



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Larbi Tébessi –Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Etres vivants

MEMOIRE présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine: science de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologiques

Option: Ecophysiologie végétale

Thème:

**Etude de la reproduction et la
croissance du caroubier
- *Ceratonia siliqua* -**

Présenté par: Belfetni Mohamed Amine

Devant le jury:

Boudjabi Sonia	M.C.B	Tébessa	Président
Ghedabnia karima	M.A.A	Tébessa	Rapporteur
Hioun Soraya	M.A.A	Tébessa	Examineur

Date de soutenance: 10/06/2021

Année universitaire : 2020/2021



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, pour leur amour, leur soutien et leur sacrifice.

À toute ma famille.

À mes chers frères et mes chères sœurs.

À mes chers professeurs . À mes amis

À tous ceux qui me sont cher(e)s

Remerciements

Avant tout j'adresse mes remerciements à ALLAH, le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces longues années d'études et pour la réalisation de ce travail que j'espère être utile.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements et mes profondes gratitudes à mon encadreur Madame Ghedabnia Karima pour ses conseils, orientations, encouragements et l'importance qu'elle m'a donné tout au long de ce travail.

Mes remerçons également au président Madame. Boudjabi Sonia et l'examinatrice Madame Hioun Soraya pour avoir accepté de juger ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants du département des êtres vivants.

résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) de la famille de légumineuse est originaire du pourtour méditerranéen. Il est cultivé pour plusieurs intérêts.

Le but de ce travail est d'étudier les techniques de la reproduction du caroubier par deux méthodes : la multiplication sexuée par semis afin d'obtenir des francs et la multiplication végétative par greffage, bouturage et culture *in vitro*.

Les études sur la multiplication par semis ont montre l'importance de prétraitement des graines (scarification) afin d'améliorer la germination.

Pour les cultivateurs, la propagation végétative constitue une des solutions aux problèmes liés à la grande diversité qui caractérise la reproduction sexuée (semis).

De nombreux résultats encouragent la micro propagation du caroubier par la culture *in vitro*.

Mots clés : *Ceratonia siliqua* – Culture *in vitro* –Semis-Multiplication végétative-Greffage-Bouturage.

abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) of the legume family is native to the Mediterranean region. It is cultivated for several interests.

The aim of this work is to study the techniques of reproduction of the carob tree by two methods: sexual multiplication by seed to obtain francs and vegetative multiplication by grafting, cuttings and *in vitro* culture.

Studies on propagation by seed have shown the importance of seed pretreatment (scarification) in order to improve germination.

For growers, vegetative propagation is one of the solutions to the problems linked to the great diversity that characterizes sexual reproduction (sowing).

Numerous results encourage the micropropagation of the carob tree by *in vitro* culture.

Key words: *Ceratonia siliqua* - *In vitro* culture –Sowing-Vegetative propagation-Grafting-Cuttings.

ملخص

شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L.) من عائلة البقوليات موطنها الأصلي هو منطقة البحر الأبيض المتوسط يتم زراعتها لفوائدها المتعددة الهدف من هذا البحث هو دراسة تقنيات تكاثر شجرة الخروب بطريقتين التكاثر الجنسي بالبذور و التكاثر الخضري عن طريق التطعيم العقل و الزراعة الزجاجية أظهرت الدراسات أهمية معالجة البذور قبل زرعها عن طريق الخدش من أجل تحسين عملية الإنبات في حالة التكاثر الجنسي يعتبر التكاثر الخضري بالنسبة للمزارعين احد الحلول للمشاكل الناتجة عن التنوع الكبير الناتج عن التكاثر بالبذور العديد من الدراسات تشجع على تكاثر شجرة الخروب عن طريق الزراعة الزجاجية.

الكلمات المفتاحية : شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L.) - الزراعة الزجاجية-البذر- التكاثر الخضري- التطعيم -العقل

Sommaire

Dédicace	I
Remerciement	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
Liste d'abréviations	VIII
Introduction.....	1

Chapitre 01 : Généralité sur le caroubier

1. Etymologie.....	3
2. Description morphologique de la plante.....	3
2.1. Feuilles.....	3
2.2. Le tronc.....	4
2.3. Racines.....	5
2.4. Fleurs.....	5
2.5. Les graines.....	6
2.6. Les fruits.....	7
3. Classification de la plante.....	8
4. Répartition géographique.....	9
4.1. Aire de production du caroubier dans le monde.....	10
4.2. Répartition géographique en Algérie.....	11
5. Les conditions favorables de la croissance du caroubier.....	12
6. Intérêt du caroubier.....	13
6.1. Importance écologique.....	13
6.2. Importance pharmaceutique.....	13
6.3. Importance industriel.....	13

Chapitre 02: Multiplication par semis

1. Semis.....	15
2. Levée de dormance et germination des graines du caroubier.....	15
3- Quelques études sur la germination.....	16

Chapitre 03: Multiplication végétative

1 .Multiplication végétative traditionnelle.....	19
1 .1Bouturage.....	19
1.2.Greffage.....	21
1.2.1.Greffage des plants Greffage en fente simple.....	21
1.2.2.Greffe des vieux arbres par couronne.....	23
2. Culture <i>in vitro</i>	24
2.1.Quelques études sur culture <i>in vitro</i>	24
Conclusion	29
Références bibliographiques.....	31



Liste des tableaux

Tableau	titre	Page
Tableau N°01	Estimation de la surface cultivée, de la production et du rendement du caroubier dans le monde en 2011	10
Tableau N°02	Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009	12

Liste des figures

Figures	titre	Page
Figure N°01	Feuilles caroubier	4
Figure N°02	Tronc du caroubier	4
Figure N°03	Racine du caroubier	5
Figure N°04	Fleurs male du caroubier	6
Figure N°05	Fleurs femelle du caroubier	6
Figure N°06	Graines du caroubier	7
Figure N°07	Fruit du caroubier	8
Figure N°08	Distribution du caroubier dans le monde	10
Figure N°09	Distribution du caroubier en Algérie	11
Figure N°10	Germination de graines de caroubier sous l'irrigation de l'eau de mer méditerranéenne	17
Figure N°11	Principales étapes du bouturage ligneux chez le caroubier	20
Figure N°12	Principale étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier	22
Figure N°13	Principales étapes du greffage en couronne chez le caroubier	23
Figure N°14	Phase d'initiation de la micro propagation du Caroubier par culture <i>in vitro</i> de bourgeons axillaires de plantules âgées de sept mois	26

List d'abréviation

le milieu WPM: milieu Woody plant medium

milieux MS : milieu Murashige et Skoog

BAP: Benzylaminopurine

acide 2,4: dichlorophénoxyacétique

BA : 6-benzyladénine

IBA : acide indole-3-butyrique

NAA : alpha-naphtalène acétique acide

GA₃ : acide gibbérelline

H₂SO₄ : acide sulfurique

µm : Micromètre

Introduction

Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*. C'est un arbre qui sur le plan socio-économique et écologique peut jouer un rôle des plus intéressants particulièrement dans les contrées sèches et dans les zones où les processus de désertification prennent des ampleurs de plus en plus alarmantes, notamment dans le bassin méditerranéen (**Rejeb et al., 1991**).

C'est une espèce sclérophylle, thermophile, héliophile, xérophile, et calcicole, originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique. 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 et al., 2007**).

En Algérie et alors qu'en domaine forestier et sur terrains privés, les essences forestières sont mises à rude épreuve, le caroubier fait l'objet de protection et d'attention de la part des paysans. Ses vertus et ses atouts que les autres espèces ne possèdent pas justifient ce privilège. Il est apprécié et recherché car il présente de nombreuses potentialités favorables au développement rural, à la conservation des sols et à l'économie de montagne, il donne un fruit et une graine aux qualités indéniables et aux multiples utilisations domestiques et industrielles (**Mhirit et Tobi, 2002**).

Le caroubier présente un intérêt de plus en plus grandissant en raison non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (**Ait Chitt et al., 2007**).

Cependant, le caroubier est connu pour être l'une des espèces méditerranéennes les plus sensibles au froid, de sorte que son aire de culture se voit limiter à des zones dont les altitudes ne dépassent pas les 500 m, et bien qu'il soit dans des régions de basses altitudes il peut être gravement endommagé lors des hivers rigoureux, comme ça était le cas en

Introduction

Espagne dans les années 1956 et 1985 (**Albanell, 1990**), où les températures basses ont décimé une grande partie des vergers de caroubier, obligeant de nombreux agriculteurs à abandonner sa culture au profit de celle de l'olivier.

Le but de ce travail est d'étudier théoriquement le comportement germinatif du caroubier soumis à différents traitements pour la levée de l'inhibition tégumentaire des graines et de présenter les différentes méthodes de la reproduction asexuée.

Ce manuscrit est composé d'une introduction générale, suivie du premier chapitre qui présente des généralités sur le caroubier, le deuxième chapitre explique la multiplication du caroubier par semis et le dernier chapitre présente les différentes techniques de la multiplication végétative.

Chapitre I :
Généralités sur
le caroubier

1. Etymologie

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L., proposé par Linné est dérivé du mot grec « Keras » ou corne et du latin « siliqua » ou gousse, en allusion à la dureté et à la forme de la gousse. La dénomination de l'espèce *C. siliqua* dans différents pays et langues découle d'une forme générale du nom arabe Al Kharroub ou kharroub, ou del Algarrobo ou garroferoen espagnol (**Rejeb et al., 1991**). Par ailleurs, son nom commun vient de l'hébreu kharuv donnant lieu à plusieurs dérivés tels que, kharrubb en arabe, Algarrobo en espagnol, carrubo en italien, caroubier en français, garroter ou garrover en Catalan...etc. Dans certains cas, le caroubier est dénommé « pain de Saint Jean-Baptiste ». Cette dénomination dérive de la croyance qui raconte que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert (**Albanell, 1990**).

2. Description morphologique de la plante

Le caroubier, à l'origine cultivé pour son fruit, est un bel arbre d'ornement à réserver (**Battle et Tous, 1997 ; Ait Chitt et al, 2007**). Le caroubier dont le nombre de chromosome est de $2n = 24$, est un arbre xérophile avec une durée de vie importante (jusqu'à 200 ans) (**Rejeb et al., 1991**).

Le caroubier est un arbre dioïque, parfois hermaphrodite et rarement monoïque (**Linskens et Scholten, 1980**). Il présente de puissantes racines qui pénètrent dans le sol à plus de 18 mètres de profondeur. Il se caractérise par une croissance lente ; pouvant atteindre une quinzaine de mètres de hauteur (**Quezel et Santa, 1963**).

Les graines du caroubier sont appelées « carats » et ont pendant longtemps servi aux joailliers comme unité de poids pour la pesée des diamants, des perles et autres pierres précieuses (1 carat = 205,3 mg) (**Rejeb, 1995**).

2.1. Feuilles

Les feuilles 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 (fig.01), Elles sont persistantes, de longueur de 10 à 20 cm, coriaces, entières, ovales à elliptiques, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert pâle à la face inférieure et vert sombre brillante à la face supérieure (**Albanell, 1990**).

L'arbre perd ses feuilles tous les deux ans, au mois de juillet, et sont renouvelées au printemps en avril et mai de la même année (**Ait Chitt et al., 2007**).



Figure 01. Feuilles caroubier (cliché Belfetni Mohamed Amine, 2021)

2.2. Tronc

Le tronc du caroubier est épais, 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).

Selon Batlle et Tous (1997), l'écorce est lisse sur la partie supérieure du tronc et à la base des branches (fig.02). Elle est rugueuse sur la partie inférieure de couleur grise à rougeâtre (Melgarejo et Salazar, 2003 ; Albanell, 1990) .

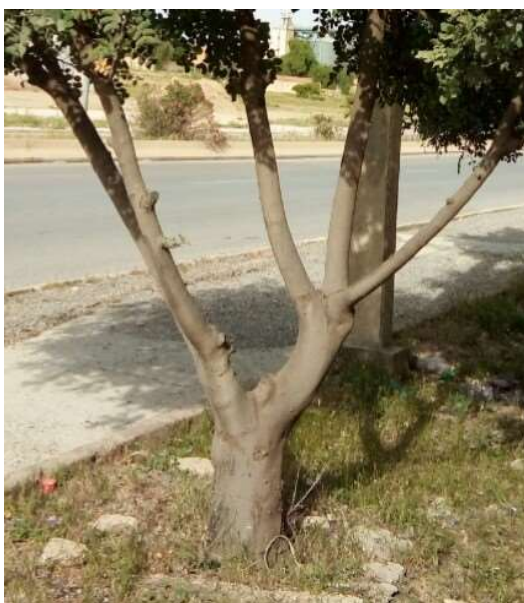


Figure 02. Tronc du caroubier (cliché Belfetni Mohamed Amine, 2021)

2.3. Les racines

La racine est très étendue et spécialement distribué en surface (**Melgarejo et Salazar, 2003**). elle se caractérise par une croissance lente avec un développement important au niveau des extrémités (fig.03), la racine principale est ramifiée en plusieurs racines latérales de grande longueur et avec de nombreux poils absorbants (**Aafi, 1996 ; Gharnit, 2003**).



Figure 03. Racine du caroubier (photo internet)

2.4. Les fleurs

L'arbre est dioïque, parfois hermaphrodite et rarement monoïque (**Battle et Tous, 1988 ; Linskens and Scholten, 1980**). Les fleurs mâles, femelles et hermaphrodites poussent sur des pieds différents.

Les fleurs sont verdâtres, de petite taille (6 à 16 mm de longueur), spiralées et réunies pour former des grappes axillaires et droites plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles sont développées (Fig.04) (**Battle et Tous, 1997**). Les fleurs femelles sont constituées d'un pistil court et recourbé avec un petit ovaire (5 à 7mm) bi-carpelle. Les stigmates sont bilobés et couvertes par des papilles. A la base, le disque nectarifère est entouré de 5 à 6 sépales rudimentaires. En général, la corolle est absente (fig.05), Les fleurs mâles portent 5 étamines libres, opposées aux sépales, étalées, longuement saillantes

(Aafi, 1996). Les inflorescences males sont plus courtes que celles des femelles et plus compactes et nombreuses (Salazar ,2003).



Figure 04. Fleurs male du caroubier (photo internet)



Figure 05. Fleurs femelle du caroubier (photo internet)

2.5. Les graines

Les graines du caroubier sont très dures , petites , aplaties, d'une forme presque ovoïde avec un pôle basal tronqué et écrasé en zone apicale . 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 à 8 mm de largeur avec 3 à 5 mm d'épaisseur (fig.06), Les graines presentent environ 10 % de la masse de la gousse de caroube (Petit *et al.*, 1995; Bouzouita *et al.*, 2007).



Figure 06. Graines du caroubier (cliché Belfetni Mohamed Amine ,2021)

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

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

B. Endosperme ou **albumen**, il se situe sous l'épisperme et constitue le tissu de réserve pour la germination de l'embryon. Economiquement, c'est la partie la plus intéressante de la graine grâce à sa teneur élevée en galactomannane ou gomme de caroube. L'endosperme représente 42 à 46 % de la graine.

C. Germe ou **embryon**, représente 23 à 25 % de la graine.

2.6. Les fruits

Malgré son aspect pulpeux, Le fruit du caroubier est classifié habituellement selon sa faible teneur en eau au moment de sa collecte comme un fruit sec (**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 (fig.07), La gousse du caroubier se développe très lentement et nécessite 9 à 10 mois pour atteindre la maturité, 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, Il

est sinueux autour des bordures, aplati, droit ou courbé et présente un tissu pulpeux sucré et rafraichissant (Batlle et Tous, 1997).



Figure 07. Fruit du caroubier (cliché Belfetni Mohamed Amine, 2021)

Chaque gousse est remplie de graines brunes très dures, environ 15 à vingt graines par gousse. Les graines sont entourées d'une pulpe jaune, farineuse et au goût sucré (Batlle et Tous, 1997).

On peut distinguer trois parties du fruit :

- Endocarpe, de nature fibreuse ; il recouvre l'intérieur du fruit en le divisant en segments ou loges carpellaires où se situent les graines
- Mésocarpe ou pulpe, de nature charnue, riche en sucres. Il représente environ 70 à 95% du fruit entier
- Épicarpe ou peau, de nature fibreuse et coloré (Caja, 1985).

3.classification de la plante

Selon Quezel et Santa(1962) le genre *Ceratonia*, appartient à la famille des légumineuses, ordre des Rosales, sous famille des Caesalpinioideae :

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliosida
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Rosales
- Famille : Legumineuses
- Sous-famille : Caesalpinioideae
- Sous-tribu : Ceratoniinae
- Genre : Ceratonia

4. Répartition géographique

le bassin méditerranéen est le centre de diversité du caroubier, On le retrouve principalement au Maroc ,en Espagne, en Italie, en Grèce et au Portugal (**Dakia et al., 2008 ; Melgarejo et Salazar (2003).**

Il fut aussi introduit avec succès par les espagnols et les anglais dans autres pays à climat entre autres méditerranéen notamment, au États-Unis (Arizona, Sud de la Californie), au Mexique, en Australie et en Afrique du Sud (**Estrada et al., 2006).**

En général, la distribution des espèces arboricoles telles que *C. siliqua* est limitée par le stress lié au froid (**Mitrakos, 1981**) ; c'est le cas notamment de *C. oreothauma* (**Hillcoat et al., 1980**). Le caroubier est considéré comme une essence dominante et caractéristique des zones inférieures (0-500 m, atteint rarement les 900 m d'altitude) du maquis méditerranéen à feuilles persistantes (**Zohary et Orshan, 1959; Folch i Guillén, 1981**).

Le caroubier a d'abord été propagé par les grecques, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce et en Italie, en Espagne et au Portugal (**Rejeb, 1995 ; Gharnit, 2003**).

4.1. Aire de production du caroubier dans le monde

La superficie cultivée totale de cette espèce dans le monde est estimée à 87.485 ha (tableau 01) ; desquels 74.174 ha (84,81%) sont répartis entre l'Espagne, le Maroc, l'Italie et le Portugal. La production mondiale de la caroube est estimée à 205.589 t et se concentre principalement en Espagne, premier pays producteur avec 55.754 t, ce qui représente 27,12 % de la production mondiale (tableau.01),(fig.08) suivi par l'Italie (21,77%) et le Portugal (15,11%). L'Algérie occupe le huitième rang avec une production de 4000 t, soit 1,95% de la production mondiale

Tableau 01. Estimation de la surface cultivée, de la production et du rendement du caroubier dans le monde en 2011 (**tableau établi à partir des données de la FAOSTAT**)

Pays	Surface cultivée (ha)	Production (tonnes)	Rendement (t/ha)
Espagne	47000	55754	1,19
Maroc	9717	20489	2,11
Italie	9183	44749	4,87
Portugal	8274	31067	3,75
Grèce	5284	20901	3,96
Turquie	2910	13972	4,80
Chypre	1353	10560	7,80
Algérie	1000	4000	4,00
Reste du monde	1214	3711	4,09
Total	87458	205589	2,35

Les productions de gousses et de graines dans les différents pays ne sont pas en parallèles, car il existe des différences dans les rendements en graines entre les cultivars et les variétés de type sauvage (**Batlle et Tous, 1997**).

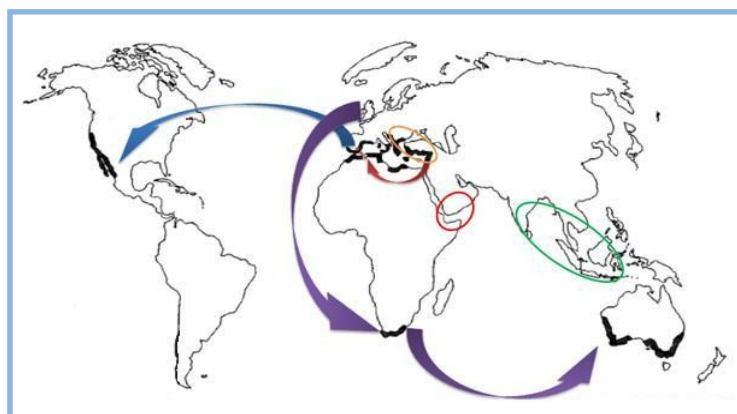


Figure 08. Distribution du caroubier dans le monde (photo internet)

4.2. Répartition géographique en Algérie

La superficie cultivée totale du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011 (FAOSTAT, 2011); 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 (tableau.02). La production nationale de la caroube est estimée 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 %. La production, quant à elle, est passée de 3952 tonnes en 2000 à 3136 en 2012 (fig.09). Cette régression est essentiellement due aux feux de forêt et l'abandon de cette culture dans les montagnes.

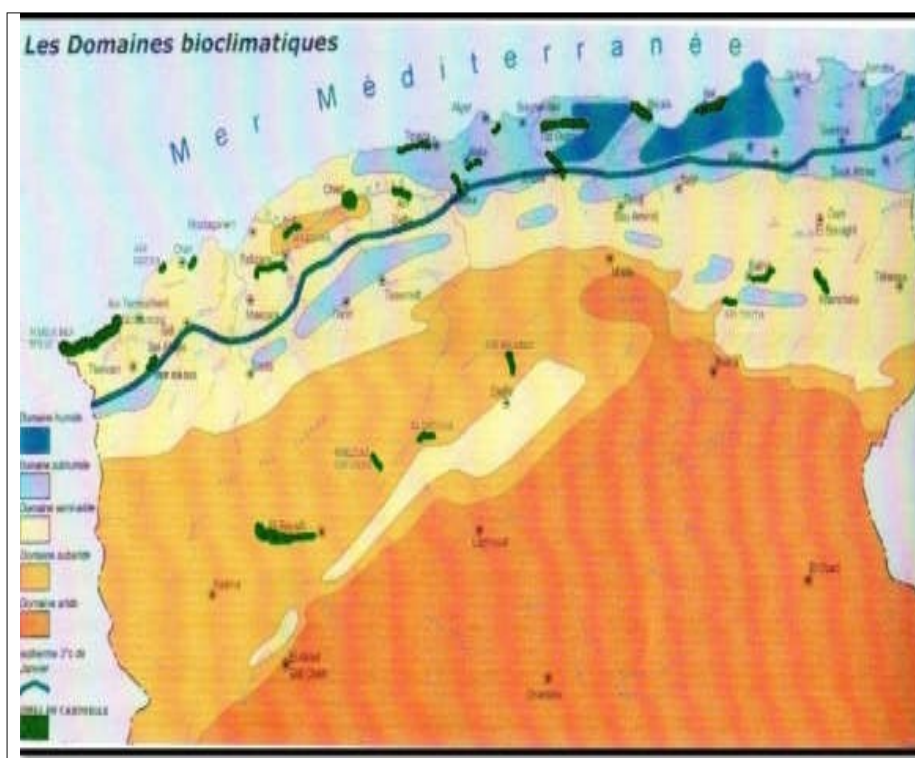


figure 09. distribution du caroubier en Algérie (A.N.R.H,2004).

Chapitre I : Généralités sur le caroubier

Tableau 02 - Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (DSA de Tlemcen)

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

5. Les conditions favorables de la croissance du caroubier

Le caroubier, dont l'aire de répartition s'étend dans les secteurs des plateaux et en moyennes montagnes jusqu'à 1700 m d'altitude, est indifférent à la nature du substrat ; il tolère les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocailleux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH de 6,2 jusqu'à 8,6 ; mais il craint les sols acides et très humides (**Baum, 1989 ; Sbay et Abrouch, 2006; Zouhair, 1996**). Il s'adapte à plusieurs types de sols à l'exception des sols hydromorphes et salés et les croûtes schisteuses. On le rencontre sur sols marneux, sur sols pauvres superficiels et rocailleux calcaires, sur des pentes rocheuses, des escarpements peu accessibles et des collines incultes (**Nabli, 1989**).

D'après (**Battle et Tous, 1997**) ,le climat méditerranéen subtropical, avec des hivers doux, des printemps suaves à chauds et des étés chauds et secs est le climat convenable pour la croissance du caroubier .

6. Intérêt du caroubier

6.1. Importance écologique

La sécheresse cyclique a montré que le caroubier résiste mieux au manque d'eau que le chêne vert, le thuya et l'oléastre qui lui sont associés. C'est une essence très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm/an). Il a un effet important dans la lutte contre la désertification et dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion (**Zouhair, 1996**).

Les études de **Rejeb (1995)** confirment que le caroubier se comporte comme une véritable espèce résistante à la sécheresse en s'adaptant morphologiquement et physiologiquement au manque d'eau.

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

6.2. Importance pharmaceutique

Le caroubier exerce un rôle de régulateur du transit intestinal grâce à sa teneur élevée en fibres. Soigne les diarrhées chroniques, les affections gastro-intestinales et la constipation (**Serairi-Beji et al., 2000**).

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

La gomme de caroube présente des effets bénéfiques dans le traitement d'anémie ; de carences nutritionnelles des reflux gastriques et l'irritation du côlon et de vomissements, (**Doha et al., 2008 ; Kaderi et al. 2014**).

6.3. Importance industrielle

Le caroubier est un arbre d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. En terme de produits, l'arbre et toutes ses composantes sont utiles et particulièrement le fruit. Il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (**Aafi, 1996 ; Mhirit et Tobi, 2002**).

Chapitre I : Généralités sur le caroubier

Il est utilisé pour le reboisement et la reforestation des zones affectées par l'érosion et la désertification (**Rejeb *et al.*, 1991; Biner *et al.*, 2007**). Il est également utilisé comme plante ornementale en bordure des routes et dans les jardins (**Batlle et Tous, 1997**).

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

L'écorce de l'arbre est utilisée en tannerie, particulièrement dans l'achèvement et l'émaillage des peaux (**Batlle, 1997**).

Deux principaux produits sont tirés de la caroube. La gomme, extraite de l'endosperme de la graine, est fort recherchée dans l'industrie agroalimentaire notamment pour ses propriétés texturant (**Avallone *et al.*, 1997**) ainsi que dans le secteur pharmaceutique (**Prajapati *et al.*, 2013**), cinématographiques, textiles et cosmétiques. Etant le dérivé le plus recherché de la caroube, la gomme possède des caractéristiques très intéressantes en tant que multi-additif (**Sbay, 2008**). La farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est très riche en protéines (50%), en glucides (27%). Elle est principalement utilisée dans les aliments pour les enfants (**Lizardo *et al.*, 2002**) et dans l'alimentation diététique humaine (**Dakia *et al.*, 2007**) ou comme ingrédient potentiel dans les aliments dérivés des céréales pour les personnes cœliaques (**Feillet et Roulland, 1998**). Elle est également employée pour la production industrielle de bioéthanol et d'acide citrique (**Makris et Kefalas, 2004 ; Sánches *et al.*, 2010**) mais surtout en agroalimentaire comme antioxydant grâce à sa composition riche en polyphénols. En effet, la caroube contient 2 à 20% de composés phénoliques (**Owen *et al.*, 2003 ; Makris et Kefalas, 2004**), 24 différentes structures principales ont déjà été identifiées et leur teneur déterminées par **Owen *et al.*(2003)**.

Chapitre II :
Multiplication par
semis

Le caroubier a été, depuis des siècles, propagé en culture par semis et plus tard par bouturage et greffage. Ainsi, les plantes choisies au hasard, dans les populations locales, ont été à la base de la sélection des cultivars et l'établissement des vergers commerciaux (**Battle 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, leur qualité de gousses, leur graines, leur productivité et leur résistance aux maladies (**Battle et Tous, 1997**).

1. Semis

C'est une méthode classique la plus utilisée pour la multiplication du caroubier. En effet la germination par semis est facilement réalisable, mais elle est entravée par l'impossibilité de connaître le sexe de la plante avant la maturation et la production tardive, qui peut prendre plus de 8 ans (**Rejeb, 1995 ; Gharnit, 2003**).

La graine exige la réunion de conditions extérieures favorables à savoir l'eau, l'oxygène, la température et la lumière (**Soltner, 2007**).

il faut aussi qu'elle soit mature et toutes les parties constitutives soient complètement différenciées morphologiquement et garde son pouvoir germinatif (**Heller et al., 1990**).

2. Levée de dormance et germination des graines du caroubier

Les graines fraîches germent normalement bien sans traitement préalable mais une fois qu'elles ont séché, elles deviennent épaisses très dures et n'absorbent plus l'eau empêchant ainsi la graine de germer, ce qui nécessite une scarification préalable pour faciliter la germination. Un prétraitement avec de l'eau bouillante, l'acide gibbérelline (AG₃) l'acide sulfurique (H₂SO₄) ou peut améliorer considérablement le taux de germination (**Battle et Tous, 1997**).

Le traitement à l'acide sulfurique remplace la relation entre la plante et l'animal qui habituellement mange la graine, la laisse "mariner" dans son tube digestif et ses sucs gastriques quelques heures puis la rejette, Avec l'acide sulfurique le résultat de la germination est spectaculaire (**Frutos, 1988**), mais la durée de scarification est variable en fonction des cultivars et des provenances des graines (**Konaté, 2001**).

La scarification des graines peut aussi fonctionner mais de façon beaucoup plus aléatoire, quoique les graines de *Ceratonia siliqua* peuvent se maintenir intactes plusieurs années, il est conseillé d'utiliser celles issues de la récolte de l'année et de semer très tôt, généralement en printemps (Goor et Barney, 1968 ; Hong *et al.*, 1996).

Les graines peuvent être plantées au printemps ou à l'automne, Les plants développent une racine pivotante avec quelques racines latérales de moins d'1 cm de longueur. La longue racine pivotante se cassant facilement, il est conseillé de planter les graines dans un substrat permettant de les extraire facilement (mélange léger de sable et de tourbe), le caroubier tolérera facilement un sol pauvre et rocailleux et une exposition en pleine ou moyenne lumière. Cette espèce est également très résistante aux maladies et ne nécessite donc pas de soins particuliers excepté une taille régulière pour maintenir un seul tronc. (Batlle et Tous, 1997).

3- Quelques études sur la germination

Gunes, *et al* (2013) Ont note que le pourcentage de germination des graines de caroubier récoltées à partir de génotypes sauvages et cultivés en Turquie après scarification mécanique, trempage dans l'eau chaude et trempage dans l'acide sulfurique.

Une étude récente de Zemouri *et al* (2020), a été faite sur des graines de neuf populations de caroube du nord-ouest algérien (*Ceratonia siliqua L.*) afin d'évaluer la relation entre la couleur des graines de et la dormance du pelage en étudiant l'effet du trempage dans l'acide sulfurique pur. (Scarification chimique) à la germination des graines, pendant plusieurs durées (témoin, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 24, 30 et 36 h). Quatre couleurs de l'enveloppe des graines ont été identifiées: brun chocolat, brun clair, brun verdâtre et brun jaunâtre. Les résultats ont révélé que les graines de couleur claire (brun jaunâtre) présentaient une dormance élevée du pelage, leur pourcentage de germination maximum était de 2%. Cependant, les graines de couleur brun chocolat, ne présentent pas de dormance, leur pourcentage maximal de germination était compris entre 80 et 88% sans aucun prétraitement. De plus, les graines de *Ceratonia siliqua* de couleur brun jaunâtre étaient plus résistantes aux périodes prolongées de trempage dans de l'acide sulfurique pur (18, 24 et 30 h), mais les graines brun chocolat sont plus fragiles pour des durées de trempage prolongées, elles perdent leur viabilité au-delà de 10 h dans l'acide.

Khelloufi et Mansouri (2020) ont fait des tests de germination sur des graines de caroube collectées dans une zone représentative du bassin méditerranéen au parc national de Gouraya (Béjaïa, Algérie avec l'irrigation en eau de mer méditerranéenne (SW) de différentes concentrations (0, 10, 30, 50 et 100% SW) pour une période de 15 jours. Avant les tests de germination, un prétraitement de 20 minutes avec de l'acide sulfurique à 96% était nécessaire pour surmonter la dormance du tégument qui ne permet pas la germination. Les résultats ont montré que les graines de *C. siliqua* étaient capables de germer à différentes concentrations d'eau de mer, à l'exception de 50% SW et 100% SW, ce qui a entraîné une inhibition totale de la germination. Le nombre maximum de germination de graines de *C. siliqua* de 100% FGP (pourcentage de germination final) est apparu à 0% SW et 10% SW. Seulement 35,5% des graines ont germé dans 30% de SO (Fig.11).



Figure.10 Germination de graines de caroubier sous l'irrigation de l'eau de mer méditerranéenne (**Khelloufi et mansouri ,2020**)

Afin d'améliorer le taux de germination des graines de caroube (*Ceratonia siliqua* L.), **Yatim, et al (2020)** ont étudié les caractéristiques morphologiques des fruits (gousse et graines, dureté tégumentaire et tolérance au stress abiotique des graines) de sept écotypes de caroubiers de quatre régions du Maroc. Les fruits de ses sept populations ont été étudiés selon sept caractéristiques discriminantes relatives aux gousses (longueur, largeur, épaisseur, nombre total de graines, poids total de la pulpe, graines par gousse et rendement en gousses par arbre) et quatre caractéristiques discriminantes relatives aux graines, à savoir la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids frais total des graines. La

dureté tégumentaire a été évaluée en prétraitant les graines avec de l'eau bouillante et de l'acide sulfurique à 95%. De même, ils ont également suivi l'évolution de l'absorption d'eau par les graines pendant 4 jours et ils ont évalué sur les graines prétraitées, les effets des différentes températures d'incubation (10 ° C, 25 ° C et 40 ° C). La caractérisation morphologique des fruits a permis de regrouper les populations étudiées en trois groupes. Le trempage des graines de caroube dans de l'acide sulfurique pendant 20 minutes a amélioré le taux et le temps de germination. L'évolution de l'absorption d'eau permet de distinguer deux phases. La première phase est obtenue pendant les premières 24 heures et caractérisée par une pénétration rapide de l'eau, et la deuxième phase qui dure les 72 dernières heures et qui se caractérise par une entrée lente de l'eau. La température optimale pour la germination des graines de toutes provenances est de 25 ° C.

Masoud et Abugarsa (2018) ont étudié l'impact des potentiels allélopathiques d'extrait aqueux de parties aériennes de *Satureja thymbra L.* (collectés à Al-Jabal Al-Akhdar, Libye) sur la germination des graines de *Ceratonia siliqua L.*

Les traitements comprenaient des extraits aqueux à 100%, 50% et 25% ainsi que de l'eau comme témoin. Les résultats ont montré que la germination des graines de *Ceratonia siliqua* diminuait en augmentant la concentration d'extrait. La germination des graines la plus élevée et la plus faible appartenait respectivement au contrôle et à l'extrait à 100%.

Les recherches de **Balkıç et al (2017)** sur les effets de prétraitements de la germination des graines de caroube (*Ceratonia siliqua L.*) sans irrigation dans les zones marginales (témoin, imbibé d'acide sulfurique pendant 30 minutes et d'acide sulfurique pendant 30 minutes suivi d'un trempage de 24 heures dans l'eau), deux temps de semis, (novembre et janvier) et le temps moyen de germination et la survie des plantules dans deux types de terres différents (texture rocheuse légère et lourde) ont montré que le taux de germination était le plus bas sur le contrôle avec 7,78% et le plus élevé avec 34,71% sur 30 minutes de traitement à l'acide suivi par 24 h de trempage dans l'eau. L'énergie de germination la plus élevée a été déterminée dans les graines prétraitées sur un terrain à texture rocheuse légère. Le temps de germination le plus court a été déterminé dans les graines prétraitées avec un sol de texture légèrement rocheuse. Les résultats ont montré qu'un prétraitement est nécessaire avant le semis. Le semis des graines a été fait après les premières pluies et une irrigation doit être appliquée pour maintenir les semis en bonne santé pendant l'été.

Chapitre III :
Multiplication
végétative

La multiplication sexuée (semis) présente certains inconvénients, à savoir :

- la production est tardive : l'arbre commence à donner des gousses à partir de l'âge de 6 à 7 ans;
- la non conformité génétique : le semis donne généralement des plants hétérogènes et ne permet pas de reproduire avec certitude tous les caractères du pied-mère ;
- la complexité de l'espèce caractérisée essentiellement par sa dioïcie, sa haute hétérozygotie et sa croissance généralement moyenne rend impossible la détermination de son sexe à l'âge juvénile (**Battle et Tous, 1997**).

Pour les cultivateurs, la propagation végétative constitue une des solutions aux problèmes liés à la grande diversité qui caractérise la reproduction sexuée (semis). Ainsi, les plantes juvéniles de caroubier possédant des caractéristiques supérieures et prometteuses, ont été empiriquement choisies et propagées par clonage (**Rejeb, 1995**).

1 .Multiplication végétative traditionnelle

La multiplication végétative a l'avantage de fournir des copies reproduisant exactement les caractères de la souche mère.

1 .1.Bouturage

Le bouturage est un type de multiplication végétative de certaines plantes, consistant à prélever sur une plante soit un rameau, une feuille ou un surgreon (nouvelle pousse au pied d'une plante, qui provient du sol) et de mettre ces prélèvements dans des conditions telles que ces boutures vont développer des racines et deviendront de véritables plantes (**Baillière, 1975**).

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

Le caroubier est considéré comme une espèce ligneuse capricieuse, très difficile à enraciner et à bouturer. Ses potentiels d'enracinements adventifs sont jugés très faibles (**Lee et al., 1977 ;Hartmann et Kester, 1983**).

Gharnit et al (2008) indiquent que production de plants de caroubier est de plus en plus encouragée au Maroc vu son intérêt particulièrement d'ordre économique. Les résultats de divers essais de culture *in vitro* du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) naturel de la Province de Chefchaouen (NordOuest du Maroc) ont permis d'estimer le pourcentage de

germination, le taux de reprise après transplantation et d'autres paramètres biométriques relatifs aux semis d'origine "dkar" productive et d'origine "lanta". Des essais de macro-bouturage *in vitro* de ces deux types montrent une difficulté d'enracinement, malgré le taux élevé de reprise en particulier chez le type "dkar" productif.

Les principales étapes de bouturage sur le caroubier sont illustrées dans la (fig.11).

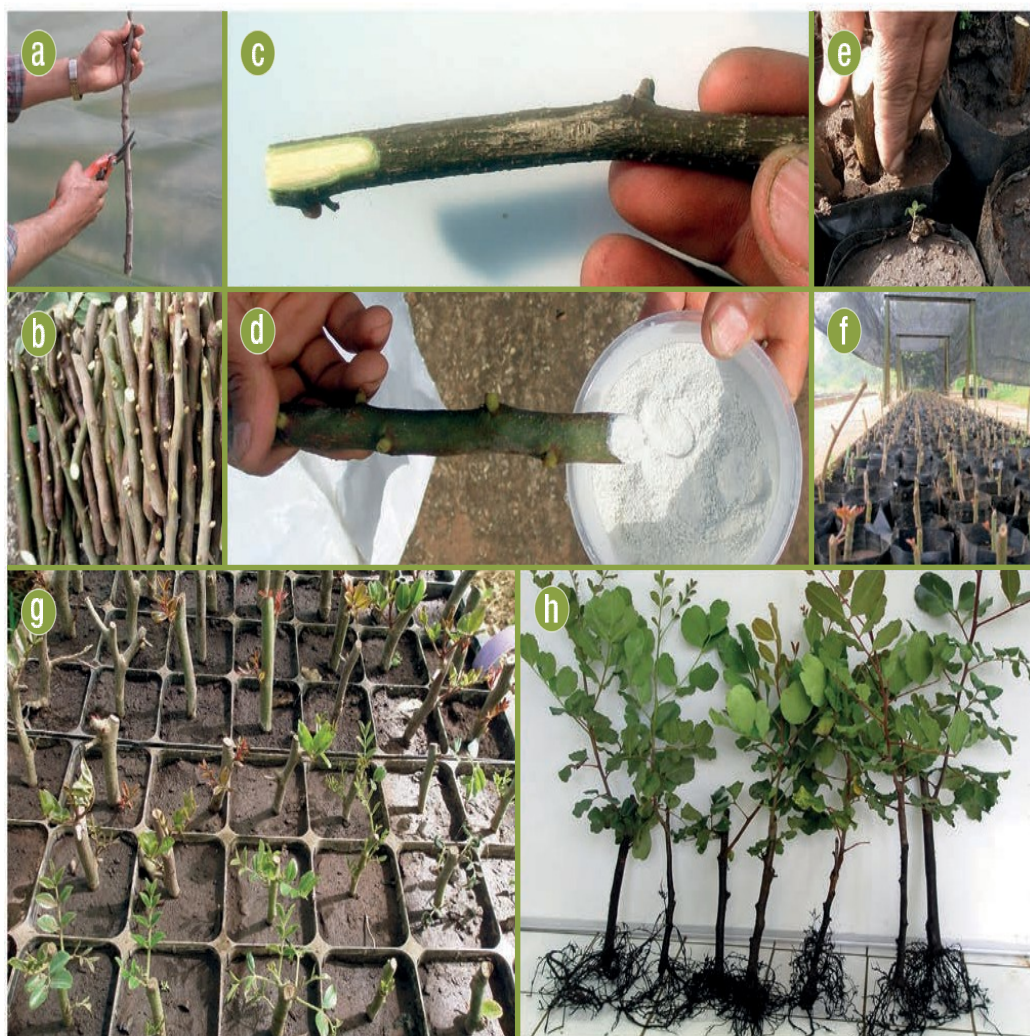


Figure. 11 Principales étapes du bouturage ligneux chez le caroubier (Sbay et Lamhamedi,2015)

a . Coupe de bouture à partir de rameaux effeuillés; b. Boutures sélectionnées; c. Coupe pour mettre à nu les tissus internes; d. Trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB); e. Repiquage des boutures dans le substrat d'enracinement; f. Boutures sous ombre; g. Initiation des feuilles chez les boutures après deux semaines d'enracinement; h. Boutures ligneuses enracinées.

1.2. Greffage

Il consiste à greffer les pieds mâles par les femelles. En effet il s'agit de transférer les bourgeons prélevés sur les pieds femelles et de les greffer sur les pieds mâles. Les 1^{ers} rameaux apparaissent au bout de la 3^{ème} semaine. Cette méthode permet aux arbres mâles de donner des fruits à partir de la troisième année (**Gharnit, 2003 ; Ait Chill *et al.*, 2007**).

1.2.1. Greffage des plants Greffage en fente simple

Le porte-greffe est étêté à 15 cm du collet et la tige fendue sur 4 mm en son centre. Un bourgeon est prélevé sur la baguette sélectionnée (2 à 3 cm) et son extrémité taillée en biseau sur 4 mm environ. Le greffon ainsi taillé est introduit dans la fente effectuée sur la tige du porte-greffe et le tout est ligaturé pour permettre un bon contact entre greffon et porte greffe et éviter la dessiccation de ce dernier. Une meilleure soudure sera assurée si le greffon et le porte greffe sont de même section (**Ait Chitt *et al.*, 2007**).

Les principales étapes de greffage en fente terminale sur le caroubier sont illustrées dans la (fig.12)



Figure.12 Principales étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier. (Sbay et Lamhamedi,2015)

- a.** Rameau effeuillé;
- b.** Coupe de greffon; **c.** Coupe d'une entaille en oblique sur 2 à 3 cm de longueur; **d.** Coupe d'une deuxième entaille pour former un double biseau; **e-f.** Décapitation du porte greffe ;
- g.** Ouverture d'une fente diamétrale de 3 à 5 cm de profondeur; **h.** Insertion d'un greffon dans la fente du porte greffe;
- i.** Ligature à l'aide du para filme; **j.** Etiquetage et mise en condition de confinement; **k-l.** Ecllosion des bourgeons sur le greffon; **m.** Plant greffé âgé d'un an; **n.** Plants greffés en serre.

1.2.2. Greffe des vieux arbres par couronne

Le greffage des vieux arbres qui ne portent pas de fruits ou des fruits de qualité inférieure, est appelé travail au sommet (top-working), (Schwartzman, 1934).

Pour greffer les vieux arbres, on emploie la greffe en couronne au mois de mai. Le plus grand soin doit être apporté dans le choix des greffons. Ils doivent être choisis sur des pieds hermaphrodites, quand on greffe des plants sauvages, on laisse en place un greffon mâle. Mais il est préférable d'avoir quelques pieds mâles par plantation au lieu de conserver des greffons mâles sur chaque arbre (La vallée, 1962).

Le greffage du caroubier est moins facile toute fois que celui de l'olivier mais avec quelques soins, la reprise est aisée. La (fig.13) présente les étapes de greffage en couronne chez le caroubier.

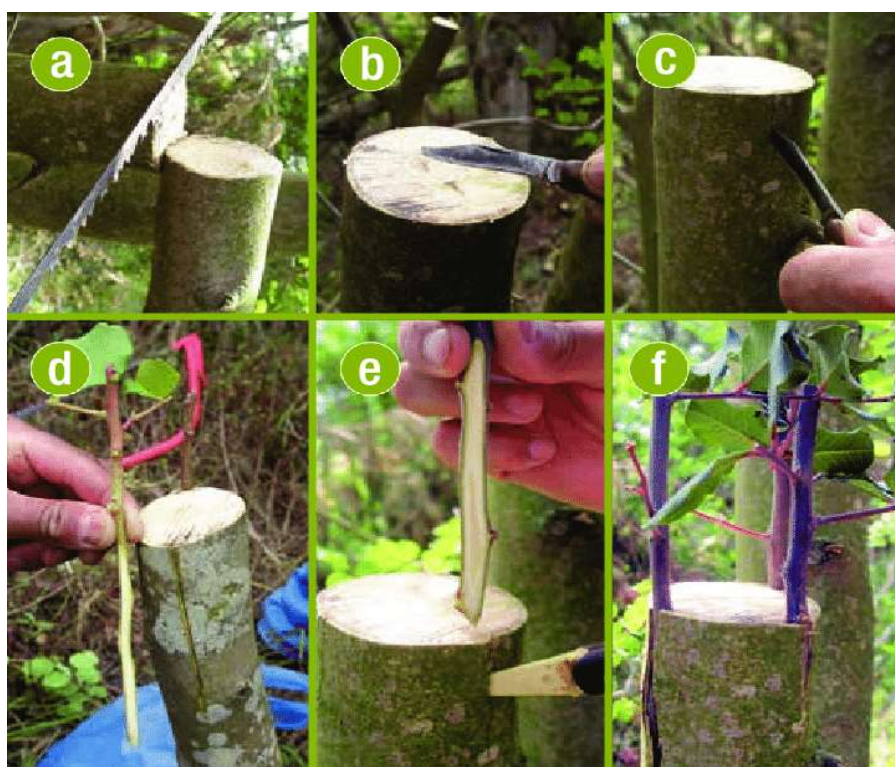


Figure.13 Principales étapes du greffage en couronne chez le caroubier. (Sbay et Lamhamedi,2015)

a. Coupe de la branche à greffer; **b.** Surface de la coupe parsee à l'aide du greffoir; **c.** Incision verticale de l'écorce du porte-greffe sur 5 à 7cm de longueur; **d.** Greffon taillé en biseau; **e.** Ecartement de l'entaille avec la spatule et insertion du greffon entre l'écorce et l'aubier; **f.** Sujet greffé en couronne montrant la disposition de trois greffons.

2. Culture *in vitro*

La multiplication végétative *in vitro*, appelée aussi micro propagation ou culture *in vitro* est une technique prometteuse, qui permet d'obtenir une plante conforme à la plante d'origine. Les premiers succès de la culture du caroubier ont été obtenus par **Sébastien et McComb (1986)** et par **Alorda et al. (1987)** après Les tentatives de **Martins-Loucao et Rodriguez-Barrueco (1981)**, qui n'ont observé qu'une formation de cal.

2.1. Quelques études sur culture *in vitro*

Actuellement, la micro propagation du caroubier par culture *in vitro* est possible et de nombreux résultats encourageants ont été obtenus ;

Gharnit et Ennabili (2009) ont montré que la culture d'apex a généré des plants caulogènes. Parmi les milieux testés, le milieu WPM s'est avéré le plus favorable. Les autres milieux favorisent la reprise de l'activité de l'apex, mais non pas le développement des plants. La culture menée sur les milieux MS, GD et WPM, additionnés ou non de la BAP, a montré que le milieu WPM additionné de 0.1 mg/l BAP est le plus favorable au développement des plantules enracinées. L'addition des auxines favorise le développement des cals, affectant ainsi la croissance des bourgeons.

Lozzi et Abdelwahd (2015) ont présenté une étude sur la production de cals embryonnaires et de cultures de structures à partir de cotylédons matures de *Ceratonia siliqua*. La régénération dépend du type de matière végétale et de la concentration de l'auxine. Dans le cas des cotylédons matures, la présence d'acide 2,4 - dichlorophénoxyacétique était nécessaire pour l'induction des cals. Cette auxine a favorisé une initiation rapide de cals proliférées avec une structure nodulaire dans tous les explants et concentrations testés. Lors du transfert dans un milieu sans auxine, le cal a formé un grand nombre de structures embryonnaires globulaires (SEG). Le plus grand nombre de SEG (126 / g de cal) a été produit avec 10 μ M de 2,4-D. Des concentrations plus élevées étaient accompagnées d'une hyperhydricité de SEG. Aucune structure embryonnaire ne s'est produite à partir des autres types d'explants (graines immatures, feuilles et portions d'épi cotyles, hypo cotyles et racines).

La micro propagation du Caroubier par culture de bourgeons axillaires issus de plantules de sept mois a été abordée par **Saidi et al (2007)** sur un milieu à base des macroéléments WPM additionnés des microéléments et vitamines MS. Le débourrement

Chapitre III : Multiplication végétative

des bourgeons axillaires est assuré avec comme cytokinine la BAP et est amélioré par la combinaison d'1,44 μM d'AG₃ avec 2,22 μM de BAP. La multiplication des pousses d'un des clones obtenus est facilitée par 2,22 μM de BAP, seule ou combinée à 0,5 μM d'ANA ou d'AIB. L'enracinement des pousses sur MS/2 est favorisé.

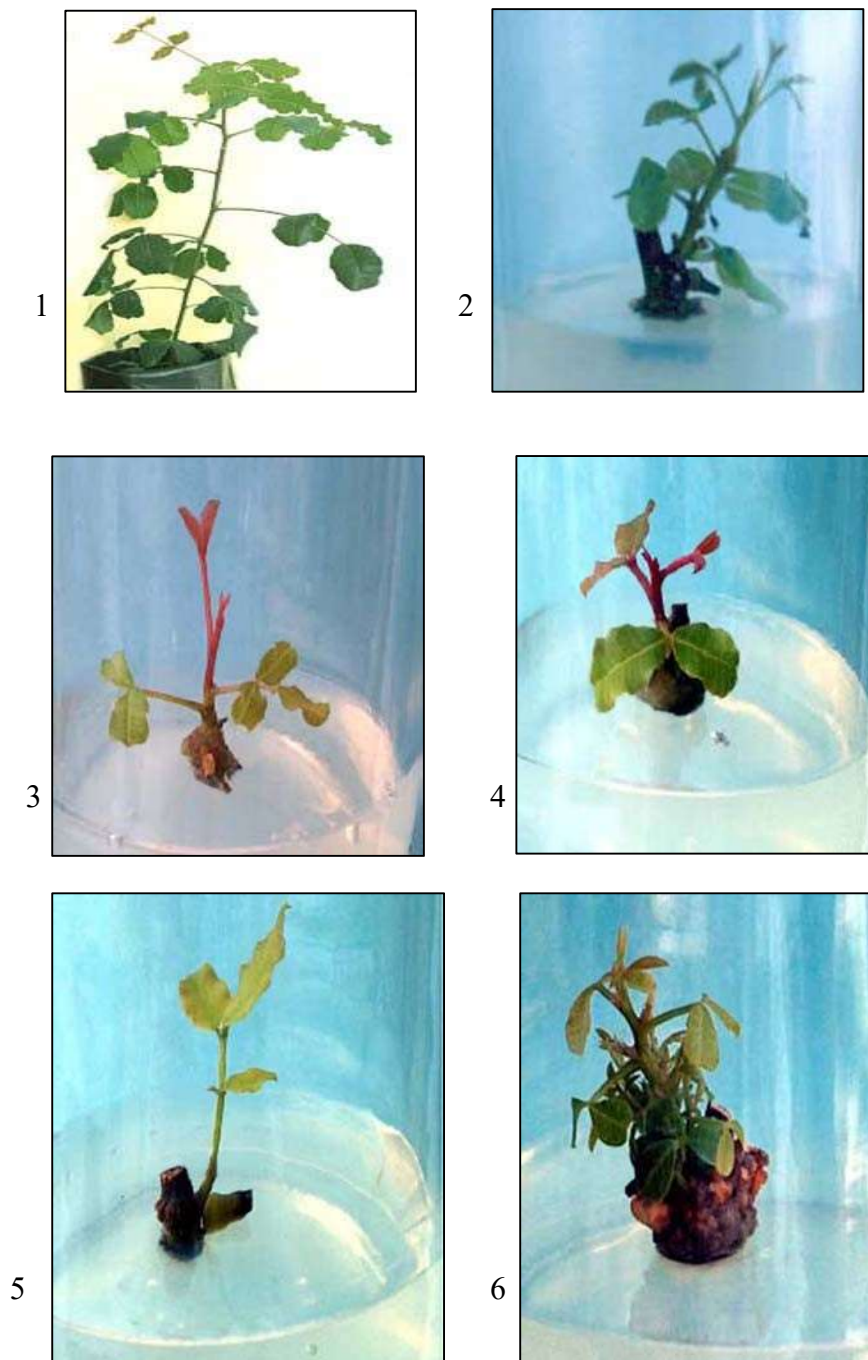


figure.14 Phase d'initiation de la micro propagation du Caroubier par culture *in vitro* de bourgeons axillaires de plantules âgées de sept mois. (Saidi *et al* ,2007).

1. Jeunes plantules de 7 mois cultivée sur la tourbe;
2. Pousse issue du bourgeon axillaire, suite à un mois de culture sur le milieu WPM additionné de $2,22 \mu\text{M}$ de BAP;
3. De 2i-P;
4. De kinétine;
5. De zéatine;
6. de $2,22 \mu\text{M}$ de BAP combinée à $1,44 \mu\text{M}$ d'AG₃.

Chapitre III : Multiplication végétative

Selon Naghmouchi *et al* (2012), La forte variabilité génétique, le polymorphisme sexuel et la longue phase juvénile du caroubier (*Ceratonia siliqua*) nécessitent d'avoir recours à la multiplication végétative par des techniques conventionnelles ou par culture *in vitro*. La forte variabilité entre les cultivars de caroubier a d'importantes implications pour la sélection et pour les pratiques de culture et d'établissement de nouvelles plantations en vue d'améliorer la productivité de cette plante. Les résultats de la culture de méristèmes sur milieu de Murashige et Skoog dilué de moitié ont été obtenus avec des méristèmes prélevés sur des bourgeons au début de leur débourrement. Le débourrement des méristèmes a été stimulé sur le milieu de Murashige et Skoog en présence d'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique. Le meilleur résultat en termes de nombre de pousses bien développées a été obtenu avec 2 mg de 1-6-benzylaminopurine et 2 mg de 1-acide 2,4-dichlorophénoxyacétique. Le pourcentage d'enracinement le plus élevé a été obtenu en présence de 4 mg de 1-acide naphthalène acétique.

Zouari et El Mtili (2020) ont décrit L'influence de l'âge des arbres et l'effet des régulateurs de croissance sur la micro propagation de la caroube (*Ceratonia siliqua L.*) à partir des bourgeons axillaires des arbres matures .d'après les résultats L'utilisation de 0,5 mg / l BA et 0,2 mg / l IBA était la plus favorable pour la néoformation des pousses. L'ajout d'acide gibbérellique à 0,2 mg / l dans le milieu de culture permet un bon allongement et un bon développement des pousses de caroube. L'effet de l'âge du matériel végétal utilisé a montré que les explants prélevés sur des caroubiers matures ont une faible capacité de germination des bourgeons et de prolifération des pousses par rapport à ceux prélevés sur des arbres juvéniles.

Les travaux de Saïdi *et al* (2019) Afin de déterminer la cytokinine la plus adaptée à la micropropagation de la caroube (*Ceratonia siliqua L*) ont montre que L'organogenèse est meilleure en présence de BAP (0,5 mg / l), tandis que la croissance des bourgeons est favorisée par la zéatine (0,5 mg / l). L'association de la cytokinine la plus adaptée (BAP à 0,5 mg / l) avec l'IBA améliore la caulogenèse lorsque la concentration de cette dernière est faible (0,1 mg / l); des concentrations élevées d'IBA ont un effet inhibiteur sur l'élongation et la néoformation des pousses et des feuilles.

Lozzi, *et al* (2019) ont développe un nouveau milieu de culture basal de prolifération des bourgeons axillaires *in vitro* de *Ceratonia siliqua L* ;c'est la nouvelle

Chapitre III : Multiplication végétative

composition minérale «LA» qui améliore la croissance et la prolifération des pousses par rapport au milieu de Murashige et Skoog (MS, 1962).

Un bourgeonnement adventice à partir de cotylédons embryonnaires de graines immatures de caroube a été obtenu par **Zouari et El Mtili (2020)**. Ces chercheurs ont prouvé que l'utilisation de BAP (4,44 μM) et de NAA (1,5 μM) a favorisé la néoformation des bourgeons adventifs. La croissance des tiges et des feuilles a été améliorée en ajoutant 2,02 μM de GA3. L'allongement a été favorisé par 0,5 μM de NAA. 70% de l'enracinement a été obtenu avec 10 μM IBA.

Conclusion

Conclusion

Le caroubier ou *Ceratonia siliqua L.*, de la famille des fabacées est une légumineuse typiquement méditerranéenne, très repartie en Algérie sous forme de peuplements spontanés ou artificiels. Comparativement aux espèces forestières, cette espèce agro-sylvo-pastorale, se trouve dispersé à l'état sauvage dans presque toutes les régions septentrionales du pays et il ne forme des peuplements que sur le littoral, et l'étage méditerranéen semi-aride et sub-humide, en association avec d'autres essences telles que l'olivier et tyua Ayant d'énormes intérêts socio-économiques et écologiques, reste encore très peu étudiée.

Le caroubier reste très négligé et n'a pas encore eu la place qu'il mérite dans les programmes de reboisement malgré les différentes études qui ont montré que cette espèce est très intéressante aussi bien du point de vue économique qu'écologique.

Cette étude a été réalisée pour déterminer les différentes techniques de la reproduction du caroubier et sa croissance.

La technique la plus utilisée pour la propagation du caroubier est le semis. Les semences du caroubier ont des téguments durs et imperméables à l'eau qui provoque une dormance tégumentaire ; il est nécessaire d'appliquer un traitement avant le semis (scarification mécanique, chimique, thermique) afin d'assurer un taux élevé de germination dans une courte durée.

La multiplication végétative a l'avantage de fournir des copies reproduisant exactement les caractères de la souche mère, elle se fait par greffage, bouturage et culture *in vitro*.

Le greffage est une technique efficace et maîtrisée ; elle est utilisée comme routine pour la propagation du caroubier surtout la greffe en couronne pour les vieux arbres ou la greffe en fente qui permet de réunir les deux sexes sur un même pied.

Le bouturage est une mode de multiplication qui demande beaucoup de soin, mais il a l'avantage de la rapidité ; il permet de copier fidèlement les caractéristiques du pied-mère et garantit souvent l'obtention de plants plus vigoureux ; il facilite le développement l'avancement des connaissances sur la croissance de la plante.

Conclusion

La multiplication végétative *in vitro* (micropropagation) est une technique prometteuse, qui permet d'obtenir une plante conforme à la plante d'origine. Actuellement, la micropropagation du caroubier par culture *in vitro* est possible et de nombreux résultats encouragent cette technique.

Références
Bibliographiques

Références 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. et Lazrak A. (2007).** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. Transfert de technologie en agriculture. Maroc. N° 153: 1-4.
- **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.
- **Alorda, M., Estades, J., Galmes, J., et Medrano, H. (1987).** Promotion of rooting in carob cuttings. *Gartenbauwissenschaft*, 52(1), 31-34.
- **Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M., et Monzani, A. (1997).** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. *Journal of food composition and analysis*, 10(2), 166-172.
- **Balkıç, R., Güler, S., & Gübbük, H. (2017).** Investigation on carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germination in marginal lands. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 5(2), 79-85.
- **Battle I. et Tous J. (1997).** Carob tree. *Ceratonia siliqua L.* Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome. Italy.
- **Battle I. et Tous J.(1988).** « Lineas de investigación sobre el algarrobo (*Ceratonia siliqua L.*) en el IRTA, Cataluna (España) ». In: Brito de Carvalho JH, ed. I Encorto Linhas de Investigaçao de Alfarroba. AIDA, Oeiras: AIDA, 92-104.
- **Battle I.(1997).**Current situation and possibilities of development of the carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) in the Mediterranean region. Unpublished FAO Report. Rome. Italy.
- **Baum N.(1989).** «Arbres et arbustes de l’Egypte ancienne», pp. 354.
- **Boudy P. (1950).** « Economie forestière Nord-Africain (tomeII) : Monographie et traitement des essences forestière ». Ed. Larose, Paris, pp.443-445.
- **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: 1508-1515.

Références Bibliographiques

- **Caja G.(1985).** La Garrofa: Composición, procesado y usos agroindustriales. Jornadas de la Garrofa. LLiria, Valencia - España.
- **Crosi L.; Avallone R.; Cosenza F.; Farina F.; Baraldi C.R et Baraldi M.(2002).** Antiproliferative effects of *Ceratonia siliqua L.* on mouse hepatocellular carcinoma cell line. *Fitoterapia* 73, p.674-684.
- **Dakia P.A, B. Wathelet et M. Paquot.(2007).** «Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germ food Chemistry Vol. 102, N°4, pp. 1368- 1374.
- **El Hajaji, H., Lachkar, N., Alaoui, K., Cherrah, Y., Farah, A., Ennabili, A., ... et Lachkar, M.(2011).** Antioxidant activity, phytochemical screening, and total phenolic content of extracts from three genders of carob tree barks growing in Morocco. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(3), 321-324.
- **Estrada C., Vázquez M., Melis B. et Vadell J.(2006).** Fruticultura de secano. El Algarrobo. In: Labrador. J, Porcuna. J.L & Bello. A (Cords), Manual de agricultura y ganadería ecológica. Eumedia. España, pp. 186-195.
- **Folch i Guillen R.(1981).** La vegetació dels Països Catalans. Ed. Ketres, Barcelona.
- **Gadoum, A. (2020).** Contribution à l'étude de la biologie de *Cératonia siliqua L*" effets du déficit hydrique" (Doctoral dissertation).
- **Gharnit 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.
- **Gharnit, N., et Ennabili, A. (2009).** Essais préliminaires de culture *in vitro* du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) originaire du Nord ouest du Maroc. *Biomatec Echo*, 3(6), 18-25.
- **Gharnit, N., El Mtili, N., Ennabili, A., et Sayah, F. (2008).** Essais de culture *in vitro* du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). *Revue AFN Maroc* N, 2, 3.
- **Gharnit, N., N. El Mtili, A. Ennabili, F. Sayah (2006).** Importance socio-économique du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc). *J. Bot. Soc. Bot. France* 33, pp : 43-48.
- **Gunes, E., Gubbuk, H., Ayala-Silva, T., Gozlekci, S., et Ercisli, S. (2013).** Effects of various treatments on seed germination and growth of carob (*Ceratonia siliqua L.*). *Pakistan Journal of Botany*, 45(4), 1173-1177.
- **Hartmann H. T.et, Kester D. E.(1983).** «Plant propagation, principales and practices ». 4th Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffts, N.J.

Références Bibliographiques

- **Hillcoat D., Lewis G. et Verdcourt B.(1980).** A new species of *Ceratonia* (Leguminocea- Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35: 261-271.
- **Katims, J. (2010).** Neuroselective electrical stimulation of bladder function: Critical parameters. *Neurourology and urodynamics*, 29(8), 1458-1458.
- **Kheloufi, A., et Mansouri, L. M. (2020).** Effect of seawater irrigation on germination and seedling growth of Carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) from Gouraya National park (Béjaïa, Algeria). *Reforesta*, (10), 1-10.
- **Lavallée P.(1962).** « Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie ». Alger, 47p.
- **Lee, W. H., McGrath, P. P., Carter, P. H., et Eide, E. L. (1977).** The ability of some *Yersinia enterocolitica* strains to invade HeLa cells. *Canadian Journal of microbiology*, 23(12), 1714-1722.
- **Linskens H. et Scholten W.(1980).** « The fower of carob ». *Pptug. Acta. Bilo. (A)* XVI (1-4): pp. 95-102.
- **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.
- **Lozzi, A., Abdelwahd, R., Mentag, R., et Abousalim, A. (2019).** Development of a new culture medium and efficient protocol for in vitro micropropagation of *Ceratonia siliqua L.* *In vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 55(5), 615-624.
- **Lozzi, A., Abousalim, A., et Abdelwahd, R. (2015).** Effet du 2, 4-D sur l'induction de l'embryogenèse somatique à partir de cotylédons matures de caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(3), 24-29.
- **Lozzi, A., De Pastina, A., Yen, E. T. T., et Villanueva, L. G. (2019).** Engineered acoustic mismatch for anchor loss control in contour mode resonators. *Applied Physics Letters*, 114(10), 103502.
- **Makris, D. P., et Kefalas, P. (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua L.*) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 105-108.
- **Masoud, M., et Abugarsa, M. A. O. S. A. (2018).** Allelopathic Effects of Aqueous Extract from *Satureja thymbra L.* on Seed Germination and Seedling Growth of *Pinus halepensis* Mill. and *Ceratonia siliqua L.*

Références Bibliographiques

- **Melgarejo P. et Salazar D.M.(2003).** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas.
- **Mhirit O. et Et-Tobi M.(2002).** Les arbres hors forêt: le cas du Maroc. Archives de documents de la FAO.
- **Mitrakos K.(1981).** Temperature germination responses in three mediterranean evergreen sclerophylls. In: Margaris N.S. & Mooney H.A., (Eds). Components of Productivity of Mediterranean-climate Regions - Basic and Applied Aspects. Dr.W. Junk Publishers, The Hague/Boston/London. pp. 277-279.
- **Naghmouchi, K., Le Lay, C., Baah, J., et Drider, D.(2012).** Antibiotic and antimicrobial peptide combinations: synergistic inhibition of *Pseudomonas fluorescens* and antibiotic-resistant variants. *Research in microbiology*, 163(2), 101-108.
- **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.
- **Peters, M., Kumpfert, J., Ward, C. H., et Leyens, C. (2003).** Titanium alloys for aerospace applications. *Advanced engineering materials*, 5(6), 419-427.
- **Petit M. D. et Pinilla J. M. (1995).** Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from Carob Pods *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 28: 145-152.
- **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.
- **Quezel P. et Santa. S.(1963).** « Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (tome 1). Edition du centre national de la recherche scientifique, 557 p.
- **Rejeb M. N.(1995).** « Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration, in *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?* Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris : pp. 79-85.
- **Rejeb M.N., Laffray D. et 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.
- **Saidi, A., et Abada, B.(2007).** La biométhanisation: une solution pour un développement durable. *Rev. Energ. Ren.: CER*, 7, 31-35.

Références Bibliographiques

- **Saidi, R., Lamarti, A., et Badoc, A.(2007).** Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua*) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 146, 113-129.
- **Saïdi, R., Rahmouni, S., El Ansari, Z. N., Maouni, A., Badoc, A., et Lamarti, A. (2019).** Effect of Cytokinins on the Micropropagation of Carob (*Ceratonia siliqua L.*) through Shoot Tip Culture. American Journal of Plant Sciences, 10(9), 1469-1481.
- **Sánchez S., Lozano L.J., Godínez 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. et Abourouh M.(2006).** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier. Centre de recherche forestière haut commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, Rabat, pp. 1-9.
- **Sbay, H. et M .S. Lamhamedi. (2015) (eds).** Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestiers et agroforestier : technique de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc , haut commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification , centre de recherche forestier, 124 p.
- **Schartzman.(1934).** «The carob tree and its cultivation in Palestine, “le caroubier et sa culture en Palestine”».
- **Sebastian K. T. and Mc Comb J. A.(1986).** «A micropropagation system for carob (*Ceratonia siliqua L.*)». Scientia Hort. 28:127-131.
- **Serairi-Beji R.; Mekki-Zouiten L. et Tekaya-Manoubi L.(2000).** Can carob powder be used with oral rehydration solution for the treatment of acute diarrhea. Med Top 60:125.
- **Tahiri, I., Desbiens, M., Kheadr, E., Lacroix, C., et Fliss, I. (2009).** Comparison of different application strategies of divergicin M35 for inactivation of *Listeria monocytogenes* in cold-smoked wild salmon. Food microbiology, 26(8), 783-793. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- **Yatim, M., El Kahkahi, R., Es-Sbata, I., El-Askri, T., ElOirdi, S., Lakhlifi, T., ... et Zouhair, R. (2020).** Effects of Pre-sowing Treatments and Abiotic Stress on the Germination of *Ceratonia siliqua* Seeds of Four Moroccan Biomes. Annual Research & Review in Biology, 11-31.

Références Bibliographiques

- **Zemouri, Z., Djabeur, A., Frimehdi, N., Khelil, O., et Kaid-Harche, M. (2020).** The seed diversity of Carob (*Ceratonia siliqua L.*) and the relationship between seeds color and coat dormancy. *Scientia Horticulturae*, 274, 109679.
- **Zohair O.(1996).** « Le caroubier, situation actuelle et perspectives d’avenir », Document interne, Eaux de Forêt, Maroc, pp 22.
- **Zohary M. et Orshan G.(1959).** The maquis of *Ceratonia siliqua* in Israel. *Palest. J. Bot.*
- **Zouari, N., et El Mtili, N. (2020).** Effects of ectomycorrhizal fungal inoculation on growth and rooting of carob tree (*Ceratonia siliqua L.*). *South African Journal of Botany*, 135, 181-187.
- **Zouari, N., et El Mtili, N. (2020).** *In vitro* Propagation of Mature Carob Trees (*Ceratonia siliqua L.*) from the Axillary Buds. *American Journal of Plant Sciences*, 11(09), 1369.