

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN

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

Département des Sciences de l'Agronomie et des Forêts



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Agronomie

Option : Amélioration de la production végétale et biodiversité

Thème :

**Situation et perspectives d'amélioration du caroubier
(*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie**

Présenté par :

MAHDAD Mustapha Yassine

Devant le jury, composé de :

Président :	M^r. AMRANI S-M.	Professeur – Univ. A.B.B. Tlemcen
Promoteur :	M^r. EL HAITOUM A.	Maître de conférences – Univ. A.B.B. Tlemcen
Examineur :	M^r. GHEZLAOUI B-E.	Maître de conférences – Univ. A.B.B. Tlemcen
Examineur :	M^r. GAOUAR S.B.S	Maître de conférences – Univ. A.B.B. Tlemcen

2012-2013

A mes Très Chers Parents, Famille et Amis

REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu, le Très Miséricordieux, le Tout Miséricordieux

Louange à Allah, Seigneur des univers de nous avoir donné la faculté de penser, de raisonner, et d'étudier.

Je tiens tout d'abord à exprimer mon éternelle reconnaissance et ma profonde gratitude à mes chers parents pour leurs aides précieuses, leurs dévouements et leurs encouragements.

J'adresse mes sincères remerciements, et j'exprime ma profonde gratitude à **Mr EL HAITOUM Ahmed**, Maître de Conférences, pour avoir bien voulu diriger ce mémoire.

J'exprime ma profonde reconnaissance à **Mr AMRANI Sidi Mohamed**, Professeur à l'université de Tlemcen d'avoir accepté de présider le jury.

Ma reconnaissance va aussi aux vénérables membres du jury à savoir :

Mr GAOUAR Samir Bachir Souheil et **GHEZLAOUI Baha-Eddine** Maîtres de conférences à l'université de Tlemcen d'avoir bien voulu examiner ce travail.

Je tiens à exprimer ma grande considération et ma vive reconnaissance à **Mme Maria Amélia Martins-Loução**, Professeur à l'Université de Lisbonne, ainsi qu'à **Mme Elena Albanell Trullàs**, Professeur à l'Université Autonome de Barcelone, pour leur générosité puisqu'elles ont eu la complaisance de m'octroyer des livres et des articles sur le caroubier, lesquels m'ont été d'une grande utilité pour la préparation de ce mémoire.

Je souhaite témoigner ma gratitude à mes amis agronomes, **Mr Selka Nassim**, **Mr LOKBANI Choïb** et **Mr MELLALIH Ahmed** pour leurs disponibilités et leurs aides considérables.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement mon ami et camarade d'Espagne **Mr BOUZEBODJA Réda**, Subdivisionnaire de l'agriculture de la Daïra de Aïn Sefra, d'avoir eu l'amabilité de me conduire dans des lieux difficilement accessibles à la rencontre de magnifiques arbres sauvages de caroubier.

Mes vifs remerciements vont également aux responsables des différents DSA et DCF des 11 wilayas, qui ont bien voulu me recevoir et me communiquer des informations précieuses et utiles nécessaires à l'élaboration de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Présentation du caroubier

I Le caroubier	03
1. Taxonomie et terminologie commune.....	03
2. Origine et distribution géographique.....	04
2.1 Origine du caroubier.....	04
2.2 Distribution géographique.....	05
2.3 Aire de production du caroubier dans le monde.....	06
2.4 Aire de production en Algérie	06
3. Description botanique	10
4. Reproduction du caroubier	18
5. Ecologie du caroubier.....	20
6. Exigences édaphoclimatiques	20
7. Multiplication du caroubier	22
8. Réalisation de verger de caroubier	23
9. Propriétés et utilisations du caroubier	24
9.1 Propriétés.....	24
9.2 Utilisations	26

CHAPITRE II : Situation du caroubier dans la région Nord-ouest de l'Algérie

II Situation du caroubier dans la région Nord-ouest de l'Algérie	30
1. Description de la zone d'étude	30
1.1 Cadre topographique	31
1.2 Sol.....	32
1.3 Climat.....	33
1.4 Températures.....	34

1.5 Bioclimat	34
2. Méthodologie	36
2.1 Enquête prospective	36
2.2 Résultat de l'enquête	36

CHAPITRE III : Elaboration d'un programme d'amélioration génétique du caroubier pour la tolérance au froid

III Elaboration d'un programme d'amélioration génétique du caroubier pour la tolérance au froid	49
1. Stress dû au froid.....	49
1.1 L'effet des températures basses sur les arbres	50
1.2 Effet des températures basses sur le caroubier.....	51
1.3 Tolérance au froid (aux températures basses)	52
1.4 Stratégies de tolérance au froid	53
1.5 Mécanismes de tolérance au stress froid	54
2. Ressources génétiques et variabilité.....	57
2.1 Existence de variation génétique.....	57
2.2 Variabilité dans la tolérance au froid	59
3. Amélioration génétique du caroubier pour la tolérance au froid.....	60
3.1 Objectif et critères de sélection	61
3.2 Méthodes de sélection	61
3.2.1 Sélection parmi les populations existantes (programme à court terme).....	61
3.2.1.1 Sélection de cultivars tolérants au froid parmi les cultures existantes	61
3.2.1.2 Sélection de clones tolérants au froid et présentant un rendement élevé en graines parmi les caroubiers de semis naturels.....	64
3.2.2 Sélection clonale issue d'un croisement dirigé (programme à moyen et long terme)	67
3.2.2.1 Sélection parmi les plants F1 issus d'un croisement dirigé.....	68
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76

LISTE DES FIGURES

Figure 01 - Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde	07
Figure 02 - Distribution des aires de cultures du caroubier dans le bassin méditerranéen	07
Figure 03 - Production mondiale de la caroube, année 2011	08
Figure 04 - Production de la caroube en Algérie, année 2009	09
Figure 05 - Racines du caroubier	10
Figure 06 - Tronc du caroubier.....	12
Figure 07 - Branches du caroubier	12
Figure 08 - Feuille du caroubier	13
Figure 09 - Foliolle du caroubier.....	13
Figure 10 - Inflorescence mâle du caroubier.....	14
Figure 11 - Inflorescence femelle du caroubier.....	14
Figure 12 - Fleur hermaphrodite du caroubier	14
Figure 13 - Inflorescence hermaphrodite du caroubier	15
Figure 14 - Inflorescence mâle de couleur rouge	16
Figure 15 - Inflorescence mâle de couleur jaune	16
Figure 16 - Fruit du caroubier	17
Figure 17 - Graines du caroubier.....	18
Figure 18 - Fructification du caroubier sur des rameaux secondaires (A), Rameau principal (B) et sur le tronc (C)	19
Figure 19 - Dispositif de plantation du caroubier avec 11% de pieds pollinisateurs	24
Figure 20 - Composants de la graine du caroubier.....	26
Figure 21 - Farine de la pulpe (A) ; Gomme de la graine (B) ; Produits de confiseries fabriqués à partir de caroube (chocolat, biscuits, confiture...etc) (C)	29
Figure 22 - Situation géographique de la zone d'étude.....	30
Figure 23 - Carte bioclimatique de l'Algérie	35
Figure 24 - Répartition géographique du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie.....	40
Figure 25 - Arbres de caroubier sauvage situés à une altitude de 1166 m au versant Sud de djebel Aïssa, Localité de Aïn Tiloula, Commune de Tiout, Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma	41

Figure 26 - Arbre de caroubier sauvage situé dans une Echaâba à une altitude de 1037 m au niveau de la Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma	41
Figure 27 - Arbre de caroubier sauvage situé dans une Echaâba au niveau du versant Sud de djebel Aïssa, Localité de Aïn Tiloula, Commune de Tiout, Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma	42
Figure 28 - Arbre de caroubier sauvage sur terrain rocheux situé dans la Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma	42
Figure 29 - Association de Laurier rose et de caroubier sauvage dans une Echaâba au niveau du versant Sud de djebel Aïssa, Localité de Aïn Tiloula, Commune de Tiout, Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma	43
Figure 30 - Caroubiers d'alignement, d'ombrage et d'ornement situés dans plusieurs villes de la région Nord-ouest de l'Algérie.....	44
Figure 31 - Bosquet de caroubier cultivé associé à l'olivier et à quelques pieds de lentisque dans la région d'Aïn el Berd, Wilaya de Sidi Bel Abbès	45
Figure 32 - Brise vent constitué de caroubier situé à quelques centaines de mètres avant l'entrée Ouest de la ville de Relizane	45
Figure 33 - Verger de caroubier situé dans la Commune de Nedroma, Wilaya de Tlemcen	46
Figure 34 - Verger de caroubier situé dans la Commune de Hassasna, Daïra de Hammam Bou Hadjar, Wilaya de Aïn Témouchent.....	46
Figure 35 - Plantation d'un jeune caroubier comme arbre d'ornement dans la ville de Sidi Bel Abbès.....	47
Figure 36 - Arbre du févier d'Amérique (<i>Gleditsia triacanthos inermis</i>).....	47
Figure 37 - Ressemblance relative entre les gousses du caroubier et celles du févier d'Amérique.....	48
Figure 38 - Caroubier d'inflorescence mâle situé à une altitude de 1026 m dans la Commune de Bougtob, Wilaya d'El Bayadh.....	48
Figure 39 - Effets des températures basses sur les feuilles du caroubier	51
Figure 40 - Nucléation et propagation de la glace dans une partie individuelle d'une pousse de rhododendron (cv Olga), vue à l'aide d'une vidéo infrarouge thermographique .	56
Figure 41 - Images vidéo infrarouge de la propagation de glace à travers une section de tige d'un pêcher	56
Figure 42 - Arbres sauvages de caroubier fort probablement tolérants au froid situés dans la région d'Aïn Sefra – Naâma.....	71

Figure 43 - Schéma d'obtention de plants de caroubier tolérants au froid à partir de sélection parmi les populations existantes (programme à court terme).....	72
Figure 44 - Schéma d'obtention de nouvelles variétés de caroubier tolérantes au froid et de bon rendement en graines à partir de sélection clonale issue de croisements dirigés (programme à moyen et long terme)	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 - Estimation de la surface cultivée, la production et le rendement de la caroube dans le monde, année 2011	08
Tableau 02 - Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 09	
Tableau 03 - La composition moyenne de la pulpe du caroubier	26
Tableau 04 - Principaux produits de la caroube (<i>pulpe et graines</i>) et leurs utilisations majeures	28
Tableau 05 - Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques.....	29
Tableau 06 - Variétés de caroubier cultivées en Espagne.....	58
Tableau 07 - Principales variétés de caroubier cultivé dans des pays distincts de l'Espagne	59

INTRODUCTION

Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*. C'est une espèce sclérophylle, xérophile, thermophile, héliophile et calcicole, originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique. 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.

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).

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). En effet, au Maroc 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 Et-Tobi, 2002).

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 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.

En Algérie, la situation du caroubier demeure méconnue, en particulier dans la région Nord-ouest et cela malgré l'engouement et l'intérêt qui lui sont portés depuis quelques décennies par des industriels, notamment de Tlemcen, pour fins d'exportation à destination du marché Européen. La cératoniculture peut jouer un rôle important dans la mise en valeur des terrains en montagne ainsi que des sols des régions steppiques à condition de prendre en considération le caractère frileux de l'espèce. En effet, connaître la situation d'une espèce donnée est une étape primordiale vers la proposition de perspectives en vue de son amélioration.

L'objectif de ce travail consiste à mettre en lumière la situation du caroubier dans la région Nord-ouest de l'Algérie et de proposer une perspective d'amélioration à partir de la mise en place d'un programme de valorisation basé sur l'amélioration génétique de l'espèce à travers la création de variétés tolérantes au froid et productives, capables de satisfaire les attentes escomptées des agriculteurs et industriels.

Le présent travail comporte trois chapitres. La première partie sera consacrée à la présentation du caroubier, suivie dans le deuxième chapitre par une étude mettant à jour la situation de l'espèce dans le Nord-ouest de l'Algérie, pour aboutir ensuite dans le dernier chapitre à l'élaboration d'un programme d'amélioration génétique du caroubier pour la tolérance au froid.

CHAPITRE 1

I. Le caroubier

1. Taxonomie et terminologie commune

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua*, proposé par Linné est dérivé du mot grec “Keras” = corne et du latin “siliqua” (gousse), en allusion à la dureté et la forme de la gousse. La dénomination de l'espèce *C. siliqua* L. dans différents pays et langues découle d'une forme générale du nom arabe *Al kharroub* ou *kharroub*, comme c'est le cas *del algarrobo* ou *garrofero* en espagnol (Albanell, 1990). Par ailleurs, Batlle et Tous (1997) mentionnent que son nom commun vient de l'hébreu *kharuv* donnant lieu à plusieurs dérivés tels que, *kharrub* en arabe, *algarrobo* en espagnol, *carrubo* en italien, *caroubier* en français, *garrofer* ou *garrover* en catalan...etc.

Dans certains cas, le caroubier prend une terminologie commune selon la croyance que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert, lequel a donné origine à la dénomination “pain de Saint Jean-Baptiste” (Albanell, 1990).

En raison de leur uniformité, 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 d'autres pierres précieuses (1 carat = 205,3 mg) (Rejeb, 1995). On attribue aux arabes l'utilisation des graines entières du caroubier comme unité de poids dans le commerce de substances et matériels précieux. Il apparait donc que “el kilate” en espagnol ou “carat” en français (0,2 g) vient du nom arabe (Al-karat ou qirât) donné à la graine, laquelle est caractérisée par sa relative constance de poids (Albanell, 1990).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des *Légumineuses* de l'ordre des *Rosales*, sous-famille des *Cesalpinoïdæ*, tribu des *Cassieae*. Toutefois, cette position taxonomique demeure controversée. En effet, Tucker (1992 a) suggère que *C. siliqua* peut avoir un lien avec la sous-famille des *Mimosoïdæ*. Par ailleurs, certains auteurs ont pu prouver que le genre *Ceratonia* est isolé morphologiquement des autres genres de *Cassieae* (Hillcoat et al., 1980 ; Tucker, 1992 a et b) et que de ce fait, il doit être exclu de la tribu des *Cassieae* (Irwin et Barneby, 1981 ; Tucker, 1992 b). De plus, des études cytologiques ont révélé que le genre *Ceratonia* avec un nombre total de chromosome $2n = 24$ (Frahm-Leliveld, 1957 ; Goldblatt, 1981 ; Arista et Talavera, 1990 ; Bureš et al., 2004) est éloigné des autres membres des *Cassieae* dont le nombre de chromosome est de $2n = 28$ (Goldblatt, 1981).

Le caroubier n'est pas l'unique espèce qui représente le genre *Ceratonia*. En effet, une seconde espèce a été découverte par Hillcoat et al. (1980), à laquelle on a donné le nom scientifique de *Ceratonia oreothauma* Hillcoat, Lewis et Verdc. Selon ses origines, cette espèce se subdivise en deux sous-espèces différentes : la sous-espèce *oreothauma* native de l'Arabie (Oman) et la sous-espèce *somalensis* originaire du nord de la Somalie (Batlle et Tous, 1997).

Ceratonia oreothauma est morphologiquement très distincte de *C. siliqua*. En outre, son pollen est plus petit que celui de *C. siliqua* et il est tricolporé au lieu de tetracolporé (Ferguson, 1980). Vu que les graines de pollen de *C. siliqua* sont plus évoluées (tetracolporé) que les graines tricolporées, il a été suggéré que *C. oreothauma* est l'ancêtre sauvage de l'espèce cultivée *C. siliqua* (Hillcoat et al., 1980).

2. Origine et distribution géographique

2.1 Origine du caroubier

Le centre d'origine du caroubier demeure obscur puisqu'il existe plusieurs hypothèses émanant d'un désaccord entre différents auteurs. Vavilov (1951) situe l'origine du caroubier dans la région Est de la méditerranée (Turquie, Syrie et Palestine), tandis-que des études archéobotaniques menées à partir de restes carbonisés de bois et de fruits ont démontré que le caroubier était présent dans la méditerranée orientale au néolithique (4000 ans av. J.-C.), période initiale de la domestication des espèces ligneuses (Estrada et al., 2006). Cependant, le caractère thermophile de cette espèce et sa présence sur les hauts plateaux du Yémen donne à penser que son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie (Liphschitz, 1987).

La découverte de la nouvelle espèce de caroubier *Ceratonia oreothauma* Hillc., Lewis and Verde., considérée comme une espèce plus ancienne que *Ceratonia siliqua* et survivant dans les montagnes de l'Arabie (Oman) et de la Somalie (Hillcoat et al., 1980) semble appuyer la dernière hypothèse.

Par ailleurs, Zohary (1973) considère le caroubier comme une relique procédant de la flore Indo-Malaisienne dont sont aussi issus les groupes *Olea*, *Laurus*, *Myrtus*, et *Chamaerops*. Cette dernière hypothèse selon laquelle le caroubier aurait une origine tropicale, trouve ses arguments à partir de caractéristiques physiologiques importantes propres à l'espèce

notamment, l'existence d'une période de floraison tardive (Juillet-Octobre), inhabituelle chez les arbres et arbustes méditerranéens et la présence d'un contenu enzymatique photosynthétique de "type C4" (caractéristique des plantes de climat chaud) durant les premières étapes de son développement et qui par la suite est inhibé une fois la plante adulte (Catarino et Bento-Pereira, 1976). Aussi, la longévité des feuilles qui est quasiment le double que chez la majorité des espèces méditerranéennes les plus communes tend à confirmer l'origine tropicale de la plante (Catarino, 1993).

2.2 Distribution géographique

Selon Hillcoat et al. (1980), le caroubier s'étend dans la nature, en Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Palestine, le Sud de la Jordanie, Egypte, Arabie, Tunisie et Lybie avant d'atteindre la méditerranée occidentale. Il a été disséminé par les grecs en Grèce et en Italie, par les arabes le long de la cote Nord de l'Afrique et au Sud et à l'Est de l'Espagne, ce qui par la suite a permis sa distribution dans le Sud du Portugal et dans le Sud-est de la France. 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).

Melgarejo et Salazar (2003) considèrent sans aucun doute que la Méditerranée est le centre de diversité du caroubier et que même si cette zone n'est pas le centre d'origine, le plus important aux yeux d'un améliorateur reste bel et bien que c'est dans le bassin méditerranéen qu'existe une plus grande diversité de l'espèce et pour autant c'est l'aire dans laquelle il est fort possible de trouver de nouveaux matériels génétiques avec une plus grande probabilité de réussite.

Le centre d'origine et la distribution géographique du caroubier dans le monde sont représentés dans la figure 01, tandis que la distribution de son aire de culture dans le bassin méditerranéen est représentée dans la figure 02.

2.3 Aire de production du caroubier dans le monde

La superficie cultivée totale du caroubier 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 (figure 03) 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.

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).

La production de la caroube dans le monde a diminuée d'une façon spectaculaire au cours des 60 dernières années, passant de 650.000 tonnes en 1945 (Orphanos et Papaconstantinou, 1969) à 205.589 tonnes en 2011. Rien qu'en Espagne, la production a chuté de 364.000 t, passant de 420.000 t en 1945 (AEA, 1987) à 56.000 t en 2011. En Algérie, la production de la caroube s'est vue réduite de 83% entre 1961 (24.000 t) et 2011 (4000 t) (FAOSTAT).

2.4 Aire de production 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). En 2009, cette superficie était de 927 ha (tableau 02) dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia. 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 (figure 04), 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 %.

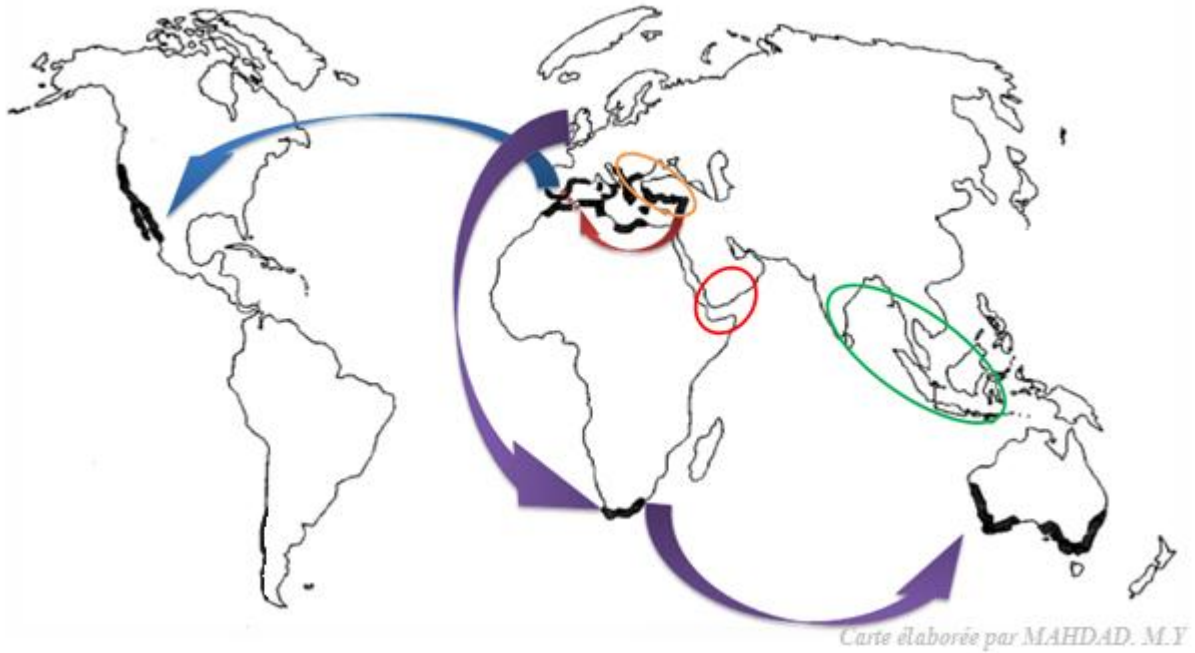


Figure 01 - Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (*carte élaborée par l'auteur; les cercles représentent les différentes hypothèses qu'existent sur le centre d'origine de C. siliqua, tandis que les flèches symbolisent la distribution de l'espèce de part le monde*)



Figure 02 - Distribution des aires de cultures du caroubier dans le bassin méditerranéen
(Albanell, 1990)

Tableau 01 - Estimation de la surface cultivée, la production et le rendement de la caroube dans le monde, année 2011 (*tableau établi par l'auteur 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
Israël	1347	210	0,16
Algérie	1000	4000	4,00
Croatie	550	553	1,01
Tunisie	414	858	2,07
Liban	250	2300	9,20
Ukraine	100	100	1,00
Mexique	76	76	1,00
Total	87458	205589	2,35

* les pays ont été classés par ordre décroissant selon la surface cultivée (ha).

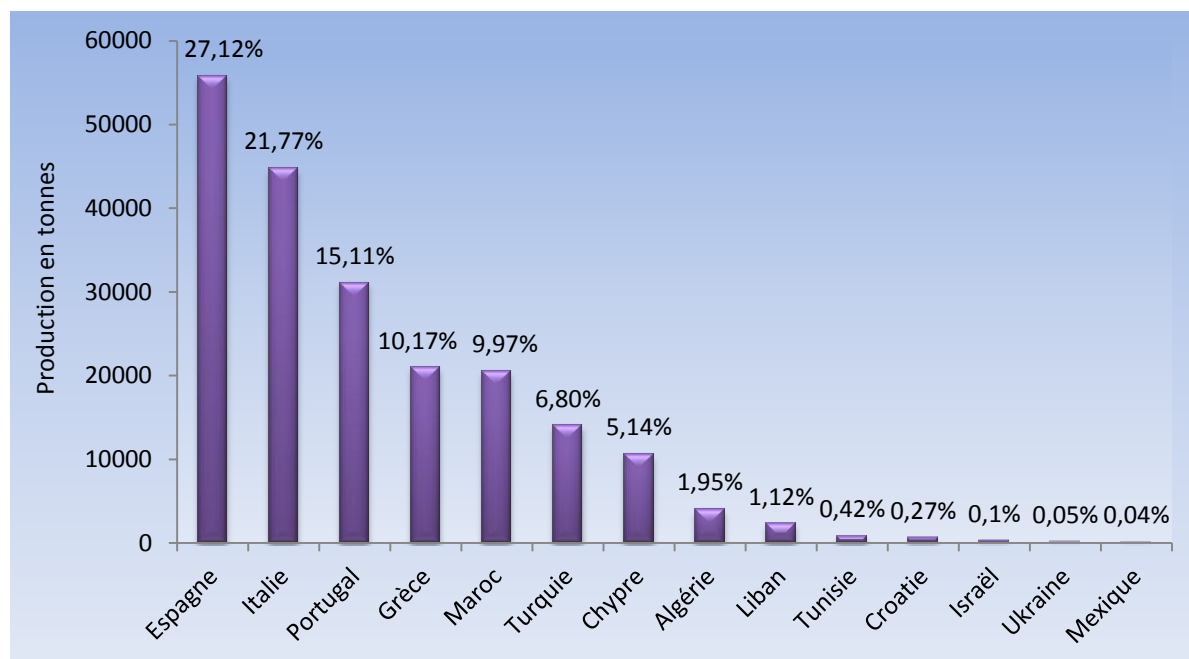


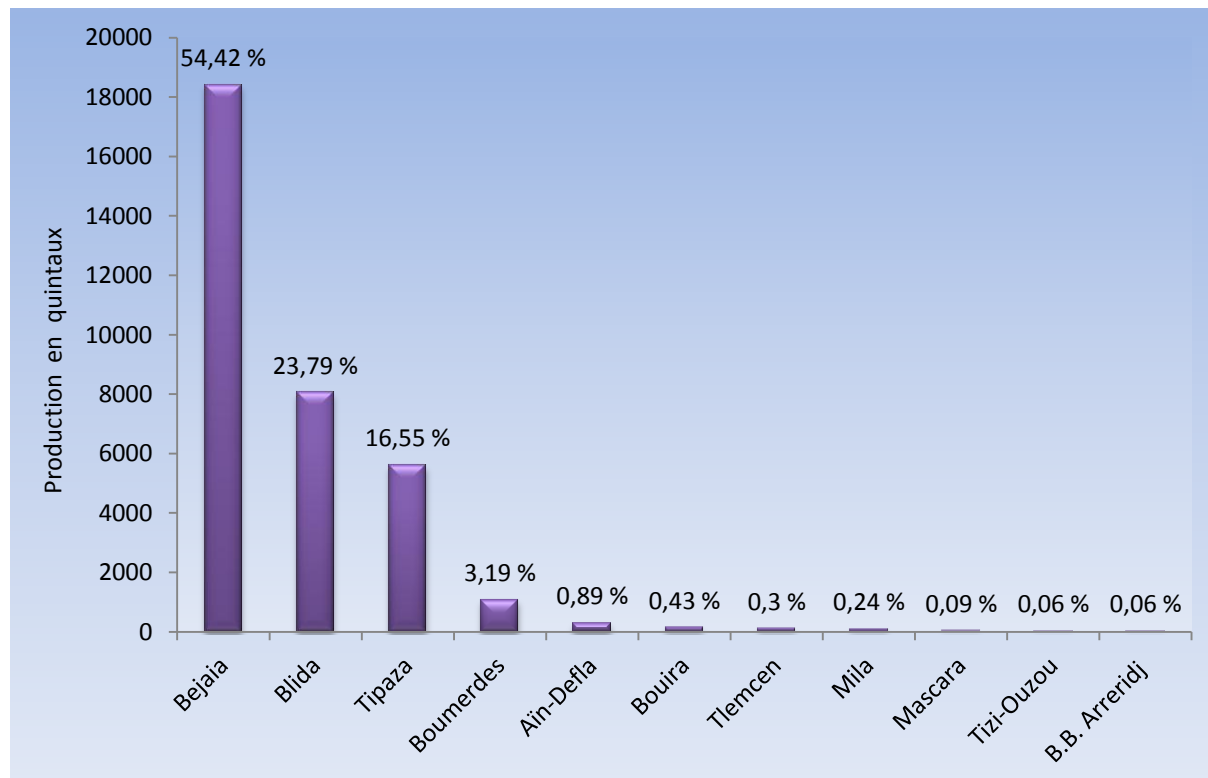
Figure 03 - Production mondiale de la caroube, année 2011

(*Histogramme établi par l'auteur à partir des données de la FAOSTAT*)

Tableau 02 - Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009*(Tableau établi par l'auteur à partir des données fournies par la 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

* les wilayas ont été classées par ordre décroissant selon la surface cultivée (ha).

**Figure 04** - Production de la caroube en Algérie, année 2009*(Histogramme établi par l'auteur à partir des données fournies par la DSA de Tlemcen)*

3. 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 200 ans). 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).

Racines

La racine du caroubier est très ramifiée en surface (figure 05), 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.



Figure 05 - Racines du caroubier (photo prise à Ain el Berd - Sidi Bel Abbès)

Les racines se caractérisent par une croissance lente mais avec un développement important au niveau des extrémités, de sorte que le volume des racines dépasse rapidement le double ou le triple de celui de l'houpplier, 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 capables 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).

Bien que le caroubier ait été classé dans la "famille des légumineuses" grâce aux caractéristiques de son fruit, cependant, il n'a pas été possible de démontrer qu'il possédait des nodules symbiotiques de rhizobium excepté dans un seul cas. En effet, selon Martins-Loução et Rodríguez-Barrueco (1982), Martins-Loução et al. (1996) et Hirsch et al. (2001), le caroubier est une légumineuse non nodulante. Toutefois, Missbah et al (1996) ont pu isoler dans la région de Debdou (Maroc) des souches de rhizobium nodulant le caroubier. Cependant, Konate (2007) réactiva et purifia la collection des souches isolées par Missbah et al. (1996) ensuite il procéda à un test d'authentification en les inoculant sur deux accessions du caroubier (Marrakech et Taounate) cultivées dans des conditions axéniques. L'examen du système racinaire des plantes, effectué à 2, 4 et 6 mois après l'inoculation, n'a montré aucune formation de nodosité.

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

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) et brin selon Batlle et Tous (1997), tandis que l'écorce est lisse sur la partie supérieure du tronc 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).

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 (figure 07) due à leur poids

et aux tailles de formation. Leur rôle principal est celui de servir comme élément support à 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



Figure 06 - Tronc du caroubier (photo prise à Hassasna - Aïn Témouchent)



Figure 07 - Branches du caroubier (photo prise à Sidi Ouriache - Aïn Témouchent)

présentent généralement et selon les variétés des tons jaune-verdâtres ou rougeâtres dans la zone de bourgeonnement.

Feuilles

Les feuilles (figure 08) 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 (figure 09) (Ait Chitt et al., 2007).



Figure 08 - Feuille du caroubier (photo prise à Sidi Ouriache - Ain Témouchent)

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



Figure 09 - Foliolle du caroubier (photo. Internet)

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).

Fleurs

Le caroubier est un arbre polygame-trioïque ; cette dénomination fut donnée par Linné. D'un point de vue sexuel, *C. siliqua* est caractérisée par l'existence de quatre types d'individus. Ainsi, il est possible de rencontrer des arbres à pieds :

- ❖ Mâles avec des fleurs caractérisées par des étamines à filament longs et avec un pistil non développé (figure 10). Ces pieds utilisés comme pollinisateurs sont habituellement nommés en espagnol "borrers" ou "judíos" (Albanell, 1990) ou aussi "bordes" (Melgarejo et Salazar, 2003) ;
- ❖ Femelles avec un pistil bien développé et des étamines rudimentaires (figure 11) ; ils sont les plus abondants ;
- ❖ Hermaphrodites à fleurs avec étamines et pistils bien développés (figure 12) ;
- ❖ Polygames avec des fleurs femelles, mâles et hermaphrodites (figure 13) ; ils sont rares.

Initialement, les fleurs du caroubier sont bisexuelles ; il y a suppression d'un axe durant le développement et le fonctionnement des cellules pour aboutir à des fleurs mâles ou femelles (Tucker, 1990a ; Ait Chitt et al., 2007).

Les fleurs naissent à partir de quelques bourgeons



Figure 10 - Inflorescence mâle du caroubier
(photo. Internet)

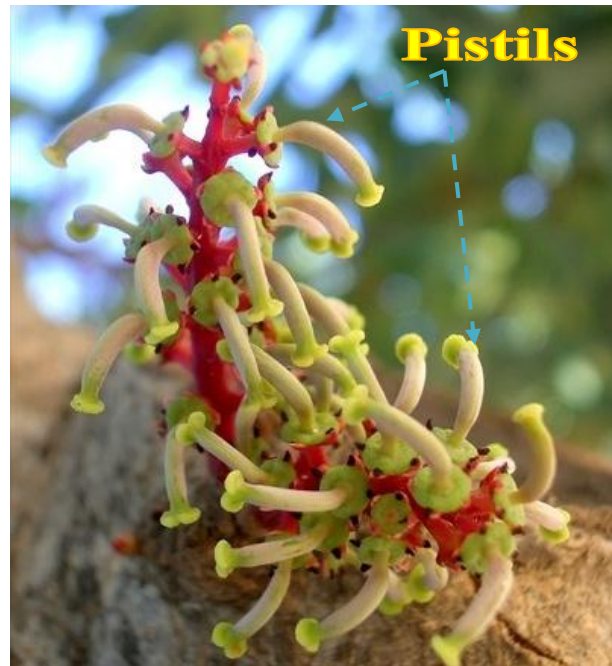


Figure 11 - Inflorescence femelle du caroubier
(photo. Internet)



Figure 12 - Fleur hermaphrodite du caroubier (photo. Internet)

floraux ; volumineuses et caractéristiques du caroubier. Ces fleurs se produisent sur du vieux bois ou sur des branches de plus de 3 à 5 ans. Les inflorescences apparaissent entre juillet et décembre (Tous, 1984).

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 le long d'un axe ou rachis d'une 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.

Les fleurs mâles possèdent cinq sépales bien développés ou rudimentaires selon les variétés et présentent des nectars à leur base soudés aux sépales formant un disque charnu (3-5 mm de diamètre, couleur verte). Le nombre des étamines est généralement de 5 mais il est fréquemment possible de trouver des anomalies de la symétrie pentamère (4, 6, 8 étamines) (Albanell, 1990).

Les fleurs femelles ont un pistil plus ou moins long, courbe en forme de légume d'un ton blanc-verdâtre avec un style court et épais et un stigmate persistant très épais de couleur vert riche en mucilage. Le pistil est entouré par un disque résultant de la soudure des pétales rudimentaires, le disque nectarifère est entouré par cinq sépales pileux et présente quelques étamines rudimentaires à son sommet (Albanell, 1990).



Figure 13 - Inflorescence hermaphrodite du caroubier (*photo. Internet*)

Les fleurs hermaphrodites sont caractérisées par un pistil et étamines fonctionnelles au sein d'une même fleur, laquelle est considérée comme une fleur parfaite ou complète. Sa taille et son apparence sont semblables à celles des fleurs unisexuées, elle présente du nectar sur la surface du disque et une large gamme de variation en ce qui concerne la longueur et la couleur des inflorescences (Albanell, 1990).

Traditionnellement, le caroubier a été classé en fonction de la couleur de ses fleurs, distinguant ainsi entre arbres à "fleurs jaunes et rouges", mais ce critère semble être insuffisant et indépendant des autres caractéristiques florales (Haselberg, 1998).



Figure 14 - Inflorescence mâle de couleur rouge (*photo. Internet*)

Il existe au sein des caroubiers à inflorescences mâles des variétés à fleurs jaunes (figure 15) et d'autres à fleurs rouges (figure 14). Ces dernières sont plus intéressantes à cultiver car elles produisent une plus grande quantité de pollen, mais en revanche, elles sont **plus sensibles au froid** (Tous, 1984).



Figure 15 - Inflorescence mâle de couleur jaune (*photo. Internet*)

Fruit

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).



Figure 16 - Fruit du caroubier (*photo. Internet*)

Le fruit du caroubier croît très lentement à ses débuts durant 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).

La caroube est une légumineuse avec une forte accumulation de sucres et de tanins ; ces deux composés lui confèrent au début de son cycle un aspect charnu différentiable d'une variété à autre, ce qui présente un intérêt au moment de l'étude pomologique du fruit immature (état vert) (Melgarejo et Salazar, 2003).

Du fruit, on peut distinguer trois parties :

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

Le nombre de fruits résultant de chaque inflorescence est variable selon la variété et il est généralement compris entre 1 et 6 fruits (Melgarejo et Salazar, 2003).

Graines

Les graines du caroubier sont petites et aplaties, 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 à 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) :



Figure 17 - Graines du caroubier
(photo. Internet)

1. **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.
2. **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.
3. **Germe** ou **embryon**, représente 23 à 25 % de la graine.

4. Reproduction du caroubier

À l'instar de nombreuses plantes tropicales, le caroubier est l'unique arbre méditerranéen dont la saison de floraison est en été - automne. Cependant, le temps et la durée de la période de floraison dépendent des conditions climatiques locales (Batlle et Tous, 1997). Hillcoat et al (1980) ont mentionné que *Ceratonia oreoethauma* fleurit en mars et avril dans son lieu d'origine. De ce fait, l'hybridation entre les deux espèces n'est possible qu'artificiellement.

La pollinisation chez le caroubier est assurée en grande partie par les insectes (Retana et al., 1990; Rejeb et al., 1991; Ortiz et al., 1996). En effet, Retana et al (1990) ont pu observer que l'intervention du vent dans la pollinisation était pratiquement nulle. Néanmoins, l'action du

vent dans le transport du pollen depuis les fleurs mâles jusqu'aux fleurs femelles n'est pas exclue (Thomson, 1971; Tous, 1984; Batlle et Tous, 1997).

Les fleurs femelles présentent un grand volume de nectar et une grande quantité de sucre (concentration des oses dans le nectar) par rapport aux fleurs mâles. Toutefois, les pieds mâles reçoivent un plus grand nombre de visiteurs (insectes) (Ortiz et al., 1996).

Les inflorescences femelles et hermaphrodites possèdent respectivement une moyenne de 17 et 20 fleurs, mais peu d'entre elles produisent des gousses, et seule une faible proportion des inflorescences arrivent à produire plus de deux fruits (Retana et al., 1994). Selon Haselberg (1996), la variation dans l'intensité de la production des inflorescences et des gousses est plus liée à des facteurs endogènes qu'à des conditions climatiques. Toutefois, des conditions environnementales défavorables peuvent réduire de façon significative le rendement par la diminution de la nouaison (Batlle et Tous, 1997).

La fructification se produit essentiellement sur des rameaux secondaires, occasionnellement sur des rameaux principaux et rarement sur le tronc (figure 18).



Figure 18 - Fructification du caroubier sur des rameaux secondaires (A), Rameau principal (B) et sur le tronc (C). (photos prises à Sidi Ouriache - Aïn Témouchent et à Remchi - Tlemcen)

5. Ecologie du caroubier

Le caroubier appartient à l'écosystème "maquis du littoral méditerranéen" sur sols calcaires ; c'est un arbre pérenne à feuilles persistantes ; c'est une espèce thermophile, xérophile et héliophile. Il croît bien dans les régions tempérées et subtropicales et tolère les zones côtières chaudes et humides, mais il est très sensible au froid d'hiver, de sorte qu'il peut vivre seulement à proximité des côtes avec des altitudes de moins de 500 m, bien que dans certaines zones sa culture occupe des terrains plus élevés mais toujours avec des expositions adéquates (Melgarejo et Salazar, 2003).

Le caroubier et l'oranger ont des exigences en température similaires, mais le caroubier tolère des sols plus pauvres et nécessite beaucoup moins d'eau (Batlle, 1997).

Le caroubier est une espèce qui résiste très bien à la sécheresse (Rejeb, 1995 ; Zouhair, 1996 ; Sbay et Abourouh, 2006), il n'est devancé que par le pistachier (Evreinoff, 1955). De plus, il est caractérisé par sa grande tolérance à la salinité en se positionnant en première place avec une tolérance de 2 g/l de NaCl devançant entre autres le palmier dattier, le pistachier et l'olivier (Gil-Albert, 1998). Il a été révélé dans une étude réalisée par Correia et al. (2010) que le caroubier peut tolérer et maintenir la majorité de ses processus physiologiques à une concentration de NaCl = 2,32 g/l. Ceci démontre que le caroubier peut jouer un rôle très important dans les zones salines, qui arrivent de jour en jour à gagner des terrains considérables, notamment dans le Nord-ouest de l'Algérie et particulièrement dans la région de Relizane.

Le caroubier avec *Pistacia lentiscus* L. et *Olea europaea* L. var. *sylvestris*, constituent une des associations les plus caractéristiques de la zone inférieure de la végétation méditerranéenne et pour autant elle est considérée comme une communauté climacique (*Oleo-Ceratonion*) (Batlle et Tous, 1997).

6. Exigences édaphoclimatiques

Climat

Les zones propices à la culture du caroubier doivent être caractérisées par un climat méditerranéen subtropical, avec des hivers doux, des printemps suaves à chauds et des étés chauds à très chauds et secs (Batlle et Tous, 1997).

Les arbres adultes ne nécessitent pas de froid hivernal, car ils peuvent être endommagés lorsque les températures chutent en deçà de -2°C ou -4°C selon les variétés. Le caroubier ne peut supporter des températures hivernales inférieures à -7°C (Batlle et Tous, 1997) ; il est considéré comme une des espèces méditerranéennes les plus vulnérables aux dommages causés par les basses températures (Albanell, 1990).

Le caroubier est une espèce très sensible aux gelées, capables de détruire des plantations toutes entières comme en témoignent les importantes gelées de février 1956 et celles de janvier 1985, qui ont entraîné la mort de plusieurs arbres dans de nombreuses régions d'Espagne. Cependant, les arbres peuvent supporter en été des vents chauds et secs et des températures élevées allant de 40 à 45°C , voire jusqu'à 50°C , mais dans des conditions d'humidité suffisante (Albanell, 1990).

De 5000 à 6000 heures au-dessus de 9°C sont requises pour la maturité des fruits. Le caroubier est sensible aux vents forts, aux pluies d'automne qui coïncident avec la période de floraison et aux humidités élevées au printemps (Batlle et Tous, 1997).

Sol

Le caroubier est un arbre peu exigeant quant au type de sol qu'il nécessite. Ainsi, il a été traditionnellement cultivé sur des terres marginales et cela grâce à sa capacité à produire dans des circonstances très défavorables et dans des endroits où il n'est pas possible de cultiver d'autres espèces faute de rentabilité (Albanell, 1990).

En général, le caroubier végète convenablement sur des sols pauvres, rocheux, sablonneux, limoneux lourds, argileux tout en préférant les terrains calcaires avec une texture équilibrée accompagnés toujours d'un bon drainage ; il ne supporte ni les sols acides, ni les sols hydromorphes (risque d'asphyxie et de putréfaction du système racinaire) (Albanell, 1990 ; Sbay et Abourouh, 2006) et a tendance à affectionner les sols superficiels (Aafi, 1996).

Melgarejo et Salazar (2003) ont pu localiser (la zone du Levant Espagnol) des plantations du caroubier dans des zones où le carbonate de calcium a atteint les 60% avec des teneurs en calcaire actif pouvant dépasser les 22%, tout en observant que le caroubier de ces régions végète sans montrer d'évidents symptômes de chlorose ferrique qui serait normal chez

d'autres espèces. À Chypre, une grande plantation de caroubier a été développée avec succès sur un sol calcaire avec un pH = 9 (Morton, 1987).

Eau

Le caroubier est un arbre xérophile, pouvant survivre sous des climats secs et sans irrigations ; il peut très bien s'adapter à des milieux présentant des pluviométries moyennes comprises entre 250 et 500 mm par an (Batlle et Tous, 1997). Bien qu'ils soient résistants à la sécheresse, les arbres ont besoin d'un minimum de précipitations moyennant les 550 mm afin de garantir une production rentable (NAS, 1979). Toutefois, de nombreux auteurs considèrent que des précipitations annuelles allant de 300 à 350 mm sont suffisantes pour une production acceptable (Albanell, 1990 ; Batlle et Tous, 1997).

7. Multiplication du caroubier

Par semis

C'est une méthode classique pour la multiplication du caroubier. Cependant, elle présente un certain nombre d'inconvénients, à savoir (Ait Chitt et al., 2007) :

- Le caroubier est une espèce dioïque, et par conséquent le semis donne des plants avec un ratio de 50% de femelles et 50% de mâles improductifs ;
- La non conformité génétique liée à l'hétérozygotie de l'espèce, et donc une grande hétérogénéité de la descendance ;
- Entrée en production très tardive, pouvant prendre plus de 8 ans.

Par bouturage

C'est une technique de multiplication végétative plausible, mais limitée dans la pratique. En effet, les travaux menés par Ait Chitt et al. (2007) ont démontré les limites techniques et physiologiques du bouturage du caroubier. Les résultats varient en fonction des arbres (génétique), la nature de la bouture et de la concentration en auxine (AIB).

Par culture *in vitro*

Il s'agit d'une technique prometteuse, mais qui n'est pas encore bien maîtrisée surtout au stade enracinement (Ait Chitt et al., 2007). Toutefois, il existe des études qui ont démontré qu'il était possible d'atteindre un pourcentage efficient d'enracinement (82,5% à 87,5%) avec

une adéquate combinaison entre le milieu basal et les hormones d'inductions (Saidi et al., 2007; Gharnit et Ennabili, 2009).

Gonçalves et al. (2005) ont pu démontrer que l'enracinement *in vitro* des bourgeons du caroubier est meilleur dans un milieu contenant de faible concentration de N et K et une forte concentration de Ca et Mg.

Par greffage

La propagation par greffage est une technique efficace et dominée. Cette approche permet :

- La préservation de la conformité du plant produit par rapport au plant mère sélectionné pour ses caractéristiques de production et de qualité ;
- La conservation des avantages (racines profondes, rusticité, résistances aux maladies) offerts par le franc, porte greffe issus de semis.

Ait Chitt et al. (2007), recommandent l'utilisation de la technique du greffage en fente apicale par rapport à l'écusson et cela pour les avantages suivants :

- Il permet de greffer sur des francs très jeunes (9 à 10 mois) par rapport au greffage en écusson qui demande un diamètre de porte greffe plus grand (donc une durée d'élevage plus longue) ;
- Il permet d'avoir une bonne soudure greffon-porte greffe.

8. Réalisation de verger de caroubier

Le caroubier est un arbre méditerranéen exigeant en lumière et pour autant, il ne supporte pas les fortes densités. Les densités utilisées vont de 10×10 (100 arbres/ha) à 6×4 (240 arbres/ha) en Espagne (Melgarejo et Salazar, 2003), et sont en fonction de la disponibilité en eau, de la richesse du sol et l'architecture de l'arbre qui est très distinguée selon les clones.

Au Maroc, Ait Chitt et al. (2007) préconisent une densité de plantation de 8×8 (156 arbres/ha), tandis qu'en Espagne, une densité de 9×9 (123 arbres/ha) est considérée comme une plantation économiquement acceptable (Melgarejo et Salazar, 2003).

La qualité et surtout le rendement des variétés hermaphrodites ne sont pas toujours les plus adéquates, c'est d'ailleurs pour cette raison que l'on continue à planter des variétés d'inflorescences femelles. Cependant, ce sont en général les variétés hermaphrodites que l'on

utilise comme pollinisateurs, car elles assurent une plus grande efficacité dans la nouaison par rapport à quelques pollinisateurs mâles traditionnels, c'est le cas avec la variété *Mascle ampla* en Borriol – Espagne (Melgarejo et Salazar, 2003).

En principe, il est suffisant d'installer un arbre mâle ou hermaphrodite au centre, entouré de 8 pieds femelles (Melgarejo et Salazar, 2003; Ait Chitt et al., 2007), ce qui représente un total de 11% de pieds pollinisateurs au sein de la plantation (figure 19).

Il existe une autre alternative de pollinisation qui consiste à greffer des rameaux de fleurs mâles (pratiquée naguère) ou hermaphrodites (la plus courante actuellement) sur les 25 ou 50 % des arbres femelles du verger (Melgarejo et Salazar, 2003).

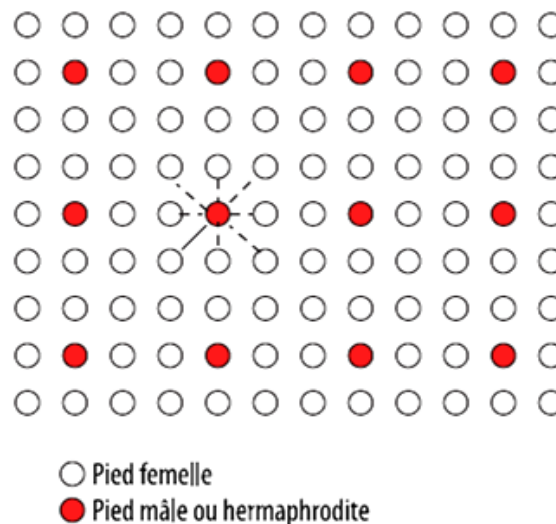


Figure 19 - Dispositif de plantation du caroubier avec 11% de pieds pollinisateurs (Ait Chitt et al., 2007)

Les vergers de caroubier sont connus pour leur entrée tardive en production. Les plantations installées dans les zones marginales commencent à porter des fruits après 6 à 8 ans, alors que dans de meilleures conditions, la culture commence à donner des fruits dès la 3 ou 4^{ème} année (Batlle et Tous, 1997).

Un arbre adulte bien développé pourrait produire environ 100 à 200 kg/an. Certains grands arbres isolés peuvent produire 250 à 300 kg lors d'années exceptionnelles (Batlle et Tous, 1997).

9. Propriétés et utilisations du caroubier

9.1 Propriétés

La pulpe et les graines sont les deux composants majeurs de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend du cultivar, de son origine, de l'époque de la récolte, de l'environnement et des conditions de stockage (Orphanos et Papaconstantinou, 1969; Albanell et al., 1991; Avallone et al., 1997; Ayaz et al., 2007; Iipumbu, 2008).

La pulpe de la caroube (tableau 03) possède une teneur élevée en sucre (48-56%) et peut même atteindre 72% (Ayaz et al., 2007). En outre, elle contient environ 18% de cellulose et d'hémicellulose (Batlle et Tous, 1997). L'analyse de la composition en sucre de la pulpe de plusieurs variétés Algériennes a révélé une richesse en sucre totaux de 37,5 à 45,3% (Gaouar, 2011).

La composition minérale (en mg/100g du poids sec) est la suivante : K = 970 ; Ca = 300 ; P = 71 ; Mg = 60 ; Fe = 1,88, Mn 1,29 ; Cu = 0,85 ; Zn = 0,75 (Ayaz et al., 2007). Notons la richesse de la pulpe en potassium et calcium qui est très intéressante pour la nutrition humaine et animale (Plus du double du Ca du lait entier qui est de 119 mg/100 g).

Les gousses contiennent de faibles quantités de matières grasses ($0,6 \pm 0,1\%$) et une quantité importante de protéines ($3 \pm 2\%$) (Avallone et al., 1997).

Ayaz et al. (2007) ont pu déceler la présence dans les extraits de gousses de 18 acides aminés, principalement de l'acide aspartique et glutamique, l'alanine, la valine et la leucine.

Les gousses mures du caroubier contiennent une grande quantité de tanins condensés (16-20% du poids sec). En valeur alimentaire, les caroubes sont similaires à la plupart des graines de céréales (NAS, 1979).

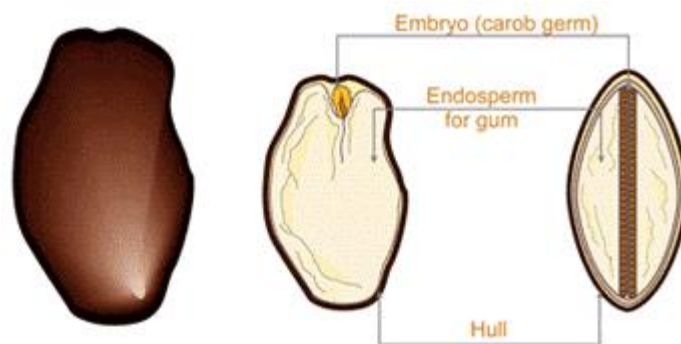
La graine (figure 20) est composée de 30 à 33% de tégument, 42 à 46% d'albumen et 23 à 25% d'embryon (Neukom, 1988). L'épisperme est considéré comme une source naturelle pour la production de polyphénols antioxydants (Makris et Kefalas, 2004). L'endosperme est constitué essentiellement d'une gomme nommée galactomannane. C'est une molécule de polysaccharide composée de deux unités de sucre : la mannose et la galactose dans un rapport de 4 : 1. La propriété principale de ce polysaccharide naturel est la viscosité élevée qu'il procure à la solution une fois mélangé à l'eau, et cela dans une large gamme de température et de pH (García-Ochoa et Casas, 1992).

La farine du germe (embryon) obtenue à partir des cotylédons a une teneur en protéines de 50% ; 27% d'hydrates de carbone ; 8% de lipides (neutre), 7% d'eau et 6% de cendres ; cette farine est recommandable pour l'alimentation humaine et animale (Puhan et Wielinga, 1996 dans Batlle et Tous, 1997).

Tableau 03 - La composition moyenne de la pulpe du caroubier

Constituants	%
Sucre totaux	48-56
Saccharose	32-38
Glucose	5-6
Fructose	5-7
Pinnitol	5-7
Tanins condensés	18-20
Polysaccharides non amylacés	18
Cendres	2-3
Lipides	0.2-0.6

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

**Figure 20** - Composants de la graine du caroubier (*fig. Internet*)

9.2 Utilisations

Le caroubier est présenté comme une espèce forestière et arboricole d'une grande importance économique, écologique et sociale.

Arbre

Le caroubier est largement utilisé comme arbre d'ornement et d'ombrage tout au long des allées de la Californie, de l'Australie et d'ailleurs. Sur la base de sa faible exigence et sa grande tolérance pour les sols pauvres, le caroubier est de plus en plus recommandé pour le reboisement des zones côtières dégradées sous l'effet de l'érosion ou de la désertification (Batlle et Tous, 1997). De nos jours, le caroubier est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus intéressants, puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorce

et racines) sont exploitées et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi, 1996 ; Mhirit et Et-Tobi, 2002).

Le bois du caroubier appelé *carouge* (Rivière et Leco, 1900) est dur à grain fin ; il est utilisé pour la fabrication d'ustensiles et la production de combustible (Batlle et Tous, 1997).

El Hajaji et al. (2010) ont pu confirmer la présence dans l'écorce du caroubier de grandes quantités de composés polyphénoliques caractérisés par leurs activités antioxydantes qui sont très importantes pour la santé. L'écorce de l'arbre est utilisée en tannerie, particulièrement dans l'achèvement et l'émaillage des peaux (Batlle, 1997).

Feuille

Plusieurs études ont montré que l'utilisation des feuilles associées avec le polyéthylène glycol (PEG) améliore la digestibilité et la qualité nutritionnelle des tanins contenus dans les feuilles (Priolo et al., 2000).

Rejeb et al. (1991) ont estimé la valeur énergétique des feuilles du caroubier à 0,25 UF/kg de matière sèche.

Corsia et al. (2002) ont démontré la capacité extraordinaire des extraits de feuilles et de gousses à l'inhibition de la prolifération des cellules tumorales.

Fruit

Les gousses du caroubier ont été traditionnellement utilisées non seulement dans l'alimentation des ruminants (Louca et Papas, 1973) et des non ruminants (Sahle et al., 1992), mais aussi dans l'alimentation humaine. Une étude récente menée par Sanches et al. (2010) démontre que la gousse du caroubier est une matière première appropriée à la production de bioéthanol, en raison de sa forte teneur en sucre (50%) et la facilité de son extraction.

Pulpe

La farine élaborée à partir de la pulpe (figure 21) peut être utilisée comme ingrédient dans certains aliments, tels que les gâteaux, bonbons, crèmes glacées, boissons (NAS, 1979). De plus, elle est utilisée comme substituant du cacao dans la production du chocolat (figure 21), car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (Craig et Nguyen, 1984). En Egypte, les sirops élaborés à partir de la caroube constituent une boisson populaire (Batlle et Tous, 1997). Lizardo et al. (2002) ont démontré l'effet positif de la farine du caroubier sur la performance et la santé des animaux (porcelets) soumis à un régime

alimentaire. De plus, elle joue un rôle effectif dans l'élimination des parasites intestinaux (Min et Hart, 2003) et dans le traitement des diarrhées aiguës infantiles (Serairi-Béji et al., 2000).

Ceratonia oreothauma est largement utilisé comme fourrage pour l'alimentation des chèvres dans leur aire de répartition naturelle (Hillcoat et al., 1980).

Graines

Les graines de caroube sont très appréciées et recherchées pour leurs qualités et multiples usages industriels (tableau 04). Vu son énorme intérêt économique (tableau 05), la gomme (figure 21) reste le produit le plus important parmi ceux (polyphénols antioxydants ; farine du germe) dérivés de la graine. Elle constitue le tiers (1/3) du poids total de la graine ; 100 kg de graines produisent une moyenne de 20 kilos de gomme pure et sèche (Jones, 1953).

Cette gomme mucilagineuse connue sous le code E-410 est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire comme épaississant, stabilisant, liant et gélifiant ou comme agent dispersant. Elle est aussi utilisée dans le domaine de l'impression, la photographie, le textile, la pharmacie et la cosmétique (Batlle et Tous, 1997).

Tableau 04 - Principaux produits de la caroube (*pulpe et graines*) et leurs utilisations majeures (Batlle et Tous, 1997)

Produits	Traitement reçu	Utilisations
Pulpe		
Brute	Aucun	Alimentation animale (Cheval et ruminants)
	Moulage	Alimentation humaine et animale (ruminants et non ruminants)
	Extraction et purification	Sucre et mélasse
	Fermentation et distillation	Alcool et production de protéines microbiennes
	Extraction	Tanins comme anti-diarrhée
Poudre	Lavage, séchage, torréfaction et moulage	Ingrédients alimentaires; substituant du cacao; préparation de produits diététiques et pharmaceutiques
Graines		
Endosperme	Moulage	CBG ou E-410; aditifs alimentaires; fibre diététique; aliments pour mascottes ; produits pharmaceutiques et cosmétiques
Embryon	Moulage	Farine de germe; nutrition humaine et animale
Episperme	Extraction	Tanins pour le tannage des cuirs

Tableau 05 - Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques

Utilisations industrielles	Applications
Pharmaceutiques	Produits anti cœliaques, pommades, comprimés, dentifrice
Cosmétiques	Emulsions et mousses, mousse à raser
Textiles	Epaississant de coloration
Papier	Produit de flottation pour matériel de couverture ; épaississant pour traitement de surface
Chimiques	Colles, coloriage, polissage, teinture, allumettes, pesticides
Pétrole	Adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité
Mines	Produit de flottation
Béton	Renforcement de la solidification
Explosifs	Liant d'eau pour les explosifs

Droste (1993) mentionné dans (Batlle et Tous, 1997)



A



B



C



Figure 21 - Farine de la pulpe (A) ; Gomme de la graine (B) ; Produits de confiseries fabriqués à partir de caroube (chocolat, biscuits, confiture...etc) (C) (photos, Internet)

CHAPITRE 2

II. Situation du caroubier dans la région Nord-ouest de l'Algérie

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude correspond à la région Nord-ouest d'Algérie (figure 22), elle s'étend sur une superficie de 123.084 km², soit 5,17 % du territoire national et comprend 11 wilayas à savoir, la wilaya de Aïn Témouchent, El Bayadh (zone septentrionale), Mascara, Mostaganem, Naâma, Oran, Relizane, Saïda, Sidi Bel Abbès, Tiaret et la wilaya de Tlemcen.

La zone est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par la wilaya de Chlef, Tissemsilt, Médéa, Djelfa et Laghouat, à l'Ouest par le Maroc et au Sud par l'Atlas saharien.

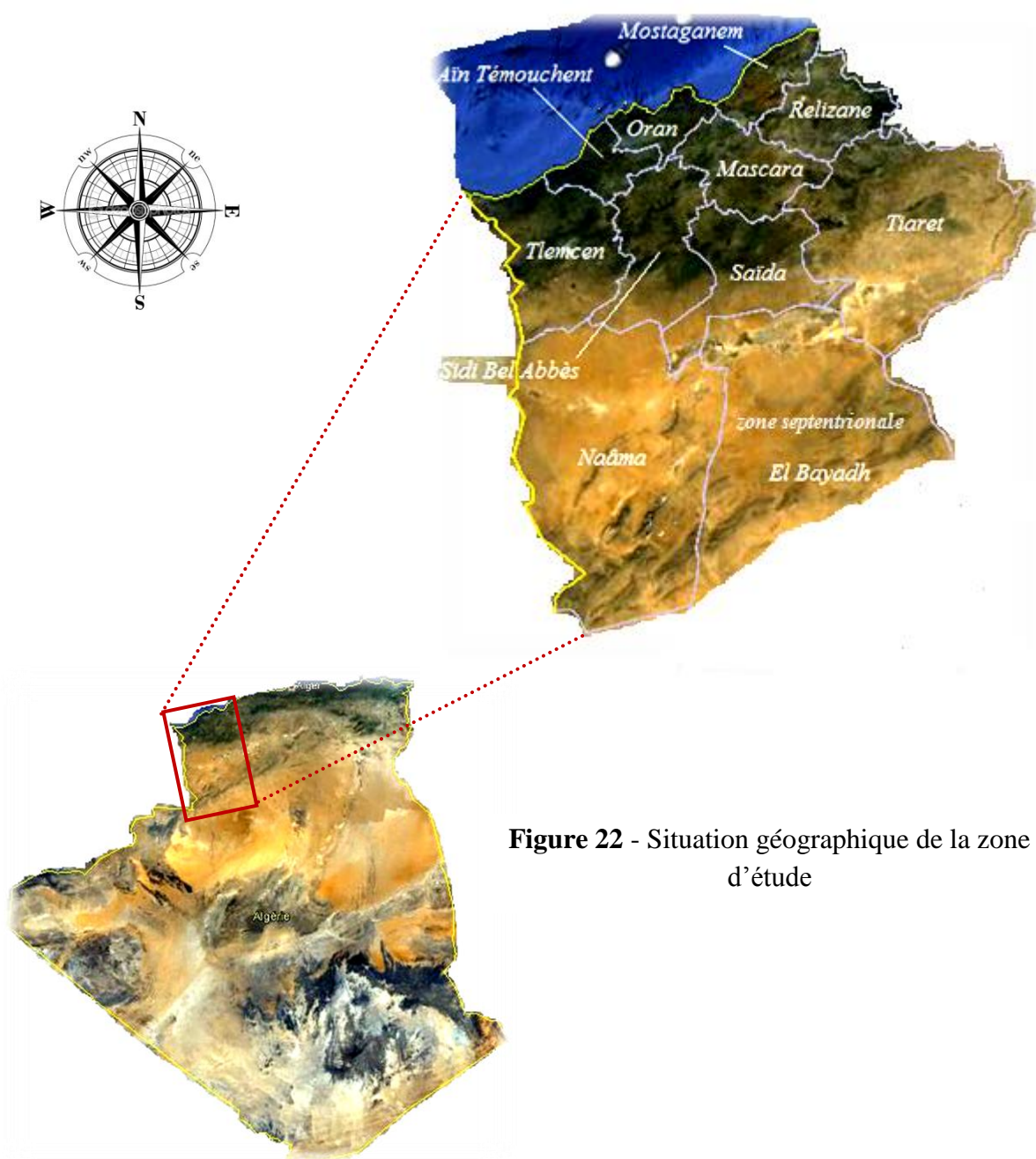


Figure 22 - Situation géographique de la zone d'étude

1.1 Cadre topographique

Le relief de la zone d'étude est un ensemble constitué de plaines et de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux, composé de deux sous-ensembles : le Tell occidental et les Hautes plaines steppiques.

Le Tell occidental est ordonné en alignements alternés de massifs, de hauteur moyenne, dominés par une dorsale calcaire du Jurassique et du Crétacé et de dépressions représentées par les basses plaines oranaises et la plaine du bas Chélif (Nedjraoui, 2001). Cette région se caractérise par deux grands ensembles naturels :

- *La zone littorale* : cette zone s'ouvre sur la mer méditerranéenne et regroupe les **espaces montagneux** constitués des monts des Trara (Tlemcen) culminant à une altitude de 1081m (djebel Fellaoucene), les monts de Sebaâ Chioukh (Tlemcen), les monts de Tessala (Sidi bel Abbès), le mont Murdjajo (Oran) et les monts du Dahra (Mostaganem), ainsi que les **espaces de plaines** littorales d'El Malah (Aïn Témouchent), de Aïn Türk, d'Oran Est, de Habra et Sig (Mascara), de Achaacha et Sidi Lakhdar (Mostaganem) et les plaines sublittorales de M'léta (Oran) et de bas Chélif (Relizane).
- *Les montagnes et les bassins intérieurs de l'Atlas Tellien* : sur le plan physique, cet ensemble est constitué des monts de Tlemcen, les monts de Daya (Sidi Bel Abbès), les monts de Saïda, les monts des Beni-Chougrane (Mascara), les monts de Frenda (Tiaret), la région ouest du massif d'El Ouarsenis (Relizane et Tiaret), ainsi que les plaines intérieures de Maghnia, Remchi, Hennaya (Tlemcen), Sidi Bel Abbès, Ghriss (Mascara) et de Relizane et les plaines substeppiques de Sebdou (Tlemcen) et Telagh (Sidi Bel Abbès). Le djebel Tenouchfi, faisant partie des monts de Tlemcen, est le sommet le plus haut de cet ensemble, culminant à une altitude de 1843 m.

Les Hautes plaines steppiques sont localisées entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, à des altitudes plus ou moins importantes de 900 à 1200 m ; elles sont parsemées de dépressions salées, chotts ou sebkhas qui sont des lacs continentaux formés au pléistocène sous l'effet des pluies torrentielles et du ruissellement important qui en découle (Nedjraoui, 2001). On distingue deux grands ensembles : les steppes occidentales et les steppes orientales.

Notre zone d'étude fait partie des steppes occidentales, elle est constituée des Hautes plaines Sud Oranaise regroupant la Wilaya de Naâma et El Bayadh, le Sud de Tlemcen, de Sidi Bel Abbès, de Saïda et la région Centre et Sud de Tiaret. La zone abrite deux Chotts à savoir, le Chott el Gharbi (Naâma) et le Chott ech Chergui (Naâma, Saïda, El Bayadh et Tiaret). Le djebel Aïssa d'une altitude de 2236 m (Aïn Sefra - Naâma) est le mont le plus élevé de la zone.

1.2 Sol

On distingue plusieurs types de sols (Nedjraoui, 2001).

Les sols minéraux bruts ou sols très peu évolués sont localisés principalement sur les sommets des djebels. Ces sols caractéristiques des forêts et matorrals, comportent :

- les lithosols sur les roches dures (grès ou calcaires) ;
- les régosols sur les roches tendres (marnes et calcaires marneux) ;
- les sols minéraux bruts d'apport alluvial dans les lits des oueds caillouteux.

Les sols peu évolués regroupent :

- les sols d'origine colluviale sur les piedmonts des djebels et les glacis ;
- les sols d'origine alluviale dans les lits d'oued, les zones d'épandages et les dayas.

Les sols calcimagnésiques regroupent les sols carbonatés parmi lesquels on trouve :

- les rendzines humifères sur les versants des djebels ;
- les sols bruns calcaires à accumulation calcaire xérifiée ;
- les sols à encroûtement gypseux qui sont plus rares, représentés par des petites plages dans les zones de grès alternant avec les marnes et argiles versicolores.

Les sols carbonatés sont les plus répandus en Algérie, notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens où ils représentent de vastes étendues encroûtées (Halitim, 1988).

Les sols steppiques sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Les sols isohumiques regroupent les sols à encroûtement calcaire ou gypseux. On les retrouve dans les régions arides à des précipitations inférieures à 200 mm/an.

Les sols halomorphes regroupent les sols salins (solontchak) profils AC et les sols salins à alcalis (solontchak-solonetz) profil A (B) C. Ces sols sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas. Ils sont pauvres en matière organique. Leur salinité est chlorurée, sulfatée, sodique et magnésienne.

A ces sols, s'ajoutent *les sols rouges* essentiellement de type *terra rossa*, sols typiques des régions à climat méditerranéen, composés d'argiles enrichies en oxyde de fer, ce qui leur donne une couleur rougeâtre typique.

En Algérie, les terra rossa sont relativement abondantes ; elles se rencontrent sur toutes les roches calcaires ou dolomitiques à peu près exemptes d'impuretés siliceuses. Elles constituent une grande masse au Sud de Tlemcen, qui se continue dans ce qu'il est convenu d'appeler le Causse de Saïda, et se retrouvent au Sud-est de Tiaret (Durand, 1959).

1.3 Climat

Le climat de la zone d'étude est de deux types : méditerranéen pour la région tellienne et continental au niveau des hautes plaines steppiques. Le climat continental est connu pour être un climat rigoureux, où les différences des températures entre l'hiver et l'été ainsi qu'entre le jour et la nuit sont importantes ; les étés sont chauds et les hivers froids avec de fréquentes gelées et les précipitations y sont peu abondantes. Ces caractéristiques résultent de la localisation de ces régions à l'intérieur des continents ou par le fait d'être isolées par des massifs montagneux qui empêchent l'influence maritime, c'est le cas de l'Atlas tellien qui agit comme écran à l'encontre de la région steppique, éliminant ainsi l'influence de la méditerranée.

Quant au climat méditerranéen, il est de type tempéré et se caractérise par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. Les températures thermiques y sont raisonnables et les précipitations sont plus ou moins abondantes selon le facteur relief qui caractérise la région, notamment les massifs montagneux. Ainsi, la pluviométrie enregistrée au niveau de la zone d'étude (Nord-ouest) ne dépasse pas les 600 mm/an, tandis que la région Nord-est de l'Algérie enregistre des précipitations allant jusqu'à 1500 mm/an (à Jijel).

Cette différence des précipitations entre les deux régions s'explique d'une part, par la présence de deux chaînes montagneuses à savoir, la Sierra Nevada Espagnol (Grenade) et l'Atlas Marocain, qui agissent comme écran éliminant ainsi l'influence atlantique sur la région Nord-ouest de l'Algérie et d'autre part, par les perturbations pluvieuses du Nord de la Tunisie auxquelles sont attribuées les fortes précipitations enregistrées à l'Est du pays (Djellouli, 1990).

1.4 Températures

La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est comprise entre 0 et 9 °C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4 °C dans les régions semi-arides et arides. La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie avec la continentalité, de 28 °C à 31 °C sur le littoral et de 33 °C à 38 °C dans les Hautes plaines steppiques (Benslimane et al., 2008). Au niveau de la zone d'étude, la température minimale du mois le plus froid est de - 10 °C, enregistrée dans la région de Aïn Sefra - Naâma (ONM, 2013).

1.5 Bioclimat

Selon la carte bioclimatique élaborée par l'ANAT (figure 23), notre zone d'étude est caractérisée par trois étages bioclimatiques : le subhumide, le semi-aride et l'aride.

L'étage subhumide

Caractérisé par une pluviométrie comprise entre 600 et 900 mm, l'étage subhumide est peu présent, on le retrouve dans des zones déterminées (monts de Tlemcen, Nord de Tiaret) de la région septentrionale ouest de l'Atlas tellien sur lesquelles se développent les forêts à *Quercus rotundifolia* (Chêne) et *Pinus halepensis* (Pin d'Alep).

L'étage semi-aride

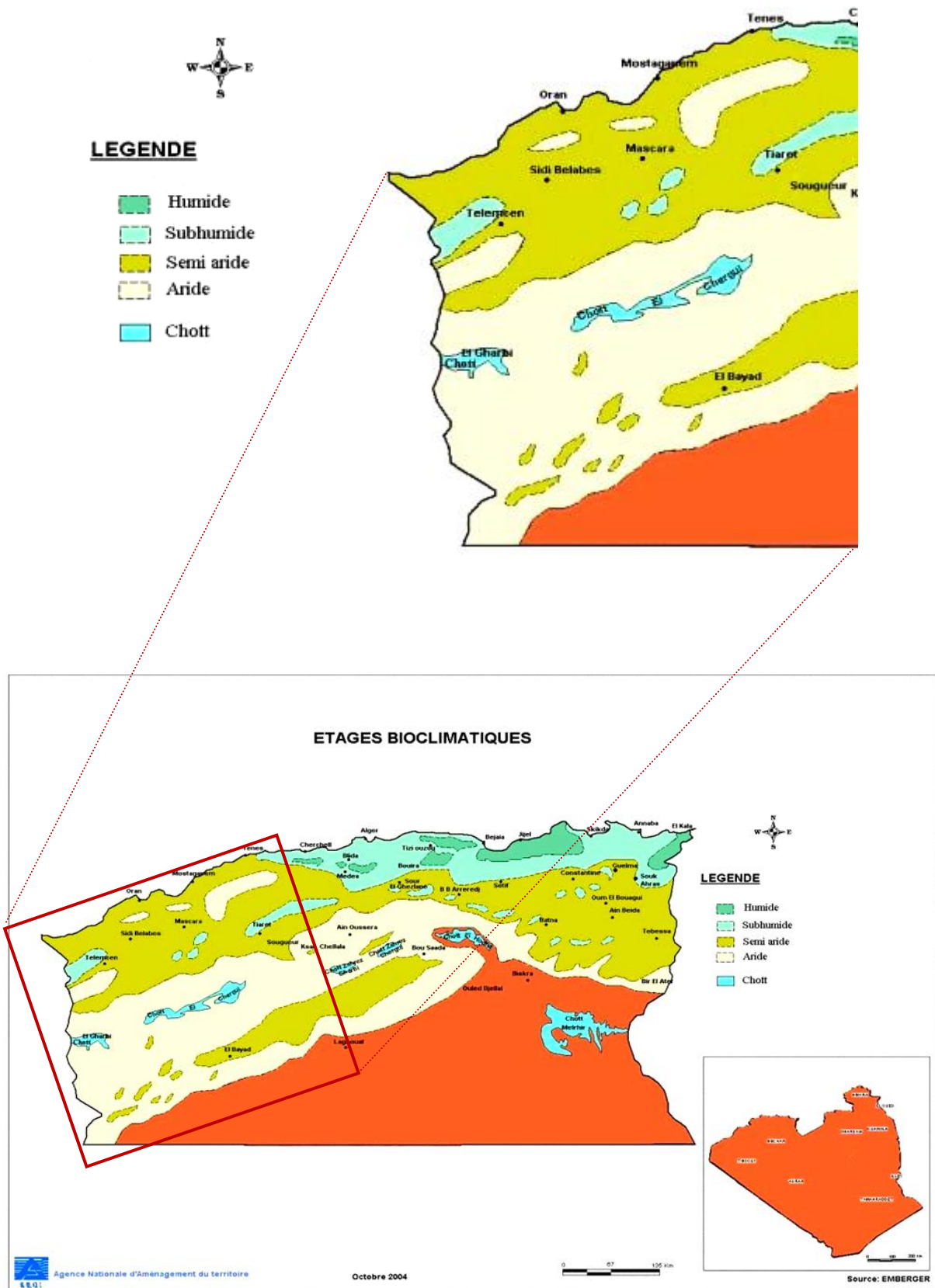
D'une pluviométrie de 300 à 600 mm, cet étage peut être subdivisé en deux sous-étages bioclimatiques : le semi-aride supérieur et le semi-aride inférieur.

- le semi-aride supérieur (400 - 600 mm), correspond aux plaines, forêts, maquis et matorrals du Nord-ouest de l'Atlas tellien et aux monts des versants Nord-ouest de l'Atlas saharien (monts des ksour, djebel Aïssa et les monts d'El Bayadh). *Quercus rotundifolia*, *Pinus halepensis*, l'olivier-lentisque et *Callitris articulata* (le thuya) sont les espèces les plus représentatives de ces régions.

- le semi-aride inférieur (300 - 400 mm), correspond à la zone sub-steppique, caractérisée par la disparition des espèces forestières et l'apparition des espèces steppiques telles que l'Alfa (*Stipa tenacissima*), l'Armoise (*Artemisia herba*) et le Sparte (*Lygeum spartum*).

L'étage aride

Caractérisé par une tranche pluviométrique allant de 100 à 300 mm, cet étage correspond à la région steppique aride qui est caractérisée par une réduction importante du couvert végétal donnant lieu à des parcours médiocres (le complexe Alfa-Armoise-Sparte) sur des sols squelettiques ayant atteint un seuil de dégradation très avancé.



Source : Benslimane et al. (2008)

Figure 23 - Carte bioclimatique de l'Algérie (ANAT, 2004)

2. Méthodologie

2.1 Enquête prospective

L'enquête a été menée auprès des Directions des Services Agricoles des 11 wilayas ainsi qu'auprès des Directions de la Conservation des Forêts, car le caroubier est considéré comme une espèce fruitière et forestière. De plus, nous avons effectué un certain nombre de déplacements *in situ* afin de vérifier la pertinence des informations collectées et de mettre en évidence l'état des connaissances du caroubier chez la population rurale. Ouverte, l'enquête était axée sur les principaux points suivants.

- Présence ou absence du caroubier dans chaque wilaya
- L'existence ou l'absence de données statistiques sur la culture du caroubier
- Importance et évolution de l'espèce dans la région d'étude
- Etat des connaissances de l'utilité économique du caroubier
- Répartition géographique de l'espèce dans la région d'étude
- Recherche d'éventuels pieds de caroubier tolérants au froid

2.2 Résultat de l'enquête

La situation du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie est décrite comme suit :

En dépit de ses exigences altitudinales (moins de 500 m), le caroubier peut être présent à l'état naturel à des hauteurs de plus de 1600 m. En effet, Il nous a été possible de localiser des sujets de *C. siliqua* (figure 25) sur le versant Sud de djebel Aïssa à une altitude de 1166 m à Aïn Tiloula, Commune de Tiout (Naâma). De plus, il nous a été confirmé la présence de quelques pieds sur le versant Nord de djebel Aïssa dans la région dite Aïn Aïssa à des altitudes comprises entre 1600 et 1810 m.

Les températures basses sont incontestablement le facteur limitant le développement et la distribution du caroubier, de sorte que quasi la majorité des caroubiers du Nord-ouest Algérien sont situés dans le tell où les températures descendent rarement en deçà de 0 °C. Il n'est cependant pas rare de rencontrer des arbres isolés dans des régions réputées pour leur froid glacial, c'est le cas de la région de Naâma où les températures peuvent fréquemment atteindre les - 10 °C, voire dépasser les - 18 °C lors d'années exceptionnelles, et où nous avons pu repérer quelques pieds de caroubier, quoique tous situés dans l'Echaâb "Talweg" (figure 26 et 27), lieux idéals pour se protéger des vagues de froid glacial. N'empêche que ces

endroits n'enlèvent en rien l'existence fort probable du caractère de tolérance aux basses températures chez ces pieds sauvages de caroubier, lesquels peuvent faire objet de matériel génétique (parentaux) nécessaire à l'élaboration d'un programme d'amélioration de l'espèce pour la tolérance au froid.

Le caroubier s'adapte à plusieurs types de sols à l'exception des sols acides et hydromorphes. Ainsi, nous l'avons rencontré sur des sols marneux, marron à croûte calcaire, fertiallitiques rouges (Tlemcen), rocaillieux calcaires (Sidi bel Abbès), brun calcaire (Aïn Témouchent) et sur des terrains rocheux (figure 28) au niveau de la Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma.

Dans le Nord-ouest de l'Algérie, le caroubier est bien défini dans l'étage sub-humide et semi-aride supérieur, où il est souvent en association avec l'olivier (*Olea europaea*) et occasionnellement avec le lentisque (*Pistacia lentiscus*). Dans l'étage semi-aride inférieur, le caroubier se fait rare et croît dans les conditions naturelles à l'état sauvage en association avec le laurier rose (*Nerium oleander*) au niveau de l'Echaâb (figure 29) et avec l'olivier sauvage (zeboudj) et le pistachier de l'atlas sur le versant Nord de djebel Aïssa.

La quasi-totalité des *C. siliqua* que l'on peut croiser dans la région tellienne du Nord-ouest Algérien sont de type cultivé. En effet, il est rarissime d'apercevoir dans cette zone un pied de caroubier qui ne soit pas l'œuvre d'une plantation humaine. De ce fait et bien que le caroubier a été et demeure très peu cultivé dans la région, il n'en reste pas moins qu'il a bénéficié d'attentions considérables notamment lors de la période coloniale, où il a vu son aire de répartition s'étendre grâce notamment à son installation comme arbre d'alignement, d'ombrage et d'ornement dans plusieurs villes de la région (figure 30). Ainsi, il existe des allées notamment à Sidi Bel Abbès plantées entièrement de caroubier surtout d'inflorescence mâle, de manière à en avoir des allées propres et verdoyantes tout au long de l'année. Aussi, le caroubier a été utilisé, quoique timidement, comme arbre de reboisement et de brise vent dans les régions respectives de Aïn el Berd - Sidi Bel Abbès (figure 31) et de Relizane (figure 32). Enfin, et en tant que culture fruitière et hormis quelques implantations de vergers particulièrement à Tlemcen et Aïn Témouchent (figure 33 et 34), le caroubier n'a réellement pas fait l'objet d'une valorisation sérieuse due probablement aux savoirs limités de l'usage que l'on lui connaissait, notamment de ses fruits.

Mise à part la plantation de jeunes caroubiers comme arbres d'alignement particulièrement dans la wilaya de Sidi Bel Abbès (figure 35) et quelques tentatives d'introduction de l'espèce dans le cadre des programmes d'entretien des plantations dans la wilaya de Naâma soldées par des échecs, la situation actuelle de la culture du caroubier dans la région ne s'améliore guère, alors même que l'on a noté durant ces dernières décennies la création en amont d'entreprises compétitives de transformation de la caroube dans un but d'exportation, ce qui à priori devait encourager les agriculteurs à s'intéresser de près à sa culture. Néanmoins, on continue à assister à la substitution de vergers de caroubier par des oliveraies (le dernier en date est celui de la commune de Sedjerara, wilaya de Mascara) pour des raisons dit-on de rentabilité, ce qui bien évidemment est infondé, car les produits dérivés du caroubier sont tous destinés à l'exportation et donc ont une valeur ajoutée supérieure à celle générée par l'huile d'olive Algérienne qui peine à trouver sa place dans le commerce extérieur tant la concurrence est ardue.

Par manque de vulgarisation, le caroubier et ses multiples usages demeurent dans la région Nord-ouest de l'Algérie peu connus chez la population rurale et méconnus chez la population urbaine, la preuve en est que jusqu'à présent, on continue dans la wilaya d'El Bayadh à confondre le caroubier avec le févier d'Amérique (figure 36) dont les fruits se ressemblent (figure 37); quoique cette confusion est excusable, puisque le caroubier et selon l'enquête sur terrain que l'on a menée est quasiment inexistant dans cette région excepté dans la Commune de Bougtob située dans le Nord-ouest de la wilaya à une altitude de 1026 m (figure 38); et donc à défaut de n'avoir jamais vu un arbre de caroubier et en absence de connaissance scientifique, prendre le févier pour un caroubier restera chose courante.

L'état actuel des connaissances chez la population rurale sur l'usage du caroubier notamment de ses gousses reste encore élémentaire. En effet et mise à part la connaissance de son utilisation comme aliment fourrager et comme produit antidiarrhéique, très peu de gens savent que l'on peut fabriquer à partir de sa pulpe du chocolat et confiseries, tandis qu'aucune personne parmi les paysans que l'on a interrogée, n'a été en mesure de savoir que l'on pouvait extraire à partir de la graine une gomme destinée à l'industrie agroalimentaire.

Parmi les wilayas où il existe ou existait des cultures de caroubier, Tlemcen est la seule qui continue à enregistrer des données statistiques sur le caroubier. Ainsi et lors de la campagne agricole de l'année 2011-2012, on a enregistré une superficie plantée de 5 ha donnant une production de 80 qx, tandis que lors de la campagne 2003-2004, la superficie était de 17 ha pour une production de 600 qx. La perte des 12 ha de caroubier était due à un incendie qui a ravagé une bonne partie de la région de Beni Bahdel, Daïra de Beni Snous.

La répartition géographique du caroubier dans la région Nord-ouest de l'Algérie est représentée dans la figure 24.

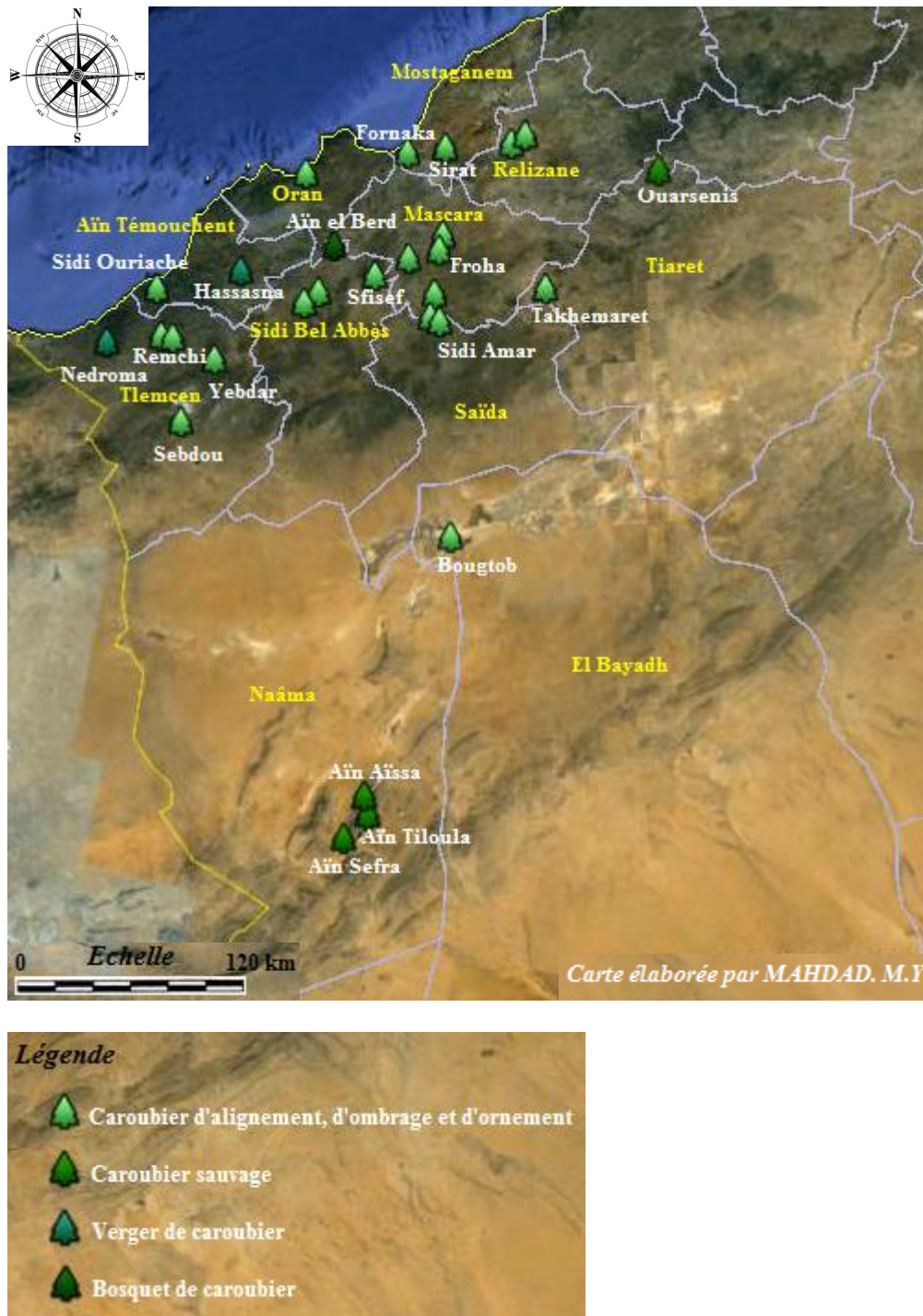


Figure 24 - Répartition géographique du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie



Figure 25 - Arbres de caroubier sauvage situés à une altitude de 1166 m au versant Sud de djebel Aïssa, Localité de Aïn Tiloula, Commune de Tiout, Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma



Figure 26 - Arbre de caroubier sauvage situé dans une Echaâba à une altitude de 1037 m au niveau de la Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma



Photo: MAHDAD. M.Y

Figure 27 - Arbre de caroubier sauvage situé dans une Echaâba au niveau du versant Sud de djebel Aïssa, Localité de Aïn Tiloula, Commune de Tiout, Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma



Photo: MAHDAD. M.Y

Figure 28 - Arbre de caroubier sauvage sur terrain rocheux situé dans la Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma



Figure 29 - Association de Laurier rose et de caroubier sauvage (en flèche rouge) dans une Echaâba au niveau du versant Sud de djebel Aïssa, Localité de Aïn Tiloula, Commune de Tiout, Daïra de Aïn Sefra, Wilaya de Naâma



Figure 30 - Caroubiers d'alignement, d'ombrage et d'ornement situés dans plusieurs villes de la région Nord-ouest de l'Algérie. Photos de haut en bas : Commune de Sirat - Mostaganem, Sidi Bel Abbès ville. Commune de Oued Taria - Mascara et Commune de Sidi Ouriache - Aïn Témouchent



Figure 31 - Bosquet de caroubier cultivé associé à l'olivier et à quelques pieds de lentisque dans la région d'Aïn el Berd, Wilaya de Sidi Bel Abbès



Figure 32 - Brise vent constitué de caroubier situé à quelques centaines de mètres avant l'entrée Ouest de la ville de Relizane



Figure 33 - Verger de caroubier situé dans la Commune de Nedroma, Wilaya de Tlemcen



Figure 34 - Verger de caroubier situé dans la Commune de Hassasna, Daïra de Hammam Bou Hadjar, Wilaya de Aïn Témouchent



Figure 35 - Plantation d'un jeune caroubier comme arbre d'ornement dans la ville de Sidi Bel Abbès



Figure 36 - Arbre du févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos inermis*) (Photo prise à Aïn Sefra - Naâma)



Figure 37 - Ressemblance relative entre les gousses du caroubier (à droite de la photo ; caroubes collectées à Malaga - Espagne) et celles du févier d'Amérique (à gauche de la photo ; féviers collectés à Aïn Sefra – Naâma)



Figure 38 - Caroubier d'inflorescence mâle situé à une altitude de 1026 m dans la Commune de Bougtob, Wilaya d'El Bayadh

CHAPITRE 3

III. Elaboration d'un programme d'amélioration génétique du caroubier pour la tolérance au froid

Quatre étapes sont nécessaires pour mener à bien un programme d'amélioration génétique d'une espèce donnée.

Premièrement, définir le facteur stress, cerner ses effets sur les végétaux et comprendre les mécanismes (physiologique et génétique) de résistance ou de tolérance qui sont employés par les plantes pour y lutter contre, car une résistance polygénique implique un programme d'amélioration génétique beaucoup plus complexe par rapport à celui qui repose sur une résistance monogénique, qui elle, est clairement définie.

Deuxièmement, s'assurer de l'existence de matériel végétal (variétés, cultivars, arbres sauvages) génétiquement résistant au facteur stress, car les sources de résistance sont la base de tout programme d'amélioration génétique.

Troisièmement, définir l'objectif du programme et ses critères de sélection. Ces derniers doivent être choisis selon leurs dimensions économiques, écologiques et sociologiques. A cela, s'ajoute la nécessité d'avoir parfois recours notamment dans le cas des stress abiotiques à des techniques qui permettent d'évaluer, et donc de sélectionner les plants qui présentent le critère de sélection. Ces techniques doivent être au mieux, non destructives, rapides et peu onéreuses.

Enfin, mettre en place les stratégies ou méthodes les plus adéquates de sélection de clones et/ou de création de variétés résistantes selon la nature du facteur de stress (abiotique ou biotique), l'espèce végétale (annuelle ou pérenne) et le type de reproduction de l'espèce (autogamie ou allogamie).

1. Stress dû au froid

Bien qu'aucun facteur climatique ne puisse être considéré comme le plus déterminant à caractériser un climat, néanmoins et en général, les températures sont le facteur auquel on attribue le plus d'importance dans n'importe quelle analyse climatique (Gil-Albert, 1998).

1.1 L'effet des températures basses sur les arbres

Durant la période de repos, les arbres ne montrent ni croissance, ni floraison et leur physiologie est adaptée à de grands intervalles de température situés à des valeurs relativement basses, comprises entre - 5 et 20 °C. Dans cette gamme, c'est-à-dire avec des températures moyennes de l'ordre de 10 °C, les espèces fruitières des zones tempérées montrent une adaptation quasi-parfaite. Cependant, il est très fréquent pendant l'hiver d'enregistrer dans les régions fruitières de l'Espagne des valeurs extrêmes de températures atteignant des valeurs sensiblement inférieures, jusqu'à - 10 à - 12 °C (Gil-Albert, 1998), tandis qu'en Algérie et particulièrement au niveau de notre zone d'étude, les températures peuvent descendre jusqu'à - 19 °C, c'est le cas en 2005 où on a enregistré dans la région de Naâma des températures de - 18,6 °C. Au cours des années extrêmes (1956 et 1964), les températures minimales dans les zones agricoles espagnoles ont atteint les - 16 °C, ce qui peut donner une idée de l'ampleur des dégâts occasionnés sur les vergers notamment sur ceux du caroubier.

Le degré de résistance au froid de chaque espèce et variété est influencé par des séries de facteurs nutritionnels, physiologiques et environnementaux, mais elle est principalement une **caractéristique génétique** (Gil-Albert, 1998).

Toute température en dessous de 0 °C est considérée comme une température de gel (Gil-Albert, 1998). Les gelées d'hiver peuvent affecter différentes parties de l'arbre, selon leur durée, leur intensité et le moment où elles apparaissent. Les dommages les plus fréquents sont ceux qui atteignent les racines, les bourgeons, le jeune bois, les rameaux et tronc.

Le système racinaire est normalement la partie de l'arbre avec la moindre résistance spécifique au froid ; des températures entre - 5 et - 10 °C les affectent mortellement, occasionnant la congélation de leurs cellules provoquant ainsi des nécroses vasculaires internes. Les bourgeons, principalement ceux des fleurs, sont aussi des éléments de l'arbre avec de faible résistance spécifique ; des températures de - 10 °C peuvent les affecter en occasionnant la mort des primordiaux femelles et l'émasculature des organes mâles ou bien nécrosant le pétiole du bourgeon. La partie de l'arbre qui est affectée aisément par ce type de dommage est habituellement celle du collet du tronc, pouvant présenter des dommages sous forme de plaques ou nécroses internes, ou bien sous formes de fissures basales provoquant la mort totale de l'arbre (Gil-Albert, 1998).

1.2 Effet des températures basses sur le caroubier

Le caroubier est considéré comme l'une des espèces méditerranéennes la plus susceptible à subir des dommages causés par les basses températures (Mitrakos, 1981 ; Albanell, 1990).

Bien qu'il existe des différences vis-à-vis de la résistance au froid chez les variétés, les arbres adultes ne sont pas en mesure de surmonter de longues périodes d'exposition à - 9 °C, provoquant même une défoliation complète de l'arbre si l'exposition est de courte durée (Albanell, 1990). Les températures de - 4 °C endommagent sérieusement (jusqu'à la mort) les plantules et les jeunes arbres, y compris les bourgeons, feuilles (figure 39), fleurs et jeunes fruits des arbres adultes (Batlle et Tous, 1997). Une gelée sévère peut anéantir des arbres matures comme cela s'est produit à plusieurs reprises dans la région méditerranéenne (en 1956 et 1985) (Batlle et Tous, 1997).



Figure 39 - Effets des températures basses sur les feuilles du caroubier. Photo de gauche : effets des gelées sur les feuilles d'un jeune arbre (*photo prise à Sidi Bel Abbès ville*) ; Photo de droite : effets des gelées sur les feuilles d'un vieille arbre (*photo prise à Hassasna - Aïn Témouchent*)

Les périodes phénotypiques les plus critiques aux températures les plus basses sont celles du début de floraison et de maturité des fruits, où une exposition continue à des températures comprises entre - 3 et - 5 °C peut détruire la récolte de l'année et qui plus est celle de l'année subséquente (Merwin, 1981).

1.3 Tolérance au froid (aux températures basses)

La tolérance aux températures basses est un caractère complexe quantitatif (Wisniewski et al., 2004 ; Fowler et Limin, 2004) qui s'exprime après l'exposition des plantes aux températures qui s'approchent de la congélation. Alors qu'un grand nombre d'études ont été réalisées sur la tolérance au froid, néanmoins, il n'existe pas encore de consensus général sur le mode d'action des gènes qui contrôlent l'expression de ce caractère (Fowler et Limin, 2004).

Les gènes qui confèrent les différents niveaux de tolérance aux basses températures se trouvent entre et au sein des espèces. Les améliorateurs des plantes ont été capables de manipuler avec succès cette variabilité afin de maintenir les niveaux de résistance au froid des cultures dans les aires de production. Une variabilité considérable dans l'intervalle de la tolérance aux basses températures existe aussi entre les espèces. Toutefois, les obtenteurs des transferts interspécifiques et intergénériques ont eu des résultats décevants (Fowler et Limin, 2004).

Bien qu'il y ait des exemples de l'action génétique non additive, la tolérance aux basses températures au sein des espèces est contrôlée principalement par des gènes à effets additifs (Fowler et Limin, 2004).

La résistance au froid varie considérablement entre les espèces, les génotypes et même entre les différentes parties d'une même plante (Kozlowski et Pallardy, 2002).

La tolérance au froid dépend de plusieurs processus biochimiques, dont la somme détermine le degré de tolérance. Certains de ces processus sont dépendants des hormones et sont induits par les jours courts (photopériodisme), tandis que d'autres dépendent de l'activité des systèmes enzymatiques et des températures (Nilsson et Eriksson, 1986).

1.4 Stratégies de tolérance au froid

Les deux stratégies adoptées par différentes plantes pour lutter contre le stress des températures basses sont l'évitement et la tolérance. Eviter le stress implique une prévention de la congélation des tissus sensibles. Certaines espèces succulentes (avec une masse de tissu épaisse et une teneur en eau abondante) sont capables d'accumuler la chaleur résiduelle durant la journée et la dissiper progressivement durant la nuit froide (Nilsen et Orcutt, 1996). De nombreuses herbes annuelles survivent sous la forme d'organes latents ou semences ; d'autres protègent le méristème du bourgeon avec les feuilles (Kacperska, 1999).

Une stratégie plus élaborée consiste à inhiber la formation des agents de nucléation ce qui empêche la formation des cristaux de glace endogènes même lorsque la température descend en dessous de - 40 °C, c'est la **surfusion**. Les espèces résistantes aux hivers extrêmes peuvent générer au sein de leurs cellules une solution hautement visqueuse appelée "cristal liquide" qui empêche la nucléation des cristaux de glace même jusqu'à - 196 °C (Janská et al., 2010).

La notion de surfusion à l'égard de la tolérance au froid est très importante. La surfusion se produit en raison de l'absence de germes de nucléation indispensables au début de la formation des cristaux de glace. La température minimale à laquelle l'eau pure peut demeurer sous surfusion est de - 38 °C. Au deçà de cette température, la nucléation spontanée des cristaux de glace se produit indépendamment de la présence de toute substance susceptible de l'induire. Durant la congélation contrôlée, le tissu des plantes ligneuses est maintenu en surfusion à - 15 °C (Hopkins, 2003).

La surfusion accentuée représente l'unique adaptation des plantes ligneuses pour éviter les blessures causées par la gelée grâce à la suppression d'une manière spectaculaire de la formation des cristaux de glace dans les tissus spécifiques (Wisniewski et al., 2004). Le degré de suppression est limité par la température de nucléation homogène de l'eau et pour autant la surfusion accentuée est une caractéristique des plantes ligneuses modérément résistantes. Cependant, il a été suggéré que les plantes ligneuses les plus résistantes au froid ont la capacité de former des solutions vitrées. Ces solutions sont très stables tant que la cellule reste inférieure à la température de fusion du verre permettant ainsi aux tissus de devenir relativement insensibles aux contraintes liées aux températures les plus basses (Wisniewski et al., 2004).

1.5 Mécanismes de tolérance au stress froid

Les températures inférieures au point de congélation de l'eau sont courantes dans la majeure partie du monde. Quand les cellules vivantes se congèlent, la structure des cristaux de glace qui en résulte interrompt les processus les plus vitaux et peut endommager les délicates structures cellulaires entraînant une mort rapide. De nombreux organismes sont capables de tolérer des températures de congélation en activant des mécanismes qui leur permettent de résister aux gelées ou bien tolérer leurs effets. En général, il existe trois mécanismes de tolérance au froid :

Le premier est l'accumulation ou la présence de substances dissoutes qui abaissent le point de congélation de l'eau ce qui interrompt la formation de glace, par exemple, le point de congélation de l'eau de mer qui contient environ 3,5 % de sel dissout est de - 1,9 °C.

Le deuxième mécanisme consiste à restreindre ou limiter la formation des cristaux de glace dans les espaces intercellulaires au lieu des espaces intracellulaires, ce mécanisme est décrit comme suit : la glace se forme avant tout dans l'espace apoplastique (espace extracellulaire compris entre la membrane plasmique et la paroi) puisque l'eau qu'il présente contient relativement peu de soluté. Comme la pression de vapeur de la glace est beaucoup plus faible que celle de l'eau liquide à la même température, la formation de la glace dans l'apoplasme génère un gradient de pression de vapeur entre l'apoplasme et les cellules environnantes. L'eau du cytoplasme qui ne se congèle pas migre en direction de ce gradient c'est à dire de la cellule vers l'apoplasme, où elle contribue à augmenter la taille des cristaux de glace qui y sont présents.

La migration continue de l'eau dans l'espace apoplastique a deux importantes conséquences. En premier lieu, la perte d'eau provoque une augmentation de la concentration des solutés dans le cytoplasme diminuant ainsi son point de congélation ce qui empêche la formation des cristaux de glace. Deuxièmement, la migration de l'eau dans l'apoplasme provoque une déshydratation progressive de la cellule. Il est vrai que d'une part, restreindre la glace dans les espaces extracellulaires empêchera les organites fragiles d'être endommagés par les cristaux de glace, mais d'autre part et en l'absence de formation de cristaux de glace dans la cellule, les effets du stress de congélation seront très similaires à ceux provoqués par le stress hydrique.

Le troisième mécanisme qui offre une autre solution au problème de congélation est la surfusion. Dans des circonstances déterminées, les fluides peuvent descendre en dessous du point de congélation sans qu'il y ait formation de glace. La glace se forme généralement autour d'un objet appelé noyau qui peut être un petit cristal de glace, une bactérie, un champignon ou toute autre particule. Si le noyau est absent, l'eau pure peut être refroidie à plus de 20 °C au-dessous de son point de fusion sans qu'elle puisse se congeler, c'est le phénomène de la surfusion. Par conséquent, un organisme qui a la faculté d'exclure les noyaux de congélation de ses fluides peut survivre à des températures très basses.

Quant à la surfusion accentuée, considérée comme un mécanisme "d'échappement" (Wisniewski et Arora, 2000 ; Hopkins, 2003), celle-ci joue un rôle très important dans le maintien de la fonction physiologique des bourgeons floraux et du xylème de la plupart des plantes ligneuses. En effet, ce phénomène non seulement empêche la nucléation de l'eau à des températures très basses jusqu'à - 47 °C, mais il entrave également le mouvement de l'eau à partir des cellules vers l'espace extracellulaire ce qui évite la déshydratation du cytoplasme. Toutefois, les facteurs responsables de la régulation de ce mécanisme ne sont pas encore connus avec exactitude (Wisniewski et Arora, 2000; Wisniewski et al., 2004) et le phénomène en soit reste mal compris (Gusta et Wisniewski, 2012).

L'une des techniques qui permet de mesurer le gel dans les tissus des plantes ligneuses est **l'analyse thermique**. Elle consiste à mesurer la chaleur libérée (exothermique) au moment de la formation des cristaux de gel (Hopkins, 2003). Cette technique a été utilisée pour identifier les différences dans la tolérance aux températures basses des espèces ligneuses (Fowler et Limin, 2004). Cependant, on reproche à cette méthode de ne pas pouvoir générer des données directes, ni sur la localisation du début du gel, ni sur le point de temps spécifique (Wisniewski et al., 2004).

En revanche, l'utilisation de la **thermographie infrarouge** résulte plus efficace en cause, cette technique permet la visualisation directe du processus de congélation chez des plantes intactes, à la fois dans des conditions de laboratoire et sur le terrain, ce qui permet d'obtenir des données sur le nombre et l'emplacement des premières manifestations de gel qu'elles soient produites à la surface ou à l'intérieur de la plante.

Aussi, elle permet d'obtenir des données sur la température à laquelle s'est formé le gel et sur la direction et la vitesse de propagation des cristaux de glace (figure 40 et 41) (Wisniewski et al., 2004). La thermographie infrarouge est devenue la technologie la plus utilisée et la plus utile dans la détection des stress abiotiques chez les plantes (Hacker et al., 2011 ; Ballester et al., 2013 ; Urrestarazu, 2013 ; Janka et al., 2013).

Cette technique peut très bien être utilisée au moment de l'évaluation des plants (tolérants et intolérants) issus du programme d'amélioration du caroubier pour la résistance au froid.

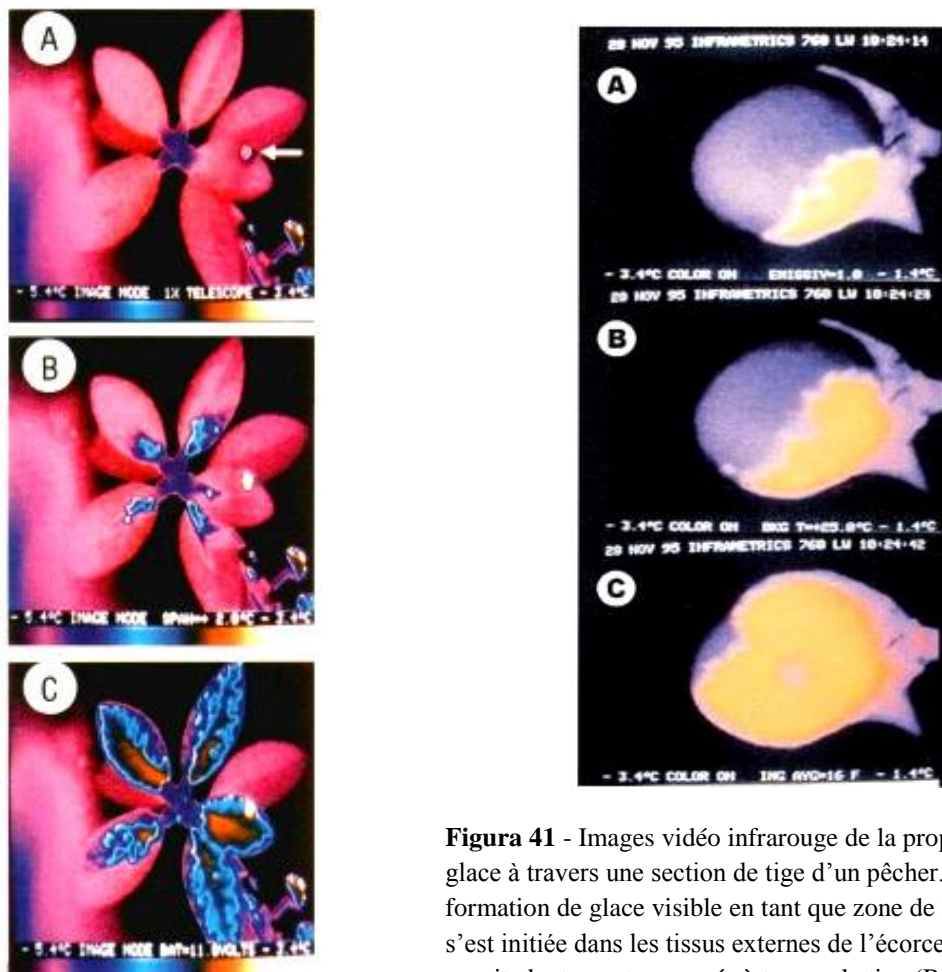


Figura 41 - Images vidéo infrarouge de la propagation de glace à travers une section de tige d'un pêcher. La formation de glace visible en tant que zone de lumière s'est initiée dans les tissus externes de l'écorce (A) et s'est ensuite lentement propagée à travers la tige (B et C) (Wisniewski et al., 2004)

Figura 40 - Nucléation et propagation de la glace dans une partie individuelle d'une pousse de rhododendron (cv Olga), vue à l'aide d'une vidéo infrarouge thermographique. Malgré la congélation d'une goutte de suspension de *P. syringae* placée sur une feuille (A, flèche), la nucléation de la pousse s'est initiée dans la tige et s'est propagée vers les feuilles et bourgeons provoquant un réchauffement du tissu (B et C, bleu et zones de couleur rouille) (Wisniewski et al., 1997)

2. Ressources génétiques et variabilité

2.1 Existence de variation génétique

Depuis l'antiquité, le caroubier cultivé a été propagé d'abord par semis et plus tard par greffage. Ainsi, les cultivars du caroubier proviennent de semis de hasard sélectionnés parmi des populations locales et qui par suite ont été mis en place dans des vergers commerciaux (Batlle et Tous, 1997).

Zohary (1973) souligne que le caroubier cultivé n'a pas beaucoup divergé de son ancêtre sauvage. Toutefois, les différents cultivars enregistrés dans le monde diffèrent les uns des autres par leur vigueur, leur taille, la qualité des gousses et des graines et par leur productivité et résistance aux maladies (Batlle et Tous, 1997).

Les cultivars du caroubier montrent une variation génétique élevée pour les caractères morphologiques, agronomiques et technologiques (Batlle et Tous, 1997; Barracosa et al., 2007; Konate, 2007; Naghmouchi et al., 2009; Sidina et al., 2009). Cependant, des études basées sur l'analyse enzymatique (isoenzymes) ont révélé des niveaux de polymorphisme très faibles entre les cultivars de différentes origines (Batlle et al., 1996) et ceux du même origine (Barracosa et al., 1996). Ainsi, la dérive génétique et la pression de sélection qui conduisent à l'érosion génétique semblent avoir occasionné d'énormes inconvénients dans la conservation de la variabilité génétique de cette espèce (Batlle et Tous, 1997).

Toutefois, Afif et al. (2006) ont démontré en utilisant l'analyse des isoenzymes l'existence d'une grande diversité génétique au sein de 17 populations de caroubier, échantillonnées dans de nombreuses zones de la Tunisie. Aussi, l'analyse cytologique particulièrement celle concernant la taille des chromosomes des caroubiers présents dans la réserve appelée 'Evolution Canyon of Israel' a révélé une importante variabilité intra-spécifique due à la présence d'individus diploïdes, triploïdes et tétraploïdes (Bureš et al., 2004).

Les plantes femelles ont toujours été choisies de préférence aux plantes hermaphrodites car elles sont meilleures porteuses de gousses, de sorte que les cultivars les plus courants dans les vergers commerciaux sont ceux avec des inflorescences femelles. Quant aux hermaphrodites, ils sont moins productifs, néanmoins, ils présentent un intérêt en tant qu'arbres pollinisateurs

ce qui a conduit à sélectionner en Italie et en Espagne des types de cultivars dont le rôle est celui de polliniser les pieds femelles (Batlle et Tous, 1997).

La sélection a été traditionnellement basée sur la qualité du fruit, notamment la taille de la gousse, le poids de la pulpe et le contenu en sucre. Les teneurs en pulpe et en graine d'une gousse sont corrélées négativement (Batlle et Tous, 1997).

Actuellement, les cultivateurs se focalisent de plus en plus sur le critère rendement de graines, qui sont mieux valorisées et plus rentables (production de la galactomannane) que le produit de la pulpe.

Certains auteurs dont Winer (1980), ont noté que les caroubiers sauvages produisent plus de graines et pour autant une plus grande quantité de galactomannane que les caroubiers cultivés.

En Espagne, les variétés sont caractérisées par une teneur élevée en pulpe et un rendement moyen en graines de 8 à 10 % (Batlle et Tous, 1997).

L'Espagne, premier producteur mondial de caroube et aussi le pays où il y a une plus grande diversité variétale de l'espèce (tableau 06).

Tableau 06 - Variétés de caroubier cultivées en Espagne

Autonomía/Provincia	Denominaciones
CATALUÑA:	
Barcelona	Negra, Banya de cabra, Molla negra, Banya de marrà
Tarragona	Negra, Rojal, Valencia, Costella de ruc, Negret de pom, Tendral, Mixt* y Dolça
BALEARES:	
Mallorca	D'en bugader, Rotge, De la mel, Costella d'ase, Pic d'abella, Duraió, De la canal, Mollar
Ibiza	Panesa, Borda, Orellona y Boval
C. VALENCIANA:	
Castellón	Negra, Ralladora, Banyeta, Costella de caball, Tembril, Murtera, Matalafera, Del pom, Casuda, y Mascle*
Valencia	Matalafera, Melera, Costella, Rocha, Negra, Chopá, Casuda, Caches, Bautista*, Llisa y Blanca.
Alicante	Lindar, Costella de bou, Melera, Vera, Fornera, Blanca, Sta. María, Rocha, Borrera, De la peña, Ramillete* y Mojonera
MURCIA:	
Murcia	Mollar, Ramillete* y Mojonera
ANDALUCÍA:	
Málaga	Rubia, Sagalonga y Bravía
Granada (Motril)	Laesa, Vacta y Fina
Huelva	Blanca

Tous et Batlle (1990) mentionné dans (Melgarejo et Salazar, 2003); * Variétés hermaphrodites

2.2 Variabilité dans la tolérance au froid

Le caroubier croît mieux sur des sols calcaires, de préférence près des zones côtières. Il est résistant à la sécheresse, mais ne tolère pas le froid. L'étendue des dégâts dus au gel dépend de la température enregistrée à l'intérieur du verger et de l'état physiologique des arbres. Les différentes gelées qui se sont produites dans des régions distinctes depuis le début des relevés ont permis l'observation de différences dans la résistance entre les cultivars. "Galhosa" le cultivar portugais semble être plus tolérant au froid que "Mulata". En Andalousie, les cultivars de caroubier locaux qui ne sont pas greffés nommés "Bravía" semblent être plus tolérants que les variétés greffées (Batlle et Tous, 1997).

Tableau 07 - Principales variétés de caroubier cultivé dans des pays distincts de l'Espagne
(Batlle et Tous, 1997)

Country	Region or district	Cultivar or type
Italy	Sicily	'Gibiliana', 'Racemosa', 'Saccarata'
	Apulia	'Amele di Bari'
Portugal	Algarve, Alentejo	'Mulata', 'Galhosa', 'Canela', 'AIDA'
Morocco	Fes, Marrakech, Agadir	ungrafted wild trees
Greece	Crete	'Hemere', 'Tylliria'
Cyprus	All islands	'Tylliria'
Turkey	Turkish area	'Koundourka', 'Koumbouta'
	Mediterranean coast Izmir	'Wild' and 'Fleshy' types 'Sisam' type
Tunisia		'Sfax'
Israel		'Tylliria', 'Sandalawi', 'Habati', 'Aaronsohn nos.'
USA	California	'Santa Fe', 'Clifford', 'Bolser', 'Grantham'
Australia	South Australia	'Bath', 'Irlam', 'Maitlan'
	Western Australia	'KP-1', 'Princess', 'Marshall no. 1'

En Algérie, les principales variétés connues de caroubier sont *Bouje* et *Altea* (variétés de Bejaia).

3. Amélioration génétique du caroubier pour la tolérance au froid

À ce jour, l'amélioration des variétés de caroubier a été réalisée de façon empirique par les cultivateurs, choisissant au hasard des plantes potentielles comme greffons et des génotypes dont la fructification est faible comme porte-greffe. Le manque de programme d'amélioration du caroubier peut être dû au manque d'intérêts des améliorateurs pour cette culture, non pas parce qu'il est sans importance, mais parce que son programme d'amélioration comprenant la reproduction et la sélection de la descendance est considérablement onéreux, car cela peut prendre plus de 8 ans depuis la graine jusqu'à l'apparition des premières fleurs. En d'autres termes, le programme d'amélioration du caroubier est un processus de longue haleine.

Les critères de sélection du caroubier ont été peu étudiés, néanmoins, il existe quelques caractéristiques souhaitables pour améliorer l'espèce. Ces caractères qui font l'unanimité auprès des chercheurs et techniciens du secteur sont (Melgarejo et Salazar, 2003) :

- Tolérance aux températures basses ;
- Entrée rapide en production ;
- Faible ou absence d'alternance de production ;
- Floraison groupée ;
- Maturité homogène ;
- Rendement élevé en graines ;
- Contenu élevé de gomme dans les graines ;
- Bonne teneur en sucre dans la pulpe ;
- Faible sensibilité aux ravageurs et aux maladies (oïdium, *Zeuzera*) ;
- Bonne aptitude pour la conservation initiale du fruit dans les entrepôts.

Les objectifs choisis pour l'amélioration du caroubier dépendront de l'utilisation prévue des cultivars qui en résultent. Les principaux enjeux pour l'amélioration du caroubier sont : augmenter la résistance au froid, réduire la période végétative (c.-à-d., augmenter la précocité d'entrée en production) et augmenter le rendement en gousses et en graines (Batlle et Tous, 1997).

3.1 Objectif et critères de sélection

L'objectif principal de ce programme d'amélioration génétique est celui de développer des variétés de caroubier tolérantes au froid.

Les deux principaux critères de sélection sont :

- **La tolérance aux températures basses** : Constitue le facteur qui limite la distribution du caroubier et pouvant décimer tout un verger.
- **Un bon rendement en graines** : C'est la partie du fruit qui a le plus de valeur, puisqu'elles sont destinées à l'extraction de la gomme (galactomannane), dont la rentabilité peut inciter et encourager les agriculteurs à investir dans la culture du caroubier.

Aussi, il est possible de tenir en compte d'autres critères au moment de la sélection, notamment la précocité et l'alternance de production.

3.2 Méthodes de sélection

3.2.1 Sélection parmi les populations existantes (programme à court terme)

Cette stratégie est basée sur la sélection phénotypique des clones à partir de la diversité préexistante :

- ✓ Sélection de cultivars tolérants au froid parmi les cultures existantes ;
- ✓ Sélection de clones tolérants au froid et présentant un rendement élevé en graines parmi les caroubiers de semis naturels.

3.2.1.1 Sélection de cultivars tolérants au froid parmi les cultures existantes

Les objectifs principaux de cette stratégie sont la sélection de cultures tolérantes aux basses températures et qui peuvent être utilisées dans un programme d'hybridation ou comme cultivars de production s'ils présentent un bon rendement en graines.

En Algérie, les variétés cultivées et sauvages de caroubier n'ont jamais fait l'objet d'étude agro-botanique, de sorte qu'il nous est impossible d'élaborer un programme d'amélioration sans la connaissance des caractéristiques notamment agronomiques du matériel génétique. Nous avons donc décidé de réaliser le plan d'amélioration avec des cultivars Espagnols et cela pour trois raisons à savoir, la richesse variétale, l'existence de données agro-botaniques pour chaque cultivar, et pour leur grande probabilité d'adaptation aux conditions

édaphoclimatiques du Nord Algérien qui présentent beaucoup de similitudes avec celles de l'Espagne.

En Espagne, aucune étude n'a été faite sur les cultivars qui sont tolérants au froid et sur ceux qui ne le sont pas. Toutefois, on connaît empiriquement beaucoup de choses sur ces génotypes. Daris (1964), rapporté par Melgarejo et Salazar (2003), cite que *dans chaque région, on sait parfaitement quelles sont les variétés qui donnent la meilleure qualité, et celles qui résistent au froid.*

Les cultivars du caroubier espagnol sont botaniquement et agronomiquement bien décrits dans de nombreuses références (Batlle et Tous, 1997 ; études menées par l'Université de Valence, voir le livre de Melgarejo et Salazar, 2003).

Cultivars tolérants au froid

Banya de cabra, son origine se situe dans la zone del Garraf à Barcelone, d'inflorescence femelle, il est le cultivar le plus tolérant au froid parmi tous les autres cultivars d'Espagne (Batlle et Tous, 1997 ; Melgarejo et Salazar, 2003). De plus, il se caractérise par un rendement élevé en graine, soit 13 à 14 % (54,3% en gomme), mais c'est une variété tardive avec un contenu faible en pulpe et une certaine alternance de production. Il s'agit d'un cultivar commercialement intéressant (Batlle et Tous, 1997).

Il existe en général une corrélation positive entre la quantité de pulpe et le contenu en sucre, et inversement entre ce dernier caractère et le nombre de graine (Tous, 1985).

Royal, il est originaire de la région de Tarragone (Espagne), d'inflorescence femelle, il montre une certaine tolérance aux températures basses en raison de son feuillage dense. C'est un cultivar excellent par ses caractéristiques agronomiques (très précoce) et commerciales (10 à 11% de graine, avec un contenu en gomme de 56,2% du poids sec de la graine). C'est le principal cultivar utilisé pour les nouvelles plantations à Tarragone (Batlle et Tous, 1997). *Royal* peut être considéré comme l'un des meilleurs cultivars en raison de la régularité et l'abondance de sa production (Tous, 1984).

Costella, cette variété est originaire de Majorque, de fleurs femelles, elle est très résistante au froid (Tous, 1985 ; Tous et al., 2001). Les récoltes sont abondantes, principalement dans les zones côtières.

Costella de caval, son origine se situe dans les zones côtières du centre et du nord de la province de Castellón (Espagne), de fleurs femelles, il est assez résistant au froid et d'une très bonne production (Melgarejo et Salazar, 2003).

Parmi ces quatre cultivars, *Banya de cabra*, semble être le cultivar le plus approprié aux zones froides. Le cultivar *Royal* ne démerite pas, mais il est moins tolérant au froid, bien qu'il soit très précoce et présente un contenu élevé en gomme par rapport à celui de *Banya de cabra*. Toutefois, cette différence ne semble pas être significative (56,2% contre 54,3%), surtout si l'on inclut le pourcentage de graines (13-14% pour *B. de cabra* contre 10-11% pour *Royal*).

Les cultivars de fleurs femelles nécessitent des pieds mâles ou hermaphrodites pour la pollinisation puisque le caroubier est une espèce trioïque. Il est donc, très important de choisir des cultivars pollinisateurs tolérants au froid lors de la mise en place du verger. Au sein des variétés de type mâle, il existe des cultivars de fleurs rouges et ceux de fleurs jaunes.

Le groupe des cultivars de fleurs rouges (figure 14) est caractérisé pour avoir une faible vigueur, des feuilles plus petites et des fleurs de grande senteur, plus abondantes et avec une importante production de pollen. Toutefois, ce sont des variétés plus sensibles au froid et aux variations climatiques.

Le deuxième groupe, celui à fleurs jaunes (figure 15), sont connus pour être des cultivars vigoureux qui résistent assez bien aux températures basses et par conséquent, ils sont les plus recommandés pour les zones peu abritées des vents froids (Tous, 1985).

Jusqu'à présent, on ne connaît aucun cultivar hermaphrodite tolérant au froid, ce qui nous amène à exclure toute possibilité de polliniser avec ce type d'inflorescence.

La sélection du cultivar *Banya de cabra* et son pollinisateur d'inflorescence jaune semble résoudre le problème de la sensibilité au froid, mais en réalité, ceci n'est pas le cas, puisque nous ne savons pas jusqu'à quelle température basse peut tolérer ces cultivars, car, et nous l'avons déjà signalé, il n'existe pas encore d'études indiquant la limite de tolérance au froid de chaque cultivar. Cependant, il existe un moyen indirect d'évaluer cette tolérance, et ceci à

travers les clones qui ont montré dans le passé des résistances aux hivers rigoureux, nous permettant ainsi de faire une sélection qui peut être intéressante.

3.2.1.2 Sélection de clones tolérants au froid et présentant un rendement élevé en graines parmi les caroubiers de semis naturels

La variabilité clonale chez les cultivars de caroubier d'âge pourrait être exploitée par la sélection des meilleurs clones qui ont accumulé différentes mutations spontanées sur une longue période de temps. La sélection clonale est une approche intéressante lorsqu'elle est utilisée pour un cultivar qui a obtenu un succès commercial (Batlle et Tous, 1997), c'est le cas du cultivar *Rojal* sur lequel a été fait un travail important de sélection clonal.

De la même manière, il est possible de faire une sélection clonale des arbres tolérants aux basses températures parmi les populations dérivées de graines, quelles soient propagées par l'homme ou bien naturellement (caroubiers sauvages).

En Espagne, la sélection empirique de l'agriculteur dans sa zone de culture a permis l'obtention de caroubier cultivé (région de la Catalogne, Levant et les îles Baléares) produisant des fruits avec un contenu élevé en pulpe, tandis que le caroubier sauvage (prédominant principalement dans la région de l'Andalousie) produit des caroubes à rendement élevé en graines (Tous et al., 1995). Ces derniers sont connus dans leur région sous le nom de *Bravia* donnant entre 15 à 17% de graines (Tous, 1985).

Il est donc recommandable de se focaliser sur ces populations, en faisant des prospections dans toute la région à la recherche de clones qui ont résisté aux gelées de Février de l'année 1956, 1964 et celles de Janvier 1985, où les températures ont atteint les - 16 °C, endommageant ainsi un grand nombre d'arbres, ce qui par la suite a conduit à l'élimination de la plupart d'entre eux (Tous, 1985). Cependant, il se doit aussi de comprendre et de savoir que parmi ces arbres endommagés, il y en a qui ont réussi à surmonter ces basses températures et qui peuvent constituer la base d'une sélection clonale.

La prospection à la recherche de ces arbres tolérants doit être menée minutieusement avec la nécessité de questionner les agriculteurs qui savent mieux que d'autres et qui peuvent procurer des informations décisives, surtout s'ils ont gardé les antécédents culturaux, car le caractère de tolérance aux basses températures est un caractère polygénique influencé par

l'environnement (hétérogénéité du sol : eau et nutriments ; position du verger et des arbres : exposition et bordure). Par conséquent, il est impératif de recueillir autant d'informations que possible afin de sélectionner avec soin les clones potentiellement tolérants au froid et d'éviter la perte de temps et d'argent.

Les arbres de caroubiers sauvages (figure 42) que l'on a rencontrés dans la région de Aïn Sefra et qui sont fort probablement tolérants aux basses températures peuvent faire l'objet d'une sélection clonale à condition de présenter un bon rendement en graines.

Propagation du matériel sélectionné

Le matériel sélectionné à partir des cultivars ou clones doit être propagé par greffage. Bien que cette technique soit difficile et coûteuse par rapport à la propagation par semis, reste qu'elle permet d'une part, de maintenir les caractères sélectionnés et d'autre part, de surmonter l'inconvénient du déterminisme sexuel qui caractérise les plants dérivés des graines. En effet, le semis du caroubier donne en général 50 % de pieds femelles et 50 % de pieds mâles improductifs.

Jusqu'à présent, il n'a pas été encore possible de déterminer si ce caractère est contrôlé par les gènes ou par l'environnement, ou les deux ensembles. Selon Tucker (1992 a), toutes les fleurs sont originellement bisexuelles, mais un des sexes est supprimé pendant le développement tardif des fleurs ; ce qui permet de penser que le caractère du déterminisme sexuel est peut être contrôlé par des gènes qui s'expriment par le temps. Toutefois, l'exemple de la variété tunisienne *Sfax* d'inflorescence hermaphrodite et qui, une fois a été cultivée en Californie est devenue une variété exclusivement femelle laissant à penser que l'environnement joue un rôle important dans le déterminisme sexuel chez le caroubier.

L'utilisation des marqueurs moléculaires peut contribuer à la détermination du sexe chez cette espèce. Cependant, la génétique du caroubier reste très peu étudiée de sorte que jusqu'à présent on ne lui connaît aucun marqueur qui soit lié à ce caractère.

Normalement, les greffons des cultivars sont greffés sur des porte-greffes francs issus des graines provenant du caroubier sauvage (garrofer bort) (Tous, 1985). Les plants dérivés du semis (francs) offrent plusieurs avantages tels que des racines profondes, rusticité, résistance aux maladies et tolérance au froid, justifiant ainsi leur utilisation comme porte-greffe.

Néanmoins, ces caractères varient d'un porte-greffe à un autre, notamment ceux de la vigueur et la résistance au froid (Batlle et Tous, 1997), ce qui rend nécessaire la sélection par des techniques d'évaluation des francs tolérants aux températures basses de ceux qui ne le sont pas.

C'est au stade plantule que le caroubier est le plus susceptible aux basses températures, de sorte que ceux qui sont tolérants au moment de l'évaluation peuvent être considérés comme tolérants une fois qu'ils atteignent l'âge adulte.

Le nombre du matériel propagé peut être au mieux de 100 graines, tout en sachant que le pourcentage maximal de germination est de 99,1% et ceci dans des conditions bien déterminées : les graines sont scarifiées dans une solution d'acide sulfurique de 80 % durant 30 minutes, puis trempées dans de l'eau pendant 24 heures à une température de 23 °C (Frutos, 1988 dans Batlle et Tous, 1997).

Les plants sur lesquels doit se faire le greffage doivent avoir en général une année après qu'ils aient germés en pépinière ou deux années dans le cas où ils ont été semés dans le verger (Batlle et Tous, 1997). Le greffage doit se faire en fente apicale car et comme nous l'avons déjà évoqué, cette technique permet un gain de temps considérable.

Avant l'évaluation, les plants doivent passer par un durcissement à l'ombre et par une adaptation au milieu externe.

Evaluation du matériel sélectionné

L'évaluation est faite une année après le greffage dans une chambre froide en utilisant la technique de la thermographie infrarouge. C'est une technique non destructive, rapide et qui permet la visualisation en temps réel du processus de congélation des tissus végétaux, aussi bien dans des conditions de laboratoire que sur terrain.

Le principe de la thermographie infrarouge est basé sur un phénomène physique, de sorte que chaque objet ou corps ayant une température, émet des rayons infrarouges qui sont capturés par une caméra infrarouge sous la forme d'informations physiques transformées par la suite en images visibles. Cette technique permet d'obtenir des données sur le nombre et l'emplacement des premières manifestations de gel ainsi que des données sur la température à

laquelle s'est formé le gel, la direction et la vitesse de propagation des cristaux de glace (voir la partie, tolérance au froid).

La méthode de sélection de cultivars ou clones tolérants au froid parmi les populations existantes se résume par un schéma représenté dans la figure 43.

3.2.2 Sélection clonale issue d'un croisement dirigé (programme à moyen et long terme)

La création par croisement de nouvelles variétés tolérantes au froid et présentant un rendement élevé en graine constitue une approche, qui se présente contrairement à la première méthode comme une voie laborieuse, nécessitant beaucoup de patience et de moyen. Cependant, elle offre des possibilités beaucoup plus grandes que la simple sélection parmi les populations existantes, puisqu'elle permet de réaliser des croisements très intéressants, lesquels n'auraient vraisemblablement jamais pu se faire naturellement.

Saaidi (1990) estime dans le cas du palmier dattier qui est plus ou moins similaire au caroubier (les deux espèces sont dioïques, hautement hétérozygotes, avec une croissance lente et une grande longévité) que la simple sélection parmi les populations, même très diversifiées ne permettra pas, à elle seule, de faire tous les progrès escomptés pour la raison suivante : la prédominance dans chaque région de certaines variétés femelles et d'un nombre très limité d'individus mâles, engendre une endogamie, parfois favorable à la conservation de certains caractères de qualité de fruit, mais génératrice de consanguinité et donc d'appauvrissement génétique. De ce fait, le recours à des croisement entre individus distants géographiquement, donc très probablement éloignés génétiquement, est très souhaitable pour augmenter les chances de progrès génétique.

3.2.2.1 Sélection parmi les plants F1 issus d'un croisement dirigé

Sélection des parentaux

Parents femelles

* Femelles tolérantes : les 3 cultivars Espagnols considérés comme tolérants au froid et qui peuvent être utilisés comme parentaux dans un programme de croisement dirigé sont : ***Banya de cabra***, ***Costella*** et ***Costella de caval***.

* Femelles présentant un bon rendement en graine : ils sont au nombre de 7 cultivars ; 4 Espagnols : ***Rojal***, ***Duraió***, ***Matalafera*** et ***Banya de cabra*** ; 2 Portugais : ***Galhosa*** et ***Mulata*** et un de Chypre : ***Koundourka***.

Parents mâles

* Mâles tolérants : sont ceux qui présentent des inflorescences ou exactement des étamines de couleur jaune.

* Mâles de qualité : sont ceux qui ont des étamines rouges tel que le cultivar Américain ***Grantham*** caractérisé par l'abondance de son pollen. Il est aussi possible d'utiliser des cultivars hermaphrodites comme pollinisateurs, c'est le cas du cultivar Espagnol ***Ramillete***.

Plan de croisement

Cette stratégie consiste à sélectionner parmi la descendance d'un croisement entre deux parentaux choisis, des clones qui répondent à l'objectif et critères de sélection du programme d'amélioration. De ce fait, trois types de croisement sont possibles :

Femelles tolérantes au froid	X	Mâles de qualité
Femelles tolérantes au froid	X	Mâles tolérants au froid
Femelles avec un bon rendement en graine	X	Mâles tolérants au froid

Ces croisements permettent d'augmenter la probabilité d'obtenir une combinaison comprenant des caractères de tolérance aux basses températures et rendement élevé en graine.

Les étapes de cette stratégie se résument comme suit :

1. Sélection des parentaux (mâles et femelles) ;

La sélection est basée sur les deux caractères : tolérance au froid et rendement en graine.

Il est possible de recommander comme parent femelle le cultivar *Duraió* (région de Majorque), qui présente le meilleur rendement en graine (16-17%), avec une teneur en gomme de 58 %. Néanmoins, c'est un cultivar sensible au froid, et par conséquent, l'hybridation doit se faire avec un parent mâle tolérant aux températures basses (mâles d'inflorescence jaune). L'avantage d'utiliser *Duraió*, résulte dans le fait, qu'il soit un cultivar précoce (entrée en production après 5 années), ce qui permet de gagner 3 années au moment de l'évaluation du rendement en graines.

Ce croisement peut être insuffisant, dans le sens où il est possible qu'il n'y résulterait aucun plant tolérant au froid lors de l'évaluation de la descendance. Il est donc préférable de réaliser en parallèle, un second croisement entre un parent femelle tolérant au froid tout en ayant un bon rendement en graine, tel que le cultivar *Banya de cabra* et un parent mâle de bonne qualité (pollen) ou bien tolérant aux températures basses, ce qui serait plus judicieux, car l'accumulation dans la descendance de plusieurs QTL (Quantitative Trait Loci) issus des deux parents est fortement recommandée. Cependant, la vraie première évaluation du rendement en graines ne se fera qu'après 8 années, car le cultivar *Banya de cabra* est caractérisé par son entrée tardive en production.

Il est également possible d'utiliser comme parent femelle le cultivar *Rojal* qui est actuellement le meilleur génotype Espagnol quant à ses caractéristiques agronomiques.

Par ailleurs, il serait intéressant d'utiliser pour d'autres plans de croisements les pieds sauvages de caroubiers que l'on a trouvés à Aïn Sefra comme parentaux tolérants au froid (figure 42).

2. Croisement entre les parentaux choisis.

La collecte du pollen est facile et paraît qu'elle peut être conservée dans le réfrigérateur pendant plusieurs mois ; la pollinisation peut être réalisée avec un pinceau ou avec les doigts (Batlle et Tous, 1997).

3. Semis en serre des graines provenant du croisement.

Plus le nombre de graines à semer est important, plus la probabilité d'avoir des plants tolérants au froid et productifs sera élevée. Il est donc recommandable de réaliser un semis de 300 gaines ou plus, si les moyens le permettent.

4. Evaluation des plants (de 2 ans) dans une chambre froide (utilisant la technique de la thermographie rouge) après un endurcissement sous ombre et une adaptation au milieu.

5. Sélection des plants tolérants aux températures basses.

L'existence de marqueurs moléculaires pour le déterminisme sexuel et donc pour la sélection des plants mâles et femelles est primordiale et de grande utilité, car ceux-ci permettent d'éviter la sélection importante de pied mâles improductifs et par conséquent, ils augmentent dans le futur, la probabilité d'avoir des arbres qui présentent un bon rendement en graines, tout en étant tolérants au froid (la sélection idéal serait, 89% de plants femelles et 11% de plants mâles). Malheureusement et comme nous l'avons déjà mentionné, ces marqueurs moléculaires ne sont pas encore disponibles.

6. Plantation des pieds sélectionnés dans des zones réputées pour avoir temporairement des températures basses, en l'occurrence les zones steppiques.

7. Sélection des arbres ou clones qui présentent un bon rendement en graines (après 8 ans) ; la propagation et le maintien de ces clones se fait par le biais du greffage.

La stratégie de la sélection clonale issue d'un croisement dirigé est résumée dans un schéma représenté dans la figure 44.



Figure 42 - Arbres sauvages de caroubier fort probablement tolérants au froid situés dans la région d'Aïn Sefra - Naâma (la photo d'en haut représente un pied de caroubier femelle, celle d'en bas est un magnifique arbre mâle à 5 troncs)

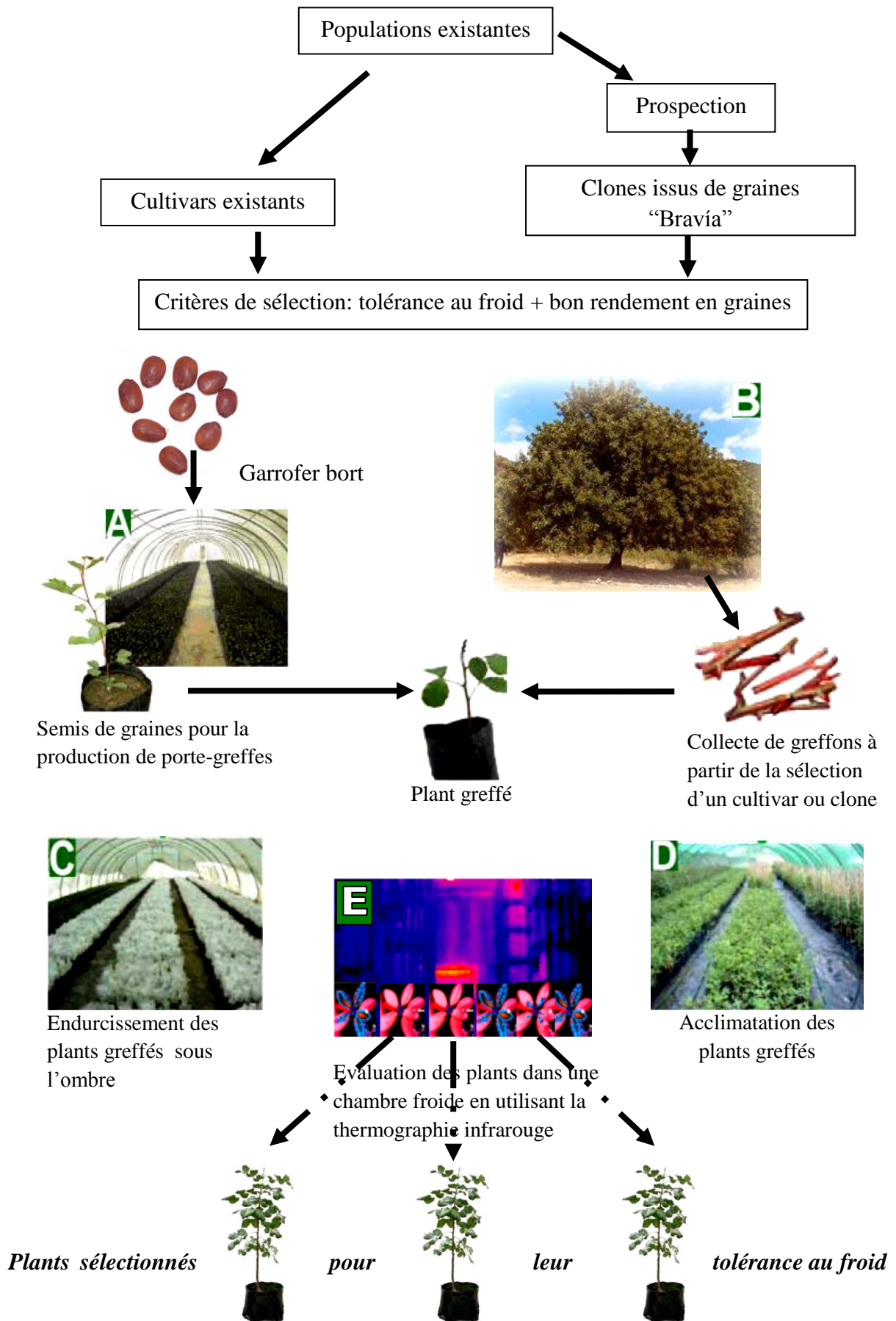


Figura 43 - Schéma d'obtention de plants de caroubier tolérants au froid à partir de sélection parmi les populations existantes (programme à court terme)

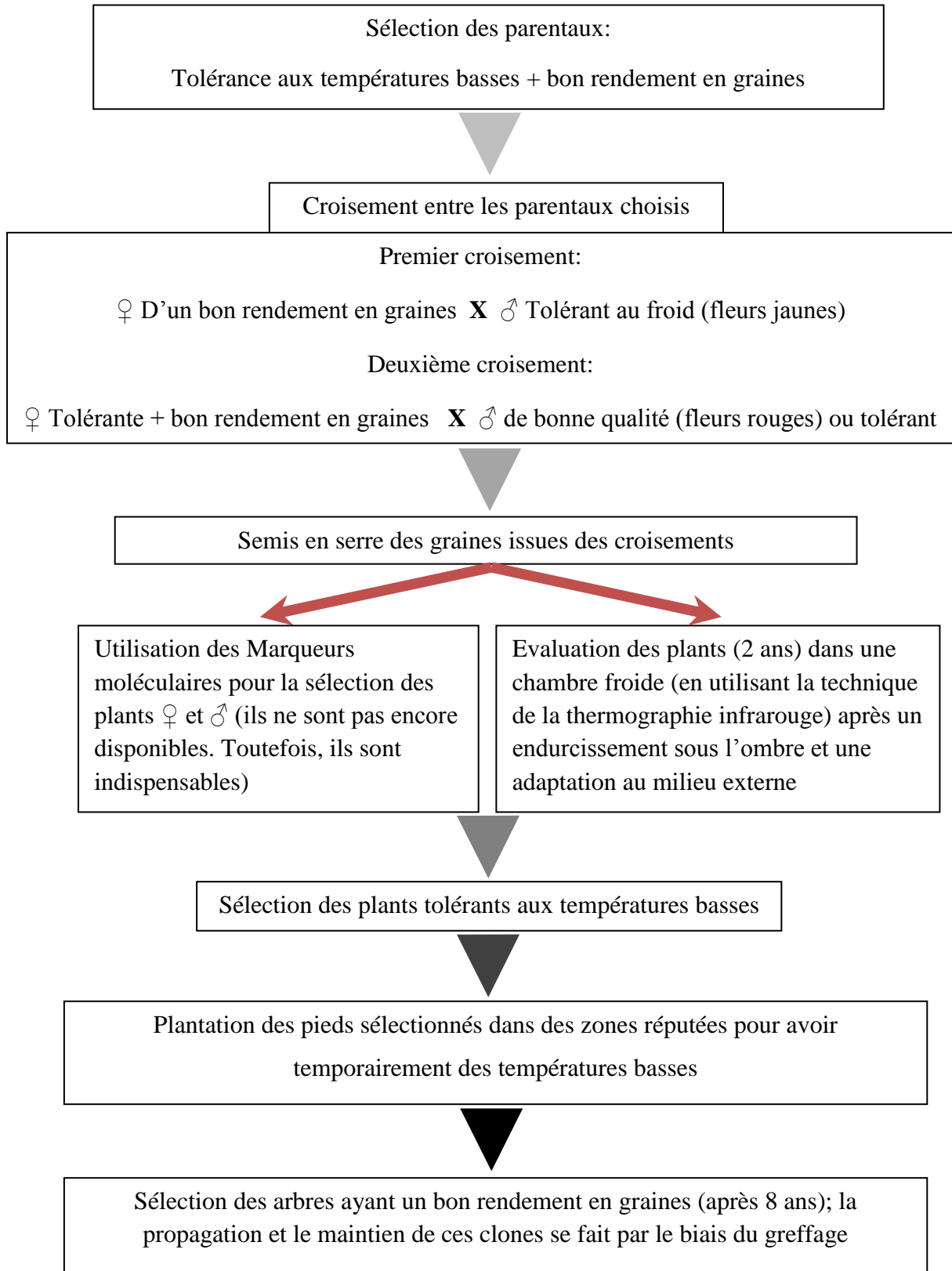


Figure 44 - Schéma d'obtention de nouvelles variétés de caroubier tolérantes au froid et de bon rendement en graines à partir de sélection clonale issue de croisements dirigés (programme à moyen et long terme)

CONCLUSION

Conclusion et perspectives

Le caroubier est l'un des paysages de la méditerranée avec une adaptation extraordinaire aux conditions extrêmes, notamment à la sécheresse, à la salinité et aux sols pauvres et calcaires. A travers ses multiples et intéressants usages, la culture du caroubier peut jouer un rôle primordial dans la structure économique et social des régions rurales des pays méditerranéens, notamment en Algérie qui connaît depuis l'indépendance un problème sérieux d'exode rural. Ce phénomène a conduit à un déséquilibre social et économique aux conséquences désastreuses. Pour autant, il est dans l'obligation des autorités responsables de mettre en place des programmes de développement agricole afin d'appuyer le quotidien de la population rurale qui endure une vie difficilement surmontable.

La cératoniculture peut être un des moyens permettant la concrétisation de ces programmes de développement. Cependant, cette culture demeure méconnue, notamment dans le Nord-ouest du pays et donc, ne reçoit aucune attention des agriculteurs qui continuent à penser et à tort, que c'est une espèce non rentable. Devant ce fait, le caroubier doit faire l'objet d'une vulgarisation sérieuse et d'une promotion à travers la création de fonds de dotation pour sa mise en culture, suivi d'un encouragement à la création de coopératives, qui sont un moyen efficace, notamment au mains des petits agriculteurs, leur permettant de pouvoir négocier et de partager les ressources en vue de parvenir à leur sécurité alimentaire et donc d'améliorer leur vie. Par ailleurs, il faut inciter les industriels à l'utilisation des dérivés du caroubier dans la fabrication de produits alimentaires, pharmaceutiques...etc, tout en les encourageant à promouvoir par le biais du pouvoir marketing la consommation de leurs produits.

L'une des initiatives intéressantes pour promouvoir le caroubier fut celle de la création de l'association interprofessionnelle pour le développement et la valorisation de la production du caroubier en 1985, en Portugal. Cette association indépendante réunit les efforts de personnes et institutions intéressées qui participent à la production de la caroube, à sa transformation et commercialisation. Aussi, il se doit de saluer l'effort et la persévérance des scientifiques Espagnols de l'IRTA-MAS Bové (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Tarragona, Catalunya) qui ont, depuis les années 80 largement contribué à l'étude du caroubier et qui continuent à le faire jusqu'à nos jours. Cette équipe se focalise actuellement sur l'amélioration de la qualité de la gomme.

Les scientifiques en général et les améliorateurs en particulier peuvent donner une forte impulsion à la culture du caroubier, car la diversité génétique y est suffisamment considérable pour permettre son amélioration. Rien qu'en Espagne, on enregistre une collection de germoplasmes qui dépasse les 300 accessions.

L'amélioration du caroubier nécessite l'appui de la biotechnologie, dont l'utilité est devenue indispensable pour la mise en place de tous programmes modernes d'amélioration génétique. Ainsi, il est possible par le biais de la culture *in vitro* de multiplier conformément et en un temps réduit un très grand nombre de clones sélectionnés. Aussi, le développement des marqueurs moléculaires sera d'une grande utilité, puisqu'il contribuera à ouvrir une nouvelle perspective pour la sélection chez le caroubier ; les priorités seront données aux marqueurs moléculaires liés au déterminisme du sexe, à la quantité et qualité de la gousse et des graines et à la précocité d'entrée en production. Il est également intéressant d'utiliser la technique de mutagenèse qui consiste à exploiter des mutations induites artificiellement par radiations ionisantes ou par des agents chimiques dans le but de développer des variantes génétiques présentant une meilleure qualité fruitière ou rendement agricole. Par ailleurs, l'utilisation de la technique de fusion des protoplastes chez le caroubier, peut contribuer à l'obtention d'hybrides somatiques regroupant les caractéristiques de qualité et de résistance aux stress abiotiques. Enfin et en dépit des controverses qu'elle suscite au sein de la communauté scientifique ainsi qu'au sein du pouvoir politique, la transformation génétique reste l'une des techniques les plus prometteuses pour l'obtention de cultivars de caroubier résistants au froid.

En conclusion, le caroubier a démontré dans le passé et continu, à travers ces multiples usages de prouver son importance économique, sociale et environnementale notamment dans le bassin méditerranéen. Cependant, la méconnaissance dont il fait l'objet freine son éventuelle amélioration et la possibilité de recouvrer et d'étendre son aire de répartition. Néanmoins, cette tendance peut très bien changer, puisque la sécheresse qui sévit dans la région méditerranéenne et qui à en croire les récentes études, va d'ici la fin du siècle prendre des dimensions alarmantes laisse présager un futur meilleur pour la culture du caroubier.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Aafi A., 1996. Le caroubier: Caractères botaniques et écologiques, groupements végétaux, techniques d'élevage en pépinière, traitement et soins culturaux, utilisation et production. Centre national de la recherche forestière. Maroc, pp 1-7.
- AEA: Anuario de Estadística Agraria, 1987. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España.
- Afif M., Ben Fadhel N., Khoudja M.L. & Boussaid M., 2006. Genetic diversity in Tunisian *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinioideae) natural populations. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 53: 1501-1511.
- Ait Chitt M., Belmir H. & 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.
- Albanell E., Caja G. & Plaixats J., 1991. Characteristics of Spanish carob pods and nutritive value of carob kibbles. *Options Méditerranéennes*. 16: 135-136.
- ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire. Ministère de l'aménagement du territoire, de l'environnement et de la ville. Algérie.
- Arista M. & Talavera S., 1990. Numeros cromosomicos para la flora Española. 620-629. *Lagascalía*. 16: 323-328.
- Avallone R., Plessi M., Baraldi M. & Monzani A., 1997. Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, fat, carbohydrates, and tannins. *J. Food Com. Anal.* 10: 166-172.
- Ayaz F.A., Torun H., Ayaz S., Correia P.J., Alaiz M., Sanz C., Grúz J. & Strnad M., 2007. Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua*): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *Journal of Food Quality*. 30: 1040-1055.
- Ballester C., Jiménez-Bello M.A., Castel J.R. & Intrigliolo D.S., 2013. Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. 168: 120-129.
- Barracosa P., Almeida M.T. & Cenis J., 1996. Characterization of cultivars of carob tree in Algarve (Portugal). *In Proceedings of the III International Carob Symposium*. Cabanas Tavira, Portugal (in press).

- Barracosa P., Osório J. & Cravador A., 2007. Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratonia siliqua* L.) cultivars in Algarve region. *Scientia Horticulturae*. 114: 250-257.
- Batlle I. & 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.
- Batlle I., 1997. Current situation and possibilities of development of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in the Mediterranean region. Unpublished FAO Report. Rome. Italy.
- Batlle I., Rovira M. & Tous J., 1996. Carob germplasm characterization using isozymes. In Proceedings of the III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal (in press).
- Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A. & Mederbal K., 2008. Analyse et suivi du phénomène de la desertification en Algérie du Nord. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. Volume 8 Numéro 3.
- Bureš P., Pavliček T., Horová L. & Nevo E., 2004. Microgeographic genome size differentiation of the carob tree, *Ceratonia siliqua*, at 'Evolution Canyon'. Israel. *An. Bot.* 93: 529-535.
- Caja G., 1985. La Garrofa: Composición, procesado y usos agroindustriales. Jornadas de la Garrofa. LLiria, Valencia - España.
- Catarino F., 1993. Le caroubier une plante exemplaire. *Naturopa conseil de l'Europe*. Centre Naturopa. N° 73, pp. 14-15.
- Catarino F.M. & Bento-Pereira F., 1976. Ecological characteristics and CO₂ fixation in a xerophytic plant (*Ceratonia siliqua* L.). Vardar, Sheikh, Ozturk. Turquie.
- Correia P.J., Gama F., Pestana M. & Martins-Loução M.A., 2010. Tolerance of young (*Ceratonia siliqua* L.) carob rootstock to NaCl. *Agricultural Water Management*. 97: 910-916.
- Corsia L., Avallonea R., Cosenzab F., Farinab F., Baraldia C. & Baraldia M., 2002. Antiproliferative effects of *Ceratonia siliqua* L. on mouse hepatocellular carcinoma cell line. *Fitoterapia*. 73: 674-684.
- Craig W.J. & Nguyen T.T., 1984. Caffeine and theobromine level in cocoa and carob products. *J. Food Sci.* 49: 302-305.
- Djellouli Y., 1990. Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doctorale. USTHB. Alger. 210 p.

- Durand J.H., 1959. Les Sols rouges et les Croûtes en Algérie. Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural. Service des Etudes Scientifiques. Etude générale N° 7. Alger. 188 p.
- EL Hajaji H., Lachkar N., Alaoui K., Cherrah Y., Farah A., Ennabili A., El Bali B. & Lachkar M., 2010. Antioxidant activity, phytochemical screening, and total phenolic content of extracts from three genders of carob tree barks growing in Morocco. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Estrada C., Vázquez M., Melis B. & 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.
- Evreinoff V.A., 1955. Le pistachier. *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée*. 2: 389-414.
- FAOSTAT: The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. (www.faostat.fao.org).
- Ferguson I.K., 1980. The pollen morphology of *Ceratonia* (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Kew Bull.* 35: 273-277.
- Folch i Guillen R., 1981. La vegetació dels Països Catalans. Ed. Ketres, Barcelona.
- Fowler D.B. & Limin A.E., 2004. Interactions among factors regulating phenological development and acclimation rate determine low-temperature tolerance in wheat. *Annals of Botany*. 94: 717-724.
- Frahm-Leliveld J.A., 1957. Observations cytologiques sur quelques Légumineuses tropicales et subtropicales. *Rev. Cytol. Et Biol. Vég.* 18: 273-287.
- Gaouar N., 2011. Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Thèse de Magistère. Université de Tlemcen. pp. 95.
- García-Ochao F. & Casas J.A., 1992. Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. *J. Sci. Food Agri.* 59: 97-100.
- Gharnit N. & Ennabili A., 2009. Essais préliminaires de culture in vitro du caroubier (*Ceratonia siliqua*) originaire du nord-ouest du Maroc. *Biomatec Echo*. 3: 18-25.
- Gil-Albert F., 1998. Tratado de arboricultura frutal. Vol. II, La ecología del árbol frutal. 4ª Edición, Ministerio De Agricultura, Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi-Prensa. 205p.
- Goldblatt P., 1981. Cytology and phylogeny of the leguminosea. In: Polhill R.M & Raven P.H., (Eds). *Advances in Legume Systematic*. Vol. 2. Royal Botanic Gardens, Kew, England, pp. 237-464.

- Gonçalves S., Correia P.J., Martins-Loução M.A. & Romano A., 2005. A new medium formulation for *in vitro* rooting of carob tree based on leaf macronutrients concentrations. *Biologia plantarum* 49: 277-280.
- Gusta L.V. & Wisniewski M., 2012. Frost tolerance in plants. In: Plant stress physiology. (Eds), Sergej SHABALA. UK, pp. 132-147.
- Hacker J., Ladinig U., Wagner J. & Neuner G., 2011. Inflorescences of alpine cushion plants freeze autonomously and may survive subzero temperatures by supercooling. *Plant Science*. 180: 149-156.
- Halitim K., 1988. Sols des regions arides. OPU, Alger. 384p.
- Haselberg C., 1988. A contribution to the classification and characterisation of female and male varieties of *Ceratonia siliqua* L. Proceedings of the II International Carob Symposium. Valencia, pp. 137-151.
- Hillcoat D., Lewis G. & Verdcourt B., 1980. A new species of *Ceratonia* (Leguminocea-Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35: 261-271.
- Hirsch A.M., Lum M.R. & Downie J.A., 2001. What makes the rhizobial-legume symbiosis so special? *Plant Phisiol.* 127: 1484-1492.
- Hopkins W.G., 2003. Physiologie végétale. 2^{ème} édition. de Boeck, pp. 460-463.
- Iipumbu L., 2008. Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia siliqua*) cultivars and development of nutritional food products for a range of marker sectors. Stellenbosch university. South Africa. 107 p.
- Irwin H.S. & Barneby R.C., 1981. Cassieae. In: Polhill R.M & Raven P.H., (Eds). Advances in Legume Systematic. Vol. 1. Royal Botanic Gardens, Kew, England, pp. 97-106.
- Janka E., Körner O., Rosenqvist E. & Ottosen C.O., 2013. High temperature stress monitoring and detection using chlorophyll a fluorescence and infrared thermography in chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). *Plant Physiology and Biochemistry*.
- Janská A., Marsik P., Zelenková S. & Ovesná J., 2010. Cold stress and acclimation – what is important for metabolic adjustment? *Plant Biology*. 12: 395-405.
- Jones D.K., 1953. Carob culture in Cyprus, FAO 53/2/1225. FOA. Rome.
- Kacperska A., 1999. Plant response to low temperature: signaling pathways involved in plant acclimation. In: Margesin R., Schinner F. (Eds), Cold-adapted organisms – ecology, physiology, enzymology and molecular biology. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 79-103.

- Konate I., 2007. Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées. PhD thèse. Univ. Mohammed v-Agdal. 196 p.
- Kozłowski. T.T. & Pallardy S.G., 2002. Acclimation and Adaptive Responses of Woody Plants to Environmental Stresses. *The Botanical Review*. 68: 270-334.
- Liphshitz N., 1987. *Ceratonia siliqua* L. in Israel: An ancient element or a newcomer?. *Israel J. Bot.* 36: 191-197.
- Lizardo R., Cañellas J., Mas F., Torrallardona D. & Brufau J., 2002. L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets. *Journées de la Recherche Porcine*. 34: 97-101.
- Louca A. & Papas A., 1973. The effect of different proportions of carob pod meal in the diet on the performance of calves and goats. *Anim. Prod.* 17: 139-146.
- Makris D.P. & Kefalas P., 2004. Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidant. *Food Technol. Biotechnol.* 42: 105-108.
- Martins-Loução M.A. & Rodríguez-Barrueco C., 1982. Studies in nitrogenase activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) callus cultures associated with Rhizobium, in Proceedings V International Congress Plant Tissue Culture, Tokyo. pp. 671-672.
- Martins-Loução M.A., Correia P. & Pereira F., 1996. The role of plant/soil micro-organisms interaction in carob development. *In Proccegens of the III International Carob Symposium*. Cabanas. Tavira. Portugal (in press).
- Melgarejo P. & Salazar D.M., 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- Merwin M.L., 1981. The culture of carob (*Ceratonia siliqua*) for food. Fooder and fuel in semi-arid environments. International Tree Crops Institute USA Inc., California.
- Mhirit O. & Et-Tobi M., 2002. Les arbres hors forêt: le cas du Maroc. Archives de documents de la FAO.
- Min B.R. & Hart S.P., 2003. Tannins for suppression of intestinal parasites. *J. Anim. Sci.* 81: 102-109.
- Missbah M.E.I., Aujjar N., Belabed A., Dessaux Y. & Filali-Maltouf A., 1996. Characterization of rhizobia isolated from carob (*Ceratonia siliqua* L.). *J. App. Bacteriol.* 80: 165-173.

- 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.
- Morton J., 1987. Carob. In: Morton Julia F. Fruits of warm climates. pp. 65-69. Miami-Floride, Etats-Unis.
- Naghmouchi S., Khouja M.L., Romero A., Tous J. & Boussaid M., 2009. Tunisian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations: Morphological variability of pods and kernel. *Scientia Horticulturae*. 121: 125-130.
- NAS., 1979. Tropical Legumes: Resources for the Future. National Academy of Sciences. Washington DC, USA, pp. 109-116.
- Nedjraoui D., 2001. Profil fourrager. Algérie. Food and Agriculture Organization (FAO).
- Nedjraoui D. & Bédrani S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. Volume 8 Numéro 1.
- Neukom H., 1988. Carob bean gum: properties and application. In: Fito P. and Mulet A., (Eds) Proceedings of the II International Carob Symposium. Valencia, Spain, pp. 551-555.
- Nilsen E.T. & Orcutt D.M., 1996. The physiology of plants under stress – abiotic factors. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Nilsson J.E. & Eriksson G., 1986. Freeze testing and field mortality of *Pinus sylvestris* (L.) seedlings in northern Sweden. *Scand. J. Forest Res.* 1: 205-218.
- ONM : Office National de Météorologie. 2013. Ministère des Transports. Algérie.
- Orphanos P.I. & Papaconstantinou J., 1969. The carob varieties of Cyprus. Tech. Bull.5. Cyprus Agricultural Research Institute. Ministry of Agriculture and Natural Resources, Nicosia.
- Ortiz P.L., Arista M. & Talavera S., 1996. Producción de néctar y frecuencia de polinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 54: 540-546.
- Priolo A., Waghorn G.C., Lanza M., Biondi L. & Pennisi P., 2000. Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. *J. Anim. Sci.* 78: 810-816.
- Rejeb M.N., 1995. Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amélioration. Dans: Quel avenir pour l'amélioration des plantes? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp. 79-85.

- Rejeb M.N., Laffray D. & 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.
- Retana J., Ramoneda J., García del Pino F. & Bosch J., 1994. Flowering phenology of carob, *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *J. Hort. Sci.* 69: 97-103.
- Retana, J., Ramoneda J. & García del Pino F., 1990. Importancia de los insectos en la polinización del algarrobo. *Bol. San. Veg. Plagas.* 16: 143-150.
- Rivière CH. & Leco H., 1900. Manuel pratique de l'agriculteur algérien. Editeur: Augustin CHALLAMEL. Paris, pp. 349-353.
- Saaidi M., 1990. Amélioration génétique du palmier dattier. Critères de sélection, techniques et résultats. In : Dollé V. (ed.), Toutain G. (ed.). *Les systèmes agricoles oasiens*. Montpellier: CIHEAM. 11: 133-154.
- Sahle M., Coleon J. & Haas C., 1992. Carob pod (*Ceratonia siliqua*) meal in geese diets. *Brit. Poultry Sci.* 33: 531-541.
- Saidi R., Lamarti A. & Badoc A., 2007. Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua*) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux.* 146: 113-129.
- Sánchez S., Lozano L.J., Godinez C., Juan D., Pérez A. & Hernández F.J., 2010. Carob pod as a feedstock for the production of bioethanol in Mediterranean areas. *Applied Energy* 87: 3417-3424.
- Sbay H. & Abourouh M., 2006. Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier. Centre de recherche forestière haut commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, Rabat, pp. 1-9.
- Serairi-Beji R., Mekki-Zouiten L., Tekaya-Manoubi L., Loueslati M.H., Guemira F. & Ben Mansour., 2000. Can carob powder be used with oral rehydration solution for the treatment of acute diarrhea. *Med. Top.* 60: 125.
- Sidina M.M., El Hansali M., Wahid N., Ouatmane A., Boulli A. & Haddioui A., 2009. Fruit and seed diversity of domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Morocco. *Scientia Horticulturae.* 123: 110-116.
- Thomson P., 1971. The carob in California. *California Rare Fruit Growers Yearbook III:* 61-102.
- Tous J., 1984. Cultivo del Algarrobo. Hoja Divulgativa N2: 10. Ministerio de Agricultura. Madrid. 16 p.

- Tous J., 1985. Comercialización y variedades de Algarrobo. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Publicaciones de Extensión Agraria, núm. 1/85. H.D.
- Tous J., Batlle I. & Romero A., 1995. Prospección de variedades de algarrobo en Andalucía. Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 91V (3), 164-174.
- Tous J., Batlle I., Rallo J. & Romero A., 2001. Prospección de variedades de Algarrobo en las islas Baleares. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 16: 187-203.
- Tucker S.C., 1992a. The developmental basis for sexual expression in *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Ceasalpinoideae: Cassieae). *Am. J. Bot.* 79: 367-327.
- Tucker S.C., 1992b. The role of floral development in studies of legume evolution. *Can. J. Bot.* 70: 692-700.
- Urrestarazu M., 2013. Infrared thermography used to diagnose the effects of salinity in a soilless culture. *Quantitative Infrared Thermography Journal*, pp. 1-8.
- Vavilov N.I., 1951. The Origin, Variation, Immunity, and Breeding of Cultivated Plants [translated from the Russian by K.S. Chester]. The Ronald Press Co., New York.
- Winer N., 1980. The potencial of the carob (*Ceratonia siliqua* L). *Int. Tree Crops J.* 1: 15-26.
- Wisniewski M. & Arora R., 2000. Structural and biochemical aspects of cold hardiness in woody plants. In: Jain. S.M & Minocha. S.C. (Eds), *Molecular biology of woody plants*. Vol. 2. Kluwer Academic publishers. Netherlands, pp. 419-437.
- Wisniewski M., Fuller M., Palta J., Carter J. & Arora R., 2004. Ice nucleation, propagation, and deep supercooling in woody plants. In: Arora. R (Ed), *Adaptations and responses of woody plants to environmental stresses*. Food products press. New York. USA, pp. 5-16.
- Wisniewski M., Lindow S.E. & Ashworth E.N., 1997. Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography. *Plant Physiol.* 113: 327-334.
- Zohary M. & Orshan G., 1959. The maquis of *Ceratonia siliqua* in Israel. *Palest. J. Bot.* Jerusalem. 8: 385-397.
- Zohary M., 1973. *Geobotanical Foundations of the Middle East*, 2 vols. Stuttgart.
- Zouhair O., 1996. Le caroubier: situation actuelle et perspectives d'avenir. Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce agro-sylvo-pastorale avec d'énormes intérêts socio-économiques et écologiques. Avec sa capacité de développer différentes stratégies d'adaptation au stress hydrique, cet arbre méditerranéen s'installe favorablement dans les zones semi-arides et arides caractérisées par des sols ayant atteint des stades de dégradation plus au moins critiques.

Cependant, le caroubier est connu pour être une espèce frileuse, ce qui constitue un obstacle majeur à son éventuel extension dans les zones les plus hostiles, comme celles à climat méditerranéen continental de la région Nord-ouest de l'Algérie, qui se caractérisent par des hivers rigoureux où les températures peuvent descendre jusqu'à - 19 °C. Par ailleurs, les enquêtes menées auprès des Directions des Services Agricoles et des Directions de la Conservation des Forêts ainsi qu'auprès de la population rurale dans toute cette région ont révélé que, par méconnaissance de ses multiples et intéressants usages, la situation du caroubier, notamment celle de sa culture demeure déplorable et tend à disparaître moyennant sa substitution par d'autres cultures, essentiellement par l'olivier.

Le présent travail s'inscrit dans une perspective d'amélioration visant à valoriser le caroubier dans la région Nord-ouest de l'Algérie à travers la mise en place d'un programme d'amélioration génétique de l'espèce pour la tolérance au froid. Ce programme est basé sur deux stratégies, la première donnant des résultats à court terme et qui consiste à sélectionner parmi des populations existantes des cultivars ou clones tolérants au froid et présentant un bon rendement en graines. Quant à la deuxième, elle prévoit des résultats à moyen et long terme, fondée sur la sélection clonale issue d'un croisement dirigé permettant l'obtention de variétés tolérantes et productives.

Mots clés : caroubier - situation - perspective d'amélioration - froid - région Nord-ouest de l'Algérie.

Abstract

The Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) is an agro-forestry-pastoral species with a tremendous amount of socio-economical and ecological benefits. Thanks to its ability to develop different strategies of adaptation to water stress, this Mediterranean tree is installed favourably in the arid and semi-arid regions characterized by soils reaching more or less critical degradation stages.

However, carob tree cannot stand the cold which is a major obstacle to its eventual expansion into more hostile areas such as those in continental Mediterranean climate of the north-west region of Algeria, which are characterized by severe winters where temperatures can drop to - 19 °C. Moreover, survey conducted within the Offices of Agricultural Services and Offices of Forest Conservation as well as from the rural population throughout the region revealed that, in misreading of its many and interesting uses, the situation of the carob tree, including that of his culture remains deplorable and tends to disappear by way of its replacement by other crops, essentially by olive tree.

This present work falls within a perspective of improvement aimed at the enhancement of the carob tree in the northwest of Algeria through the establishment of a breeding program of the species for cold tolerance. This program is based on two strategies, the first one provides with short-term results and consists of selecting among existing populations cultivars or clones tolerant to cold and with a good seed yield. As for the second, it gives medium and long term results, based on the clonal selection from a directed recombination capable of producing tolerant and productive varieties.

Keywords : carob tree - situation - improvement perspective - cold - Northwest region of Algeria.

ملخص

الخروب هو نوع من أنواع الأشجار الحراجة الزراعية والرعية ذات أهمية كبيرة في المجال الاقتصادي، الاجتماعي والبيئي. مع قدرتها على تطوير استراتيجيات مختلفة لتأقلم مع الإجهاد المائي، تستقر هذه الشجرة بشكل إيجابي في المناطق القاحلة و شبه القاحلة للبحر الأبيض المتوسط والتي تتميز بتربة وصلت إلى مراحل نوعا ما متدهورة.

غير أن شجرة الخروب معروفة بحساسيتها الشديدة للبرد مما يشكل عقبة رئيسية بالنسبة لتوسعها المحتمل في المناطق الأكثر عدائية مثل تلك ذات المناخ القاري المتوسطي في شمال الغربي للجزائر و المتميزة بفصول شتوية قاسية حيث يمكن لدرجة الحرارة أن تصل إلى - 19 درجة مئوية. وعلاوة على ذلك، كشفت الدراسة الإستقصائية التي أجريتها مع إدارة الخدمات الزراعية وإدارة حفظ الغابات وكذا مع سكان الريف في جميع أنحاء المنطقة المذكورة أعلاه بأن عدم معرفة أهمية الخروب أدى بأن تبقى وضعيته وبالخصوص تلك المتعلقة بزراعته حرجة و هي في طريق الزوال من خلال إستعاضتها بمحاصيل أخرى، خاصة بشجرة الزيتون.

العمل الحالي يندرج ضمن آفاق التحسين التي تهدف إلى تعزيز شجرة الخروب في شمال غرب الجزائر عن طريق إنشاء برنامج يكمن في التحسين الوراثي للخروب بهدف تحمل البرد، و يستند هذا البرنامج على إستراتيجيتين، أولها تقدم نتائج قصيرة المدى تكمن في إختيار من بين المجموعات المتواجدة للخروب أصناف و نسخ مقاومة للبرد و في نفس الوقت تقدم بذور ذات محصول جيد. أما بالنسبة للثانية، فإنها تعطي نتائج على المدى المتوسط و البعيد و هي مبنية على أساس إختيار نسخي ناتج عن عملية تهجين موجهة قادرة على إنتاج أصناف مقاومة ومنتجة.

الكلمات المفتاحية : الخروب – الوضع – آفاق التحسين – البرد – منطقة الشمال الغربي للجزائر