, 47p.
- L. Emberger, Une classification biogéographique des climats. Travaux. Lab. Bot. Zool. Fac. Sci. Serv. Montpellier 8, (1955)p 2-45
- Lecoœur, J., Wery, J., Turc, O., & Tardieu, F. (1995). Expansion of pea leaves subjected to short water deficits: cell numbers and cell sizes are sensitive to stress at different periods of leaf development. *Journal of Experimental Botany*, 46(9), 1093-1101.
- Melgarejo P. & Salazar D.M., 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- Marès, R. (1971). (*Ceratonia siliqua L.*) et les luttres contre les incendies.
- Marron, N., Delay, D., Petit, J. M., Dreyer, E., Kahlem, G., Delmotte, F. M., & Brignolas, F. (2002). Physiological traits of two *Populus* × *euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiology*, 22(12), 849-858.
- Nicoletti, I., Bello, C., De Rossi, A., & Corradini, D. (2008). Identification and quantification of phenolic compounds in grapes by HPLC-PDA-ESI-MS on a semimicroseparation scale. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56(19), 8801-8808.
- Nativ, R., Ephrath, J. E., Berliner, P. R., & Saranga, Y. (1999). Drought resistance and water use efficiency in *Acacia saligna*. *Australian Journal of Botany*, 47(4), 577-586.
- Papagiannopoulos, M., Wollsefen, H. R., Mallenthin, A., Habar, B., & Galensa, R. (2004). Identification and quantification of polyphenols in (*Ceratonia siliqua L.*) and derived products by HPLC-UV-ESI/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 3784-3791.
- Papakonstantinou, E., Orfanakos, N., Farajian, P., Kapetanekou, A. E., Makariti, I. P., Grivokostopoulos, N., ... & Skandamis, P. N. (2017). Short-term effects of a low glycemic index carob-containing snack on energy intake, satiety, and glycemic response in normal-weight, healthy adults: results from two randomized trials. *Nutrition*, 42, 12-19.

- Pita, P., & Pardos, J. A. (2001). Growth, leaf morphology, water use and tissues waters relation of Eucalyptus globulus clones in responses to waters deficit. *Tree Physiology*, 21(9), 599-607
- 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 LibbeyEurotext. Paris: 79-85.
- RICHARDSON, 1964 in HADDAD, contribution à l'étude anatomique et Botanique de quercus Espèces feuillues autochtones : Fraxinus oxypyllobied , Populus tremula L, Quercus mirbekii Dur . thésed'ing INA, El-Harrach .70p
- SELTZER P. (1946). - Le climat de l'Algérie. Typo-Litho, Alger
- Sbay H. et M. Abourouh, (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
- SCHWEINFURTH, G. Sammlung Arabisch-aethiopischer Pflanzien, Ergebnisse von Reisen in den Jahren 1882, 1888-89, 1890-92. *Bull. Herb. Boissier*, 1894, vol. 2, p. 1-114. Zohary M., 1973. Géobotanical Foundations of the Middle East, 2 vols. Stuttgart.
- Vavilov, N. I. (1951). *The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants* (Vol. 72, No. 6, p. 482). LWW. Garnit N., 2003. Caractérisation et essai de régénération in vivo du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) originaire de la province de Chefchaouen (Nord-Ouest du Maroc). Th. Doc en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger.
- \*Yousif, A. K., & Alghzawi, H. M. (2000). Processing and characterization of carob powder. *Food chemistry*, 69(3), 283-287.
- Zouhair O. (1996), Le caroubier : situation actuelle et perspectives d'avenir, Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.
- Zhao, C. X., Shao, H. B., & Chu, L. Y. (2008). Aquaporin structure–function relationships: water flow through plant living cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62(2), 163-172