

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Amélioration des productions végétales

HYBRIDATION DE L'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* PAR
QUATRE ESPECES D'*Opuntia* (*O. robusta* var. *robusta*; *O.*
engelmannii var. *languiformis*; *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*;
O. streptacantha Lem.) DANS LES ZONES ARIDES ET
SEMI-ARIDES

Par

LALLOUCHE Bahia

Devant le jury composé de

A. BOUTEKRABT	Professeur, USD Blida	Président
M. BOUDJENIBA	Maître de conférences, E.N.S. Kouba	Examineur
M. BENMOUSSA	Professeur, USD Blida	Examineur
F. Z. CHAOUCH	Chargé de cours, USD Blida	Rapporteur

Blida, Juin 2008



RESUME

L'*Opuntia* est une espèce très rustique, elle occupe ces dernières années une très grande importance dans le cadre de la lutte contre la désertification, comme elle constitue une importante source fourragère dans les zones arides et semi-aride. Dans le but d'améliorer la qualité, nous avons réalisé l'hybridation entre quatre espèces d'*Opuntia* en tant qu'espèces pollinisatrices à savoir : *O. ficus indica* Mill .f. *amyclea* (Wilaya de Tébessa, périmètre de Doukkara); *O. streptacantha* Lem (Wilaya de Laghouat, périmètre de Choucha); *O. robusta* var. *robusta*; *O. engelmannii* var. *languiformis* (Wilaya de Djelfa, périmètre de Mesrane). Pour l'espèce pollinisée, nous avons choisi l'*O. ficus indica* Mill .f. *inermis* (Wilaya de M'sila, périmètre de Belaiba), en vue d'améliorer la résistance au froid et l'augmentation des potentialités de production fourragère et fruitière. Nous avons étudié la biologie florale, la viabilité des grains de pollen, de toutes les espèces pollinisatrices et les caractères qualitatifs et quantitatifs des fruits issus de l'hybridation. Nous avons constaté une certaine différence de la biologie florale entre les quatre espèces étudiées. En effet, la viabilité *in vitro* des grains du pollen, s'est révélée satisfaisante pour les quatre espèces pollinisatrices. Les fruits résultant de la pollinisation croisée dirigée sont un poids plus important que ceux obtenus par la pollinisation naturelle.

Mots clés

Hybridation, biologie florale, *Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*, épineuse.

ABSTRACT

Opuntia is a very rustic species; it occupies these last years a very great importance within the framework of the fight against the turning into a desert, as it constitutes a significant fodder in the arid regions and semi-arid source. With an aim of improving quality, we carried out hybridization between four species of *Opuntia* as pollinating species to knowing: *O. ficus indica* Mill .f. *amyctlea* (Wilaya of Tébessa, perimeter of Doukkara); *O. streptocantha* Lem (Wilaya of Laghouat, perimeter of Choucha); *O. robusta* var. *robusta*; *O. engelmannii* var. *languiformis* (Wilaya of Djelfa, perimeter of Mesrane). For the pollinated species, we chose l'*O. ficus indica* Mill .f. *spineless* (Wilaya of M'sila, perimeter of Belaiba), in order to improve resistance to the cold and the increase of the potentialities of fodder and fruit-bearing production. We studied floral biology, the viability of the grains of pollen, all the pollinating species and the qualitative and quantitative natures of the fruits resulting from hybridization. We noted a certain difference of floral biology between the four studied species. Indeed, *in vitro viability* is grains of pollen, appeared satisfactory for the four pollinating species. The fruits resulting from directed cross-pollination are a weight more significant than those obtained by natural pollination are.

Key words

Hybridization, floral biology, *Opuntia .f.spineless*, *Opuntia .f. thorny*.

ملخص

يعتبر الصبار (التين الشوكي) من أهم النباتات المقاومة للجفاف و التي احتلت في السنوات الأخيرة أهمية بالغة في إطار مكافحة التصحر، إضافة إلى كونها مصدرا هاما للعلف في المناطق الجافة و الشبه جافة. و في هذا السياق قمنا بعملية التهجين بين أربعة أنواع من التين الشوكي كأب و يتعلق الأمر بالأنواع التالية: *O. ficus indica* Mill .f. *amyntea*, *O. streptacantha* Lem, *O. robusta* var. *robusta*, *O. engelmannii* var. *languiformis* والتي تتواجد على التوالي في المناطق الآتية: تبسة (منطقة دوكاره)، الجلفة (منطقة مسران)، الأغواط (منطقة شوشة). و كأب استعملنا نوع أملس و هو *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* يتواجد في منطقة بلعبية ولاية المسيلة بغية تحسين خصائص هذه الأخيرة في تحمل البرودة ورفع مرد ودية انتاجها الثمري و العلفي. خلال انجازنا هذا العمل قمنا بدراسة بيولوجية الإزهار، غبار الطلع لكل من الأنواع السالفة الذكر، إضافة إلى بعض الصفات النوعية و الكمية للثمار الناتجة عن التهجين. حيث تحصلنا على النتائج التالية: بالنسبة إلى بيولوجية الإزهار لاحظنا بعض الفوارق في لون التاج و عدد السبلات، السداة و الخباء بين مختلف الأنواع. و فيما يخص نمو حبوب الطلع في وسط غذائي اصطناعي أظهرت النتائج أنما كانت جيدة. أما الملاحظات و القياسات التي سجلناها على الثمار الهجينة، بينت بأنها شبيهة بثمار الأم في الشكل و اللون، غير أنها أكبر منها في الحجم.

الكلمات المفاتيح:

التهجين، بيولوجية الإزهار، التين الأملس، التين الشوكي

REMERCIEMENTS

Mon premier remerciement est adressé à notre Dieu, qui grâce à lui j'ai pu poursuivre ce travail, ainsi qu'à mes parents.

Le présent travail s'intègre dans un projet de recherche, lancé en 2005, qui vise "Contribution à la valorisation de l'*Opuntia ficus indica* en alimentation et recherche des méthodes de multiplication (variété inerme et épineuse). Au terme de ce travail, il m'est agréable de présenter mes plus vifs remerciements à :

- M^{me} CHOUACH F. Z. d'avoir accepté la direction de ce modeste travail, elle m'a orientée vers un thème de recherche passionnant et d'actualité. Je tiens à lui témoigner toute ma reconnaissance pour l'aide et la confiance qu'elle m'a accordé.
- Je suis très heureuse d'exprimer ici ma reconnaissance au P^r BOUTEKRABT. A., le responsable de l'axe de recherche sur l'*Opuntia*. Nous fait un grand honneur de présider le jury.
- M^r. BOUDJENIBA, M., M^r BENMOUSSA, M., pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.
- Je tiens également à remercier les directeurs des cités universitaires de Djelfa, M'sila et Tébessa.
- Le personnel de l'H. C. D. S. de la région de Djelfa. M^r BRAGUE., responsable de la station de l'I. N. R. F. de Djelfa, pour m'avoir permis et aider à réaliser mes expériences. Le personnel de l'H. C. D. S. de la région de M'sila; de Laghouat et de Tébessa, surtout les ingénieurs et le personnel administratif qu'on a rencontré sur terrain.
- Enfin que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier HADJKOUIDER BOUBAKR qui n'a pas cessé de m'orienter, encourager et accompagner pour la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements.

TABLE DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION.....	10
1. GENERALITE SUR LE GENRE OPUNTIA.....	13
1.1 Introduction.....	13
1.2 Origine.....	13
1.3 Répartition	15
1.4 Nom et classification.....	20
1.5 Description morphologique.....	22
1.6 Comportement et capacité d'adaptation à la sécheresse.....	29
2. BIOLOGIE REPRODUCTIVE ET BASES BIOLOGIQUES.....	36
2.1 Introduction.....	36
2.2 Biologie reproductive.....	36
2.3 Bases biologiques.....	45
3. FACTEURS LIMITANTS, ETABLISSEMENT DE PLANTATION ET IMPORTANCE DU GENRE OPUNTIA.....	62
3.1 Introduction.....	62
3.2 Facteurs limitatifs de la culture et la production.....	62
3.3 Etablissement de plantation.....	65
3.4 Importance de l'espèce.....	67

4. MATÉRIEL ET MÉTHODE	72
4.1 Matériel végétal.....	72
4.2 Présentation des zones d'étude.....	73
4.3 Etude pédo-climatiques.....	78
4.4 Méthodes d'étude.....	83
4.5 Matériel du travail utilisé.....	91
5. RESULTATS ET DISCUSSIONS	92
5.1 Etude du milieu.....	92
5.2 Étude de la biologie florale	96
5.3 Résultats de l'hybridation	119
CONCLUSION.....	129
REFERENCES	
APPENDICES	
A. Liste des symboles et des abréviations	
B. Etude du milieu	
C. Analyse de la variance	

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Coupe transversale de la raquette d' <i>Opuntia</i> [39].	23
Figure 1.2	Grain de pollen d' <i>Opuntia cholla</i> [61]	26
Figure 1.3	Schéma de la paroi d'un grain de pollen [62]	27
Figure 2.1	Fécondation de l'ovule par le pollen tombant sur le stigmate [101].	41
Figure 2.2	Exemple de greffage l' <i>Opuntia ficus indica</i> (épineux) sur l' <i>Opuntia cochinillifera</i> [139].	61
Figure 4.1	Localisation des différents périmètres expérimentaux.	74
Figure 4.2	Les différents périmètres d'étude, A : périmètre de Doukkara (<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>amyclea</i>); B : périmètre de Mesrane (O.R) <i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i> ; (O.E) <i>O. engelmannii</i> var. <i>languiformis</i> ; C : périmètre de Choucha (<i>O. streptacantha</i> Lem); D : périmètre de Belaiba (<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>).	77
Figure 4.3	Castration des fleurs de l'espèce pollinisée (<i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>), A : fleur partiellement ouverte; B : suppression du périanthe; C : suppression des étamines; D : rinçage avec de l'eau propre; E : laisser à l'air libre pendant 15 à 20 minutes; F : ensachage	89
Figure 4.4	Date de pollinisation et le nom des différentes espèces pollinisatrices et l'espèce pollinisée.	90
Figure 5.1	Différents stades de différenciation des bourgeons floraux	99
Figure 5.2	Méristèmes aréolaires (MA).	101
Figure 5.3	Bourgeon floral (BF), Bourgeon végétatif (BV).	101
Figure 5.4	Position du bourgeon floral et végétatif sur la raquette âgée d'une année.	101
Figure 5.5	Date d'apparition de la première (PF) et de la dernière fleur (DF) chez les cinq espèces d' <i>Opuntia</i>	104

Figure 5. 6	Coupe longitudinale d'une fleur d' <i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i> provenance de Belaiba (M'sila).	107
Figure 5. 7	Couleur des périanthes, des styles, des lobes des stigmates et des étamines des différentes espèces étudiées.	111
Figure 5. 8	Formule florale générale.	115
Figure 5.9	Diagramme floral des différentes espèces étudiées.	115
Figure 5.10	Test de viabilité des grains de pollen (GX 2.5).	116
Figure 5.11	Germination <i>in vitro</i> des grains de pollen sur le milieu BKM (1963).	117
Figure 5.12	Croisement de l' <i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i> avec (<i>O.ficus indica</i> Mill .f. <i>amyclea</i> ; <i>O. streptacantha</i> Lem; <i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i> ; <i>O. engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>) et aspect des hybrides obtenus.	122
Figure 5.13	Corrélation entre poids du fruit et nombre des graines viables.	126
Figure 5.14	Corrélation entre le poids de la pulpe (Pp), de la peau (Ppe) et des graines viables (Pgv).	127
Tableau 1.1	Réalisation des plantations d' <i>Opuntia</i> et les superficies endommagées par les gelées.	20
Tableau 1.2	Mesures comparatives du diamètre (μm), taille des ouvertures (μm), nombre d'ouvertures, épaisseur d'exine.	27
Tableau I. 4	Quelques données concernant l'économie de l'eau et du carbone au cours de la photosynthèse chez les plantes en C3, et CAM.	33
Tableau 2.1	Nombre de chromosomes chez certaines espèces d' <i>Opuntia</i> .	44
Tableau 2.2	Récapitulatif des exemples de l'hybridation contrôlée.	50
Tableau 3.1	Contribution de la consommation d' <i>Opuntia</i> dans la résolution de problème de l'abreuvement.	68
Tableau 4.1	Quelques caractéristiques des différentes espèces étudiées.	72
Tableau 4.2	Présentation des différentes pièces florales.	85
Tableau 5.1	Nombre des fleurs par raquette.	102

Tableau 5.2	Époque et durée d'étalement de la floraison	103
Tableau 5.3	Récapitulatif des caractères qualitatifs des fleurs des différentes espèces étudiées	110
Tableau 5.4	Différentes mesures des caractères quantitatifs effectuées sur les fleurs des différentes espèces étudiées.	114
Tableau 5.5	Taux de germination <i>in vitro</i> des grains de pollen.	118
Tableau 5.6	Résultats de l'hybridation de 4 génotypes d' <i>Opuntia</i> .	119
Tableau 5.7	Poids du fruit hybride (F0) selon les sources du grain de pollen.	121
Tableau 5.8	Poids de la pulpe des fruits hybrides (F0) selon les sources du grain de pollen.	123
Tableau 5.9	Poids de la peau des fruits hybrides (F0) selon les sources du grain de pollen.	124
Tableau 5.10	Nombre des graines viables hybrides (F1) selon les sources du grain de pollen.	125

INTRODUCTION

Les régions arides et semi-arides algériennes sont des régions à vocation essentiellement pastorales, elles restent le support principal de l'élevage. Les facteurs climatiques de ces dernières années, sont caractérisés par de longues périodes de sécheresse, ont été à l'origine de la dégradation du couvert végétal. En plus, les systèmes de production pratiqués, détruisent la végétation et accélèrent le procédé de désertification, causant ainsi de graves problèmes à la flore et la faune.

Les steppes algériennes sont très sensibles au processus de désertification. En effet, les différents facteurs de dégradation se conjuguent pour créer un déséquilibre écologique social et biologique. Par conséquent, il est très important de mettre en application les projets de re-végétation qui incluent plusieurs espèces importantes et adapté à ces régions tel que l'*Opuntia*.

L'*Opuntia* est une espèce qui s'adapte à différent type de climats et de sols, elle réussit aussi bien dans les régions arides et semi-arides. C'est un arbuste, appartenant à la famille des cactacées, l'étude monographique du genre *Opuntia* montre que cette famille comprend environ 2000 espèces réparties en 90 genres . Le genre *Opuntia*, comprend environ 11 sections et 180 espèces. L'*Opuntia ficus indica* est la principale espèce produisant des fruits comestibles, on y distingue deux formes : Les formes inermes et les formes épineuses. Il existe plusieurs formes intermédiaires entre la forme très épineuse et la forme inerme. L'*Opuntia ficus indica* Mill forme *inermis* est très sensible au froid généralement elle est irréversiblement blessée aux températures de -5 à -10 C°. Parallèlement certaines espèces, d'*Opuntia* épineuses dont l'*Opuntia ficus indica* Mill forme *amyckea*, l'*Opuntia robusta* var. *robusta* ; l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*, l'*Opuntia streptacantha* Lem,

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR LE GENRE OPUNTIA

1.1 Introduction

L'*Opuntia* est originaire d'Amérique (Mexique), se trouve actuellement dans tous les continents. Il existe, généralement, dans les régions à climat tropical et sub-tropical et à faible pluviométrie.

Le figuier de barbarie appartient au genre *Opuntia*, est subdivisé en onze sous genres. Le sous genre le plus important en Algérie est le sous genre *Platyopuntia*.

Toutefois, sa grande adaptation à la sécheresse a été expliquée par sa capacité d'emmagasinement des réserves d'eau et sa capacité de réduction de la transpiration par le biais de ses caractéristiques physiologiques et morphologiques.

1.2 Origine

Dans l'histoire enregistrée du vieux monde, l'*Opuntia* a été certainement connu au début du 16^{ème} siècle [1, 2], et on croit que cette espèce a accompagné Columbus dans son premier retour vers l'Espagne en 1493, à la fin du 15^{ème} siècle [3, 4], elle est connue sous le nom de « figue du diable » à cause de ses épines [5].

Les espèces sont également enregistrées dans la culture, dans le Tlaxcala au Mexique, en 1519 [6]. Il y a également de l'évidence pour l'usage de l'*Opuntia*, par le Nazca au Pérou, plaçant ces usines en Amérique du sud, à une date très

précoce [7]. D'autres ouvriers maintiennent, que ce taxon était inconnu en Amérique du sud pré- Colombienne [6].

Au 15^{ème} siècle les européennes utilisaient les jeunes raquettes [1]. Elles ont été largement incluses dans les magasins de bateaux, comme assurance contre le scorbut [8]. On pense que cette pratique a contribué considérablement à la gamme naturalisée actuelle de l'*Opuntia* dans tous les habitats arides et semi-arides du monde [4, 2, 9].

Bien que la plupart des auteurs récents concèdent que cette espèce n'est pas indigène au vieux monde, les origines géographiques et évolutives de l'*Opuntia* restent opacifiées dans l'obscurité [10, 11, 4].

Toutes les cactacées sont originaires du nouveau monde, quelques genres seulement, sont peut être originaires de l'ancien monde [12].

Au 16^{ème} siècle les européens considèrent que les usines sont indigènes aux Indes occidentales [13, 2].

D'autres travaux, ont proposé que l'*Opuntia ficus indica* était un cultivar inerme dérivé de l'*Opuntia megacantha*, une espèce du Mexique central [6].

Un certain travail cytologique récent, propose que cet octoploïde cultivé (*Opuntia ficus indica*) est dérivé d'un ancêtre mexicain diploïde [6]. L'*Opuntia ficus indica* est indigène à l'habitat tropical doux de montagne, non désertique [11].

Il reste impossible de lui attribuer un lieu d'origine bien défini, car on le rencontre dans toutes les régions chaudes et tempérées des deux amériques. Des restes de semences de fruits et quelques morceaux de Nopal (nom local du figuier de barbarie) ont été découverts au Mexique, depuis 700 ans, ce qui prouve que l'homme le connaît déjà à cette époque [6].

1.3 Répartition

1.3.1 Répartition mondiale

Parmi les angiospermes, le Cactaceae est l'une des familles les plus distinctives et les plus réussies des usines du nouveau monde avec 1600 espèces [14]. Les régions de croissance importante sont le Mexique, la Sicile, le Chili, le Brésil, et l'Algérie font partie de l'Afrique nordique [13]. Ces espèces sont distribuées du Canada vers l'Argentine, avec le Mexique comme centre le plus important en diversité, avec 669 espèces et 244 sous-espèces [10]. Dans ce secteur géographique, les différents types de végétation acquièrent leurs noms selon leur dominance physiologique et /ou structurale [15].

Dans leur pays d'origine, les sont répandues sur la plus grande partie du sol américain [12]. LOPEZ et ELIZONDO [16] ont proposé une approche plus large, ils ont défini quatre régions occupées par des *Opuntia* dont la superficie atteint 50 000 ha [17].

- Zone centrale méridionale : les principales espèces sont : *Opuntia ficus indica*, *Opuntia amyclaea*, *Opuntia mégacantha*, et *Opuntia tomentosa*.
- Zone élevée de plateau : les principales espèces sont : *Opuntia leucotricha*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia robusta*, *Opuntia cantabrigiensis*.
- Zone du nord : les principales espèces sont : *Opuntia cantabrigiensis*, *Opuntia phaeacantha*, *Opuntia lindheimeri*, et *Opuntia rastrera*.
- Zone côtière du golfe du Mexique : les principales espèces sont : *Opuntia lindheimeri*, *Opuntia leptocaulis*, *Opuntia microdasys*, *Opuntia imbricata* [16].

L'histoire de l'introduction de l'*Opuntia* de fourrage, au Brésil est une matière discutée, mais elle a été présentée probablement en 18^{ème} siècle [18]. Les plus grands secteurs du monde de l'*Opuntia* cultivé, sont situés dans le nord-est semi-aride du Brésil, avec une prédominance de l'*Opuntia ficus indica* [18]. Dans le cadre des projets de la FAO/CIRGP/PNUE sur les ressources génétiques pour l'amélioration de la vie rurale dans les zones arides et semi-arides, ce projet a

débuté en 1979, des plantations de cactus inermes destinées au broutement couvrent plus de 300 000ha au nord-est du Brésil [19]. Les densités de plantation sont de l'ordre de 5000 à 150 000pieds /ha [20].

L'introduction de l'*Opuntia* en Asie a eu lieu à la fin du 17^{ème} siècle. Sa présence est signalée aux Philippines dès 1695, en Chine en 1700 et en Inde vers 1780 [21].

En Palestine occupée, la culture de l'*Opuntia* est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et de développement pour la production fruitière et fourragère, ainsi que pour l'usage industriel [22].

En Australie, le cactus est considéré comme une mauvaise herbe, en raison de la facilité avec laquelle, elle se propage [23].

Introduite en Europe vers le 15^{ème} siècle [1]. En Espagne, elle a été introduite par les conquistadores [22], aux alentours de 1500 [24]. PEDROA DE RIVERA, dans son voyage vers la nouvelle Espagne nordique au début du 18^{ème} siècle, a rapporté, que dans la direction de San Juan Del Rio, Querétaro, il a trouvé la végétation épaisse de l'*Opuntia*) [25].

En Sicile, l'*Opuntia* qui occupe de 100 000ha est destinée à la production fruitière et fourragère [21].

En Italie, il est cultivé sur une superficie de 1000 ha avec des programmes de fertilisation et d'irrigation annuelles [26].

En Afrique du sud l'*Opuntia* épineux couvrait en 1942 une superficie importante avec près de 860.000ha, il a été éliminé par l'introduction délibérée de deux cochenilles; *Cactoblatis cactorum* et *Dactylopus opuntia*; alors que l'*Opuntia* inermes résistant aux cochenilles, était sélectionné et multiplié dans les zones arides

à des fins fourragères [27]. En Afrique du sud, le cactus est considéré comme une mauvaise herbe, en raison de la facilité avec laquelle, il se propage [23].

Présenté en Ethiopie à la fin du 19^{ème} siècle, il est largement distribué dans les régions arides et semi-arides nordiques de l'Ethiopie [28]. La culture du cactus (*O. ficus indica*) est très répandue dans le Tigré, en Ethiopie du nord [29].

Il a été introduit par les espagnols, sur le pourtour de la Méditerranée et probablement à Madagascar, vers le 18^{ème} siècle [30]. Dans le cadre des projets de la FAO/CIRGP/PNUE lancée en 1979, près de 100 000 ha d'*Opuntia* inermis ont été plantés au sud-ouest de Madagascar [19].

Il a été introduit en Afrique du nord vers le 16^{ème} siècle [31]. Sa plantation couvre environ 300 000 ha [32]. En Afrique du nord et au proche-orient, *Opuntia* est considéré actuellement comme une culture de subsistance importante. On estime que 700 000 à un million d'hectares ont été plantés [33]. Dans le cadre des projets de la FAO/CIRGP/PNUE lancés en 1979 près de 200 000 ha d'*Opuntia* inermis ont été plantés en Afrique du nord [19].

En milieu méditerranéen, le figuier de barbarie fait depuis plusieurs siècles, partie intégrante du paysage des régions côtières et insulaires, comme en témoigne la facilité avec laquelle, il s'est adapté aux conditions climatiques [23]. Il existe depuis longtemps de vastes zones de culture d'*Opuntia* en Algérie, au Maroc, et en Tunisie [23].

La Tunisie dispose de 60 000 à 80 000 ha de cactus dont environ 35 000 ha sont plantés en zone steppique [20]. Une superficie importante est récemment plantée en Tunisie centrale; quelques 70 000 ha, dont 50 000 ha ont été plantés entre 1970 et 1975; cette superficie a évolué et a atteint environ 300 000 ha en 1996 [5].

Au Maroc, la majorité de la culture d'*Opuntia ficus indica* soit 85 % se trouve localisée au niveau de cinq grandes zones: Taounate (22230 ha); Chefchaouen (7050 ha); Al Hoceima (5000 ha); Ouzzane (3150 ha); Tétouan (2000 ha). Les autres plantations sont réparties entre Taza, Nador, Essaouira, El Jadida, Safi et d'autres régions [26].

1.3.2 Répartition algérienne

L'introduction de ce végétale vivace est possible dans la steppe algérienne, pour la production de fourrage d'appoint, pour le maintien des sols dans le cadre d'une action défense et de restauration, pour produire des fruits pour la consommation humaine et pour la lutte contre la désertification [34].

En zones steppiques algériennes, l'espèce *Opuntia* a été introduite à titre expérimental vers 1940 [20].

Durant la période coloniale, les premières réalisations à base de cactus ont été menées dans le cadre des périmètres de défense et restauration des sols dans la région de Nédroma (Tlemcen) [35].

En 1961, deux collections importantes de cactus ont été réalisées dans la région rurale de Zériba (Grande Kabylie), et à Chebli [20]. Le Centre National de Recherche et d'Expérimentation Forestières (C. N. R. E. F.) a installé diverses collections, dont une de référence située au petit Atlas. Les espèces qui la composent proviennent, du jardin d'Essai d' EL HAMMA (Alger) du jardin botanique de la faculté des sciences d'Alger, des horticulteurs de Paris et d'Alger, et de chez Vilmorin. Un lot a été envoyé par les mexicains, un autre par les siciliens de Catane et Palerme [36].

Le cactus inerme a fait l'objet de plusieurs projets menés par la F. A. O. en Algérie [35] :

Suite à la recherche des espèces et des clones tolérants aux différentes contraintes des zones arides, des études sont menées en Algérie entre 1967-69, comportant soixante sept espèces, cultivars et clones, établies au mois de Septembre 1967 par la F. A. O. à la station de Taadmit à Djelfa [5].

Une collection a été aménagée à la sortie de M'sila, en 1969 par la F. A. O., elle est composée d'espèces et de variétés aux résultats encourageants [37].

Les vergers et les collections installés dans la région, de Berrouagua semblent avoir disparu [35].

Un important programme de plantation d'*Opuntia* a été lancé par l'I. N. R. F. en 1986-1987, à «Mesrane» dans la wilaya de Djelfa. Celui-ci touche près de 400 000 ha, et vise, la mise en oeuvre des méthodes de fixation des dunes et la reconstitution des zones de parcours.

Un projet de plantation est en cours dans la région est et centre du pays depuis une décennie, où plus de 16 000ha d'*Opuntia* inerme ont été planté dans la wilaya de Souk Ahras, Tébessa, Khenchela, Oum el Bouaghi et Batna (Tableau 1.1).

L'*Opuntia ficus indica*, particulièrement la forme inerme, fait l'objet d'une importante utilisation dans les régions steppiques, et ce dans le cadre des programmes du HCDS (Haut Commissariat au Développement de la Steppe) [35]. En effet, en 1993, un programme de restauration des parcours a été lancé par l'HCDS, répartie dans huit wilayates steppiques, a permis de valoriser l'intérêt porté pour la culture de l'espèce *O. ficus indica* dans la région est et son introduction très encourageante au niveau des wilayates du centre et de l'ouest.

En 2004; des pertes très importantes ont été enregistrées, elles sont dûes à la période de chute de neige importante, suivie par une période inhabituelle de gel

en début du mois de Novembre 2004 et s'est prolongée jusqu'à Février 2005 (Tableau1.1).

Tableau 1.1 : Réalisation des plantations d'*Opuntia* et les superficies endommagées par les gelées (les valeurs extraites à partir des rapports de l'H.C.D.S réalisés en 2005).

Wilaya	Superficie réalisée	Superficies endommagées par les gelées
Djelfa	64ha	-
Tébessa	4560 ha	-
Souk Ahras	3617ha	-
Laghouat	116ha	-
M'sila	10076.57 ha	1825,35 ha
Bordj Bouarrerid j	1023ha	-
Médéa	7180 ha	5810,35ha
Khenchela	213ha	-
Oum El Bouaké	59ha	-
Batna	83ha	-
Bouira	36ha	-
Total	27051.57ha	7636.12ha

1.4 Nom et classification

Cactus est le nom usuel des plantes de la famille des cactacées, ordre des caryophyllales [38]. Ce sont des végétaux phanérogames appartenant à la classe des angiospermes «dicotylédones» polypétales [39].

Les cactaceae ont été par le passé classifiés, près de la famille de la carotte (Apiaceae), mais actuellement la famille est placée dans un ordre très différent, les caryophyllales, avec seulement d'autres familles d'angiospermes productrices de bétalaine (Achatocarpaceae, Aizoaceae, Amaranthaceae, Basellaceae, Chenopodiaceae, Didieriaceae, Nyctaginaceae, Phytolaccaceae, et

Portulacaceae) [40]. La découverte des bétalaines chez les cactus a aidé les taxonomistes, afin d'apprécier la situation phylogénétique de Cactaceae [41]. Les bétalaines prennent leur nom des betteraves rouges (le genre *Béta* chez les Chenopodiaceae), la couleur rouge est dûe à la présence de la bétalaine [41].

L'*Opuntia* représente le genre principal de l'Opuntioideae, qui inclut environ 181 espèces et dix hybrides naturelle [42]. Les sous genres (Tableau 1.2) les plus représentés en Afrique du nord sont les sous-genre *Cylindropuntia* comprenant les espèces à tiges cylindriques et le sous-genre de *Platyopuntia* représentant les espèces ayant des raquettes qui sont de fausses tiges [43].

1.4.1 Classification du genre *Opuntia*

Embranchement :	Phanérogames [44]
Sous/embranchement :	Angiospermes [44]
Classe :	Dicotylédones [44]
Sous-classe :	Polypétales [39]
Ordre :	Caryophyllales [38]
Famille :	Cactaceae [45]
Sous –famille :	Opuntioideae [12]
Tribu :	Opuntieae [44]
Genre :	<i>Opuntia</i> [44]
Sous-genre :	<i>Consolea</i> ; <i>Coryopuntia</i> ; <i>Brasiliopuntia</i> ; <i>Grusonia</i> , <i>Austrocylindropuntia</i> ; <i>Nopalea</i> , <i>Cylindropuntia</i> ; <i>Marenopuntia</i> , <i>Stenopuntia</i> ; <i>Tephrocactus</i> , <i>Platyopuntia</i> [46]
Espèces de sous- genre : <i>Platyopuntia</i>	<i>Opuntia ficus indica</i> (<i>figuier de Barbarie</i> ; <i>Opuntia inermis</i>); <i>O. vulgaris barbarica</i> Web; <i>Opuntia subterranea</i> ; <i>Opuntia monacantha</i> [39]. <i>O.robusta</i> Wendl; <i>O. engelmannis</i> ; <i>O. streptacantha</i> Lem (<i>Opuntia cardona</i> Web); <i>tenuispin</i> ; <i>lucens</i> ; <i>O.duranguensis</i> ; <i>O.chrysacantha</i> ; <i>O.leucotricha</i> [47]

1.5 Description morphologique

1.5.1 Aspect général

Les *Opuntia* sont des espèces qui ont des formes très variées depuis le plus petit arbuste jusqu'à l'arbre de 5 à 7 m et même jusqu'à 15m de hauteur [20].

1.5.2 Système racinaire

Les racines se développent à partir des aréoles, produisent avec le temps un vrai système racinaire [48]. Elles sont généralement fasciculées, particulièrement denses [49]. La racine principale est courte, mais les racines latérales ont une très grande extension [50].

Des études au Mexique ont montré que les racines de plusieurs espèces d'*Opuntia* sont colonisées par des mycorhizes [51].

1.5.3 Système caulinaire

1.5.3.1 Tige

Les *Opuntioïdés* sont des cactus terrestres possédant des tiges à segments multiples, avec des feuilles rudimentaires sur les jeunes pousses [38]. La tige charnue est chlorophyllienne [52]. L'*Opuntia ficus indica*, émet des tiges de 3-4mètres, aux articles elliptiques épais [53].

1.5.3.2 Raquettes

Branches formées d'articulations charnues de forme elliptique, appelées « raquettes » [53]. Celles-ci sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 40 à 50 cm de long [54] sur 15 à 50 cm de large [43].

Anatomiquement, la raquette est formée par (Figure 1.1) :

- Mucilage : le suc cellulaire de cladode concentré et mucilagineux, il permet à la plante de limiter la transpiration et donc de résister à la sécheresse [20].
- Epiderme : constitue la couche la plus extérieure de cellules (du corps du cactus) de la raquette, il est constitué par une couche continue de cellules protectrices qui montre des stomates [48].
- Stomates : En générale les cactus ont peu de stomates, par unité de superficie que la plupart des autres espèces [48].
- Aréoles: Se trouvent sur toute la surface de la cladode (environ 150 par raquette), ceux sont des bourgeons axillaires modifiés, leur méristème, selon les cas, produisent des épines et des glochides, ou bien émettent des racines adventives des nouvelles cladodes ou fleurs [48].

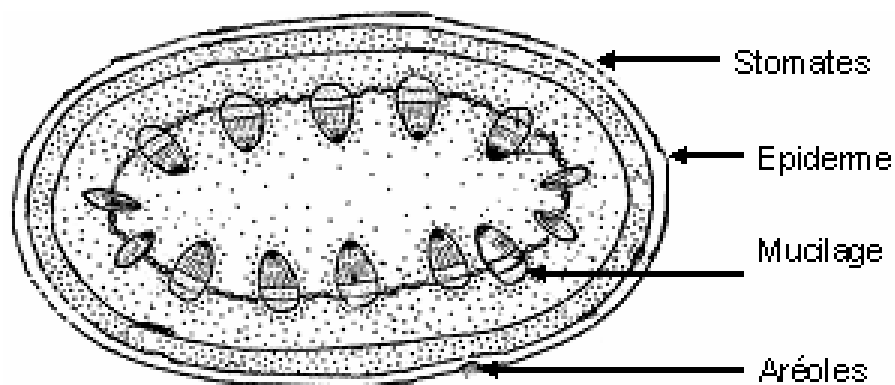


Figure 1.1 : Coupe transversale de la raquette d'*Opuntia* [39].

- Feuilles : Les feuilles des axes principaux peuvent être, persistantes ou éphémères (cas des *Opuntia*) ou être totalement absentes. Situées sur les raquettes, mesurant 3 mm de long transformées en épines [24].

- Epines : Chez les Cactacées, les épines sont attachées à la base par un bouchon, afin qu'elles ne soient pas enlevées facilement [55]. Elles seraient alors des poils spécialisés, protégeant les points végétatifs [56]. Les épines sont présentes dès la première phase de croissance des cladodes, et la plupart d'entre-elles tombent avec l'augmentation de l'âge et de la températures [48].
- Glochides : Les glochides sont de petits poils barbelés, différents des aiguillons, très cassants, que l'on trouve exclusivement chez les *Opuntioïdés* [38]. Elles sont caduques et s'enlèvent facilement, quand elles sont touchées ou soufflées par le vent. Les glochides sont rangées en groupe de 7 à 12 dans les cavités des aréoles [48].

1.5.3.3 Fleurs

Chez les cactus les jeunes plantations peuvent entrer en floraison à partir de la deuxième ou la troisième année. La durée et la période du cycle annuel dépendent de la variété et de la zone géographique. Elle commence au printemps par une initiation des bourgeons végétatifs qui donnent naissance à des raquettes. Après une année, ces raquettes fleurissent [26].

Les fleurs sont solitaires et sessiles, sauf chez les *Pereskioideae* où elles sont groupées en racèmes axillaires et parfois pédonculés. Elles sont majoritairement bisexuées. La couleur des fleurs est très variée, mais seul le bleu est absent [56]. Elles sont hermaphrodites et actinomorphes ; elles se développent sur la partie supérieure d'une cladode. Les bourgeons floraux peuvent se développer sur la surface la plus éclairée de la cladode [48], ils sont situés sur les raquettes de 6 à 7cm de diamètre [24]. Les fleurs des cactus sont tout à fait variables, mais il y a quelques dispositifs généraux qui sont partagés par la famille entière. L'ovaire de la fleur (la pièce d'ovule roulement du pistil) est complètement inclus dans la tige [41].

La longueur du réceptacle est garnie d'aréoles et de bractées écailleuses. La soudure plus ou moins marquée des pièces périnthaires définit deux types de fleurs; les fleurs rotacées des *Opuntia* et *Pereskia*, et les fleurs tubuleuses de très nombreux genres [56].

Dans certains pays chauds et arides la plante fleurit et porte des fruits deux fois dans l'année [39].

- Pistil : Le style est simple, et le stigmate possède de 2 à 14 lobes ; des nectaires forment fréquemment une chambre annulaire située à la base du style [56]. Dans les îles de Galapagos, les espèces d'*Opuntia* produisent une grande quantité de nectaire, jusqu' à 0.11ml par fleur, avec 22 % de sucre [57]. MANDUJANO et al [58] rapportent que chez l'*Opuntia restrera*, la production de nectaire commence deux heures après que l'anthèse commence (0.39 μ m par fleur, 38 % de sucre), alors que l'*Opuntia robusta* produit seulement le nectaire durant les premières heures de l'anthèse. La quantité de nectaire change selon les espèces, et certaines espèces d'*Opuntia* ne produisent pas le nectaire.

L'ovaire est infère et inclus profondément à l'intérieur du réceptacle, à une seule loge, renfermant de nombreux ovules [30], formé de cinq carpelles et à une placentation pariétale [58].

EAMES [48] a déterminé chez les ovules trois vrais téguments : le tégument intérieur est loin des téguments extérieurs, le troisième tégument est une partie modifiée d'un des deux téguments normaux, et il enveloppe complètement l'ovule.

- L'androcée : GRANT et al [58] notent que les étamines sont généralement de couleur jaune ou verte, avec un arrangement circulaire ou de spirale autour du stigmate [59]. Dans certains cas, les étamines les plus proches du stigmate sont courtes et se développent successivement plus longtemps [57]. Chez l'*Opuntia* les

étamines se différencient rapidement dans des paires d'anthères, chacune à deux sacs de pollen [58].

Dans le genre *Opuntia* les grains de pollen sont sphéroïdes (Figure 1.2), polaires, radio- symétriques [60]. Le grain de pollen a une couche externe épaisse «l'exine», dont la fonction est protectrice [48]. L'exine (Figure 1.3) peut être tectate ou semis- tectate avec différente épaisseur dans chaque espèce d'*Opuntia* [60].

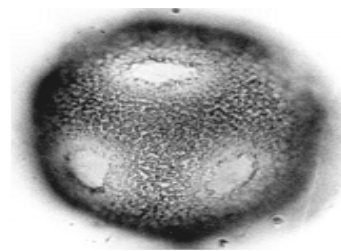


Figure1. 2 : Grain de pollen d'*Opuntia cholla* [61]

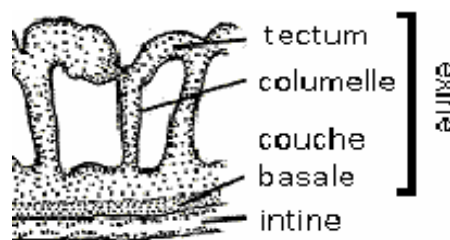


Figure 1. 3 : Schéma de la paroi d'un grain de pollen [62]

Dans le genre *Opuntia* nous pouvons identifier deux types principaux de pollen [60] :

1 : Grain de pollen avec xine tectate, la couche externe (tectum) est sculptée avec des arrêtes projetées, des épines et des granules; chaque granule est circulaire, entouré par un anneau, de 0.1 μm de diamètre chez l'*O. schickendantzii* et *O. sculzii*. Le diamètre du grain de pollen, la taille des ouvertures, l'épaisseur de l'exine sont différents selon les espèces (Tableau 1. 2).

2 : Grain de pollen semi-tectate et réticulé. Le diamètre du grain de pollen la taille des pores sont plus important chez l'*Opuntia ficus indica* (Tableau 1. 2)

Tableau 1.2 : Mesures comparatives du diamètre (μm), taille des ouvertures (μm), nombre d'ouvertures, épaisseur d'exine [60]

Paramètre Espèce	Diamètre (μm)	Taille des pores (μm)	Nombre de pores	Exine (μm)
<i>O. schickendantzii</i>	98(107.8)115	18	24 pores circulaires	7
<i>O. schulzi</i>	77(78.3)87	17 x 8.5	12 pores ovales	4
<i>O. anacantha</i>	65 (80.4)100	19 x 15	12–14 pores allongé	4
<i>O. ficus-indic</i>	126(142)161	20 x 23	20 pores circulaires	5

1.5.3.4 Fruits

Sa forme est oblongue ou ronde [22], en forme d'œuf, de 5 à 9 cm de long. Couvert de courtes épines, contient de nombreuses graines de 5 mm environ, engluées dans un mucilage [24].

Le poids du fruit de l'*Opuntia ficus indica* est affecté par l'ordre de la production du bourgeon floral et du nombre de fruits sur la cladode. Ainsi, les bourgeons floraux qui poussent plus tôt deviennent habituellement des fruits plus lourds. En outre, les fruits les plus lourds sont obtenus à partir des cladodes contenant seulement six fruits [63]. De couleur jaune clair ou rouge violacé [39], le fruit se conserve longtemps sur la plante après la période de cueillette [64].

Les fruits d'*Opuntia* sont uniloculaires et polyspermiques. Il y a trois types de fruits [10, 65] charnus ; secs et fruits de xoconostle (peu de pulpe, peau épaisse et acide).

Généralement, la maturation du fruit est très échelonnée. Dans les îles de Galapagos les fruits tombent tout au long de l'année [57]. Dans l'hémisphère nordique, les fruits sont produits entre Avril et Novembre et dans l'hémisphère méridional, la production des fruits mûres la plus élevée, se produit en Juin, Juillet et Novembre [58]. Chez l'*O. ficus indica*, les fruits se développent vigoureusement

en termes de longueur, largeur, poids et volume, pendant les 20 et 30 premiers jours après l'anthèse et arrêtent la croissance approximativement 59 et 90 jours après l'anthèse [13].

L'évolution des paramètres biométriques et physico-chimiques des fruits de figuier de barbarie en fonction de leur maturité a été étudiée, au niveau de quatre sites des régions de Settat et Khouribga au Maroc. Le poids, la longueur et la largeur des fruits augmentent au fur et mesure que les fruits deviennent matures. Au dernier stade de prélèvement effectué, ses valeurs sont en moyenne de 70,03g pour le poids : 6, 88cm pour la longueur et de 4,59cm pour la largeur [66].

- Peau : La peau se développe à une vitesse rapide, pendant la première phase de croissance des dimensions et du poids du fruit [67]. La peau est fine mais pleine d'épines [27]. La couleur de la peau commence à changer à 70 jours après la floraison, elle est profondément colorée (jaune, rouge ou blanc selon les cultivars) 85 à 100 jours après la floraison [67].

- Pulpe : La croissance maximum de la pulpe, se produit pendant la deuxième et la troisième phase de croissance des dimensions et du poids du fruit. Ce qui correspondent respectivement ; à la phase de croissance intermédiaire lente et la phase de croissance rapide [68]. Quatre vingt dix pour 100 de la pulpe sont constitués par les cellules parenchymateuses, provenant de l'épiderme dorsal de la couverture funiculaire. Le 10 % restants étant le tissu funiculaire [69]. La pulpe a une saveur acidulée [39], profondément colorée à partir du 85^e au 100^{eme} jour, après la floraison [67], la couleur peut être verdâtre, jaune ou orange [22].

- Graine : La croissance et la maturation de la graine se produisent entre le 30^{eme} et 70^{eme} jour après l'anthèse [13]. Le nombre de graines dans le fruit varie également d'une espèce à l'autre, tout comme varient leur couleur et leur taille [29]. NERD et MIZRAHI (1995), trouvent que le nombre de graines par fruit est très variable et cette variabilité est dûe probablement à la variation du nombre

initiale des ovules. La graine d'*Opuntia* est petite et ovoïde [10], très dure, épaisse, et large de plusieurs millimètres [38].

Les cultivars italiens de l'*O. ficus-indica*, ont une moyenne de 273 graines par fruit, dont 146 graines sont fertiles et 127 stériles [70]. Les cultivars mexicains ont une moyenne de 203 graines fertiles par fruit [71]. Le nombre moyen de graines par fruit est de 157 chez l'*O. engelmannii* [72]. Les espèces algériennes ont une moyenne de 2 à 3 graines /gramme de fruits pour l'*Opuntia robusta var robusta*; de 7 à 8 graines /gramme de fruits pour l'*O. engelmannii var. languiformis* [73].

Nombre de graines par kilogramme : l'*O. ficus indica* (49 000-55 500 graines/kg), *O. basilaris* (62 000 graines/kg), et *O. dillenii* 107 000 graines/kg [74].

Chez l'*O. ficus-indica*, le poids des graines augmente quand les plantations sont irriguées [75]. Cependant, chez l'*O. engelmannii*, durant une année exceptionnellement sèche, les différents fruits ont le même nombre de graines qu'une année normale [72].

1.6 Comportement et capacité d'adaptation à la sécheresse

1.6.1 Comportement biochimique

L'*Opuntia ficus indica*, est une plante bien adaptée à l'aridité, elle contribue à la mise en valeur des terres incultes et leur protection contre l'érosion. Les mécanismes de son adaptation aux contraintes abiotiques sont peu connus. La recherche de marqueur biochimique, physiologique et moléculaire est indispensable pour la valorisation des ressources génétiques de l'espèce [76].

GASPAR et al [76] trouvent que les peroxydases sont très répandues dans le monde végétal. Elles catalysent l'oxydation de différents substrats (des amines aromatiques, des phénols) en présence du peroxyde d'hydrogène. Plusieurs

travaux ont montré l'implication de ces enzymes dans plusieurs processus physiologiques, chez les plantes dont la croissance, le développement et la résistance aux contraintes biotiques et abiotiques. L'activité optimale des ces enzymes dépend de trois paramètres principaux : la températures, le pH, et la force ionique :

- Temperature : Les peroxydases d'*O. ficus indica* sont hautement résistantes aux températures élevées, puisque elles gardent 40% de leur activité après 10 minutes d'incubation à 70C° [76]. Alors que chez d'autres cactacées comme *Pachycereus pringlei* l'inactivation est totale [77].
- pH : les peroxydases d'*O. ficus indica* présentent un optimal proche de 6.6 [76].
- l'apport ionique : l'apport d'H₂O₂ à une concentration supérieur à 2% provoque une inhibition de l'activité enzymatiques [76].

L'étude de la répartition des activités des peroxydases solubles et ioniques au niveau des raquettes et des racines d'*O. ficus indica*, montre que les formes ioniques sont moins abondantes dans les racines et presque à égalité dans les raquettes, représentant respectivement 23 et 43 % [76]. Cette large distribution expliquerait l'intervention de ces enzymes dans plusieurs processus physiologiques, comme la synthèse de la lignine, et la résistance aux stress biotiques et abiotiques [78].

L'extraction par solubilisation progressive des peroxydases à partir des raquettes et des racines d'*O. ficus indica* a permis d'obtenir 3 fractions enzymatiques notées S, I et C correspondant respectivement aux peroxydases solubles et liées aux parois cellulaires de façon ionique ou covalente [76].

1.6.2 Comportement physiologique

La plupart des végétaux supérieurs sont autotrophes, c'est-à-dire capables de synthétiser leurs composés organiques grâce à leurs pigments chlorophylliens à partir du CO₂ et H₂O et de la lumière [79].

Toutes les plantes font l'essentiel de leurs échanges gazeux avec l'extérieur par l'intermédiaire de structures épidermiques particulières des feuilles ou tiges : les stomates [80]. BENSON [81] constate que puisque chez l'*Opuntia* les feuilles permanentes sont absentes, donc le processus photosynthétique se réalise au niveau des raquettes vertes. Le genre *Opuntia* a un mécanisme photosynthétique spécialisé connu sous le nom de métabolisme acide de crassulacéan [82].

Le succès des plantes CAM dans les régions arides et semi-arides a été attribué à l'ouverture nocturne des stomates et la compression du CO₂ qui autorise la plante CAM à accomplir une haute efficacité de l'usage d'eau. L'eau potentielle de tissus internes des plantes CAM, reste habituellement haute [55]. Les plantes CAM, fonctionnent donc en réalisant deux réactions de carboxylation très séparées dans le temps, l'une de jour, l'autre de nuit [80].

La plante ferme ses stomates le jour, ne les ouvre que la nuit. La nuit en milieu désertique est assez fraîche, la plante, étant une « plante grasse » le plus souvent, perd donc peu d'eau, et peut fixer du CO₂ [80]. Le CO₂ est d'abord fixé comme malate, puis il est décarboxylé et entre dans le parenchyme pour préparer des glucanes. En outre, il y a toujours une réduction de l'acidité pendant le jour, due à l'assimilation du CO₂. Ce modèle sans prise nette de CO₂ mais avec oscillation continue de jour et de nuit dans l'acidité, est nommé « marche au ralenti » [83]. De plus cette fixation de CO₂ se fait de la part de la rubisco, sur un sucre phosphaté, avec synthèse d'amidon et d'autres glucanes [80].

Durant la nuit, c'est donc une autre enzyme que la rubisco qui est utilisée : la phosphoénolpyruvate carboxylase ou PEP case, qui a deux avantages :

- D'abord, elle a une très grande affinité pour le CO₂ : dès qu'on a, ne serait ce que quelques ppm de CO₂, l'enzyme est saturée, on a donc un gradient fort et une fixation rapide.
- Le deuxième avantage est l'obtention d'un produit de carboxylation qui est un acide dicarboxylique : l'acide oxaloacétique, qui peut être transformé en acide malique [80].

NOBEL et HARTSOCK [76] rapportent que des essais ont été réalisés chez l'*Opuntia ficus indica* pour montrer l'effet de différentes combinaisons de températures sur le taux net d'assimilation du CO₂. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec la combinaison de 25 C° durant le jour et 15 C° durant la nuit. En diminuant les températures à 10 C° durant le jour et 0 C° durant la nuit, des taux d'assimilation inférieur à 67 % ont été enregistrés. En augmentant la température le jour à 35 C° et à 25 C° durant la nuit, le taux d'assimilation de CO₂ a été de 35 %. Avec la température de jour de 45 C° et la température de nuit de 35 C°, le taux d'assimilation de CO₂ est nulle.

Les jeunes raquettes, étant donné qu'elles ont un métabolisme photosynthétique de type C₃ [84], elles maintiennent les stomates ouverts le jour, et rappellent l'eau dont elles ont besoin à travers les raquettes situées en dessous. Ceci constitue une perte d'eau très marquée pour toute la plante [23]. On a observé sur des raquettes de deux semaines et sur les bourgeons de fleurs, l'ouverture des stomates durant le jour, dans ce cas, la photosynthèse suit le cycle normal de Calvin c'est un type C₃ [23].

Pour les plantes en C₃, le quotient de transpiration est plus important par rapport à la plante en CAM (Tableau. 1.3).

Tableau 1. 3 : Quelques données concernant l'économie de l'eau et du carbone au cours de la photosynthèse chez les plantes en C3, et CAM [80]

Paramètres	C3	CAM
Quotient transpiratoire en g H ₂ O. g ⁻¹ carbone	450-950	18-100 (fixation nocturne de CO ₂ . 150-600 (fixation diurne de CO ₂ , qui n'existe que pendant peu de temps
Vitesse maximale de la photosynthèse nette, mg CO ₂ .m ² surface foliaire s ⁻¹	0.41-1.10	0.027-0.360
Vitesse maximale de croissance g matière sèche m ² surface foliaire jour ⁻¹	50-200	1.5-1.8

D'une manière générale : les caractères d'adaptation à la sécheresse se traduisent par :

- Réduction de la surface foliaire;
- Protection des stomates et développement de la cuticule et cutinisation de l'épiderme;
- Réduction de la surface de l'évapotranspiration par la formation de coussinets, boules, formes cylindriques... ;
- Développement du système racinaire (vertical et superficiel) [79]. D'après les travaux de SUDZUK (1995), les racines de l'*Opuntia* contribuent à la résistance de la sécheresse selon trois voies :
 - Soit par restriction de la surface des racines en diminuant leur perméabilité à l'eau.
 - Soit par une absorption rapide de faible quantité d'eau provenant de la rosée du matin à partir des racines pluviales, qui ont la possibilité de se développer juste après une averse et disparaître par la suite.
 - Soit par diminution de la transpiration en raison du haut potentiel négatif des racines.
- Succulence (mise en réserve de l'eau dans le parenchyme aquifère) ;

- Réduction de la durée du cycle de développement;
- Présence des cellules bulliformes permettant la modification de la surface foliaire [79].

1.6.3 Comportement écologique

Les types biologiques ou éthologiques traduisent les formes de vie des espèces. C'est l'ensemble des particularités morphologiques qui joue un rôle dans la résistance aux conditions défavorables. Lorsqu'une plante se maintient dans un biotope donné, on dit qu'elle y est adaptée [79].

L'adaptation est la propriété héréditaire, physiologique, anatomique ou morphologique permettant à une espèce de se maintenir et de se développer dans des conditions écologiques particulières. Les espèces les plus adaptées à un milieu seront les plus compétitives [79].

Les espèces du genre *Opuntia* ont développé des adaptations phénologiques, physiologiques et structurales; favorables à leur développement dans les environnements arides et semi-arides, où l'eau est le facteur principal, limitant le développement de la plupart des autres espèces d'*Opuntia* [46].

Il s'agit d'une espèce de plantes xérophytes, qui stockent dans leurs tissus des réserves de suc, pour faire face aux longues périodes de sécheresse. La sécheresse est un attribut normal des terres arides des climats arides et semi-arides [85].

Les tiges ont développé un épiderme avec la cuticule, la cire et peu de stomates. Les aréoles avec leurs épines, des glochides, et des trichomes. Ces dispositifs ont permis une grande conservation de l'eau [86].

L'épiderme, la cuticule, et la cire sont utiles dans la protection contre un fort rayonnement photo-synthétiquement actif [55]. Le suc cellulaire qui est

mucilagineux, contribue à la limitation de la transpiration, et permet aux cladodes d'emmagasiner dans leurs tissus parenchymateux plus de 82 % de leur poids en eau. Il est essentiellement constitué de polysaccharides complexes qui représentent 24 % de la matière sèche [87].

La forme des raquettes a évolué pour stocker la quantité maximum de l'eau avec la perte minimum [35]. DEKOK [76] rapporte que les raquettes peuvent perdre plus de 60 % de leur contenu en eau avant que les cellules ne meurent. NERD et NOBEL [88] montrent que, dans une coupe transversale de raquette, le tissu le plus secret est spongieux, avec de grandes cellules adoptées à l'eau emmagasinée, et le chlorenchyme est également protégé par une couche épidermique cireuse qui limite la perte de l'eau.

Les stomates sont enfoncés en profondeur et en cas de températures élevées et de forte insolation, ils peuvent rester fermés une grande partie de la journée [23].

Les épines et les glochides ont différentes fonctions, en effet, on pense que les épines favorisent la réduction des pertes en eau [89]. Ces dernières contribuent à diminuer la température journalière, des tissus végétaux et leur présence réduit l'interception de la lumière de la part des raquettes [90].

La principale fonction des glochides, est de favoriser la condensation de l'eau à proximité, de la surface foliaire [23].

D'après PIMIENTA et al [23] la symbiose avec mycorhize, contribue à l'optimisation de la recherche de l'eau de la part des racines et à sa conservation dans les tissus de réserves [23].

CHAPITRE 2

BIOLOGIE REPRODUCTIVE ET BASES BIOLOGIQUES

2.1 Introduction

Comme tous les autres cactus, chez l'*Opuntia* les nouvelles cladodes et les bourgeons floraux, se développent à partir des méristèmes aréolaires [91]. GIBSON et NERD [58] montrent que ces derniers peuvent produire soit un bourgeon végétatif, soit un bourgeon floral. Ces méristèmes aréolaires sont situés le long du bord des cladodes, principalement sur le bord supérieur [67].

Une production élevée des bourgeons floraux affaiblit la production des bourgeons végétatifs. En revanche, la surproduction des bourgeons végétatifs réduit la production des bourgeons floraux [92]. Soixante quatorze pour 100 des bourgeons floraux de l'*Opuntia ficus indica* se développent sur les cladodes d'une année. Cependant, la plupart des bourgeons végétatifs poussent sur des cladodes de deux ans. Les principales cladodes productives sont celles produites l'année précédente [67].

2.2 Biologie reproductive

2.2.1 Induction de bourgeon florale

L'induction florale est un changement métabolique qui caractérise chez la plante, le passage d'un état végétatif à un état reproducteur [93]. Chez l'*Opuntia*, les signes de la structure d'une fleur peuvent être détectés sous le microscope; quand les bourgeons atteignent une longueur de 4 à 5mm [58]. L'induction florale est liée à la présence d'hormones de floraison [94]. Selon AIGUILAR et CHAVEZ [58] chez les cactus l'acide gibbérellique (AG3), favorise le développement des bourgeons

floraux et l'acide indol butyrique (AIB) stimule la croissance végétative [58]. L'induction florale est sous la dépendance de plusieurs facteurs, dont la température, qui constitue un facteur dont le rythme peut influencer la mise à fleur [95]. Dans des régions sub-tropicales, les bourgeons floraux de l'*Opuntia* démarrent quand la température mensuelle moyenne est supérieure à 16C° [67]. Celle-ci est imperceptible à l'œil nu et l'époque de son déroulement est variable selon les espèces fruitières et les régions [95]. Chez l'*Opuntia* c'est en Mars ou Avril dans l'hémisphère nordique, et en Septembre ou Octobre dans l'hémisphère méridional [67].

2.2.2 L'initiation du bourgeon florale

L'initiation des pièces florales implique un changement dans la distribution de l'activité mitotique du méristème caulinaire. L'apex des bourgeons caulinaires, au cours de l'initiation florale, subit des modifications, qui l'amènent soit à l'état de bouton floral soit à l'état de bouton inflorescenciel [94]. Des observations de l'*Opuntia* sur champ, montrent clairement qu'une élévation des températures, augmente l'initiation des bourgeons floraux après l'hiver [67]. Les mêmes auteurs ajoutent que dans la région sub-tropicale, l'initiation florale de l'*Opuntia* se produit au printemps.

2.2.3 Différenciation du bourgeon florale

La différenciation florale est un processus dont l'ensemble des événements anatomiques et histologiques permettent aux bourgeons d'acquérir l'état floral [95]. Elle se manifeste suivant les régions et les conditions climatiques. Chez l'*Opuntia* la différenciation florale se produit sur une période courte, de 50 à 60 jours après que le méristème commence à être actif jusqu'à la floraison [48]. GONZALEZ [58] note que les premiers bourgeons floraux de l'*Opuntia* à apparaître dans les montagnes de San Luis Potosí et de Zacatecas du Chihuahuan méridional au Mexique, sont ceux de l'*O. robusta*, suivi de l'*O. cochineria*, de l'*O. streptacantha*, de l'*O. leucotricha*, de l'*O. joconostle*, de l'*O. hyptiacantha* et de l'*O. matudae*.

2.2.4 Développement du bourgeon floral

Le développement floral est caractérisé par la croissance des ébauches florales et la maturation des cellules reproductrices, qui aboutissent à l'éclatement des boutons à fleur [95].

La maturation des cellules reproductrices débute, par la méiose puis la formation des grains de pollen dans les anthères et les ovules dans l'ovaire. A ce stade, la fleur atteint sa maturité pour jouer son rôle dans la reproduction [93].

Chez l'*Opuntia* les étamines se différencient rapidement en une paire d'anthères, chacune à deux sacs polliniques [58]. ROSA et PIMIENTA [58] ont déterminé que chez l'*O. ficus indica*, la déhiscence de l'anthère se produit douze heures avant ou au moment de la floraison. Chez l'*O. rastrera*, elle se produit 30 minutes après l'anthèse [96].

2.2.5 Floraison

La floraison du cactus n'est pas limitée au printemps, elle peut se produire quand le sol est humide. Les fleurs peuvent apparaître à tout moment, pendant la saison chaude [67]. Chez les cactus la floraison est diurne ou nocturne [56]. Dans le cas de l'*O. rastrera*, les fleurs sont journalières [96], chez d'autres espèces, tels que l'*O. robusta*, l'*O. streptocantha*, la fleur s'ouvre l'après midi, se ferme au coucher du soleil et s'ouvre encore le jour suivant [58].

Sur les îles de Galopagos, les fleurs s'ouvrent entre 8h et 13h et restent ouvertes entre 24 à 48h [57]. Alors qu'en Argentine, l'*O. quimilo* ouvre ses fleurs, entre 8h et 14h, et demeurent ouvertes jusqu'à 72h [58].

L'enlèvement de l'éclosion du printemps, induit une deuxième éclosion des fleurs quelques semaines après [67]. Cette habilité est largement exploitée par les fermiers, dans différents pays pour obtenir des récoltes tardives.

Une nouvelle pratique en Sicile, et en Italie consiste à récolter les fruits de l'*Opuntia ficus indica* Mill en retard, sur la base que les bourgeons floraux et les nouvelles cladodes ont été enlevés pendant la première floraison, ainsi que pour induire la deuxième éclosion des bourgeons floraux et des nouvelles cladodes qui seront enlevés. Le double enlèvement des bourgeons floraux et des nouvelles cladodes induit une troisième éclosion des fleurs et des cladodes à la fin du mois d'Août. La production de la troisième éclosion est récoltée durant l'hiver entre Janvier et Mars [97].

2.2.6 Agents pollinisateurs

Les fleurs éphémères sont pollinisées par les insectes ou les oiseaux [56], chez l'*Opuntia* la pollinisation est entomophile [48]. En dépit de l'autogamie, une visite de pollinisateurs augmente le nombre d'ovules fertilisés. Les fleurs d'*Opuntia* sont visitées par des abeilles de diverses espèces. Bien que les fleurs ne restent ouvertes que pendant une courte période, les stigmates sont couverts par un nombre relativement élevé de grains de pollen [67]. Le groupe de pollinisateurs le plus riche inclut les hyménoptères (84 espèces plus 19 autres seulement identifiées au genre), suivi des coléoptères (11 espèces plus 7 identifiés seulement au genre), de 2 espèces des lépidoptères, et de 10 espèces d'oiseau [58].

Les informations disponibles sur la pollinisation, mentionnent que la taille des pollinisateurs correspond à la taille de la fleur. Les hyménoptères, mesurant de 1.0 à 1.6cm, ceux sont les pollinisateurs les plus efficaces dans la majeure partie pour l'espèce *Opuntia* [67], tandis que les plus petites fleurs, comme celles de l'*Opuntia pumila*, sont pollinisées par les petits hyménoptères mesurant entre 0.2 à 0.7 cm [58].

La pollinisation de l'*Opuntia* dans les îles de Galapagos est exceptionnelle, car effectuée par des oiseaux. Ces oiseaux ont de longs et minces becs, ainsi ils peuvent atteindre la base de la fleur et prélever le nectar. Trois pinsons *conirostris* de *Geospiza*; *difficilis* de *Geospiza* et *scandens* de *Geospiza* sont des pollinisateurs efficaces [57].

DEL CASTILLO (1999), estime que pour qu'un insecte visitant, devient un pollinisateur de l'*Opuntia*, il lui est exigé :

- Il doit mesurer environ 1,4centimètre de long;
- Il doit voler de fleur en fleur;
- Il doit descendre sur le stigmate;
- Que le temps passé sur la fleur doit être relativement court.

WEISS et al [58] ont signalé que chez l'*O. ficus indica*, 18.4 à 30.1% de grains de pollen déposés sur le stigmate germent et forment des tubes polliniques. Alors que jusqu'à 397 tubes peuvent être formés chez cette espèce, qui se développent au-dessus de l'épiderme glandulaire du canal intérieur du style [99]. La plupart des tubes sont lancés sur le stigmate et se développent vers la base du stylet [58].

2.2.7 Fécondation

La fécondation chez les plantes à fleurs peut être actuellement comprise comme la succession de deux phases, dans l'espace et dans le temps :

Une phase progamique, qui recouvre un ensemble de phénomènes qui se déroulent dans le pistil, depuis le dépôt de la graine de pollen sur le stigmate jusqu'à l'arrivée du tube pollinique au niveau du sac embryonnaire.

Une phase syngamique (de syngamique, étymologiquement fusion des gamètes), qui correspond essentiellement à la décharge du tube pollinique dans le sac embryonnaire, décharge qui se traduit, chez les angiospermes, par une double fécondation, ou double syngamie [94].

Il existe des voies de facilitation mécanique permettant au tube pollinique de cheminer du stigmate jusqu'au sac embryonnaire (élargissement des espaces intercellulaires, existence de canaux stylaires) [94]. Après la formation du tube

pollinique, celui-ci va pénétrer dans le stigmate à travers les cellules épidermiques, puis va gagner la partie centrale du style ou un tissu particulier va le conduire jusqu'à l'ovule (Figure 2.1) [100].

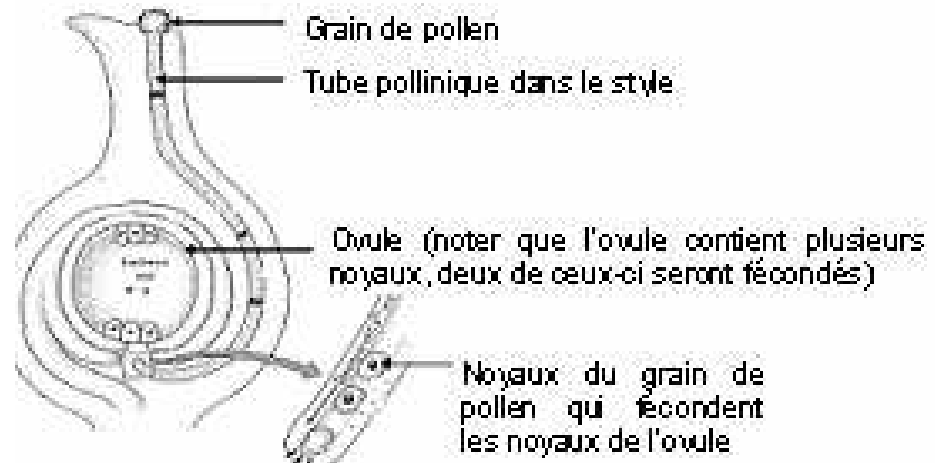


Figure 2.1 : Fécondation de l'ovule par le pollen tombant sur le stigmate [101].

ROSA et PIMIENTA [58] ont signalé que chez l'*Opuntia* les tubes polliniques atteignent la base du style 48 heures après la pollinisation et la fécondation de l'ovule commence 72 heures plus tard. Après quatre jours, 48% des ovules sont fertilisés. Les premiers tubes polliniques peuvent atteindre le microphyle de l'ovule, trois jours après l'ouverture de la fleur [67]. D'après ROSAS et PIMIENTA [58] ce type de fécondation est nommée le model «progamique».

Chez les cactus après la fécondation, le périgone et l'androcée se fanent et se détachent, laissant au sommet du fruit une cicatrice en entonnoir [29].

2.1.8 Nouaison

La nouaison débute par la chute de la plupart des pétales ainsi que par le dessèchement des anthères et de l'extrémité des styles, que l'ovaire reste attaché au réceptacle à la suite de la fécondation ou d'une autre stimulation pour les fruits parthénocarpiques [102].

L'*Opuntia* montre également un certain nombre de mécanismes biologiques, tel que la cléistogamie, l'apomixie et la polyploïdie, cela réduit les chances de la propagation sexuée [74].

- Cléiostogamie (pollinisation avant l'anthèse) : On désigne par cléistogamie les fleurs ne s'ouvrant pas à la maturité. Dans cette situation, les étamines restent proches du stigmate et le grain de pollen peut germer directement au contact de ce dernier. Seulement, il arrive que les grains de pollen ne soient même pas libérés des loges polliniques. Les grains commencent à germer, alors qu'elles sont dans l'anthère, et le tube pollinique transperce la paroi de l'anthère ou bien croit dans le filet et gagne parfois le réceptacle pour remonter finalement vers l'ovule [103]. D'après ROSA et PIMIANTA [60] ce phénomène a été observé chez l'*O. ficus indica*, et chez l'*Opuntia cochinera* et l'*O. robusta* [98].
- L'apomixie : C'est le développement des graines et des fruits sans fécondation [104]. C'est un processus où seul le génome maternel participe [105]. L'apomixie se produit fréquemment chez l'*Opuntia* [81].

Deux types d'apomixie peuvent être distinguées : Les cellules initiant précocement l'apomixie au sein de l'ovule utilisent une apomixie gamétophytique, c'est-à-dire avec une formation mitotique du sac embryonnaire avant méiose. C'est celui correspondant au développement d'un gamète femelle non réduit en embryon. Ce type d'apomixie peut relever de deux processus suivant l'origine de la cellule amorçant ces mitoses. Elle peut prendre la place dans la cellule mère de la mégaspore (amorce du gamétophyte femelle). On parle alors de diplosporie (pas de réduction $2n > n$). Si cette cellule a une autre origine, on parle d'aposporie. C'est celui du développement d'une graine à partir d'une cellule somatique de l'ovule. Il existe, par ailleurs, une apomixie adventive (tardive), prenant son origine dans le nucelle ou des cellules du tégument. Le développement de ces embryons suppose, en général, un développement parallèle de l'embryon zygotique normal, et, en particulier d'un accès à l'albumen. Mais il peut se développer aux dépens du nucelle [105].

Chez l'*Opuntia* le plus commun, est le développement des embryons adventifs du tissu nucellaire (agamospermie sporofitique) [106]. GARCIA et PIMIENTA [58] ajoutent que comme chez l'*Opuntia streptacantha*, l'embryon peut être développé sans fécondation (parthénogenèse diplosporique).

L'apomixie se produit généralement chez les espèces de l'*Opuntia*, en effet, 20 des 23 cultivars de fruit les plus importants de l'*Opuntia*, des montagnes de San Luis Potosi et de Zacatecas, forment des graines polyembryonies [58], bien que d'après MONDRAGON et PIMIENTA (1995), seulement 3 à 4 % des graines par fruit soient polyembryonies. L'apomixie est plus fréquente chez les cultivars xenogamies [58]. La polyembryonie a été également considérée comme preuve d'apomixie [58]. La polyembryonie est commune chez les populations sauvages de l'*O.robusta*, l'*O. cochinera*, l'*O. leucotricha*, l'*O. rastrera*, l'*O. streptacantha*, l'*O. joconostle* et l'*O. stricta*. Cela explique le développement de 2 à 3 plantules à partir d'une seule graine [58]. NIEDDU et CHESSA [58] trouvent qu'il y a 33% de la Bi-embryonie, 13% de la tri- embryonie et 4% de la tétra- embryonie, ont été observés chez l'*Opuntia ficus indica* .

Les fleurs de l'*Opuntia streptacantha* qui sont émasculées et isolées, induisent la formation des fruits normaux avec des graines avortées. Ceci a été interprété comme évidence d'apomixie [58].

Pour émasculer des fleurs, elles ont été traitées par l'acide gibbérellique (AG3) :

- Une application simple de 500 ppm d'acide gibbérellique (AG3) pendant l'anthèse.
- Une application de 100 ppm d'acide gibbérellique (AG3) au 22^{ème} et au 42^{ème} jour après l'anthèse [58].

L'acide gibbérellique (AG3) empêche le développement de graine et induit la croissance du fruit, mais cause également le développement d'un fruit avec une peau mince, peu de pulpe et une basse teneur totale des substances solubles [58].

- Fruits parthénocarpiques : Puisque les cellules épidermiques dans la couverture funiculaire ne se différencieront pas sans fertilisation, l'*Opuntia* ne peut pas produire les fruits parthénogénétiques [99]. Néanmoins, ces auteurs n'ont pas considéré la possibilité de parthénogenèse autonome (effectuée en l'absence de stimulus) [59]. Le cultivar BS1 palestinien d'*O. ficus indica*, produit les fruits parthénogénétiques autonomes [107]. Des cultivars parthénocarpiques naturels sont méconnues, mais quelques observations ont détecté des plantes qui poussent spontanément dont les fruits contiennent des graines avortées [58].

- La polyploïdie : Les cactacées ont un nombre de base $x=11$ chromosomes [41]. YUASA et al [108] mentionnent que chez l'*Opuntia*, il a été observé que le niveau de ploïdie dans les zones cultivées est plus élevé ($2n=66$ et $2n=88$) que dans les zones non cultivées ($2n=22$ et $2n=44$). Concernant l'*O. ficus indica*, de nombreuses sources indiquent que, la forme épineuse et la forme inerme ont $2n=88$ (Tableau 2.1), c'est-à-dire qu'elles sont toutes deux octoploïdes. D'autres auteurs considèrent en revanche cette espèce comme une diploïde, $2n=22$. Par des méthodes cytogénétiques, l'origine de l'*O. curvispina* a été confirmée pour avoir un niveau de ploïdie intermédiaire ($n=22$), en ce qui concerne l'*O. chlorotica* ($n=11$) et l'*O. phaeacantha* à $n=33$ [58].

Tableau 2.1 : Nombres de chromosomes chez certaines espèces d'*Opuntia*
[109]

Espèce	Nombre de chromosomes
<i>Opuntia robusta</i>	$2n = 2x = 22$ diploïde
<i>Opuntia robusta</i>	$2n = 4x = 44$ tetraploïde
<i>Opuntia streptocantha</i>	$2n = 2x = 22$ diploïde
	$2n = 2x = 44$ tetraploïde
	$2n = 8x = 88$ octoploïde
<i>Opuntia phaeacantha</i>	$2n = 4x = 44$ tetraploïde
<i>Opuntia megacantha</i>	$2n = 8x = 88$ octoploïde
<i>Opuntia ficus indica</i>	$2n = 8x = 88$ octoploïde

La polyploïdie ne se produit que pour 28% de toutes les cactacées. Cependant, elle joue un rôle important dans l'évolution de la sous-famille Opuntioideae avec un pourcentage de 63% [41].

2.3 Bases biologiques

Les opérations génétiques nécessaires à la création d'une variété se répartissent en quatre phases [110] :

- Phase I : Gestion des sources (ou ressources) dans lesquelles sont choisis les géotypes travaillés.

- Phase II : Remaniements dans les géotypes sources entraînant des ségrégations ou diversifications.

- Phase III : Sélection, dans la diversité génétique créée, s'accompagnant d'une stabilité des types retenus.

La deuxième et la troisième phases font appel à des opérations spécifiques telles que : l'hybridation

- Phase IV : Opération aboutissant à la multiplication en nombre du géotype sélectionné

2.3.1 Phase I/Collection des ressources génétiques d'*Opuntia* disponibles

La diversité génétique est essentielle, aussi bien pour le rendement de la récolte actuelle que pour l'amélioration des récoltes futures. Les collections de semences conservées dans les banques de gènes évoluent différemment, de celles

qui continuent d'être cultivées dans les champs des agriculteurs. La conservation souligne donc la nécessité de conserver les matériels génétiques *in situ* [29].

La réduction des populations d'*Opuntia* a obligé le ministère de l'agriculture au Mexique à installer un programme pour l'amélioration génétique de la figue de barbarie en 1961 à l'Université Graduée de l'Ecole Nationale de l'Agriculture. Le but était d'augmenter la production de fruit et d'améliorer l'alimentation des bétails dans les zones semi-arides du pays, qui dépendent en grande partie de l'*Opuntia* pendant les sécheresses [25].

La multiplication de l'*Opuntia* a commencé au Brésil en 1985, avec 85 copies obtenues à partir des graines dérivées de la pollinisation ouverte de cultivar Palma Redonda (cultivar brésilien), plus 17 autres copies de plusieurs endroits brésiliens.

L'introduction continue du matériel génétique d'Algérie, du Mexique, de l'Afrique du sud et des Etats-Unis, a augmenté le nombre d'entrées à 1400 copies à l'Insituto Pernambucano Font Pesquisa Agropecuaria. Une productivité plus élevée et une meilleure valeur nutritive, aussi bien que l'adaptation à des environnements plus humides et plus chauds, sont les buts de ce programme [111].

Malgré l'homogénéité des ressources génétiques en Europe, il y a des diversités dans les caractéristiques botaniques. Des études récentes sur ces ressources représentent la variabilité génétique dans le gène détecté à l'intérieur de la population européenne, en faisant des prélèvements des deux environnements : cultivé et naturel [112]. L'évolution de l'*Opuntia* dans les environnements arides et semi-arides a mené au développement des traits anatomiques, morphologiques et physiologiques adaptatifs, et à des structures d'usines particulières [48]. Leur phénotype, qui changent considérablement selon des conditions écologiques, leur polyploïdie avec un grand nombre de populations qui se reproduisent végétativement et sexuellement, et l'existence de nombreux hybrides, autant que presque toutes les espèces fleurissent pendant la même période de l'année, sans qu'aucune barrière biologique ne les sépare [46].

La domestication d'*O. ficus-indica* a commencé il y a environ 8.000 ans [109]. Il existe une forme épineuse et une forme inerme. De la forme sylvestre ou épineuse (*O. megacantha* Salm-Dick) dérive la forme sans épines (*O. ficus-indica*). BRITTON et ROSE [23] notent que de nombreux autres noms spécifiques, comme *Strepthacanthae* et *Ficus-indicae* correspondent à de simples variations morphologiques d'*O. megacantha*. GRIFFITH [5] ajoute que la démonstration la plus évidente est que *O. ficus-indica* est une forme d'*O. megacantha*, est que, sporadiquement et en particulier dans des conditions de stress, certaines raquettes de la forme inerme peuvent commencer à développer des épines.

Plusieurs hypothèses du point de vue génétique ont été suggérées par MONJAUZE et LEOUEROU (1966), à savoir :

- Le caractère épineux serait dominant sur le caractère inerme ;
- Les formes épineuses seraient hétérozygotes, pour ce caractère et de type à dominance intermédiaire.

L'existence d'un polymorphisme remarquable du système peroxydase chez l'*O. ficus indica* permet d'envisager l'utilisation de ses peroxydases comme marqueurs permettant l'identification des différents écotypes et provenance de cette espèce [76]. Les peroxydases (la EC 1.11.1.7) ont été employées par KHALES et BAAZIZ (2004) comme marqueurs pour l'identification des écotypes marocains (*O. ficus indica*), elles ont été extraites à partir des cladodes fraîchement moissonnés de 9 écotypes d'*O. ficus indica* Mill., à Marrakech.

Parmi les objectifs de collection des ressources génétiques, il ne faut pas perdre de vue que les objectifs généraux sont doubles :

- Rapporter le maximum de diversité génétique pour le complexe étudié (conservation d'une banque de gène).

- Déterminer les mécanismes générateurs de cette diversité et localiser les sites ou ces mécanismes semblent mis en oeuvre (conservation dynamique des ressources génétiques et connaissance de leur gestion).

Le premier point vise des conservations centralisées plus ou moins indépendantes des zones d'origine, le deuxième point, prépare la constitution de conservation dynamique (réserve, station de conservation reproduisant les mécanismes d'entretien et de création de diversité) [113].

2.3.2 Phase II/ L'hybridation

En génétique végétale, lorsqu'on emploie le terme hybridation, on étend tous les croisements à l'intérieur d'une espèce (intra spécifique) ainsi que les croisements entre espèces, interspécifique [114].

Par l'hybridation, on se propose d'améliorer le matériel existant en croisant les espèces ou les variétés entre elles, afin d'obtenir de nouveaux plants ayant des aptitudes culturales plus intéressantes que chacun des parents.

De plus, cette fécondation croisée permet d'avoir une augmentation de la vigueur (hétérosis), dûe à l'hétérozygotie, alors que l'autofécondation des variétés entraîne une diminution de la vigueur (effet inbreeding).

2.3.2.1 L'hybridation naturelle

L'hybridation naturelle se produit lorsque deux espèces compatibles ont une aire sympatrique (poussent dans la même région) et lorsque les dates de floraison de ces deux espèces coïncident [114].

La variabilité des populations sauvages et domestiques des cactacées augmentent à travers l'hybridation naturelle [114]. Il y a une grande variabilité d'inter-population et d'intra-population des *Opuntia* du Texas central. Cette variation

est dûe principalement à l'hybridation entre trois sous espèces sympatriques : *Opuntia lindheimeri*, *O. edwardsii*, et *O. phaeacantha* [115]. L'hybridation chez l'*Opuntia* dans des conditions normales est très haute. Dans des champs situés en montagnes de San Luis Potosi et de Zacatecas, des emplacements ayant jusqu'à 11 espèces sympatriques d'*Opuntia* peuvent être trouvés, avec des chevauchements importants dans la phénologie et les pollinisateurs floraux. Cependant, il est probable que l'hybridation naturelle dans ce genre soit plus haute dans les jardins de maison, où jusqu'à 18 variantes différentes d'*Opuntia* coexistent [58].

L'hybridation naturelle de l'*Opuntia* est fréquente, c'est l'une des sources principale de la diversité [116].

Chez l'espèce *Opuntia ficus indica*, on distingue deux variétés; les variétés inermes et les variétés épineuses, il existe plusieurs variétés intermédiaires entre la forme très épineuse et la forme inerme. Cette variabilité entre espèces et variétés est dûe à l'hybridation naturelle, résultant de l'influence des conditions pédoclimatiques diverses des régions de culture de cactus [22]. L'hybridation dans les populations normales de la Californie méridionale a été élucidée par WALKINGTON (1966), cité par GIBSON et NOBEL (1986), basé sur des études morphologiques et de produits chimiques. Ces résultats ont indiqué que les usines des *Opuntia* sont venues d'un croisement naturel entre deux *platyopuntia* indigènes : *O. megacantha* et *O. ficus indica*. L'hybride a des caractères morphologiques intermédiaires entre les deux parents [116].

Les espèces telles que l'*O. cholla*, l'*O. spinosior* et l'*O. versicolor* se reproduisent sexuellement des hybrides, par hybridation naturelle en Arizona avec un degré élevé de variation individuelle. Le modèle de la variation de ces populations hybrides peut être comparé à celui des populations dérivées du croisement de l'*O. spinosior* et de l'*O. fulgida*, où les hybrides se reproduisent végétativement plutôt que par des graines [117].

Dans les populations sauvages des *Opuntia*, les usines situées dans la périphérie, montrent une plus grande variabilité par rapport à celles qui croissent au milieu, ceci est probablement dû à une plus grande exposition à l'échange génétique avec d'autres espèces et génotypes [117].

Tous les cultivars mexicains sont décrits comme produits de l'hybridation naturelle de l'*O. ficus indica* avec différentes formes sauvages d'*Opuntia* [118]. Au Brésil le cultivar *IPA-Clone 20'* a été sélectionné parmi les graines pollinisées librement de l'*O. ficus indica* Mill [116].

L'auto-pollinisation a été confirmée par WANGS et al (1997), avec une preuve d'hybridation impliquant six espèces d'*Opuntia*. Le succès de l'autopollinisation est également confirmé dans les vergers commerciaux, où de grands blocs de fruits figés d'un cultivar simple et graines sans besoin apparent de variétés pollinisatrices spéciales, sont rapportés par DAMIGELLA cité par NERD et MIZRAHI, (1995).

2.3.2.2 L'hybridation contrôlée

L'hybridation contrôlée ou artificielle des espèces, présentant des caractères intéressants sont croisés dans les programmes d'amélioration (Tableau 2.3).

Tableau 2. 2 : Récapitulatif des exemples de l'hybridation contrôlée [98]

Male	Femelle	Hybride
<i>O. cochinera</i>	<i>O .robusta</i>	<i>O. cochinera</i> X <i>O .robusta</i>
<i>O. edwardsii</i>	<i>O .lindheimeri</i>	<i>O. edwardsii</i> X <i>O .lindheimeri</i>
<i>O. edwardsii</i>	<i>O. phaeacantha</i>	<i>O. edwardsii</i> X <i>O. phaeacantha</i>
<i>O. engelmannii</i>	<i>O. phaeacantha</i>	<i>O. engelmannii</i> X <i>O. phaeacantha</i>
<i>O. lindheimeri</i>	<i>O. phaeacantha</i>	<i>O. lindheimeri</i> X <i>O. phaeacantha</i>
<i>O. robusta</i>	<i>O. streptocantha</i>	<i>O. robusta</i> X <i>O. streptocantha</i>
<i>O.ficus indica</i>	<i>O.phaeacantha</i>	<i>O.ficus indica</i> X <i>O.phaeacantha</i>

L'hybridation de l'*Opuntia* a été réclamée la première fois par Luther Burbank en Californie au début des années 1900. Plusieurs cultivars ont été développés, et Burbank a agressivement lancé cinq cultivars sur le marché. Aujourd'hui, quatre de ces cultivars sont toujours dans la collection sud-africaine [116]. *Opuntia vulgaris balearica* Web., est une variété hybride obtenu par Burbank, est très prisée en Espagne, en Afrique du Nord et dans bien d'autre pays [39]. Les premières hybridations d'*Opuntia* au Mexique ont été menées pendant les années 60 par le Docteur Barrientos du Collège Postgraduados de Chapingo Pioneered [116].

Cette étude évalue les capacités d'hybridation parmi cinq espèces d'*Opuntia* *O. streptacantha*, *O. robusta*, *O. cochineria*, *O. leucotricha*, et *O. rastrea*, qui coexistent dans un "nopalera" dans San Luis Potosi au Mexique. Des croisements inter et intra-spécifiques et des autopollinations artificielles ont été exécutés, un ensemble de fleurs a été mis en sac afin d'évaluer l'autogamie, et d'autres fleurs ont été émasculées afin d'évaluer l'agamospermie.

L'ensemble des fruits, de graines, et la germination ont été employés comme variables de réponse. Tous les croisements de l'*Opuntia* (*O. streptacantha* X *O. robusta* ; *O. Cochineria* X *O. robusta* et *O. cochineria* X *O. leucotricha*...), ont produit des graines viables, bien qu'on ait observé un degré plus élevé de compatibilité. Tandis que l'*O. leucotricha* montre une auto-compatibilité avec l'*Opuntia robusta*, l'*O. streptacantha*, et l'*O. restrea*. L'espèce a montré une dégradation dans le site de contact d'anthere-stigmate. [119].

2. 3. 2. 3 Les objectifs de l'hybridation

L'objectif final de l'hybridation est d'obtenir un matériel végétal performant, haut producteur, tolérant aux stress environnementaux, donnant satisfaction à

l'utilisateur, parfaitement homogène pour l'inscription au catalogue officiel des nouvelles variétés.

2. 3. 2. 3. 1 Au plan agronomique

2. 3. 2. 3. 1 Productivité

La productivité est définie comme le rendement maximal que pourrait atteindre un génotype placé dans un milieu optimal, duquel serait absent tout facteur pouvant limiter l'expression du rendement [120].

La productivité de l'*Opuntia* est très haute, comparée à la plupart de végétation indigène dans les conditions semblables. Elle produit jusqu'à 10 t/ha /an dans les zones arides, 10-20 t/ha/an dans les zones semi-arides et 20-30t/ha/an dans des secteurs secondaires humides [85].

Chez l'*Opuntia*, la sélection des cultivars à haute productivité a été mise en œuvre dans plusieurs pays, après des études ethnobotanique. Au Mexique, les espèces les plus utilisées : sont *O. amarilla*, *O. albicarpa*, *O. ficus indica*, *O. lasiacantha*, *O. robusta* et *O. streptocantha* [121]. Plusieurs cultivars ont été développés, ils sont nommés généralement d'après la coloration des fruits à maturité [122]. Parmi ces cultivars Pabéllon et CPF, sont les plus appropriées, tous les deux sont fortement productifs [88].

2. 3. 2. 3. 2 Adaptation au milieu

Adaptation au milieu physique « la résistance au froid » : Le froid influe négativement sur la croissance de la plante, d'ou tout le métabolisme de celle-ci pourrait être freiné, sinon arrêté. Il y a influence directe sur l'absorption, l'assimilation et également sur la circulation de la sève. Les chutes intenses du froid sont responsables de nombreux troubles physiologiques [123]. Chez l'*Opuntia* le manque de résistance au gel est probablement dû à l'écart de température entre le jour et la nuit et pas au manque de la résistance au froid [116].

Chez l'*Opuntia*, la sélection des génotypes résistants au froid a été menée depuis 1963 par le Dr Lorenzo à l'Université d'Antonio Naro dans le nord du Mexique. Les meilleurs individus au nombre de 31 ont été sélectionnés dans des conditions peu communes du froid à -16°C , ainsi que les génotypes régionaux qui ont également survécu au gel [116]

Quelques analyses au champs ont prouvé que; quand les températures de nuit chutent à -17°C , de jeunes cladodes d'*O. ficus indica* sont presque totalement détruites [82]. Nobel [82] note que l'*O. streptocantha* a été détruite à des températures de -5°C et -8°C . En revanche, quelques espèces montrent la tolérance aux basses températures, telles que l'*O. ellisiana* inerme, qui n'a éprouvé aucun dommage à des températures de -20°C et le clone ± 1233 a eu seulement de légers dommages à une température de -20°C [84]. Ainsi *O. lindheimeri* a montré une tolérance à -20°C à Kingsville [116]. Certaines espèces adaptées en régions méditerranéennes arriveraient à résister à des températures comprises entre -5 et -10°C . Il s'agit de l'*O. dittenii* et l'*O. compressa var. Helvetica* [124].

Certains des ségrégant du croisement entre *O. ficus-indica* x *O. engelmannii* var *lindheimeri* semblent avoir plusieurs caractéristiques du parent épineux résistant au froid (les fruits et les cladodes bleuâtres) mais sans épines [125].

Certains auteurs ont montré que le site d'action du gel sur les tissus végétaux est localisé au niveau des membranes cellulaires. Ainsi, pour que la plante résiste au froid, elle doit nécessairement impliquer au niveau cellulaire un mécanisme de protection des structures membranaires ; pour cela, de nombreuses études *in vitro* portant sur les membranes chloroplastiques et des cellules végétales en suspension, ont en effet, démontré clairement que la destruction des membranes cellulaires par le gel peut être empêché. C'est des substances tels que les sucres, les acides organiques, les protéines et certains acides aminés, en particulier la proline, sont présents dans leur environnement pendant le gel [126].

La principale fonction des sucres solubles est d'augmenter la température de la cellule pour qu'il n'y ait pas cristallisation de l'eau et la formation des cristaux.

En ce qui concerne les protéines, parmi les acides aminés qui s'accumulent avant et pendant l'acquisition de la résistance au gel, la proline présente l'augmentation la plus rapide et la plus intense, elle maintient la complète hydratation des enzymes et des protéines membranaires pendant le gel.

L'amélioration de la teneur en protéines : Selon plusieurs auteurs, chez l'*Opuntia* la teneur en protéines est faible. Pour améliorer la teneur du cactus en protéines, l'utilisation des choix génétiques contenant plus de protéines, en utilisant la sélection génétique des cultivars ayant une teneur plus élevée en protéines paraît la méthode la plus efficace [127].

L'âge des cladodes est un facteur important pour la valeur nutritive [27]. RETMAL et al [28] affirment que les jeunes cladodes d'*O. ficus indica* présentent une teneur plus élevée en protéines; environ 10.6 à 15% alors que les cladodes mûres changeaient de 4.4 à 11.3% teneur en protéines. L'effet du cultivar est illustré par une étude comparative, entreprise au Brésil de cultivars de fourrage pour la production laitière [27], le cultivar Palma Redonda brésilien (≠ 1270); présente une teneur de 11% de protéines dans chacune des quatre classes d'âge. Alors que l'*Opuntia* autochtone du Texas présente 11% de protéines dans la plus jeune des classes [127].

Adaptation au milieu biologique « la résistance aux maladies » : Les sélectionneurs cherchent comme critère de sélection, la création de variété génétiquement résistantes aux parasites et aux agents pathogènes, ils s'intéressent particulièrement aux maladies cryptogamiques (Rouille, Mildiou, Pourriture).

Une étude a été menée en Afrique du sud pour examiner 38 variétés de fruits de cactus pour la résistance à trois microbes pathogènes fongiques

importants (*Phialocephala virens*, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium proliferatum*). La progression de la maladie a été surveillée sur les cladodes mûres, plus de 52 jours suivant l'inoculation artificielle. Il n'y avait aucune différence substantielle dans la virulence des deux pathogènes de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* et *Fusarium proliferatum*) testés à travers toutes les variétés. Les variétés les plus sensibles aux trois pathogènes fongiques étaient Roly poly, Zastron, et Directeur. Les variétés les plus résistantes sont : Amersfoort, Algérien, et Meyers [128].

2.3.2.3.2 Au plan qualitatif

2.3.2.3.2.1 Production des variétés inermes ou avec une densité minimum des épines sur les cladodes

Les cultivars inermes sont préférés pour la production de fourrage, ils sont plus faciles à manipuler et à traiter, ils présentent également peu de problèmes pendant l'alimentation [88].

Les régions à faible pluviométrie, les caprins consomment les fruits de cactus et les raquettes avec leurs épines ; ce qui provoque des lésions gastro-intestinales, infectées par la suite, par les bactéries [129]. Les raquettes de cactus épineux sont des aliments de valeur à condition qu'elles soient désépinées [130].

Chez l'*Opuntia* les premières tentatives de production des cultivars inermes ont été réclamées pour la première fois par Luther Burbank au début des années 1900. L'*Opuntia vulgaris balbearia* Web obtenue par Burbank; est une variété dépourvue d'aiguillons [116]. *Robusta*, *Monterey* et *Chico* sont des cultivars à cladodes inermes, ils ont été introduits en Afrique du Sud en grain, de la pépinière de Burbank, pour être cultivés en tant que fourrage [116].

ANF1 et *ANV1* sont des cultivars qui ont été développés pendant les années 60 par l'Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro décrits comme inermes et appropriés à la production du fourrage [116].

En 1975, les généticiens mexicains avaient produit plusieurs variétés d'*Opuntia* inermes dont *CPF1*, *Pabellon* et *CPV1* [25].

En Afrique du Sud, il y a trois espèces de cactus inermes, utilisées pour la production de fourrage : *O. robusta*, *O. fuscicaulis*, et *O. ficus indica* inermes [114].

Dans le cadre d'obtention de variété inermes, un croisement réalisé entre un parent femelle inermes (*O. ficus-indica* 1281) et un parent épineux (*Opuntia lindheimeri* var. *engelmannii*1250), donne un hybride caractérisé par des cladodes inermes [125].

L'hybridation étudiée de l'*Opuntia* octaploïdique (fruit commercial), est un croisement entre une femelle inermes et un mâle épineux, a eu comme conséquence 57 % d'hybrides inermes ($n=84$). Dans un autre croisement, entre une femelle épineuse et un mâle inermes, 63 % d'hybrides ($n=84$) étaient donnés inermes. Quand les deux parents sont sans épines; 92 % d'hybrides ($n=155$) étaient inermes [125].

2.3.2.3.2.1 Production des fruits de qualité

FELKER et al [125] ont suggéré que les caractéristiques internationales de la plupart des qualités du fruit désiré chez l'*Opuntia* soient : la dimension de fruit > 120g, pourcentage de pulpe > 55 %, Brix > 13 %, fermeté de pulpe > 1kilogramme, rendement > 20 000 kilogrammes ha⁻¹, Durée de conservation à 2° C > 4 semaines et nombre de graines < 3.5 graines par 100g de pulpe. Aucune variété connue actuellement ne peut réunir tous ces critères en même temps.

La présence de graines épaisses et dures, constitue la contrainte la plus sérieuse à la consommation de figue de Barbarie. Dans les cultivars d'*Opuntia*, la présence d'un grand nombre de graines dans le fruit est considérée comme un obstacle, pour élargir sa commercialisation [68]. L'avantage des graines avortées est qu'elles sont assez petites pour être consommées avec peu de difficulté [131].

Quelques observations ont détecté des plantes d'*Opuntia* qui poussent spontanément dont les fruits contiennent des graines avortées [132].

Les véritables variétés aspermes ne sont pas possibles, parce que la pulpe du fruit se développe à partir du funicule des graines [69]. Un clone parthénocarpique (BS1), a produit 100 % de graines avortées, sans hormones de croissance [107]. Hors, cette variété n'était pas commercialement acceptable en raison de la petite dimension du fruit. En Italie l'*Opuntia amyclaea* (variété *leucosarca*) se développe et produit un fruit presque sans graines (5-10 graines/fruit) avec des "stenospermiques" graines non viable [131].

2.3.3 Phase III/Multiplication

2.3.3.1 Multiplication par la voie sexuée

La culture de poire de cactus se base actuellement sur la multiplication végétative, cette technique est peu compliquée et garantie les traits du cultivar. Cependant, la multiplication clonale peut impliquer un risque sérieux de maladie, dû à la variabilité génétique réduite. En revanche, la propagation par des graines est une importante méthode qui permet la diversité génétique des populations et de l'espèce à maintenir [133].

La germination des graines de l'*O ficus indica* peut atteindre 90%. Un taux de germination de 55% est atteint quand les graines sont maintenues à la température ambiante et 43% si les graines sont maintenues à une température mensuelle moyenne de 30C° [74]. BELTRAN (1984), a obtenu des taux de germination de 71% et de 42% pour l'*Opuntia streptacantha* et l'*Opuntia. Robusta*, placés dans des chambres de culture à une température constante de 35C° ±3.

L'avantage de la reproduction sexuée chez l'*Opuntia* est la reproduction des individus génétiquement uniques, qui contribuent à maintenir la variabilité génétique de l'espèce, le potentiel d'être dispersée plus facilement [135]. Par

ailleurs, les plantes obtenues à partir de graines d'espèce sans épines, peuvent générer des formes épineuses, caractérisées par une grande variabilité [22]. Dans des conditions de stress, certaines raquettes de la forme inerme peuvent commencer à développer des épines [5].

Le phénomène qu'on peut relever lors de la multiplication par les graines est la polyembryonie, c'est à dire la formation de plusieurs embryons. L'un d'eux est en général d'origine sexuée et dérive de la fécondation du sac embryonnaire, les autres sont appelés apomictiques, ils dérivent des cellules du même sac embryonnaire ou des tissus du nucelle [81].

La graine constitue la forme la plus commune de reproduction chez les cactacées, elle ne peut pas germer dans le fruit à cause de la présence des inhibiteurs de germination comme c'est le cas de la tomate et du melon [55].

POTTER et al [108] rapportent qu'un certain nombre de traitements ont été employés afin de lever la dormance des graines, récemment rassemblées avec des résultats variables :

- Scarification mécanique, plus l'immersion dans l'acide gibbérellique;
- Immersion dans l'eau à une température de près de 100 C° pendant 5 à 20 minute.
- Immersion dans de l'acide sulfurique concentré, ensuite lavée et imbibée d'acide gibbérellique.
- Immersion dans une solution de HCl à 20 % pendant 24^H;
- Trempage dans l'eau courante pendant 24, 48 et 72 h [106].

Des études effectuées au Texas montre que les graines, ayant traversé les tubes digestifs des bétails, ont montré des pourcentages de germination 1.5 fois plus grands que ceux des graines enlevées des fruits [136].

2.3.3.2 Multiplication végétative

2.3.3.2.1 Multiplication par bouturage

La multiplication asexuée est un événement commun pour beaucoup d'espèces d'*Opuntia*, le type le plus connu de multiplication végétative est la propagation par des cladodes détachés [67]. C'est le moyen le plus commun de la propagation chez l'*Opuntia*. Sachant que la cladode comporte un grand nombre de tissus méristématiques appelé les aréoles. [81].

Cette technique de multiplication présente plusieurs avantages : Elle est simple; rapide et économique. Elle permet l'obtention de plantes uniformes et identiques à la plante-mère, cela est particulièrement utile quand on souhaite maintenir les caractères favorables [81].

Dans les conditions naturelles ou le figuier de barbarie est spontané, la multiplication se produit facilement suite à la chute des raquettes par abscission naturelle ou grâce à l'intervention des animaux [23].

Celles-ci peuvent également être entraînées lors d'inondations, et coloniser ainsi de nouveaux territoires. Une bouture est capable de produire des fruits dès l'âge de 3 ans [24]. Les boutures sont prélevées sur des arbres en pleine production; choisis pour leur productivité la qualité de leurs fruits et le nombre de leurs récoltes quelles soient unifères ou bifères [26]. Les boutures du figuier de barbarie sont formées par une raquette de deux ans, avec deux ou trois raquettes d'un an [70].

Le problème le plus commun avec de nouvelles plantations de cactus est la putréfaction de la matière végétale au niveau de coupe [127]. Le séchage des cladodes avant la plantation est nécessaire afin d'éviter la pourriture [31]. Les cladodes sont coupées au niveau de la jointure avec un couteau pointu, la base est désinfectée avec le mélange de bordeaux (1kg de sulfate de cuivre+1kg d'hydroxyde de calcium dans 100 litre d'eau [16], elles sont ensuite posées à plat

sur le sol ameubli, et recouvertes partiellement d'une pierre, pour éviter qu'elle ne soit déplacée par le vent ou les petits animaux [20].

2.3.3.2.2 Multiplication par rejet

La multiplication par rejet, constitue une alternative en cas d'échec du bouturage. L'agriculteur procède à une sélection de 3 à 4 rejets pour rajeunir le pied-mère. Deux ans après, lorsque les rejets atteignent 1.50m, un seul est conservé. Ce mode de multiplication permet d'obtenir des sujets de bonne vigueur à cause du système racinaire déjà développé par le pied- mère [26].

2.3.3.2.3 Multiplication par rhizomes

Dans les montagnes de San Luis Potosí, les fermiers rassemblent des rhizomes de l'*O. pachyrrhiza* et l'*O. megarhiza*, et les transplantent. Dans des conditions normales, les rhizomes pourraient donner des colonies autour de la plante-mère qui s'est développées d'une graine [137].

L'*Opuntia polyacantha*, produit des pousses à partir de grands stolons souterrains dont le plus longue mesure, 1.6 m [138].

2.3.3.2.4 Multiplication par fleurs écloses

Les fleurs écloses, les aréoles du réceptacle, qui est un thalle modifié, ont la capacité de différencier des racines et des pousses végétatives [81]. La différenciation de bourgeons à fleur est faisable, durant la 1^{ère} ou la 2^{ème} année. Cependant, le premier rendement est bas, vu la présence de quelques cladodes seulement, capable de produire ces bourgeons [68].

2.3.3.2.5 Multiplication par fruits

Les fruits ont la capacité de différencier des racines et donnent de nouvelles plantes [11].

2.3.3.2.6 Multiplication par greffage

On pratique peu la greffe, elle a surtout un but ornemental, pour obtenir des formes curieuses ou décoratives (Figure 2.2).

L'*Opuntia ficus indica* est recommandée comme porte-greffe, elle présente la particularité de rarement émettre des rejets après une greffe, De plus, comme elle accueille la greffe très facilement et peut vivre plusieurs années [139]. L'*O. ficus indica* sert de sujet pour la greffe en fente des *phyllocactus* et pour la greffe par approche des cactacées de forme aplatie. Le greffon étant maintenu en place par un bracelet en caoutchouc [53].

Peu d'*Opuntia* semble avoir besoin de la greffe pour être multipliés. La plupart de ces plantes rustiques forment facilement de nouvelles racines à partir d'une simple bouture [139].



Figure 2.2 : Exemple de greffage l'*Opuntia ficus indica* (épineux) sur l'*Opuntia Cochinillifera*, A : au moment de la greffe; B; après reprise de la greffe [139].

CHAPITRE 3

FACTEURS LIMITANTS, ETABLISSEMENT DE PLANTATION ET IMPORTANCE DU GENRE OPUNTIA

3.1 Introduction

Les *Opuntias* présentent des qualités exceptionnelles de résistance à la sécheresse et des consolidations des sols ingrats. Malgré les exigences limitées en pluviométrie, l'*Opuntia ficus indica* nécessite des conditions écologiques minimum qui doivent être satisfaites.

Le figuier de barbarie est généralement cultivé en tant que fruit et plante fourragère dans beaucoup de pays. Il a également été utile en empêchant la dégradation à long terme des environnements écologiquement faibles.

3.2 Facteurs limitatifs de la culture et la production

3.2.1 Facteurs abiotiques

- Précipitation : le cactus et d'autres arbustes tolérants à la sécheresse peuvent survivre sous des précipitations plus basses que 50 mm en année particulière, mais sans croissance ni production [140].

LE HOUEROU [82] estime que les précipitations annuelles moyennes de 120-150 mm correspondent au minimum exigé, pour établir avec succès la plantation des cactus. Ces limites peuvent être appliquées dans le bassin méditerranéen, le nord et le sud de l'Amérique [140]. D'après le HCDS, (1989), en Afrique du nord, cette espèce qui croit aux pluviométries comprises entre 150 et 1500 mm/an, peut s'imposer comme plante fourragère entre les isohyètes 200 et

400 mm/an, inférieurs à 200 mm/an. Il est nécessaire de choisir des sites recevant un apport d'eau par ruissellement.

- **Température :** Ces arbustes des climats doux, aiment les expositions ensoleillées et ne résistent pas au gel [24]. Des observations réalisées sur plusieurs espèces du cactus, montrent que les températures froides des hivers sont la principale limitation à la culture du cactus [140]. Le figuier de barbarie est résistant au froid et peut supporter les gelées de l'ordre de -5 °C. Ses besoins en chaleur sont importants et se situent entre 15 et 25 °C durant la phase de croissance du fruit [22]. Le cactus peut pousser dans les régions où la température est de 15 °C et même à 58 °C [5].

- **Humidité :** Le figuier de barbarie se développe normalement selon LE HOUEROU (1996), sous les climats des zones arides et semi-arides du nord et l'est de l'Afrique où l'humidité moyenne est supérieure à 60 %.

- **Limites altitudinales :** Les limites thermiques où se développe le cactus n'excèdent généralement pas les 1000 m d'altitude [124]. L'*Opuntia* pousse à des altitudes variant de 3 m dans les régions de Annaba et 1100 m à Ain Safra, le même auteur en 1940, ajoute que l'*Opuntia* se rencontre à des altitudes de 950m entre Batna et Biskara, sur les hauts plateaux constantinois, à 850 m environ. A 650 m (Bou Saada et M'sila), et 750 m à Laghouat [45]. Au Maroc, dans la région de Moulay Idriss, près de Meknès à des altitudes de 500 à 800 m, des plantations de cactus destinées exclusivement à la production de fruits connaît une extension constante [124].

- **Le sol :** Les espèces du genre *Opuntia* présentent des caractéristiques biochimique, physiologique et écologique, leur permettant de se développer dans les milieux difficiles, caractérisés par une faible fertilité du sol. Du point de vue pédologique d'après le HCDS (1998), les conditions pédologiques optimales pour le développement du cactus sont comparables à celles de l'olivier. Le cactus s'accommode mal à des sols hydro-morphes et asphyxiants. Il n'a par contre,

aucune exigence vis-à-vis de la nature chimique du sol et peut supporter sans dommage les sols gypseux ou les sols légèrement salins à condition qu'ils soient bien drainés [128]. Les cactus sont tolérants à des pH basiques jusqu'à 8.5 et la conductivité électrique maximum à la saturation de sol ne devrait pas excéder 5-6 ms/cm. La majorité des espèces d'*Opuntia* préfèrent des sols légèrement acides, l'espèce *Opuntia ficus indica* est même rencontrée sur des sols calcaires [26].

- Topographie et exposition : Les travaux de MONJAUZE et LE HOUEROU (1966), ont permis d'estimer que les cactus préfèrent d'une façon générale, les piémonts. Ils sont plus à l'aise sur les piedmonts, que dans les plaines. Ils ne peuvent se maintenir et vivre convenablement, que dans les terrains poreux, légers ou l'eau ne séjourne pas. Cette exigence est plus impérative quand on s'approche de la limite thermique (5 °C en Janvier) [20]. Dans ce cas il faut établir des plantations en situation de "ceinture chaude" c'est-à-dire les pentes et les coteaux qui dominent les vallées et éviter le centre ou les masses d'air froid séjournent longtemps [27].

3.2.2 Facteurs biotiques

3.2.2.1 Maladies cryptogamiques

- Rouille (*Phyllosticta opuntia*) : Urédinée qui se manifeste par de petites taches de couleur jaune rouille, circulaire, pouvant s'étendre en plaque irrégulière d'un blanc sale ou cendré. Ce sont surtout les raquettes de deux ans qui, une fois attaquée, n'émettent que peu de cladode et finissent par se dessécher [141]. La rouille est présente dans les zones humides, il faut traiter au cuivre et supprimer les raquettes parasitées [124].

- Mildiou des cactus (*Phytophthora cactorum* et *P. omnivera*) : Met en fermentation le suc cellulaire et se propage avec une rapidité déconcertante [12]. Les symptômes de la maladie se présentent sous forme de cloque soulevant l'épiderme, d'état chlorotique prononcé et de taches brunâtres qui envahissent les

fruits et les raquettes [124]. Une lutte préventive consiste à couper et à incinérer les parties atteintes de la plante [141].

3.2.2.2 Parasite

- La cératite (*Ceratitis capitata* Wied) : C'est la mouche méditerranéenne des fruits, qui peut occasionner des dégâts importants certaines années dans les plantations mal entretenues. Un insecticide de synthèse peut débarrasser facilement cet insecte [141].
- Les cochenilles : Généralement polyphages, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et inféodés à une seule espèce de cactée. La lutte contre les cochenilles nécessite des traitements aux huiles blanches ou au parathion [141].
- L'insecte de blanche blindée (*Echinocacti bouché de Diaspis*), également connu sous le nom de « moule » ou « pou » (en portugais, Mofo ou Piolho), son attaque est plus grave en années plus sèches dans les plantations mal contrôlées [18].
- Les nématodes : Endommagent gravement les racines des plantes [53]. A Hawaii et en Afrique du sud, trois insectes ont été utilisés avec succès pour la lutte biologique : le papillon *Cactoblastis cactorum* (pyralidae), la cochenille *Dactylopius opuntiae* (dactylopiidae) et le charançon *Metamasius spinolae* (curculionidae). Il est à noter que *Cactoblastis cactorum*, introduit en Floride, s'est attaqué à des espèces autochtones [24].

3.3 Etablissement de plantation

La préparation du sol : peut se faire selon plusieurs possibilités :

- Labour de la totalité de la surface;

- Labour sur ligne de semis avec une scarification sur l'interligne;

L'apport du fumier se fait à la plantation, en enfouissement au moment du labour, on y ajoute 100 unités de $P_2 O_5$;

Le séchage des raquettes avant la plantation pour diminuer la richesse en eau et éviter le risque de pourriture;

La fumure de couverture il faut appliquer d'azote unités par hectare [142]. Différents essais sur la fertilisation, réalisés dans différentes parties du monde, montrent que la fertilisation détermine une remarquable augmentation de la production, tant des fruits que des raquettes. Des applications importantes d'azote, jusqu'à 160 kg/ha, favorisent l'augmentation du nombre de nouvelles raquettes chez l'*Opuntia engelmannii*. En accord avec GONZALES [23] la fertilisation porte non seulement, sur une augmentation de la production, mais aussi sur une augmentation de la teneur en protéines. En effet, les essais de fertilisation azotée réalisés sur *O. lindheimeri* montrent que des niveaux croissants d'azote, de 67, 124 et 135 kg ha, détermine respectivement une augmentation du niveau protéique de 3,1 %, 4,2 % et 4,4 %.

On préconise un apport annuel de 45 unités de $P_2 O_5$ et 40 unités d' N_2 par hectare [142].

Ecartement entre les lignes de 5 à 8 m, soit 1200 à 2000 pieds/ha [142]. Selon le HCDS dans les zones steppiques algériennes, la distance entre les raquettes plantées et entre les rangées est de 3 m. En Italie l'écartement est de 5 à 7 m entre les lignes et 4 à 5 m entre les plants [22]. En Tunisie, on culture mécanisée, les agriculteurs ont adopté des écartements variant de 5 à 10 m entre les rangées et 0.5 à 1 m sur les rangées [20]. Alors qu'au Mexique, l'implantation typique conçue pour la production de fourrage est constituée par des rangs compacts d'une hauteur non supérieure à 1.50 m, avec une densité d'environ 40.000 plants/ha (80 x 40 cm). Au Brésil, on utilise une méthode semblable à la

précédente, ou la densité par hectare est toujours de 40.000 plants, mais l'ordre est de 100 x 25 cm [23].

La plantation en ligne se pratique à partir du mois de Février à Avril (selon les courbes de niveau éventuellement) [142]. Au Maroc la plantation est effectuée à partir de Février à Mars dans les régions du sud [67]. Alors que selon le HCDS, en Algérie la plantation est effectuée de Février jusqu'à la fin Juillet, dans les zones steppiques.

3.4 Importance du genre *Opuntia*

L'*Opuntia* est devenu une récolte importante pour le fruit, le légume, et la production exotique de fourrage au Mexique, aux Etats-Unis, au Chili, en Argentine, en Palestine occupée, en l'Italie, et en Afrique du sud [109]. C'est un élément important pour la conservation des écosystèmes arides et la commande de la désertification [143].

L'utilisation de l'*Opuntia* est variable, dans des temps modernes les jeunes raquettes de l'*Opuntia ficus indica* sont moissonnées comme récolte végétale (souvent appelée les nopalitas). Bien que cette récolte soit mondiale, moins valable que la récolte du fruit, les produits végétaux de l'*Opuntia* sont disponibles sur beaucoup de marchés locaux et mondiaux [9]. Selon plusieurs auteurs les propriétés médicinales de l'*Opuntia* ont été signalées dès 1552. L'*Opuntia ficus indica* avec d'autre espèce d'*Opuntia* et de *Nopalea*, ont été développés pendant des périodes précolombiennes, comme usine de centre serveur pour la cochenille (*coque de Dactylopius*) productrice de colorants vif rouge et pourpre [1].

3.4.1 Raquettes

Selon le HCDS (1998), en Algérie, dans la région de Tébessa, les raquettes d'*Opuntia* font l'objet d'une utilisation maraîchère, appréciée par les populations rurales. Elles sont riches en vitamine C et les éléments minéraux tel que, le cuivre,

le magnésium, et le fer. La teneur en sucre de la plupart des variétés est relativement élevée (12 à 17 %) [23]. Les raquettes séchées, ont des teneurs en cendres élevées (jusqu'à 33 %); les teneurs en manganèse, cuivre, zinc, magnésium et fer sont généralement acceptable pour les ruminants. Les analyses ont également montré des niveaux élevés de calcium et de sels d'oxalate, ce qui peut expliquer l'effet laxatif du figuier de Barbarie chez les animaux qui en consomment [144]. Le figuier de Barbarie, apporte non seulement du fourrage, mais vue sa composition en eau 80 à 95 %, il aide à réduire la pression sur les points d'eau (Tableau 3.1) durant l'été et les périodes de sécheresse [144].

Les cactus frais sont acceptés par les bovins, ovins et caprins (les raquettes des variétés épineuses doivent subir un passage au feu au préalable [142].

Le chameau reste l'animale de trait par excellence dans les régions steppiques de la Tunisie, où le cactus représente une part importante dans son alimentation [27].

Tableau 3.1 : Contribution da la consommation d'*Opuntia* dans la résolution de problème de l'abreuvement [145].

Consommation d' <i>Opuntia .f. inermis</i> (g de MS/jour)	0	200	400	600
Consommation d'eau (L/J)	2.5	1	0.75	00

Au Maroc dans la région de Sidi –Idni et au Sud du Maroc, l'*Opuntia* peut être utilisé comme obstacle à la propagation des incendies [22], utilisé comme brise vent ainsi que pour clôturer les champs [23]. Au Maghreb, on utilisait les vieilles raquettes d'*Opuntia* desséchées comme fumure des vergers, et la dispersion autour du pied de certaines plantes. Des articulations d'*Opuntia* broyées, éloignent les parasites et empêche la prolifération des mauvaises herbes [39].

La destruction des larves de moustiques, se fait par le jet dans les eaux stagnantes, des morceaux des raquettes de figuier de barbarie qui forme, par leur mucilage une couche isolante à la surface, le mucilage va détruire les larves des moustiques [146].

3.4.2 Fruits

Le fruit du figuier de barbarie est consommé à l'état frais, séché, congelé, confit, ou transformé en jus concentré, en boisson alcoolisée, en confiture [22]. Des chercheurs essayent d'obtenir des jus plus clairs de cactus en utilisant des enzymes pectinolytiques à 40 °C pendant 48 heures en ajoutant de l'acide citrique [21], le rapport sucre/ acide est très important pour l'élaboration des jus, soit 10 pour les fruits verts et 6 pour les fruits murs ou tournants [147].

PIMIENTA [28] notent que les fruits d'*Opuntia ficus indica* contiennent 92% d'eau, 4 – 6 % d'hydrates de carbone, 1-2 % de protéine, 1 % des éléments minéraux et une quantité modérée de vitamines, principalement A et C [39]. Au Chili, les figues de barbarie sont utilisées pour l'extraction d'un sirop dont les caractéristiques nutritionnelles sont similaires à celles du raisin et du maïs [148].

3.4.3 Graines

On peut séparer les graines pour en extraire de l'huile qui constitue 8 à 9 % du poids sec de la graine, la composition de l'huile du figuier de barbarie tunisien, a été déterminée en terme d'acide gras et stérols [149]. Cette huile montre un degré élevée d'insaturation, ainsi qu'une teneur élevée en acide linoléique qui est de 60.3 %. Les graines de la figue de barbarie contiennent divers lipides neutres, le B- sitostérol représente 72 % des stérols totaux (le Y-tocophérol; le B- carotène) [105].

En Palestine occupée, les graines sont écrasées pour en extraire une crème pour la peau [22].

En Amérique, on extrait une farine blanche des graines, qui une fois bouillie, est façonnée en sorte de pain [150].

3.4.4 Fleurs

Les fleurs de l'*Opuntia* sont comestibles. Les mexicains les mangent à la manière d'asperge [39]. Les pétales de fleurs de cactus sont utilisés comme remède du dysfonctionnement de la prostate [151]. Les fleurs sont employées contre les inflammations intestinales [146]. Les stigmates des fleurs sont réputés anti-hémorroïdaires [21]. Les fleurs d'*Opuntia ficus indica* constituent une source nutritive très appréciée par les abeilles, d'où la possibilité de développer l'apiculture en parallèle [22].

3.4.5 Racines

Selon IFAD [23] l'*Opuntia* est une espèce aux racines profondes et très étendues, en mesure d'exercer une action anti-érosive, efficace en stabilisant les surfaces en pente. Afin d'exercer une action de lutte efficace contre l'érosion éolienne et le phénomène du mouvement des dunes de sable, la culture de l'*Opuntia* est souvent accompagnée de feuilles de palmier coupées pour couvrir le terrain.

En outre, l'*Opuntia ficus indica* var inermis est utilisé en Tunisie, en Algérie et au Maroc, pour ralentir et diriger le mouvement des sables, augmenter le couvert végétal, et éviter la destruction des terrasses construites pour réduire l'effet de ruissellement [152].

La colonisation des places vides par les *Opuntia* et les plantations provoquent une remontée biologique dans les sols dégradés, par une amélioration des conditions édaphiques (feutrage racinaire, rôle des animaux fouisseurs, micro-climat) [36]. En outre, les racines mortes et les racines de l'année produisent

d'importantes quantités de matières organiques, source de vie microbienne, donc d'Azote nitrique [20].

Au Maroc, dans la région de Sidi Ifni et au sud du Maroc, les plantations d'*Opuntia* jouent un rôle écologique important, car elles permettent de lutter contre l'érosion et donc a conserver le sol, et lutter contre l'érosion hydrique. L'*Opuntia* à été utilisé avec succès dans un programme de fixation des dunes en Somalie et dans plusieurs autre pays [22].

CHAPITRE 4

MATÉRIEL ET MÉTHODE

4.1 Matériel végétal

Notre expérimentation porte sur quatre espèces pollinisatrices d'*Opuntia* : dont *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyckea*; *Opuntia robusta* var. *robusta*; *Opuntia engelmannii* var. *languiformis*, *Opuntia streptacantha* Lem. Ces dernières présentent des caractéristiques de résistance au froid (Tableau 4.1) L'espèce pollinisée est l'*O. ficus indica* Mill .f. *inermis*, sensible au froid.

Tableau 4.1 : Quelques caractéristiques des différentes espèces étudiées

Espèce / Paramètre	<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>amyckea</i>	<i>O. streptacantha</i> Lem	<i>O.robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>O. engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>
Port	Dressé	Dressé	Dressé	Dressé	Dressé
Époque de floraison	Début de Mai	Fin de Mai	Fin de Mai	Début Juin	Début Mai
Nombre de fleurs	11	12	2	7	11
Époque de maturité	Fin Juillet	Fin Juillet	Fin Juillet	Début de Septembre	Fin Juillet
Poids/fruits (g)	89.23	46.01	97.05	14.78	57.86
Poids/chaire	52.62	17.84	70.305	8.075	49.335
Poids/graines (g)	2.46	1.71	5.65	1.55	3.41
Sensibilité au froid	Résistante	Résistante	Résistante	Résistante	Sensible

4.2 Présentation des zones d'étude

Après les prospections réalisées sur le terrain, nous avons choisi quatre périmètres, aux quatre zones différentes : Tébessa; Laghouat; Djelfa; M'sila (Figure 4.1). Trois périmètres choisis comportent les espèces pollinisatrices (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyctlea*; *Opuntia robusta* var. *robusta*; *Opuntia engelmannii* var. *languiformis*, *Opuntia streptacantha* Lem). Quant à l'espèce pollinisée (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*), elle se situe au niveau du quatrième périmètre (Belaiba, wilaya de M'sila).

4.2.1 Les espèces pollinisatrices

4.2.1.1 Zone de Tébessa

Dans la zone de Tébessa l'expérimentation a été réalisée au niveau du périmètre de Doukkara. Ce périmètre appartient administrativement à la commune de Safsaf El- Ouesra, il est d'une surface de 7 hectares.

Elle est limitée au nord par les communes El Malabiod et Oum Ali; au sud par Bir El Ater; à l'est par la Tunisie; et à l'ouest par El Ogla El Malha. La latitude est de 35° 58' nord, la longitude 8° 14' est, et une altitude de 878 m.

Sur ce périmètre, on trouve l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyctlea* (Figure 4.2), dont la plantation a été effectuée en 1995. Le mode de plantation est en ligne. La distance de plantation entre les rangées est de 3mètres.

4.2.1.2 Zone de Djelfa

Dans la zone de Djelfa, l'expérimentation a été réalisée au niveau du périmètre de Mesrane. Ce périmètre appartient administrativement à la commune de Ain Maabed, il est limité au nord par Hassi El Euch et Hassi Bahbah; au sud

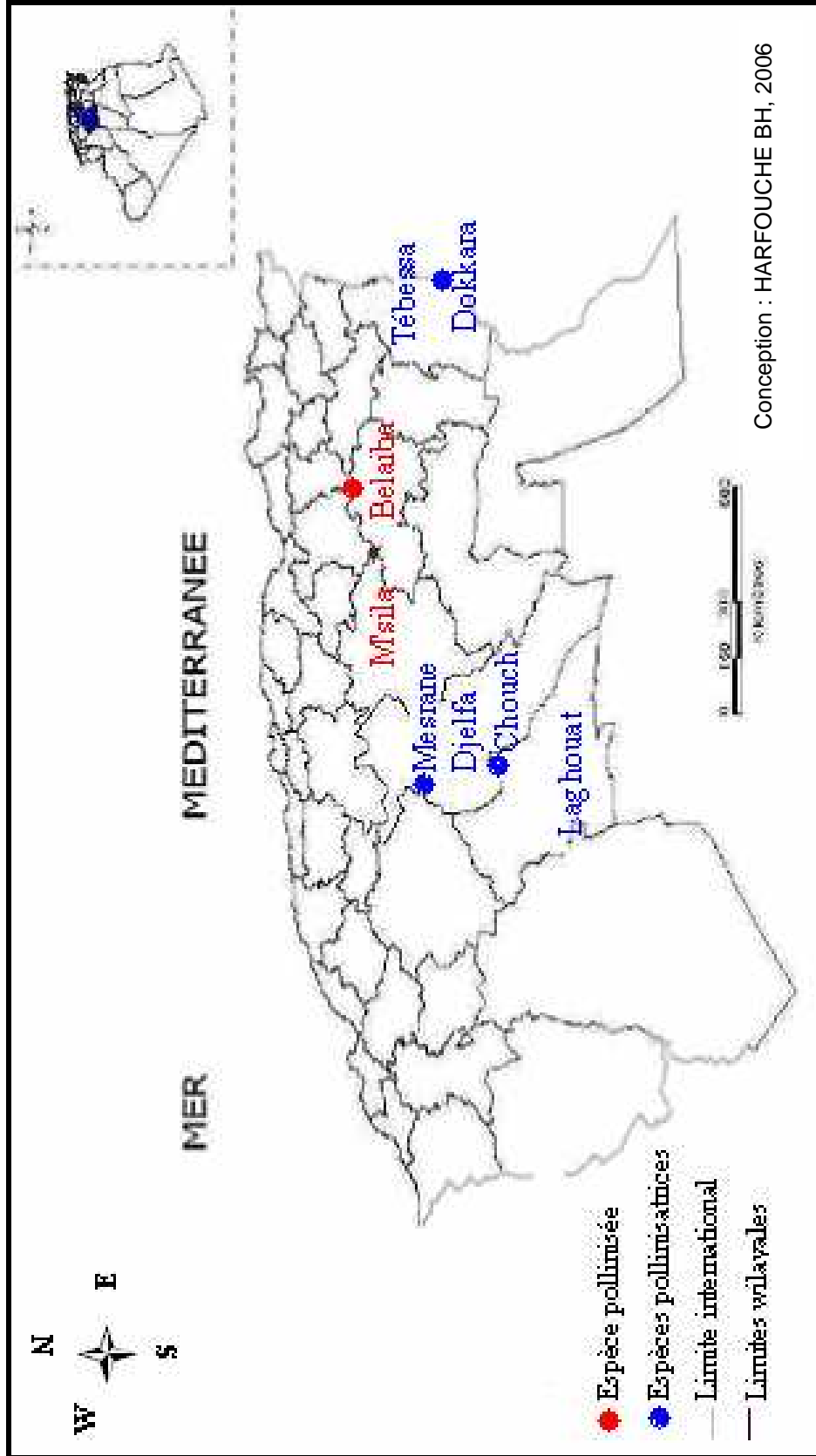


Figure 4.1 : Localisation des différents périmètres expérimentaux

par Djelfa; à l'est par Sidi Baizid Dar Chioukh; et à l'ouest par Zaafrane. Une latitude de 34° 36'nord, la longitude de 3° 03', une altitude de 879 m.

Ce périmètre regroupe plusieurs espèces introduites d'*Opuntia* (Figure 4. 2), parmi lesquelles on a choisi deux espèces : l'*Opuntia robusta* var. *robusta* et l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*.

Ce périmètre s'étend sur une surface de 5hectares. La plantation a été effectuée en 1986, en bouquet de 2 à 3 raquettes. La distance de plantation entre les raquettes plantées et entre les rangées est de 3 m.

4.2.1.3 Zone de Laghouat

Dans la zone de Laghouat, l'expérimentation a été réalisée au niveau du périmètre de Choucha, d'une surface de 6 hectares.

Cette zone est limitée au nord par Taadmit, Douis et Ain Chouhada; au sud par Laghouat et El –Assafia; à l'est par Taadmit et Deldoul; à l'ouest par Tajemout. Elle se situe sur la latitude 34° 8' nord, la longitude 3°01' et une altitude de 916 m.

Ce périmètre représente l'espèce de l'*Opuntia streptacantha* Lem (Figure 4.2). La plantation a été effectuée en 1994; le mode de plantation est en bouquet de 2 à 3 raquettes et une seule raquette. La distance entre les raquettes plantées et entre les rangées est de 3 m.

4.2.2 L'espèce pollinisée

L'expérimentation s'est déroulée au niveau de la zone de M'sila dans le périmètre de Belaiba.

Celle-ci est limitée au nord par la commune de Hamma; au sud par Ouled Ammar et Metkaouak; à l'est par Djezzar; et à l'ouest par Magra. Elle se situe sur la latitude 35° 36'nord, la longitude 05°17' et une altitude de 585 m.

Ce périmètre représente l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* (Figure 4.2), il s'étend sur une surface de 15hectares, la plantation a été effectuée en 2001. Le mode de plantation est en bouquet de 2 à 4 raquettes et parfois, une seule raquette. La distance entre les raquettes plantées et entre les rangées est de 3 m.

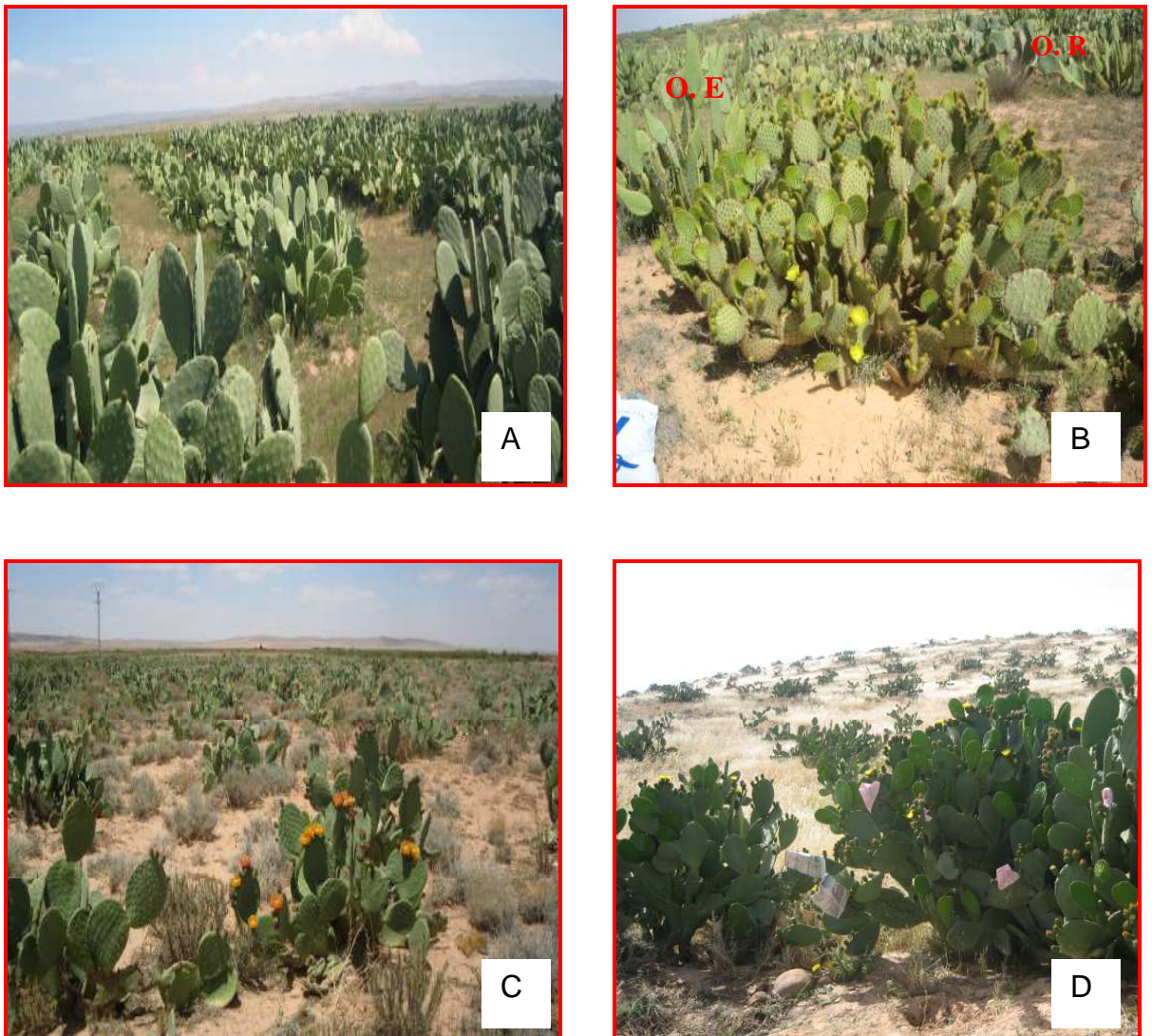


Figure 4.2 : Les différents périmètres d'étude, A : périmètre de Doukkara (*O. ficus indica* Mill .f. *amyctea*); B : périmètre de Mesrane (O.R) *O. robusta* var. *robusta*; (O.E) *O. engelmannii* var. *languiformis*; C : périmètre de Choucha (*O. streptacantha* Lem); D : périmètre de Belaiba (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis*).

4.3 Etude pédo-climatiques

4.3.1 Caractéristiques climatiques

Les zones d'étude se caractérisent sur le plan climatique à partir de série des données météorologiques fournies par l'O. N. M. (Office Nationale de Météorologie) des différentes stations météorologiques de référence, il s'agit de Tébessa, M'sila et Djelfa. L'absence des obstacles géomorphologiques, nous a permis de procéder à des corrections climatiques selon le gradient pluviométrique de DJEBAILI (1984) pour les steppes du sud algérois. Le gradient pluviométrique est de 20 mm/100 m de dénivelé. Ainsi DJELLOULI (1981) donne des valeurs de température pour (M) et (m) en relation avec l'altitude :

-M=0.8 °C pour 100 m de dénivelé;

-m=0.3 °C pour 100 m de dénivelé.

4.3.1.1 Pluviométrie

La pluviométrie constitue la forme des précipitations la plus importante, et le premier facteur du climat influe sur la croissance des végétaux [73]. Le minimum nécessaire pour le développement de l'*Opuntia* est de 200 mm/an, à condition que les sols soient sablonneux et profonds, et de 300 à 400 mm /an pour les sols argileux et limoneux [5].

La répartition moyenne mensuelle est très irrégulière (Tableau 1; Appendice B). Cette répartition montre que :

Le mois de Septembre est le plus pluvieux pour les périmètres de Balaiba (38,44 mm), Choucha (30,98 mm) et Mesrane (30,01 mm). Pour le périmètre de Doukkara (49,28 mm), ceci correspond au mois de Novembre, qui est le plus pluvieux.

Alors que le mois de Juillet, c'est le plus sec pour les quatre périmètres expérimentaux.

4.3.2.2 Régimes saisonnier

L'étude des régimes saisonniers donne une indication sur la répartition des pluies suivant les quatre saisons de l'année. Ceci est en rapport direct avec la croissance de la végétation [154].

L'analyse de la période de 1996 à 2005, montre que la répartition saisonnière des pluies est marquée par la prédominance des pluies d'automne et de printemps pour les zones de Doukkara, et Belaiba (Tableau 2, Appendice B). Par contre, on remarque une prédominance des pluies d'hivers et d'automne pour les zones de Mesrane et Choucha. En outre, on observe une baisse nette des pluies estivales pour les zones de Belaiba, Mesrane, et Choucha.

4.3.2.3 Température

La température, second facteur constitutif du climat, influe sur le développement de la végétation. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée [155]. Seules les valeurs ayant une signification «biologique» sont prises en considération : températures moyennes des minima du mois le plus froid (m), et l'amplitude thermique (M-m).

Les températures au cours de la période 1996-2005 indiquent que les plus basses températures ont été enregistrées durant le mois de Janvier (Tableau 3; Appendice B) dans les différentes zones d'études avec respectivement : 2.97 °C (Belaiba); 2.02 °C (Doukkara); 1.1 °C (Mesrane); 0.99 °C (Choucha). La température la plus élevée est enregistrée au mois de Juillet dans les différentes zones d'études avec respectivement : 37.55 °C (Belaiba), 36.6 °C (Mesrane), 36.31 °C (Choucha), 34.95 °C (Doukkara).

4.3.2.4 Le gel

Le gel est un facteur abiotique dangereux, qui a provoqué de graves blessures sur les arbustes d'*Opuntia* aux Mexique [156].

Les gelées sont fréquentes à partir du mois de Novembre, elles s'étalent jusqu'au mois de Mars (Tableau 4; Appendice B). La plus grande valeur a été enregistrée durant le mois de Janvier au niveau de la région de Djelfa (15 j), M'sila (4 j) et pendant le mois de Décembre pour la région de Tébessa (6 j).

4.3.2.5 Vent

Le vent est un paramètre climatique qui permet la reproduction anémogame, et la dispersion des graines, selon sa vitesse et sa direction. Le vent peut causer des dégâts en blessant, en cassant et en arrachant les plantes ; il favorise aussi l'érosion et la désertification [162, 157].

La vitesse moyenne du vent enregistrée durant le mois d'Avril pour toutes les stations est de l'ordre de : (5,4 m/s) M'sila, (4,2 m/s) Djelfa, (4 m/s) Tébessa (Tableau 5; Appendice B).

4.3.2.6 Indices écologique et climatogramme

Pour mieux caractériser le climat dans lequel se situent nos zones d'étude, nous nous aiderons de quelques indices écologiques et climatogrammes. Les indices les plus utilisés, concernent la température et la pluviosité, qui sont les facteurs les plus importants et les mieux connus.

4.3.2.6.1 Climagramme d'Emberger

Celui-ci permet de situer la zone d'étude dans son étage bioclimatique en fonction de son « m » et de son « Q_2 ».

4.3.2.6.2 Quotient pluviométrique d'Emberger (Q₂)

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2).$$

Où

P= pluviosité moyenne annuelle.

M= moyenne des maximum du mois le plus chaud.

m= moyenne des minimum du mois le plus froid.

M et m sont exprimés en degrés Kelvin (Celsius+273).

Cette formule plus élaborée, a été utilisée pour les climats méditerranéens, elle tient compte de la variation annuelle de la température. On reporte les valeurs de Q₂ et de m sur le climagramme d'Emberger pour classer nos zones d'études (Tableau 6; Figure 1 ; Appendice B).

4.3.2.6.3 Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN

Les diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN permettent de comparer l'évolution des températures et des précipitations [163]. La saison sèche (durée et intensité) joue un rôle capital dans la distribution de la végétation [77]. Pour définir la période sèche, BAGNOUL, et GAUSSEN (1953), considèrent qu'un mois est sec, quand le total mensuel des précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle.

$$P \leq 2T \rightarrow P/T \leq 2.$$

P : précipitation totale mensuelle.

T : température moyenne mensuelle.

A partir de cette hypothèse, il est possible de tracer des diagrammes ombrothermiques (ou pluviométriques), en portant les mois en abscisse, et en ordonnée les températures moyennes et la pluviosité avec une échelle double pour la température (Tableau 6; Figure 2, 3, 4, 5; Appendice B).

4.3.2 Caractéristiques édaphiques

Parmi les différents facteurs qui interviennent de manière prépondérante sur le développement d'une culture, le sol joue un rôle essentiel sur le rendement, en particulier par sa réserve en eau utile, dépendant de sa texture, sa structure et de la profondeur explorée par les racines .

Afin de préciser les caractéristiques du sol de nos périmètres expérimentaux, nous avons effectué quelques analyses physico-chimiques.

L'analyse a porté sur 3 échantillons pour chaque périmètre d'étude. Les prélèvements des échantillons du sol ont été effectués sur les périmètres expérimentaux et réalisés à l'aide d'une tarière. La profondeur de prélèvement est de 20 à 45 cm en fonction de la profondeur du profil pédologique du sol.

Tous les sols ne sont pas que argileux ou limoneux mais plutôt un mélange d'argile, de limon et de sable; seule une analyse granulométrique peut donner les pourcentages exacts de ce mélange. Ensuite, grâce à ce pourcentage, il est possible d'en déduire la désignation du sol grâce au triangle de textures de HENIN 1969 (Figure 6; Appendice B).

4.4 Méthodes d'étude

4.4.1 Étude de la biologie florale

4.4.1.1 Dispositif expérimental

Dans le but de déterminer les différents stades de développement des boutons floraux; l'époque et le nombre des fleurs; quatre raquettes de l'année précédente, aux quatre points cardinaux (nord, sud, est, ouest) ont été choisies par pied, soit 10 pieds pour chaque espèce d'*Opuntia* étudiée. Les pieds sont choisis d'une manière aléatoire. Des observations journalières ont été effectuées, un marquage des pieds et des raquettes destinés à l'observation et mesures est nécessaire.

La détermination des caractères qualitatifs n'exige pas la réalisation d'un dispositif expérimental. La méthode d'étude est basée sur l'observation puis la comparaison avec les résultats qui sont décrits par l'U. P. O. V (2004).

Alors que pour les caractères quantitatifs, la méthode d'analyse statistique utilisée est l'analyse de la variance à un critère de classification, en utilisant le logiciel STATICF.

Le facteur étudié est le facteur espèce, nous avons 4 espèces pollinisatrices, et une espèce pollinisée. Nous cherchons à étudier l'existence ou non d'une différence significative pour les caractères quantitatifs.

4.4.1.2 Paramètres étudiés

- ✓ Détermination des différents stades de croissance des bourgeons floraux.
- ✓ Nombre des fleurs par raquette : Le nombre de bourgeons floraux par raquette a été déterminé au début de leur apparition, on a différencié entre les boutons

floraux et les bourgeons végétatifs, selon leur aspect morphologique : les bourgeons floraux au début de leur apparition sont plus sphérique, alors que les bourgeons végétatifs sont plus plats (selon les agricultures des zones d'études).

- ✓ Époque et durée d'étalement de la floraison : Selon BRETEAUDEAU, (1993), les phases de floraison ont été déterminées comme suit :
 - Début floraison est remarqué lorsque 10 % des fleurs sont épanouies;
 - Pleine floraison est atteinte lorsque 50 % des fleurs sont épanouies;
 - Fin floraison apparaît quand 75 % des fleurs sont épanouies.

- ✓ Description des fleurs

La couleur du périanthe (sépalés ; pétales);

La couleur du lobe du stigmaté ;


La couleur du style.

La Couleur des étamines

L'explication de la structure florale passe par l'établissement d'une formule florale, dite « formule florale » ou « équation florale ».

D'après TCHERKEZ (2002), il existe deux façons de symboliser les différents organes floraux, ou les relations qui existent entre eux : l'une française, et l'autre américaine .C'est cette dernière que nous adopterons car elle présente une codification complète, qui couvrent presque tous les cas de figure (Tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Présentation des différentes pièces florale [161]

Pièces florales	Symboles
Sépales	S
Pétales	P
Etamines	E
Carpelles	C
Ovaire infère	
Fleur actinomorphe	« * »
Type de fruits	Baie charnue

✓ Étude qualitative du pollen :

La réalisation de l'hybridation dans le cadre de l'amélioration génétique des espèces, à intérêt agronomique nécessite l'utilisation de pollen ayant une viabilité élevée, afin de maximiser le rendement en graines. En ce sens, l'évaluation de viabilité des pollens devient un outil important dans le processus de pollinisation artificielle. Actuellement, cette évaluation est réalisée grâce au test de germination *in vitro*.

Afin de caractériser la qualité du pollen produit par les 4 génotypes d'*Opuntia*, nous avons procédé en deux étapes :

- Test de viabilité du pollen : Parmi les pollens collectées sur les différentes espèces d'*Opuntia* retenues, ont été testées, au stade de déhiscence des étamines (disponibilité du pollen) par la méthode de coloration au carmin acétique (10 g carmin et 1 litre d'eau acétique à 45 % [162]).
- Taux de germination *in vitro* des grains du pollen : Le pourcentage de germination des grains de pollen, des différentes espèces d'*Opuntia* étudiées est déterminé au laboratoire sur milieu de BREWBAKER et KWAK modifié (1963).

Le milieu contient ; 50 ppm de H_3BO_3 , 150 ppm de $Ca(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$, 100 ppm de $MgSO_4$ et 50 ppm de $7H_2O KNO_3$ additionné de 5g de saccharose et de 1g d'agar. Le pH est ajusté à 5.3. L'ensemencement est réalisé sur des boîtes de Pétries, à raison de 40 grains de pollen par boîte. Un disque de papier filtre stérile, humidifié avec de l'eau distillée stérilisée est déposé dans la boîte de Pétrie, de façon à réaliser une réhydratation du pollen et à éviter la dessiccation. On ferme immédiatement les boîtes à l'aide d'une bande de Parafilm. La durée d'incubation nécessaire pour un taux de germination maximum est de trois jours à 25 °C à l'obscurité. Pour limiter les contaminations fongiques et bactériennes, la mise en culture a dû être réalisée dans des conditions stériles. Les observations sont réalisées en déposant directement la boîte de Pétrie sur la platine du microscope optique (G 100 X). Le taux de germination a été déterminé à l'issue des trois jours de culture. Les grains ont été considérés comme « ayant germé » lorsque le tube pollinique mesurait au moins deux fois le diamètre du grain de pollen [164].

Pour estimer le taux de germination nous avons utilisé la méthode de COLAS et MERCIER 1994.

$$(\%) \text{ de viabilité} = \text{Nombre de grains germés} / \text{Nombre total de grains} \times 100$$

4.4.2 Réalisation de l'hybridation

4.4.2.1 Dispositifs expérimental

Nous avons réalisé un plan de croisement des quatre génotypes, selon un dispositif en randomisation total. Quatre raquettes de l'année précédente, au quatre point cardinaux (nord, sud, est, ouest) ont été choisies par pied, soit 10 pieds pour chaque espèce d'*Opuntia* étudiée. Un marquage des pieds et des raquettes destinés à l'hybridation est nécessaire.

4.4.2.3 Technique de l'hybridation

Après avoir sélectionné les deux parents (la plante mère et le père) nous avons basé notre choix sur les caractères phénotypiques dont : la vigueur des pieds, le nombre de fleurs par raquette, et le moment de l'ouverture des fleurs. La technique de l'hybridation manuelle comprend trois étapes :

4.4.2.3.1 Castration

Avant de réaliser la castration et juste après le choix des fleurs destinées à l'hybridation , et dans le but de faciliter le travail, d'augmenter le taux de réussite et d'avoir de gros fruits, nous avons enlevé toutes les fleurs situées sur les mêmes raquettes choisies.

La castration consiste à supprimer les étamines avant leur maturité. C'est pour cette raison que nous avons surveillé attentivement les fleurs de l'espèce à polliniser, afin de lui retirer les étamines pour éviter une autofécondation. Le choix de l'étape optima pour la castration, est basé sur l'aspect externe de la fleur, ceci reste difficile car les fleurs du cactus libèrent naturellement les pollens avant leur ouverture [67].

Le meilleur guide pour déterminer si une fleur est apte à la castration, est l'aspect de l'anthère après l'enlèvement de la corolle :

Si l'anthère libère le pollen avec l'enlèvement de la corolle, la fleur est très vieille, et risque d'être autopollinisée;

Si les anthères ne sont pas bien formés et sont serrés, étroitement au style, ceci indique que la fleur est très jeune. A ce moment, il y'a un grand risque d'endommager le stigmate et le style, quand on enlève les anthères.

Par conséquent, pour notre expérimentation, la castration a été réalisée sur des fleurs avant la déhiscence des anthères (Figure 4.3) c'est-à-dire deux à trois jours avant l'ouverture des fleurs

Suppression des sépales et des pétales. On a suivi la méthode utilisée par BUNCH (1996), celle-ci consiste à déplacer la corolle, par la section autour de la fleur, juste au dessous du point d'attache de la corolle (Figure 4.3).

On retire soigneusement les étamines, coupées près de la base avec une lame sans endommager le stigmate (Figure 4.3).

On rince complètement la fleur avec de l'eau propre, afin de se débarrasser du pollen et des étamines résiduels (Figure 4.3).

On sèche la surface rincée avec une serviette en papier (Figure 4.3)

On laisse à l'air libre pendant 15 à 20 minutes pour favoriser le séchage du stigmate.

Les fleurs castrées sont ensachées, afin d'éviter une pollinisation accidentelle (Figure 4.3).

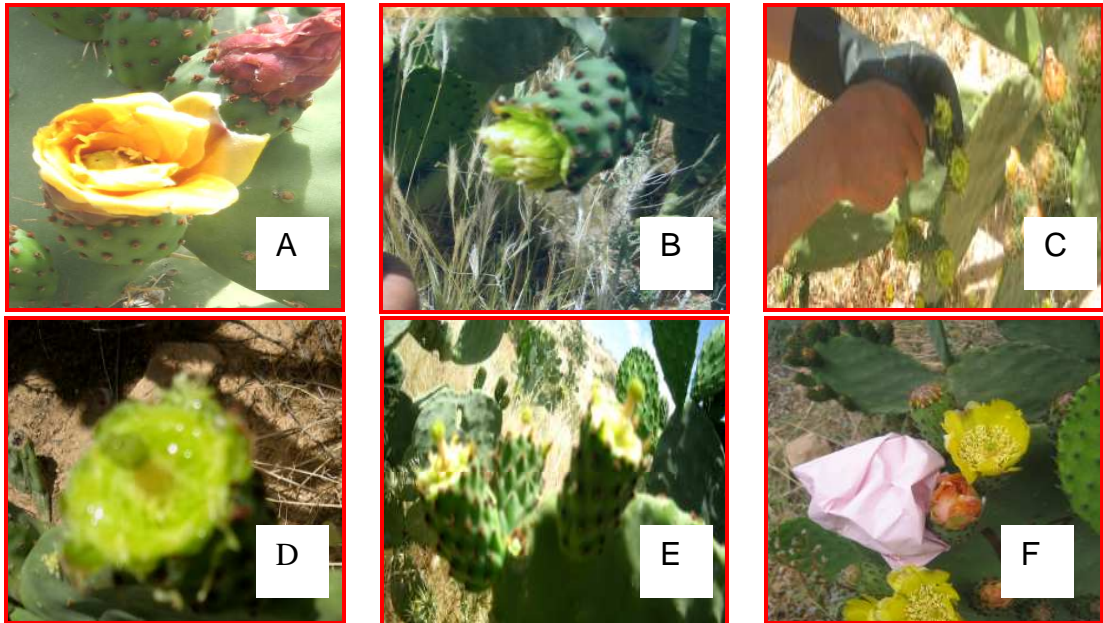


Figure 4.3 : Castration des fleurs de l'espèce pollinisée (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inerme*), A : fleur partiellement ouverte; B : suppression du péricarpe; C : suppression des étamines; D : rinçage avec de l'eau propre; E : laisser à l'air libre pendant 15 à 20 minutes; F : ensachage

4.4.2.3.2 Collecte du pollen

Les grains de pollen provenant des trois zones d'études (Tébessa, Djelfa et Laghouat) sont collectés et transportés vers la zone de M'sila.

Pour la récolte du pollen, nous avons suivi le procédé de TORVARISUMI [167]. Cette technique consiste à frotter doucement une à une les fleurs récoltées sur un tamis, nous obtenons ainsi très rapidement la presque totalité des anthères. Celle-ci sont étalées, sur une plaque en verre, et placées dans une pièce chaude et sèche pendant 48 heures afin de provoquer la déhiscence des sacs polliniques, et de supprimer les traces d'humidité. Les anthères sont ensuite enlevées de la plaque en verre à l'aide d'une lame et poussées sur un tamis de 0.7 mm. Elles y sont doucement frottées avec le doigt. Le pollen ainsi obtenu a été placé dans des boîtes de Pétri, fermées hermétiquement et stockées à 4 °C dans le réfrigérateur.

4.4.2.3.3 Pollinisation

Deux à trois jours après la castration, les pollens sont déposés sur le stigmate de chaque fleur castrée du parent femelle, après l'enlèvement des sacs en papier.

L'hybridation selon CROSSA-RAYNAUD (1966), se fait généralement, soit à l'aide d'un pinceau fin ou d'un pulvérisateur. Pour notre expérimentation nous avons choisi de polliniser avec l'index, car c'est plus précis et plus rapide. Cette méthode, permet de déposer sur le stigmate, une quantité importante de grains de pollens (effet de masse).

Après l'hybridation, le sachet protecteur est remis sur les stigmates pollinisés, afin d'éviter que le pollen étranger ne vienne s'ajouter au pollen choisi. Ainsi, le croisement entre les deux parents est obtenu.

On attache à la fleur une étiquette avec la date de pollinisation et le nom de la plante mère et de celui du père (Figure 4.4)



Figure 4. 4 : Date de pollinisation et le nom des différentes espèces pollinisatrices et l'espèce pollinisée.

4.4.2.4 Paramètres étudiés

✓ Taux de nouaison : Le pourcentage de nouaison est calculé selon la méthode de HAMOOD et SHALAH (1987) :

- On compte le nombre de fleurs au moment de la pollinisation;
- On compte le nombre de fleurs tombées et celles fixées après l'hybridation.

$$\% \text{ de nouaison} = (\text{Nombre de fruits} / \text{Nombre de fleurs totales}) \times 100.$$

✓ Période de maturation des fruits après l'hybridation

✓ Fruits : Toutes les mesures se font au laboratoire sur 20 fruits :

- Poids des fruits (g) : A partir du poids moyen de 20 fruits, nous pouvons calculer le poids moyen d'un fruit;
- Poids de la pulpe (g) : A partir du poids moyen de la pulpe;
- Poids de la peau (g) : A partir du poids moyen de la peau;
- Nombre de graines développées : Les graines fertiles ont des dimensions supérieures à 1,7 mm [131]. Les résultats obtenus par le calcul du nombre des graines développées de 20 fruits; (l'extraction des graines se fait au laboratoire après séchage du fruit à l'air).
 - Couleur du fruit;
 - Forme du fruit.

4.5 Matériel du travail utilisé

Pinceau fin; scalpel; gant, appareil photo numérique; microscope optique G (2.5 X), (6.5 X) et (100 X); balance de précision ; boîte de Pétrie ; sacs en papier; agraveuse ; pH-mètre ; papier filtre stérile, alcool ; saccharose ; agar ; eau distillée stérilisée.

CHAPITRE 5

RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 Etude du milieu

5.1.1 Caractéristiques climatiques

La précipitation moyenne annuelle des périmètres de Choucha (Laghouat); Belaiba (M'sila); Mesrane (Djelfa) pendant la période 1996/2005, comparée à celle du site de Doukkara (Tébessa), montre un déficit durant la même période. Le déficit a été important, puisqu'on enregistre une différence de 177.7 mm.

Le régime saisonnier de la précipitation des zones d'étude de Doukkara, et de Belaiba est du type : APHE. Au niveau des zones de Mesrane et de Choucha est du type : HAPE.

En ce qui concerne la limite inférieure pour le développement des espèces sensibles au froid, telle que l'*Opuntia ficus indica*. LE HOUEROU (1996), indique que $m = 1.5$ à 2 °C dans les steppes arides de l'Afrique du nord.

Dans le périmètre de Choucha, l'*Opuntia streptacantha* Lem montre une résistance, vue que $m = 0.99$, avec une durée moyenne d'exposition au gel de plus de 49 jours /an.

Dans le périmètre de Mesrane, l'*Opuntia engelmannii* var. *anguiformis* et l'*Opuntia robusta* var. *robusta* montrent une résistance, vue que $m = 1.1$ avec une durée moyenne d'exposition au gel de plus de 49 jours /an.

Dans le périmètre semi-aride de Doukkara, l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyctea* montre une certaine résistance, vue que $m = 2.02$ °C avec une durée moyenne d'exposition au gel de plus de 20jours/an.

Dans le périmètre de Belaiba (M'sila), l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* montre une sensibilité au gel, vue que $m = 2.97$ °C avec une durée moyenne d'exposition au gel de 10 jours /an ; nous pouvons considérer qu'il est légèrement sensible au gel. Il apparaît que l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* est sensible à la gelée.

Les zones d'étude sont localisées dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Doukkara), aride moyen à hiver frais (Choucha ; Mesrane) et aride moyen à hiver tempéré (Belaiba).

L'examen des diagrammes ombrothermiques, fait apparaître clairement la période sèche pratiquement pour toutes les zones d'étude; le climat est monoxérique pour les zones de : Doukkara, Belaiba et Choucha avec une période sèche étalée sur presque 4 mois (Doukkara), et 9 mois (Belaiba et Choucha). Alors que les zones de Mesrane, le climat bi-xérique, avec presque 9 mois de sécheresse.

En conclusion, les caractéristiques climatiques des périmètres expérimentaux, indiquent que les conditions climatiques de Doukkara (Tébessa) semblent plus favorables au développement du cactus par rapport aux autres régions du point de vue précipitation annuelle moyenne.

5.1.2 Caractéristiques édaphiques

L'analyse granulométrique, a montré une certaine prédominance des limons et des sables, dans les sols de nos périmètres expérimentaux. La référence au triangle textural nous indique qu'il s'agit d'un sol à texture :

- Limono-sableuse pour les périmètres de Belaiba ;
- Limoneuse pour le périmètre de Doukkara ;
- Sableuse pour les périmètres de Mesrane et Choucha.

Par conséquent on en déduit que, le sol des quatre périmètres est filtrant et aéré, ce qui peut se vérifier aisément sur terrain.

L'*Opuntia* préfère les sols légers, sablonneux et limoneux. Donc d'après nos résultats ce type de sol pourrait convenir à cette culture [43].

Selon le pourcentage des différentes fractions constituantes du sol (Tableau 7; Appendice B), la comparaison de ces proportions avec les proportions mentionnées au SOLTNER (1988), nous indique qu'il s'agit d'un sol à :

5.1.2.1 pH

Presque neutre, il a tendance à être légèrement basique, pour les périmètres de Doukkara, Choucha et Belaiba avec des valeurs de 7,52 ; 7,53 et 7,69 respectivement. Alors que le sol du périmètre de Mesrane, il présente une réaction basique (pH = 8.55). WALALI (1998), estime que les sols préférés par le figuier de Barbarie ont des pH moyennement acides (5,1 - 6,7). Alors que LE HOUERON [88], rapporte qu'il a été démontré que les cactus sont tolérants du pH jusqu'au 8.5.

5.1.2.2 Matière organique

Le sol est moyennement pourvu en matière organique pour tous les périmètres d'étude (Tableau 7 ; Appendice B). Le figuier de barbarie peut vivre dans les sols pauvres en matières organiques [170]. Les cactus améliorent considérablement la fertilité organique du sol (M.O = 4,8 % ; T = 0,1 %) et la

richesse minérale du complexe absorbant (C.E.C = 70 meq / 100 g; T = 11 meq/ 100 g) [171]. Ils fabriquent relativement assez vite, un horizon humifère, qui crée un complexe organo-minéral suffisamment épais pour donner naissance à un sol dynamique. C'est grâce à ses systèmes racinaires, qui constituent après la mort de la plante un apport important en matière organique [27].

5.1.2.3 CaCO₃

Un sol calcaire est un sol contenant du CaCO₃ libre en quantité suffisante, pour présenter une effervescence visible sous l'action d'HCl dilué à froid. Le CaCO₃ est souvent accompagné de MgCO₃ selon LOZET et al (1990) (Tableau 8; Appendice B).

L'analyse nous a permis de tirer deux classes de nos sols :

Classe 1 : Sol faiblement calcaire avec un taux de CaCO₃ de 2.34 à 3.77 pour les périmètres de Mesrane et Choucha;

Classe 2 : Sol fortement calcaire avec un taux de CaCO₃ de 32.91 à 45.76 pour les périmètres de Doukkara et de Belaiba.

Le figuier de barbarie peut se rencontrer sur des sols calcaires [170].

5.1.2.4 Conductivité électrique

L'examen des valeurs de la CE montrent que le sol de nos périmètres expérimentaux n'est pas salé car leur CE est inférieure à 4 mmhos / cm². Mesrane (0,346), Choucha (0,322), Doukkara (0,710), Belaiba (0,598).

En conclusion les types de sol des périmètres expérimentaux et leurs caractéristiques physiques et chimiques, indiquent des sols favorables pour le développement et la croissance de l'*Opuntia* que ce soit inerme ou épineux.

5.2 Étude de la biologie florale

5.2.1 Détermination des différents stades de croissance des bourgeons floraux

Les observations journalières, effectuées sur le terrain, nous ont permis de constater que :

L'initiation des bourgeons floraux chez l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea* a eu lieu durant la première semaine du mois de Mars, et à partir de la troisième semaine pour l'*Opuntia straptacantha* Lem et l'*Opuntia robusta* var. *robusta*. Alors que pour l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* ; l'initiation des bourgeons floraux se produit au mois d'Avril. Ces résultats confirment ceux de NERD et MIZRAHI (1995), qui rapportent, que dans les régions sub-tropicales, l'initiation florale commence de Mars à Avril dans l'hémisphère nord, et de Septembre à Octobre dans l'hémisphère Sud. L'initiation du bourgeon floral chez l'*Opuntia robusta* dans la région de San Luis Potosi et Zacatecas (Mexique) commence à partir du mois de Février et s'étale jusqu'au mois de Mars [173, 174], alors que dans la région de Valley (Mexique) d'après BEUTELSPACHER (1971), l'initiation du bourgeon floral commence, le mois de Février et s'étale jusqu'au mois de Mai. Chez l'*Opuntia ficus indica* dans la région de Sardinia (Italie), l'initiation des bourgeons floraux commence durant le mois d'Avril et s'étale jusqu'au mois de Mai [176].

Selon la taille, l'âge et le comportement des bourgeons, nous distinguons les différents stades de croissance et de développement (Figure 5.1) :

- Stade A "Gonflement du bourgeon" : Le méristème au centre de la dépression de l'aréole, entrant en activité, provoque l'apparition d'une pousse de couleur rouge de forme sphérique qui constitue le bourgeon floral.

- Stade B "Apparition du réceptacle" : C'est l'apparition d'un réceptacle de couleur verte, à la base du bourgeon floral (l'élongation des cellules meristématiques).
- Stade C "Grossissement du réceptacle" : La différenciation florale, est représentée par l'apparition, puis le développement progressif des pièces florales.
- Stade D "Apparition du calice" : Le calice est visible, le bourgeon gonfle, s'allonge, laissant apparaître une pointe jaune foncé, constituée par les sépales du calice.
- Stade E "Apparition de la corolle" : La corolle est visible, les sépales s'ouvrent et laissent apparaître la corolle jaune au sommet du réceptacle.
- Stade F "Apparition des étamines" : La fleur est partiellement ouverte, les étamines apparaissent, elles sont visibles et entourent le stigmate.
- Stade G "Fleur ouverte" : Fleur entièrement ouverte, les pétales sont complètement étalées, c'est la pleine floraison, les étamines libèrent les grains de pollen, le stigmate est couvert par un nombre très élevé de grains de pollen, c'est le moment de la fécondation.
- Stade H "Décoloration du périanthe" : Après la fécondation les pétales changent de couleur, du jaune elles deviennent oranges, le stigmate s'ouvre et grossit. A partir des observations visuelles, nous avons remarqué que toutes les fleurs des différentes espèces d'*Opuntia* étudiées, change de couleur après l'ouverture et le gonflement des lobes stigmatiques c'est-à-dire après la fécondation. Les espèces étudiées de l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*, l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*, l'*O. streptacantha* Lem, l'*Opuntia robusta* var. *robusta* et l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* changent leur couleur après

la fécondation. Ces résultats confirment ceux de SUDZUKI (1995), qui souligne que la fleur de cactus change de couleur après la fécondation.

- Stade I "Fleur partiellement fermée" : Calice et corolle sont partiellement fermés (sépales et pétales s'enroulent).

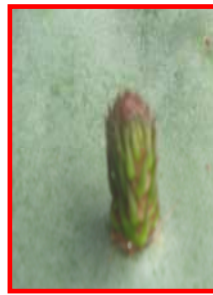
- Stade J "Fleur entièrement fermé" : Calice et corolle sont entièrement fermés.

- Stade K "Fruit noué et chute entière de la fleur" : Lorsque le fruit noue, la fleur se dessèche, puis le périanthe tombe, laissant au sommet du fruit une cicatrice en entonnoir. Le réceptacle grossit rapidement et inclue à l'intérieur l'ovaire qui constitue le futur fruit.

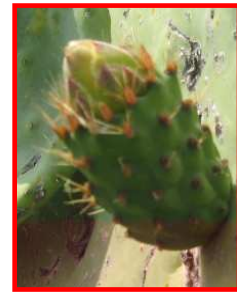
- Stade L "fruit mûr" : Le fruit change de couleur lorsque commence sa maturité.



Stade A



Stade B



Stade C



Stade D



Stade E



Stade F



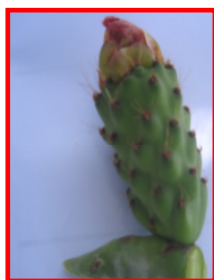
Stade G



Stade H



Stade I



Stade J



Stade K



Stade L

Figure 5. 1 : Différents stades de différenciation des bourgeons floraux

A partir de ces résultats, on peut déduire que l'initiation des bourgeons floraux se produit au printemps, après un hiver froid, ou les températures s'élèvent et la longueur du jour augmente (photopériodisme long).

L'apparition des bourgeons floraux et des bourgeons végétatifs a au lieu sur les aréoles, qui constitue des méristèmes aréolaires (Figure 5.2).

Chaque aréole est responsable ; soit de la formation d'un bourgeon florale soit d'un bourgeon végétatif (Figure 5.3). Une seule fleur ou une seule raquette, apparaît dans chaque aréole.

La plupart des bourgeons floraux naissent à l'extrémité ou sur le coté dorsale et ventrale des raquettes de l'année précédente (Figure 5.4). Ces résultats confirment ceux de NIEDDU et SPANO (1992). REYES-AGUIERO et al (2006), notent que 74 % des bourgeons floraux chez l'*Opuntia ficus indica* se développent sur les raquettes de l'année précédente (raquette âgée d'un an).

Nos observations indiquent que la période entre l'apparition du bourgeon floral (soulèvement de l'aréole) et la floraison, est très longue. Elle est de l'ordre de 6 à 7 semaines. SUDZUKI (1995), note que les différenciations florales chez l'*Opuntia* se produisent sur une période de 50 à 60 jours, après que le méristème commence à être actif jusqu'à la floraison. Alors que WESSELS et SWART (1990), indique que la période de la production de bourgeon floraux chez l'*Opuntia ficus indica* est moins longue, flottante de 3 à 5 semaines.

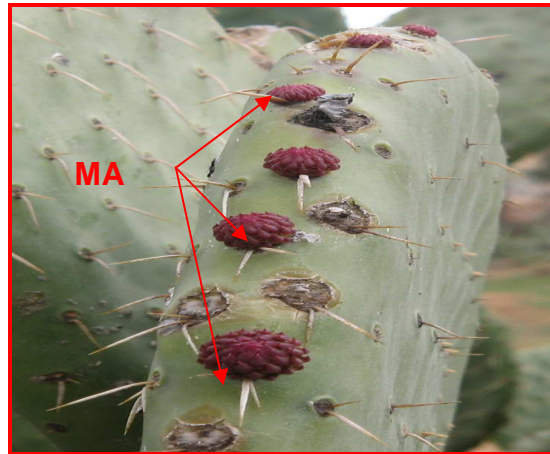


Figure 5.2 : Méristèmes aréolaires (MA)

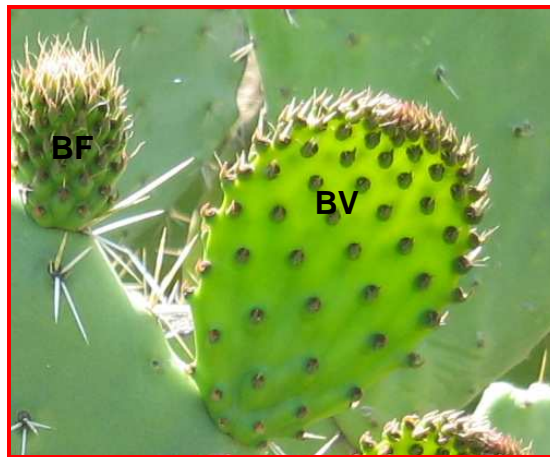


Figure 5. 3 : Bourgeon florale (BF), bourgeon végétatif (BV)



Figure 5.4 : Position du bourgeon floral et végétatif sur la raquette âgée d'une année.

5.2.2 Nombre de fleur par raquette

L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative et met en évidence trois groupes de moyenne. Le premier groupe est caractérisé par le nombre le plus élevé, renfermant l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*, l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea* et l'*Opuntia streptacantha* Lem ; suivi par le deuxième groupe qui comprend l'espèce d'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*. Le troisième groupe correspond à l'espèce d'*Opuntia robusta* var. *robusta* dont le nombre de fleurs par raquette est le plus faible (Tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Nombre des fleurs par raquette

Espèce / Paramètre	<i>O.ficus indica</i> Mill.f.		<i>Opuntia streptacantha</i> Lem	<i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>O.engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>
	<i>inermis</i>	<i>amyaclea</i>			
Nombre de fleurs/raquette	11±1.83 A	11±0.82 A	9.25±0.96 A	2.5±1.29 C	6.5±0.58 B
Signification	***	***	***	***	***

P>0.05 non significatif (ns); P≤ 0.05 significatif (*); P≤0.01 hautement significatif (**); P≤0.001 très hautement significatif (***).

Le nombre de fleurs par espèce, semble présenter des différences importantes variant de 11 à 2.5 fleurs par raquette. Ceci peut être expliqué par le fait ; qu'une production élevée de nouvelles cladodes, peut causer une baisse de la production des fleurs. En revanche, la surproduction de fleurs réduit la production de nouvelles cladodes. Ce phénomène a été expliqué par BOWERS (1996 a), qui montre que la plupart des espèces d'*Opuntia* peuvent alterner la production des fleurs et des nouvelles cladodes d'une année à l'autre.

5.2.3 Époque et durée d'étalement de la floraison

Afin d'évaluer l'époque et la durée d'étalement de la floraison de chaque espèce d'*Opuntia*, nous avons noté les dates qui correspondent à l'apparition des différentes phénophases (début floraison, pleine floraison, et fin floraison).

Les observations montrent que l'*O. ficus indica* Mill .f. *inermis* et l'*O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*, ont le même début de floraison et le même étalement. Quant aux autres espèces, elles représentent des variations assez importantes (Tableau 5.2).

Tableau 5. 2 : Époque et durée d'étalement de la floraison

Paramètres Espèces	Périodes de floraison			Étalement (Jours)
	Début floraison	Pleine floraison	Fin floraison	
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>amyaclea</i>	08/05/2007	20/05/2007	02/06/2007	26 jours
<i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i>	14/05/2007	19/05/2007	24/05/2007	10 jours
<i>O. engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	01/06/2007	04/06/2007	10/06/2007	14 jours
<i>O. streptacantha</i> Lem	22/05/2007	28/05/2007	13/06/2007	25 jours
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>	08/05/2007	20/05/2007	02/06/2007	26 jours

5.2.3.1 Époque de floraison

Le début de floraison durant l'année 2007 pour les espèces : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* (M'sila, périmètre de Belaiba) et *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea* (Tébessa, périmètre de Doukkara) a eu lieu le 08/05/2007; suivi de l'espèce *O. robusta* var. *robusta* (Djelfa, périmètre de Mesrane), le 14/05/2007; puis l'espèce d'*Opuntia streptacantha* Lem (Laghouat, périmètre de Choucha) le 22/05/2007 et

enfin l'espèce d'*O. engelmannii* var. *longuiformis* (périmètre de Mesrane) a démarré très tard, le 01/06/2007 (Tableau 5.2).

Ceci nous montre que la précocité et la tardivité à la floraison des espèces sont marquées. En effet l'espèce d'*Opuntia engelmannii* var. *longuiformis* est la plus tardive comparativement à l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyyclea* (Figure 5.5). Les espèces d'*Opuntia robusta* var. *robusta* et l'*Opuntia streptacantha* Lem, sont des espèces semis précoces. Pour ce caractère l'*Opuntia robusta* var. *robusta* se rapproche plus de l'espèce précoce, par contre l'*Opuntia streptacantha* Lem, se rapproche plus de l'espèce tardive.

Les dates d'apparition des dernières fleurs sont beaucoup plus homogènes. Pour ce caractère des différences de 3 à 4 jours sont enregistrées entre les espèces.

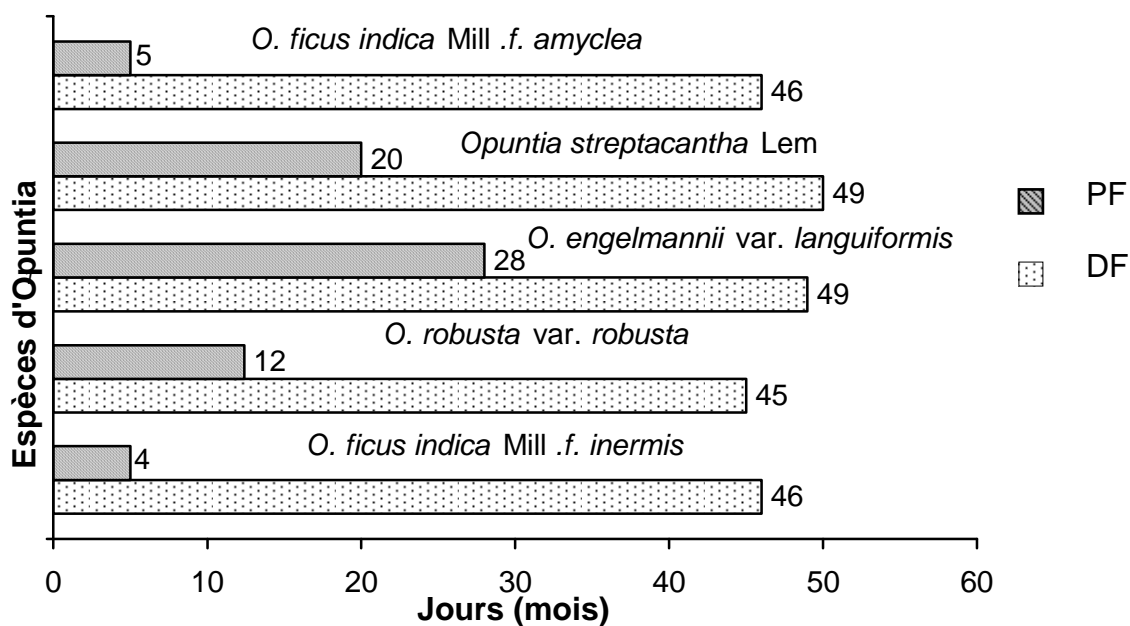


Figure 5.5 : Date d'apparition de la première (PF) et de la dernière fleur (DF) chez les cinq espèces d'*Opuntia*.

Pour mieux interpréter la tardivité à la floraison, nous proposons deux hypothèses :

- Soit que l'espèce, n'a pas subie un cumul suffisant en heures de froid, pour que la floraison se déclenche précocement.
- Soit que la température, qui permet aux ébauches florales de se développer n'est pas assez élevée.

Etant donnée que l'hiver des quatre régions a été relativement froid, les espèces d'*Opuntia* semblent avoir toutes reçu leurs besoins en froid hivernal. Ainsi la floraison s'est déroulée dans les meilleures conditions, donc la première et la deuxième hypothèse sont rejetées;

D'après nos résultats, nous avons remarqué d'une part, la tardivité de la floraison chez l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* comparativement avec l'*Opuntia robusta* var. *robusta*, où on a enregistré une différence de 19 jours. Ces deux espèces se trouvent dans un même environnement (climat et sol), la différence ne peut s'expliquer, que par l'effet génotypique.

D'autre part, l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyctlea* démarrent leur floraison à une même date, malgré leur localisation dans deux environnements différents.

Des résultats comparatifs ont été obtenus par WALLALI (1998), dans la régions de Tiznit (Maroc), ainsi la floraison de la variété Aissa commence au mois de Mars; alors que pour la variété Moussa, au mois de Mai. TAFASCA (2007), montre que la variété Aissa est précoce, cela est dû au caractère variétal de ce cultivar.

Ce qui nous laisse supposer qu'il y' a un effet de génotype sur la tardivité et la précocité de la mise a fleur.

5.2.3.2 Étalement de la floraison

L'échelonnement de la floraison chez l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*, *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*, *Opuntia robusta* var. *robusta* et *Opuntia engelmannii* var. *languiformis* se déroule dans un temps relativement variable (Tableau 5. 2):

Chez l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*; l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea* et l'*Opuntia streptacantha* Lem, l'étalement de la floraison se déroule dans un temps moyennement long, il est de 25 à 26 jours. Ces résultats confirment ceux de NIEDDU et SPANO (1992), qui soulignent que la floraison chez l'*Opuntia ficus indica* dans la région de Sardinia (Italie), commence le mois de Mai et s'étale jusqu'au mois de Juin.

Pour l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*, la floraison se déroule dans un temps moyennement court, elle est de 14 jours.

Alors que chez l'*Opuntia robusta* var. *robusta* le temps est très court, il est de 10 jours, comparativement aux notes de GARCIA (1984) et RODRIGUEZ (1981), dans la région de San Luis Potosi et Zacatecas (Mexique) où la floraison de l'*Opuntia robusta* commence le mois de Mars et s'étale jusqu'au mois d'Avril

Il ressort de nos observations sur terrain, que chez les différentes espèces d'*Opuntia* étudiées, la floraison est échelonnée sur la même raquette. Les différents stades de différenciation florale commencent par le premier stade (activation du méristème) jusqu'au dernier stade (grossissement du fruit), ce qui explique les variations au niveau de la durée d'étalement de la floraison entre les espèces d'*Opuntia* étudiées.

L'étalement de la floraison chez l'*Opuntia* est variable selon les espèces, elle peut être de l'ordre de 10 jours, comme elle peut aller jusqu'à 26 jours. Cette variabilité est dûe probablement à deux facteurs :

- A la fertilité des cladodes; NERD et MIZRAHI (1995), signalent que le nombre de fleurs produites par une plante est en fonction du nombre des cladodes fertiles et le nombre moyen des bourgeons floraux par cladode.
- La précocité à la floraison; les espèces précoces sont caractérisées par une durée d'étalement de la floraison plus longue.

A la suite de ces observations et résultats, nous avons retenu qu'il y a une corrélation positive d'une part, entre la fertilité de la cladode (le nombre de bourgeon floraux) et la durée où l'étalement de la floraison, et d'autre part entre la précocité de la floraison et la durée d'étalement.

5.2.4 Description des fleurs

La mise en évidence de la forme réelle de la fleur et de chacun des éléments qui la composent, ainsi que le mode de leur insertion, ont été déterminé à partir d'une coupe longitudinale de la fleur (Figure 5.6).

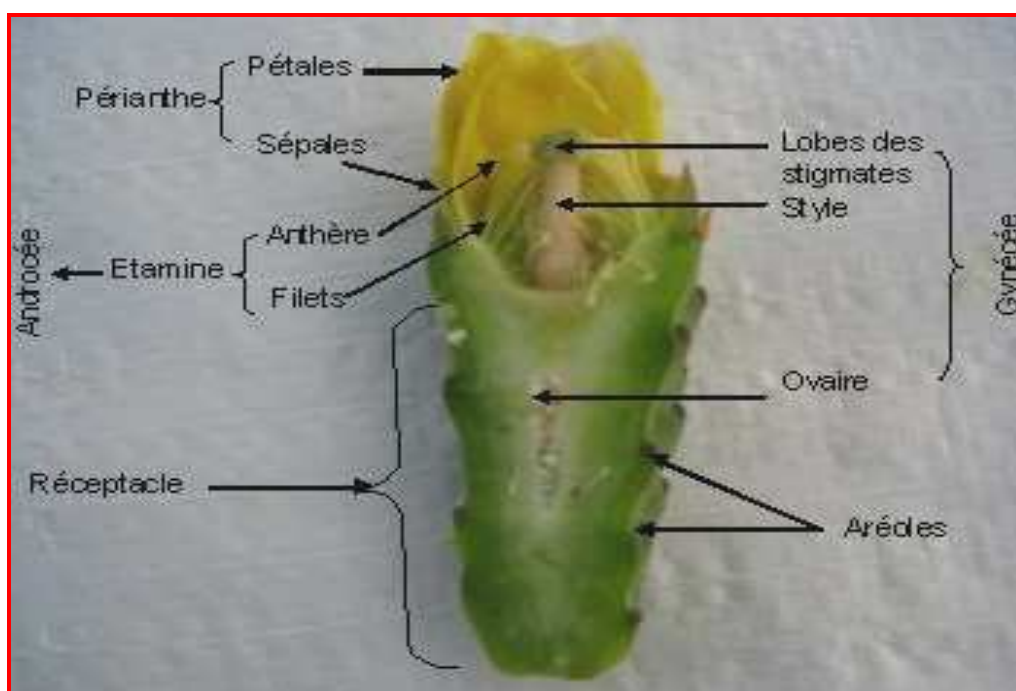


Figure 5. 6 : Coupe longitudinale d'une fleur d'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* provenance de Belaiba (M'sila).

5.2.4.1 Périanthe

Se compose de sépales et de pétales. Les sépales sont petits, sous forme de bractées, de couleur verte à jaune verdâtre, épaisses, difficile à enlever. Un sillon sous forme d'une feuille étroite; traverse les sépales, sur toute leur longueur, de la base jusqu'à l'extrémité. Des observations plus poussés montrent que ce sillon se situe sur la même rangée des glochides, qui se trouvent sur le réceptacle floral. Les pétales sont de forme oblongue, de couleur variable suivant les espèces et le stade phénologique de la fleur, minces et facile à enlever. D'après SUDZUKI (1995); il y a peu de différence entre les pétales et les sépales, ces derniers sont plus petits.

5.2.4.2 Androcée

Les étamines sont fixées à la base, et sont insérées à la cavité du réceptacle dans un arrangement fasciculé, se développant d'une façon centrifuge, de tel façon que le verticille intérieur (le plus proche au style) est au dessous du lobe du stigmate et le verticille supérieur est au dessus de ce dernier. Chaque étamine est composée de deux parties : Basalement, le filet qui est allongée, apicalement, l'anthere, qui porte quatre loges polliniques et chaque loge pollinique produit, une grande quantité de grains de pollen. Les prolongements extérieurs et intérieurs du filet au niveau de l'anthere sont respectivement nommés sillons et connectifs.

5.2.4.3 Gynécée : Il est composé de trois parties :

- Une partie située à l'extrémité, apparaît au dessus des anthères au centre de fleur appelée « stigmate », contenant les lobes qui sont larges avec une forme semblable à celle d'une anthere. Les lobes sont serrés entre eux, ils s'ouvrent après la maturation. On a remarqué que les stigmates des différentes espèces étudiées, sont humides et produisent une sécrétion qui s'accumule au cours de la vie du stigmate, il s'agit d'une émulsion. Cette émulsion contient des lipides, des

glycoprotéines, des polysaccharides, des composés phénoliques et des acides aminés libres [161].

- Style, les différentes espèces d'*Opuntia* étudiées possèdent un stylet, plus allongé et large à la base à l'endroit où émerge l'ovaire;
- Enfin d'une partie renflée, appelée l'ovaire, celui-ci est uniloculaire (à une seule loge). Il est profondément inclus à l'intérieur du réceptacle, infère, renfermant de nombreux ovules.

Les caractères qualitatifs des espèces étudiées présentent des différences :

Concernant la couleur du périanthe (Tableau 5.3 et figure 5.7); il est jaune pour l'*Opuntia ficus indica* Mill forme (*inermis* et *amyaclea*) et l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*. Il est jaune verdâtre pour l'*Opuntia robusta* var. *robusta* ; alors qu'il est de couleur orange pour l'*Opuntia streptacantha* Lem. Ces résultats confirment ceux de BRAVO (1978) et ANDERSON (2001), qui soulignent que la couleur des fleurs chez l'*Opuntia* est généralement jaune, mais il y a également les fleurs oranges, roses, pourpres, rouges, ou blanches.

La couleur du style (Tableau 5.3 et figure 5.7) est rose pour l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*; elle est rouge pour l'*Opuntia streptacantha* Lem; alors qu'elle est verte pour l'*Opuntia robusta* var. *robusta* et l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*. Ces résultats confirment ceux de BRAVO (1978), ROSA et PIMIENTA (1986), qui notent que la couleur du style chez l'*Opuntia*, est habituellement verte ou jaune, bien que certaines soient roses, rouges ou orange.

Le lobe du stigmate (Tableau 5.3 et figure 5.7) à une couleur verte pour l'*Opuntia ficus indica* Mill forme (*inermis* et *amyaclea*), l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* et l'*Opuntia streptacantha* Lem; alors qu'elle est jaune pour l'*Opuntia*

robusta var. *robusta*. Comparativement aux résultats de ANDERSON (2001), qui rapporte que la couleur du lobe du stigmate put être verte, orange ou jaune.

Concernant la couleur des étamines (Tableau 5.3 et figure 5.7), elle est verdâtre pour l'*Opuntia ficus indica* Mill forme (*inermis* et *amyaclea*), alors qu'elle est jaune verdâtre pour l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*, et de couleur verte pour l'*Opuntia robusta* var. *robusta* et l'*Opuntia streptacantha* Lem. Ces couleurs sont rapportées par GRANT et al (1979), qui soulignent que la couleur des étamines chez l'*Opuntia* est généralement jaune ou verte.

Tableau 5.3 : Récapitulatif des caractères qualitatifs des fleurs des différentes espèces étudiées

Paramètres Espèce	Couleur du péricorolle	Couleur Du style	Couleur du lobe du stigmate	Couleur des étamines
<i>O.ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>	Jaune	Rose	Verte	Verdâtre
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>amyaclea</i>	Jaune	Rose	Verte	Verdâtre
<i>O. streptacantha</i> Lem	Orange	Rouge	Verte	Verte
<i>O.robusta</i> var. <i>robusta</i>	Jaune verdâtre	Verte	Jaune	Verte
<i>O. engelmannii</i> var. <i>Languiformis</i>	Jaune	Verte	Verte	Jaune verdâtre



Opuntia ficus indica Mill forme *inermis*



Opuntia ficus indica Mill forme *amyoclea*



Opuntia streptacantha Lem



Opuntia robusta var. *robusta*



Opuntia engelmannii var. *languiformis*

Figure 5.7 : Couleur des périanthes, des styles, des lobes des stigmates et des étamines des différentes espèces étudiées

5.2.4.4 Formulation florale

5.2.4.4.1 Nombre de sépales

La comparaison des moyennes (Tableau 5. 4) nous a permis de mettre en évidence 3 groupes homogènes :

Groupe A : regroupe deux espèces (*Opuntia streptacantha* Lem et l'*Opuntia robusta* var. *robusta*).

Groupe AB : comprend l'espèce d'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*;

Groupe B : correspond à l'espèce d'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*.

5.2.4.4.2 Nombre de pétales

Le test de NEWMAN-KEULS (Tableau 5. 4) nous a permis de classer le nombre de pétales en 3 groupes homogènes :

Groupe A : regroupe les espèces suivantes : *Opuntia streptacantha* Lem, et *Opuntia robusta* var. *robusta*.

Groupe B : comprend l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*.

Groupe C : comprend l'espèce d'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*.

5.2.4.4.3 Nombre des étamines

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative. Cependant, l'espèce d'*Opuntia streptacantha* Lem, a montré la valeur la plus élevée (410.25 ± 1.71) suivi de l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyctea* (468.50 ± 2.38 ; 474.25 ± 3.30), alors que la valeur minimale est enregistrée chez l'espèce d'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* (234.25 ± 6.24). OSBORN et al (1988), ont signalé que les étamines sont nombreuses; jusqu'à 265 chez l'*Opuntia polyacantha*; 358 chez l'*Opuntia phaeacantha*. Alors que SCHLINDWEIN et WITTMANN (1997), ont déterminé 450 étamines chez l'*Opuntia viridirubra* ; et 598 chez l'*Opuntia brunne ogemmia*.

5.2.4.4.4 Nombre de carpelles

La comparaison des moyennes, nous a permis de mettre en évidence 3 groupes homogènes :

Groupe A : regroupe les espèces : *Opuntia streptacantha* Lem, et l'*Opuntia robusta* var. *robusta* ;

Groupe B : regroupe les espèces : *Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyctea* ;

Groupe C : comprend l'espèce d'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*.

Des résultats similaires ont été obtenus par NIEDDU et SPANO (1992), en effet ces auteurs ont montré que chez l'*Opuntia*, l'ovaire a beaucoup de carpelles, au nombre de 6 à 12 selon les espèces.

Tableau 5. 4 : Différentes mesures des caractères quantitatifs effectuées sur les fleurs des différentes espèces étudiées.

Paramètres Espèces	Nombre de sépalés	Nombre de pétales	Nombre des étamines	Nombre de carpelles
<i>O.ficus indica</i> Mill <i>.f. inermis</i>	8 ± 1.41 B	16 ± 2.16 C	468 ± 2.3 B	8 ± 0.00 B
<i>O ficus indica</i> Mill <i>.f.</i> <i>amyctlea</i>	8 ± 0.82 B	16 ± 0.82 C	474.2 ± 3 B	8 ± 0.82 B
<i>O. streptacantha</i> Lem	10 ± 1.83 A	20 ± 2.16 A	546.2 ± 4.50 A	9 ± 1.83 A
<i>O. robusta</i> var . <i>robusta</i>	10 ± 1.63 A	20 ± 2.16 A	410.2 ± 1.71 C	9 ± 0.82 A
<i>O.engelmanii</i> var. <i>languiformis</i>	9 ± 0.82 AB	18 ± 0.82 B	234.2 ± 6.24 D	6 ± 0.82 C
Signification	*	***	***	***

Pour les caractères qualitatifs et quantitatifs, des fleurs des différentes espèces, nous avons remarqué qu'il n'existe pas une variation à l'intérieur de l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill *.f. inermis* et *Opuntia ficus indica* Mill *.f amyctlea*. Par contre nous avons enregistré une variation entre les autres espèces, et leur degré de signification varie selon le caractère. Cette différence est liée probablement à un caractère génétique de l'espèce.

L'architecture de la fleur en cycle emboîté (calice, corolle, androcée, gynécée), c'est-à-dire en verticille, fait dire que la structure est cyclique. En l'occurrence, il s'agit d'une fleur tétra cyclique car elle est de « type 4 ».

Les fleurs sont du type actinomorphe (possédant un axe de symétrie) pour cinq espèces d'*Opuntia* étudiées (Figure 5.8). D'après TCHERKEZ (2002), une fleur est dite actinomorphe lorsque sa structure présente une symétrie axiale.

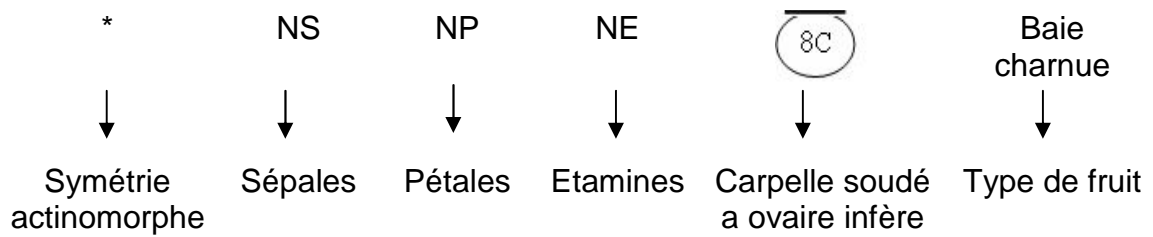



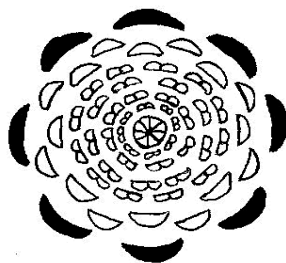


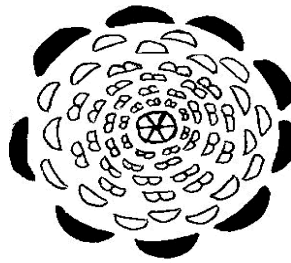
Figure 5. 8 : Formule florale générale

Les résultats obtenus (Tableau 5. 4) nous permettent de synthétiser une formule florale et le traçage d'un diagramme floral (Figure 5.9) pour chaque espèce d'*Opuntia* étudiées :

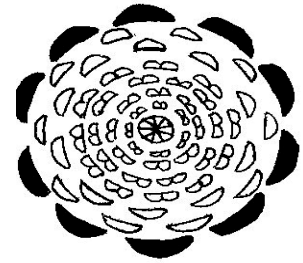
<i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>	*	8S	16P	468E		baie charnue
<i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f. <i>amyoclea</i>	*	8S	16P	474E		baie charnue
<i>Opuntia streptacantha</i> Lem	*	10S	20P	546E		baie charnue
<i>Opuntia robusta</i> var. <i>robusta</i>	*	10S	20P	410E		baie charnue
<i>Opuntia engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	*	9S	18P	234E		baie charnue



O. ficus indica Mill .f.
(*inermis* et *amyoclea*)



O. engelmannii var.
languiformis



O. streptacantha Lem et
O. robusta var. *Robusta*

Figure 5.9 : Diagramme floral des différentes espèces étudiées

5.2.5 Étude qualitative du pollen

5.2.5.1 Test de viabilité

Les résultats obtenus après comptage sous microscope (G10X10), montrent que la majorité des grains de pollen des différentes espèces étudiées d'*Opuntia* est coloré en rouge de 80 % à 100 % (Figure 5.10).

En effet, l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea* et l'*Opuntia robusta* var. *robusta* présentent le taux de coloration le plus élevé (100 %).

Par contre, le taux le plus faible se rencontre chez l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* avec 80 % de coloration.

Cependant, nous tenons à signaler que le taux de grains de pollen colorés est plus élevé par rapport au nombre de grains de pollen non colorés.

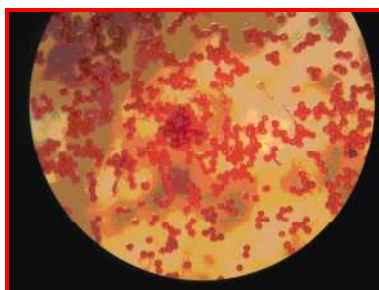


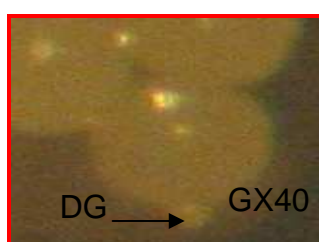
Figure 5. 10 : Test de viabilité des grains de pollen (GX 2.5).

La coloration rouge des grains de pollen est un bon indicateur de la viabilité et l'efficacité du pollen des espèces testées.

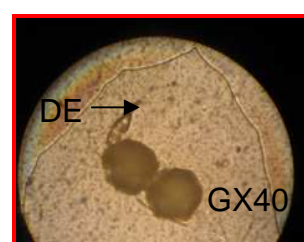
D'après JAHIER (1990), les grains de pollen colorés en rouge sont turgescents et présentent un cytoplasme homogène. Cependant, selon ce même auteur, cette coloration surestime la fertilité du pollen.

5.2.5.2 Qualité germinative de pollen

Les résultats obtenus montrent que les pourcentages de germination *in vitro* des grains de pollen des différentes espèces étudiées d'*Opuntia* sur milieu BKM (Figure 5.11) sont élevés. Les valeurs de 97.5 %; 95 %; 92.5 % et 75 % sont obtenues pour l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyoclea* ; *Opuntia streptacantha* Lem; *Opuntia robusta* var. *robusta*; et *Opuntia engelmannii* var. *languiformis* (Tableau 5.5).



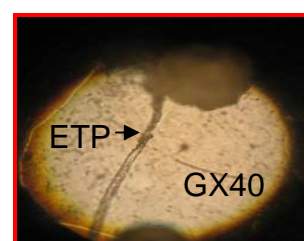
La germination des grains de pollen (DG) commence après 3 heures



Début élongation du tube pollinique (DE) après 24 heures.



Elongation de tube pollinique (ETP) 36 heures après la mis en culture.



Elongation de tube pollinique (ETP) 36 heures après la mis en culture.

Figure 5.11 : Germination *in vitro* des grains de pollen sur le milieu BKM (1963),

Tableau 5. 5 : Taux de germination *in vitro* des grains de pollen.

Espèce Paramètre	Tébessa (Doukkara)	Laghouat (Choucha)	Djelfa (Mesrane)	
	<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>amyctlea</i>	<i>O.streptacantha</i> Lem.	<i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>O.engelmanii</i> var. <i>languiformis</i>
Le taux de germination	95 %	92.5 %	97.5 %	75 %

D'après MONCIERO (1953), tout pollen présentant un pourcentage de germination sur milieu BKM supérieur à 50 % est considéré comme un pollen de fertilité élevée.

Ainsi, on peut dire que les quatre types de pollen utilisés ont un degré de viabilité satisfaisant.

Au cours de notre expérimentation, nous avons remarqué, que quelques boîtes de pétrie, présentent une certaine augmentation. Ce phénomène est sans doute attribué à la technique que nous avons retenue pour le test et l'évaluation de la germination). En effet, le pollen doit être est déposé à l'aide d'un pinceau sur le milieu de culture. Réalisé manuellement, cet ensemencement n'est pas toujours régulier, ce qui peut entraîner la présence des zones où la densité de pollen est localement élevée (effet de masse). Plus la densité des grains de pollen est élevée, plus la germination est favorisée et les tubes émis sont de plus grande taille. BREWBAKER et KWACK (1963), ont attribué cet "effet de groupe" à la libération du calcium par les grains de pollen dans le milieu de culture, qui favoriserait le développement des tubes polliniques.

5.3 Résultats de l'hybridation

5.3.1 Taux de nouaison

Le nombre de fruits mûres (F0) obtenu après l'hybridation (40 fleurs pollinisées) est satisfaisant; en effet, il est de 31 à 29 fruits pour le croisement de : *Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* X *Opuntia robusta* var. *robusta* et *Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* X *Opuntia engelmannii* var. *languiformis* (Tableau 5.6). On a 36 à 33 fruits pour l'hybridation (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* X *Opuntia streptacantha* Lem) et (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* X *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*) avec 40 fleurs pollinisées (Tableau 5. 6).

Ainsi, les quatre sources de pollen donnent des taux de nouaison satisfaisants variant entre 90 et 72.5 % (Tableau 5.6).

Tableau 5. 6 : Résultats de l'hybridation de 4 géotypes d'*Opuntia*

Paramètres Espèces	Nombre de fleur pollinisées	Nombre de fruits obtenus	% de nouaison
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i> X <i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>amyaclea</i>	40	36	90 %
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i> X <i>O.streptacantha</i> Lem	40	33	82.5 %
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i> X <i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i>	40	31	77.5 %
<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i> X <i>O. engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	40	29	72.5 %

Ces taux de nouaison sont confirmés avec ceux donnés par LE BELLEC (2004), avec d'autres types de pollen de cactus (*Hylocereus undatus* et *Hylocereus costaricensis*) et dans des conditions de culture différentes (Saint-Pierre, île de la Réunion), où il a obtenu un taux de nouaison de 100 %. Cette différence avec nos résultats peut être due aux conditions climatiques dans la

région de M'sila, où les températures sont les plus élevés pendant la phase de l'hybridation et où le vent fort à la fin du mois de Mai, qui rend la pratique de l'hybridation très difficile.

Le taux moyen de nouaison pour l'ensemble des castrations et des pollinisations effectuées est de 80.625 %.

Enfin, il y a lieu de mentionner que la variété *Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*, semble avoir une affinité avec les autres espèces testées, et de là, elle ne présente pas d'incompatibilité génétique.

5.3.2 Période de maturation des fruits après l'hybridation

Nos résultats indiquent que pour ce qui est de la maturation, aucune induction de la précocité n'a été notée avec les quatre sources de pollen.

Ces résultats sont en conformité avec des données rapportées par NIXON (1956), chez le palmier dattier (Deglet-Nour). Par ailleurs MIZRAHI et al (2004), signale que chez le Pitaya (Cactus), la source de pollen à un effet sur l'accélération et la prolongation de la période de maturation. Il a obtenu un gain de précocité de 5 jours sur la variété femelle *Hylocereus polyrhizus* en utilisant les types de pollen *Hylocereus undatus*, et *Selenicereus grandiflorus*. Par ailleurs il a obtenu une prolongation de la période de maturation de 21 jours sur la variété femelle *Hylocereus polyrhizus* en utilisant le type de pollen *Selenicereus megalanthus*. Les écarts de temps de la maturation du fruit pourraient s'expliquer par des taux de croissance variables des tubes polliniques. Cependant, d'après LICHTENZVEIG et al (2000), au cours de travaux précédents, constatent que les tubes de pollen du *Selenicereus megalanthus*, du *Hylocereus polyrhizus* et du *Hylocereus undatus*, ont accompli la germination et ont atteint l'ovaire en 48h à 96h après la pollinisation. Par conséquent la différence de 21 jours dans la maturation du fruit ne peut pas être attribuée à une différence dans des taux de croissance du tube de pollen. En effet MIZRAHI et al (2004), montrent que, cet

effet peut être dû à la période plus longue, exigée pour le développement de fruit chez ces deux espèces, comparées à *Hylocereus polyrhizus*. Des résultats semblables ont été obtenus avec la myrtille, où le temps de maturation de fruit corrélé avec l'espèce utilisée comme source de pollen [194, 195].

5.3.3 Fruits

5.3.3.1 Poids du fruit hybride (F0)

L'analyse de variance montre que les quatre sources de pollen ont un effet très hautement significatif (Tableau 5.7; Figure 5.12), on y distingue cinq groupes : le premier comprend l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*; le deuxième comprend l'*Opuntia streptacantha* Lem; le troisième correspond à l'*Opuntia robusta* var. *robusta*; le quatrième correspond à l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* et le dernier groupe comprend l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*.

Tableau 5. 7 : Poids du fruit hybride (F0) selon les sources du grain de pollen

Source de pollen	<i>O.ficus indica</i> Mill.f.		<i>Opuntia streptacantha</i> Lem	<i>Opuntia robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>Opuntia engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	Sig
	<i>inermis</i>	<i>amyaclea</i>				
Poids du fruit (F0)	74.8±0.02 E	99.82±0.05 A	97.05±0.04 B	90.18±4 C	87.08±0.03 D	***

Nos résultats indiquent que les fleurs d'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* castrées et pollinisées par les quatre sources de pollen, produisent de gros fruits, dont le poids est de 99,82 g pour *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*; 97,05 g pour *Opuntia streptacantha* Lem ; 90,18 g pour *Opuntia robusta* var. *robusta* et l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* avec 87,08 g, comparativement aux fruits obtenus sans hybridation contrôlée (74,81 g).

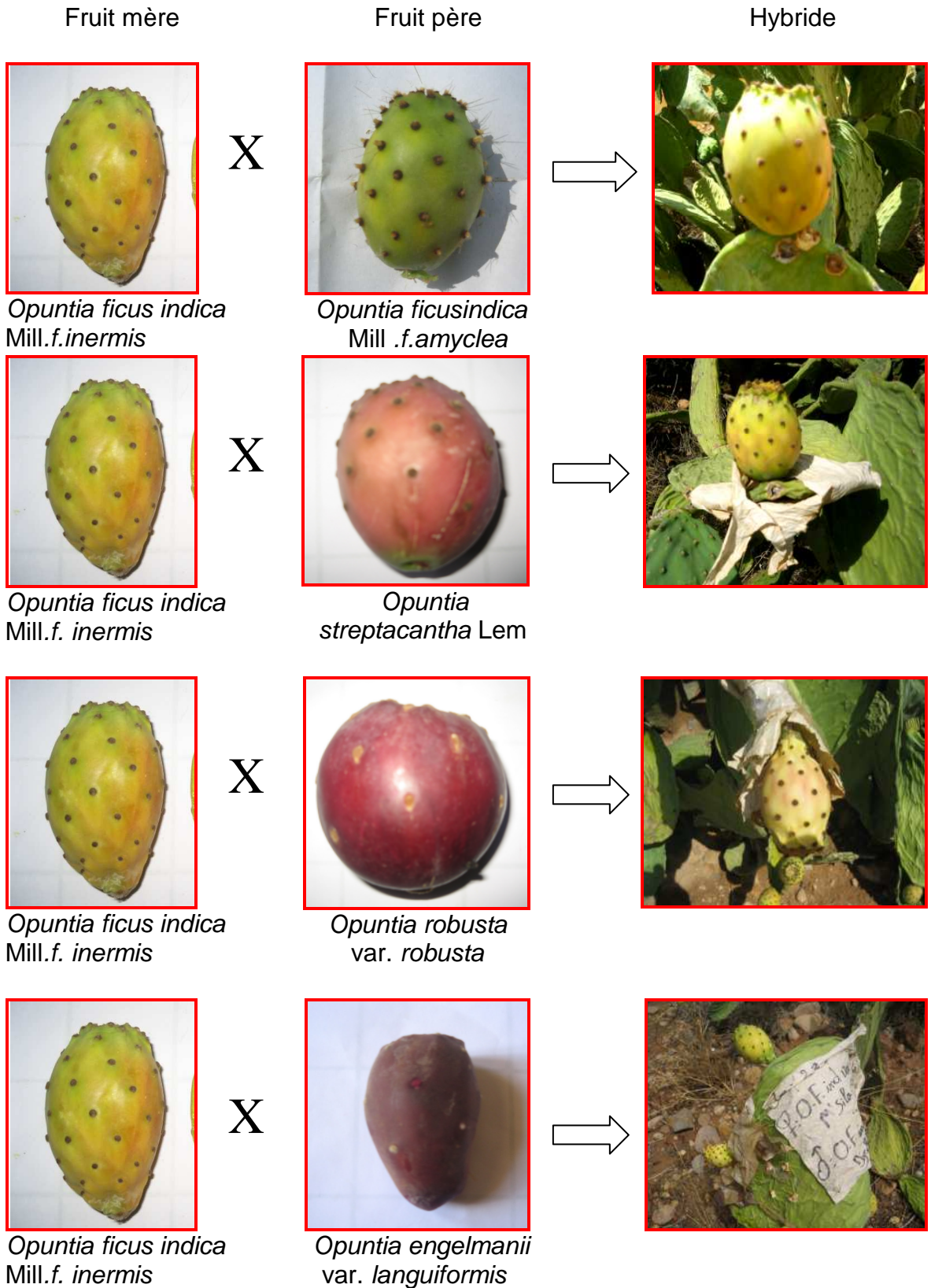


Figure 5.12 : Croisement de l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* avec (*O.ficus indica* Mill .f. *amyclea*; *O. streptacantha* Lem; *O. robusta* var. *robusta*; *O. engelmannii* var. *languiformis*) et aspect des hybrides obtenus

Ces résultats sont en conformité avec des données rapportées par MIZRAHI et al (2004), sur *Hylocereus polyrhizus*; *Hylocereus undatus* et *Selenicereus grandiflorus*; qui rapporte que la source du pollen a un effet sur le poids du fruit. LE BELLEC (2004), trouve que les fruits résultants des pollinisations libres ont été significativement moins lourds ($P = 0.0001$), que ceux issus de la pollinisation manuelle croisée : ($144\text{g} \pm 62\text{ g}$) contre ($358\text{g} \pm 111\text{ g}$) pour les deux espèces de pitaya (*Hylocereus undatus* et de *Hylocereus. costaricensis*).

Les fruits que nous avons obtenus après hybridation, devraient être parmi les plus gros fruits, enregistrés chez l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*. Seule une pollinisation croisée et manuelle peut permettre de produire des fruits de qualité, en terme de calibre.

5.3.3.2 Poids de la pulpe des fruits hybrides (F0) :

L'analyse de la variance montre que le poids de la pulpe diffère en ordre décroissant selon les sources du pollen : L'espèce d'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyoclea* est représentée par le groupe A; l'*Opuntia streptacantha* Lem; est représentée par le groupe B; l'*Opuntia robusta* var. *robusta*, par le groupe C; l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*; par le groupe D. Enfin l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* est représentée par le groupe E (Tableau 5.8).

Tableau 5.8 : Poids de la pulpe des fruits hybrides (F0) selon les sources du grain de pollen

Source de pollen	<i>O.ficus indica</i> Mill.f.		<i>Opuntia streptacantha</i> Lem	<i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>O.engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	Sig
	<i>inermis</i>	<i>amyoclea</i>				
Poids de la pulpe (F0)	45.86±0.02 E	72.22±0.13 A	68.97±0.06 B	62.54±0.3 C	58.80±0.03 D	***

5.3.3.3 Poids de la peau des fruits hybrides (F0)

Le poids de la peau présente des différences très hautement significatives, selon les sources du pollen. Il forme cinq groupes en ordre décroissant; le premier comprend l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. inermis weber, le deuxième correspond à l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*; le troisième comprend l'*Opuntia robusta* var. *robusta*. Le quatrième comprend *Opuntia streptacantha* Lem, et le dernier comprend l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea* (Tableau 5.9).

Tableau 5.9 : Poids de la peau des fruits hybrides (F0) selon les sources du grain de pollen

Source de pollen	<i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f.		<i>Opuntia streptacantha</i> Lem	<i>Opuntia robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>Opuntia engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	Sig
	<i>inermis</i>	<i>amyaclea</i>				
Poids de la peau (F0)	25.45±0.03 A	22.01±00 E	22.95±0.03 D	23.25±0.04 C	23.92±0.04 B	***

5.3.3.4 Nombre des graines viables hybrides (F1)

Le nombre de graines viables par fruit, a été également affecté par la source du pollen. Les fruits hybrides donnent un nombre de graines viables très élevé, variant entre 273.7 et 214 avec l'hybridation dirigée, comparativement aux fruits obtenus sans hybridation dont la moyenne est de 176 (Tableau 5.10).

Ainsi, l'analyse de la variance montre que les quatre types de pollen ont un effet très hautement significatif. Le test de Nexman-keuls montre l'existence de cinq groupes :

Le premier groupe est représenté par l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea* weber ; le deuxième groupe par l'*Opuntia streptacantha* Lem ; le troisième

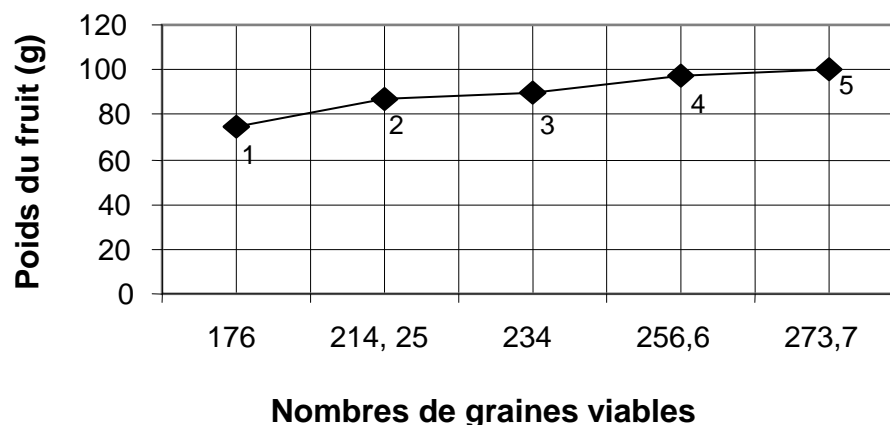
correspond à l'*Opuntia robusta* var. *robusta* ; le quatrième comprend l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis* . Le dernier groupe est représenté par l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* (Tableau 5.10).

En ce qui concerne le programme de l'hybridation entre les cinq espèces (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyclea* weber ; *Opuntia streptacantha* Lem ; *Opuntia robusta* var. *robusta* ; et *Opuntia engelmannii* var. *languiformis*) et l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis*, le nombre total des graines viables hybride (F1) obtenu est de près de 979.05 graines, ce qui constitue un matériel assez important pour réaliser le semis des hybrides F1 en vue de l'obtention de la F2.

Tableau 5.10 : Nombre des graines viables hybrides (F1) selon les sources du grain de pollen

Source de pollen	<i>Opuntia ficus indica</i> Mill .f.		<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	<i>Opuntia robusta</i> var. <i>robusta</i>	<i>O.puntia engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	Sig
	<i>inermis</i>	<i>amyclea</i>				
Nombre de graine viables (F1)	176±1.7 E	273.7±3.3 A	256.6±3.4 B	234±4.04 C	214.25±3.5 D	***

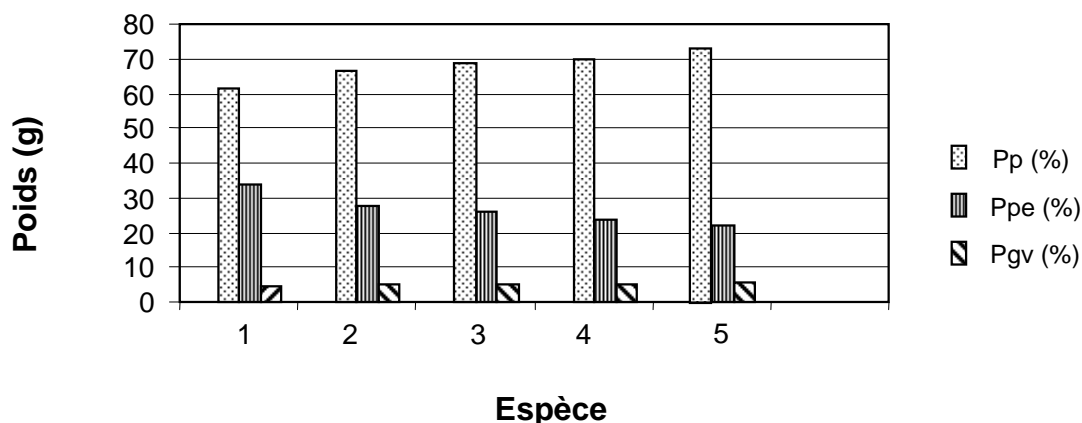
Nos résultats indiquent qu'il y' a une forte corrélation entre le poids du fruit et le nombre de ses graines viables (Figure 5.13), ceci dépend d'une part du nombre de grains de pollen déposés sur le stigmate de la fleur (plus le stigmate reçoit du pollen compatible, plus le fruit sera lourd) et d'autre part, du nombre d'ovules fécondés, donc de l'intensité de la pollinisation. Ces résultats sont en conformité avec des données rapportées par NORMAND (2002), qui montre que la formation d'un fruit et sa qualité, dépendent souvent de la quantité de pollen compatible, reçue par la fleur.



- 1 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis*
 2 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. engelmannii* var. *languiformis*
 3 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. robusta* var. *robusta*
 4 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. streptacantha* Lem
 5 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*

Figure 5.13 : Corrélation entre poids des fruits et nombre des graines viables selon les sources du grain de pollen.

Parallèlement et après l'exploitation de nos résultats, on a enregistré qu'il existe d'une part, une relation étroite entre le nombre de graines viables et le poids des fruits. Ainsi lorsque le nombre de graines viables par fruit augmente, le poids du fruit augmente. Et d'autre part, entre le pourcentage du poids de graines viables; le pourcentage du poids de la chair et le pourcentage du poids de la peau. D'une manière claire, plus le poids des graines viables augmente, plus le poids de la chair augmente. Contrairement, plus le poids des graines viables augmente plus le poids de la peau diminue. Donc on peut conclure que le poids des graines viables influe positivement sur le pourcentage de la chair et négativement sur le pourcentage du poids de la peau (Figure 5.14). Par conséquent; le pourcentage du poids de la pulpe par fruit est très élevé comparativement à celle de la peau et des graines viables (Figure 5.14).



1 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis*

2 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. engelmannii* var. *languiformis*

3 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. robusta* var. *robusta*

4 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. streptacantha* Lem

5 : *O. ficus indica* Mill .f. *inermis* x *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*

Figure 5.14 : Corrélation entre le poids de la pulpe (Pp), de la peau (Ppe) et des graines viables (Pgv)

5.3.3.5 Forme et couleur des fruits (F0)

Aucune influence de la source de pollen n'a été observée sur les caractères qualitatifs de la forme et de la couleur du fruit.

Les quatre sources de pollen utilisées, ont un effet métaxénique sur la variété *O. ficus indica* Mill .f. *inermis*, car la pollinisation de cette variété par les quatre sources de pollen (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyaclea*, *Opuntia streptacantha* Lem, *Opuntia robusta* var. *robusta* et *Opuntia engelmannii* var. *languiformis*) donne des fruits (F0) ayant une couleur et une forme semblable à celle des fruits de la variété femelle, donc indépendamment des sources du pollen utilisées dans ces expériences. Ce processus a été expliqué par DAULTA et CHAUHAN (1983), les tissus affectés par la source de pollen sont seulement d'origine maternelle (les fruits tirent leur origine de la transformation de l'ovaire, alors que les graines sont constituées par les ovules fécondés). Donc les

caractères qualitatifs des fruits n'ont pas été affectés par les différentes sources de pollen. Ces résultats concordent avec ceux de MIZRAHI et al (2004), obtenus sur la variété *Hylocereus polyrhizus*, une fois pollinisées avec les types de pollen de *Selenicereus grandiflorus*; *Hylocereus undatus* et *Selenicereus megalanthus*. De même, l'effet metaxénique des types de pollen a été rapporté pour plusieurs espèces de différentes familles, y compris le palmier dattier. HIGGAZY et al (1982), ont montré que le type de pollen, de la variété Siwi a un effet metaxénique sur les variétés, Zaghloul, Hallawi et Sayer, car la pollinisation de ces variété par le type de pollen Siwi donne des dattes ayant une couleur et une forme semblable à celle des dattes de la variété femelle; Siwi. L'effet de la source de pollen sur les tissus maternels pourrait être négocié par les graines, qui servent de source aux hormones de l'espèce. Bien que la cause principale du metaxénique ne soit pas clairement comprise, ce phénomène peut être mis en utilisation immédiate dans la pratique horticole.

CONCLUSION

Ce travail expérimental mené en plein champ et au laboratoire, nous a permis dans un premier temps, d'étudier la biologie florale des espèces pollinisatrices et pollinisées lors de notre étude. Les résultats obtenus permettent d'affirmer d'une façon précise que les différents stades de croissance des bourgeons floraux sont assez, longs. Ils sont de l'ordre de 6 à 7 semaines après que le méristème commence à être actif jusqu'à la floraison. L'époque de floraison nous a permis de classer les espèces en quatre classes : espèce précoce (*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyckea*); espèce semis précoce (*Opuntia streptacantha* Lem) espèce semis tardive (*Opuntia robusta* var. *robusta*) et espèce tardive (*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*). En plus la durée d'étalement de la floraison la plus courte a été enregistrée chez l'*Opuntia robusta* var. *robusta* avec 10 jours, tandis que la plus longue durée a été enregistrée chez l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyckea* avec 26 jours. Concernant la fertilité des cladodes des différentes espèces en fleurs, elle semble présenter des différences importantes variant de 11 à 2.5 fleurs par raquette. La fertilité des cladodes en fleur est aussi liée à un caractère génétique de l'espèce.

En ce qui concerne, les caractères qualitatifs et quantitatifs des fleurs des différentes espèces étudiées, nous avons constaté qu'il y a des différences entre les différentes espèces.

Cependant; nous avons remarqué que certaines formes gardent leurs caractères qualitatifs et quantitatifs est quant même si elles se trouvent dans deux environnements différents par leurs conditions climatiques et édaphiques. En effet ; ce constat a été observé chez l'*Opuntia ficus indica* Mill .f. *inermis* et *Opuntia ficus indica* Mill .f. *amyckea*, ou la première se trouve dans la région de M'sila (périmètre de Belaiba) et la seconde dans la région de Tébessa (périmètre de

Doukkara). Ainsi malgré la distance entre les deux régions, nous avons dénombré le même nombre de sépales, de pétales de carpelles. La couleur du périanthe, du lobe des stigmates et du style est la même.

Nous pensons que si, ces caractères ne changent pas avec l'environnement, ils ne pourraient être que portés par des gènes.

Concernant la viabilité des grains de pollen, le test de viabilité donne une coloration rouge, révélatrice de la viabilité du pollen pour presque la totalité des espèces étudiées.

En ce qui concerne la germination *in vitro* des tubes polliniques, elle atteint un taux supérieur à 70 % sur le milieu de BKM (1963) avec une concentration de 5 % de saccharose.

Le taux de réussite de l'hybridation est satisfaisant pour les quatre sources de pollen. L'hybridation manuelle a favorisé la nouaison, où le taux de celle-ci atteint les 90 %.

Le poids moyen des fruits résultant de l'autofécondation de la plante mère a été significativement plus faible ($P=0.0000$), que ceux issus des hybridations : (74.81 ± 0.02 g) contre (99.82 ± 0.05 g, 97.05 ± 0.04 g, 90.18 ± 0.04 g, 87.08 ± 0.03 g) pour les quatre sources de pollen.

La couleur et la forme des fruits issus de l'hybridation sont identiques aux fruits de la plante mère.

Le nombre moyen des graines viables par fruit obtenu après l'hybridation est très hautement significatif, comparativement à la plante mère, ce qui a influé positivement sur le poids du fruit.

En ce qui concerne le programme de croisement entre les quatre espèces d'*Opuntia*, le nombre total des graines viables hybrides obtenu est de près de 979.05 graines, constituant un matériel assez important pour réaliser le semis des hybrides F1 en vue de l'obtention de la F2.

Les résultats que nous avons obtenus après l'hybridation sont préliminaires, ils constituent un matériel végétal de base pour une éventuelle sélection. Il reste à exploiter les graines hybrides obtenues pour déterminer les meilleurs géniteurs, afin d'atteindre l'idéotype recherché (résistance au froid, fruits sans ou avec peu de graines, teneur élevée en protéines, sans épines).

Il serait intéressant pour l'avenir de poursuivre ce travail, commençant par le semis des graines hybride, dans des environnements différents afin d'évaluer leur comportement vis à vis des conditions climatiques et édaphique. Avant l'entrée en production, il faudra sélectionner les meilleurs individus (choix phénotypique), une fois les individus productifs, une sélection basée sur l'époque de floraison, nombre de fleur par raquette, la qualité et la quantité des fruits, s'impose.

Il est indispensable sur le plan de base génétique, de ce genre d'*Opuntia*, de tracer une stratégie, pour la collection des ressources génétiques existantes en Algérie, de pratiquer l'hybridation et de multiplier afin de créer une banque de gènes qui constitue un réservoir de la biodiversité.

Une plantation mixte des quatre génotypes offrira toutes les conditions nécessaires à des pollinisations libres et croisées :

- Le verger devra être composé d'au moins trois variétés ou espèces d'*Opuntia*. Cette composition permettra de disposer, sur place, du pollen nécessaire à la pollinisation.
- Il conviendra donc de composer avec les variétés cultivées les parents (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis*; *O. ficus indica* Mill .f. *amyaclea*, *O. streptacantha* Lem;

O. robusta var. *robusta*; *O. engelmannii* var. *languiformis*.) et les groupes des hybrides: (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis* × *O. ficus indica* Mill .f. *amyctea*) ; (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis* × *O. streptacantha* Lem.); (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis* × *O. robusta* var. *robusta*) ; (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis* × *O. engelmannii* var. *languiformis*). En se basant sur le fait que tous les croisements sont possibles.

- Enfin de déterminer la caryologie de chaque espèce nouvelle issu du croisement afin de classer ces nouvelles variétés d'après leur nombre chromosomique.

REFERENCES

1. Donkin. R «Spanish red: an ethnogeographical study of cochineal and the *Opuntia* cactus», Transactions of the American Philosophical Society 67, 1977, pp 1-77.
2. Casas. A et Barbera. G, «Mesoamerican domestication and diffusion», In :Nobel. P.S, [ed.], Cacti : biology and uses, University of California, Berkeley, California, USA, 2002, pp143-162.
3. Russell. C.E et Felker. P, «The prickly pears (*Opuntia* spp. Cactaceae)», a source of human and animal food in semiarid regions. Economic Botany 41, 1987, pp 433-445.
4. Anderson. E.F «The cactus family», Timber Press, Portland, Oregon, USA, 2001, p.776
5. Le Houérou. H.N «The role of cacti (*Opuntia* Sp.) in Erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development», In : The Mediterranean Basin, Journal of arid environments, 33, 1996, pp 135-159.
6. Griffith. M.P «The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae)», New molecular evidence¹. American Journal of Botany. 2004, 91 : pp 1915-1921.
7. Sejuro. N.O «Plantas Medicinales Utilizadas por los Curanderos de Nasca», 2nd ed. Boletín de Investigación en Tecnologías. Nativas 5, 1990, www.amjbot.org
8. Kiesling. R «Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*», Journal of the Professional Association for Cactus Development 3, 1998, pp 50-59, Online at www.ipacd.org
9. Sáenz-Hernandez. C, Corrales-Garcia. J et Aquino-Pérez. G, «Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal», In : Nobel. P.S, [ed.], Cacti: biology and uses, University of California, Berkeley, California, USA, 2002, pp 211–234.
10. Bravo-Hollis. H «Las Cactáceas de México», 2^{eme} ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico, 1978. p.743
11. Benson. L.H «The cacti of the United States and Canada», Stanford University Press, Stanford, California, USA, 1982, p.10
12. Fournier. P «Les cactées et les plantes grasses», ed.^{2eme} édition, PAULLECHEVALIER, Paris, 1954, p.305+Atlas p.108.

13. Barbera. G, Carimi. F et Inglese. P, «Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller, Cactaceae) », In: The agriculture of Sicily. Economic Botany 46, 1992, pp 10-20.
14. Barthlott. W et Hunt. D.R, «Cactaceae», In : Kubitski. K, Rohwer. J.G, Bittrich. V, (Eds.). The Families and Genera of Vascular Plants. Vol (2). Springer, Berlin, 1993, pp 161-197.
15. Rzedowski. J «Vegetacion de México» Limusa, México, 1978, p.431.
16. Lopez-Garcia. J.J, Fuentes-Rodriguez. J.M et Rogriguez. R.A, «Production and use of *Opuntia* as forage in Northern Mexico», In : Mondragón. J.C et Pérez-González. S, (Eds). pp 29-36. «Cactus (*Opuntia spp.*) as forage», FAO Plant protection and production paper 169, 2001, p. 146
17. Boujghagh. M et Chajia. L, «Le cactus : outil de gestion de la sécheresse dans le sud marocain», terre et vie, N° : 52, 44, Rabat (Maroc), Nob/Déb 2001, p.7, www.Terre-et-vie.ov.h.org/cactus.pdf.
18. Dos Santos. D.C et de Albuquerque. S.G, «Fodder use in the semi arid northeast of Brazil» In : Mondragon. J.C et Perez-Gonzalez. S, (ed.). «Cactus (*Opuntia spp*) as forage», F.A.O. plant production and protection paper 169, FAO, Rome Italie, 2001, pp 37–49.
19. F. A. O. «Projet FAO/CIRGP/PNUE sur les ressources génétiques pour l'amélioration de la vie rurale dans les zones arides et semi-arides, 1979», In : Cahier FAO conservation 21 Travaux de la Consultation FAO d'experts sur le rôle de la foresterie dans la lutte contre la désertification Saltillo, Mexique, 24-28 juin 1985, www.fao.org
20. Khouri. M.S «*Opuntia* bilan écologique en Algérie», INRA et CAREF, (Janv.1970), p.59
21. Barbera. G «History, economic and agro-ecological importance», In: Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E.de J, (Eds.), Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. FAO, Rome, 1995, pp 1-11.
22. Araba. A, El Aich. A et Sarti. B, «Valorisation du figuier de Barbarie en élevage», Bultten Mensuelle d'Information et de Liaison du PNTT N° 68, 2000, pp 1- 4.
23. Mulas. M et Mulas G, «Potentialités d'utilisation stratégique dans des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification», Short and medium – term priority environmental action programme (SMAP), Université des études de Sassari, groupe de la recherche sur la désertification, Italie, Fev. 2004, p.112

24. Agence Méditerranéenne de l'Environnement « Plantes envahissantes de la région méditerranéenne », Fichier N°12 "*Opuntia spp.* Oponces ou figuier de Barbarie » Agence Régionale Pour l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2003, p.51
25. Anaya-Pérez. M.A «History of the use of *Opuntia* as forage in Mexico», In: Mondragon. J.C et Perez-Gonzalez. S, (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as storage*. Rome, Italy, FAO, 2001, pp 5-12.
26. Walali. L «Bultten de liaison du Programme National de transfert de technologie (PNTTA)», Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat (Maroc), N°35, 1998, pp 5-10.
27. Monjauze. A et Le Houérou. H.N, «Le rôle de l'*Opuntia* dans l'économie Agricole Nord-africaine», Extrait du Bultten de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Tunisie. N°8-9 Septembre-December, 1966, pp 85-164.
28. Tegegne. F «In vivo Assesement of the Nutritive Value of Cactus Pear as a Ruminant Feed», 323-328. In : Néfzaoui. A et Inglese. P, «Proceedings of the Fourth International Congress on Cactus Pearand Cochineal», ACTA HORTICULTURAE, Novembre 581, Hammamet, Tunisia 22-28 Octobre 2000, p.352
29. Abay. F «Gestion par les agriculteurs d'une plante cultivée pour lutter contre la faim en Ethiopie du Nord», Conservation et utilisation durable de la biodiversité agricole (Guide de référence). Rome, Italie, 14, 2005, pp 117-122.
30. Boiteau. P «Cours de Botanique > 08). La carotte- Ombellifères : Myrtacées -Mélastomacées – Cactacées», (8ème TYPE). In : Ile Rouge Botanique et Madagascar. Copyright © Association Ile Rouge, 28 septembre, 2006, www.ilerouge.org
31. Kenny. L «Le Figuier de barbarie Importance économique et conduite technique», Bulletin réalisé à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), Rabat (Maroc), BTT n°35, 1997. www.espaces-marocains.com.
32. Correale. G «Arbustes fourragers, leurs rôles pour le développement et la conservation environnementale des zones arides et semis arides méditerranéennes», Rapport 28 Septembre – 9 Octobre IGA, Méditerranéennes des Sarages, 1998.
33. F. A. O. «Share of the semester, recommandation of the fourth international congress on cactus pear and cochineal and the fourth general meeting of the FAO international technical cooperation on cactus pear (cactusnet- FAO)», Hammamet Tunisie/Octobre 23-27, 2000, Cactus Net Newsletter, FAO international technical cooperation net mork on cactus, issue N° 6, June 2002, pp 17-19.

34. Arias –Jiménez. J «Agro-écologie cultivation and uses of cactus pear», FAO, 1995, p.834
35. Chouaki. S «Deuxième rapport national sur l'état des ressources génétiques», Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture INRAA/Juin 2006, p.91
36. Kadik. B «Les plantation semi forestières pastorales», Revue INRA, Alger, Nov.1974, pp 83-92.
37. F. A. O. «Etudes des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Alger, amélioration des pâturages et de l'élevage», Programme des Nations Unies pour le Développement, O. N. U. pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome Italie, AGS : DP/ALG/ 66/509, rapport technique, 1974, p.27
38. Langkawi. M «Convention sur les commerce international des espèces de fausse et de flore sauvages menacées d'extinction», Onzième session du comité pour les plantes, Proposition relatives à des espèces à soumettre à la CdP12, Annexe1», Examen des propositions d'aménagement des annexes I et II de la convention, PC11 Doc.10 1.1, 2001, p.22
39. Schweizer. M «Docteur NOPAL le médecin du Bon Dieu», APB, ed.3^e trimestre, France, 1997, p.81
40. Cronquist. A «The evolution and classification of flowering plants», Ed. 2 New York Botanical Garden Bronx, 1988.
41. Rebmenn. J.P et Pinkava. D.J, «*Opuntia* cacti of North America—an overview Cactus d'*Opuntia* de l'Amérique du Nord», Floride Entomologiste 84 (4). Décembre 2001, pp 474-483.
42. Labra. M, Grassi. F, Bardini. M, Imazio. S, Guiggi. A, Citterio. S, Banfi. E et Sgorbati. S, «Genetic relationships in *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae) detected by molecular marker», Plant Science 165, Milan, Italy, 2003, pp 1129-1136.
43. Kenny. L «Le figuier de Barbarie, importance agronomique et conduite technique», Bulletin de l'institut agronomique et vétérinaire Hassan II, MADRPM/DERD N° 35, Agadir (Maroc), Août, 1997, www.iav.ac.ma/pntta
44. Crête. P «Système des angiospermes», Précis de botanique. Tome II; 2^{ème} édition, 1965, pp 267-270.
45. Piedallu. A «Le figuier de Barbarie sans épines en Algérie», Service botanique, édition N° 77/MINERVA (Alger); 1936, p.143
46. Reynolds. G.S et Arias. E, «Introduction», In : C. Mondragón, J. et Pérez-González, S., pp.1-4. «Cactus (*Opuntia spp.*) as forage», F. A. O Plant production and protection paper 169. 2001, p.146

47. Flores. V.C.A et Aranda. G.O, «*Opuntia*-based Ruminant Feeding Systems in Mexico», University of Chapingo, Mexico, J-PACD-1997, p.8
48. Sudzuki. H.F «Anatomy and morphology», In : Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E. de J, (eds.), Agro-ecology, cultivation and uses of cactuspear», FAO., plant production and production paper 132, Rome Italy, 1995, pp 28-35.
49. Le Houérou. H.N «La désertification des régions arides», Doct. Trav. Pro. FAO/Tun /, 1966, p.71
50. Laperonie. A «Les productions fourragères méditerranéennes Techniques», ed. ENSAT. Laboratoire de Production Fourragère, 1982.
51. Kenny. L «Importance et conduite technique», Institut Agronomique et Vétérinaire Hassen II, Agadir (Maroc), 2002, p.6
52. Chalandre. M.C «Éléments de Botanique, Cours de première année de Pharmacie», UFR de Pharmacie et Ingénierie de la Santé – ANGERS, 1999-2000, www.123bio.net
53. Bossard. R «Floriculture», N°3, ed. 4^{eme} édition entièrement revue, Collection d'Enseignement Horticole., Paris, 1978, pp 269-270.
54. Monjouz. A et Le Houerou. H.N, «Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole Nord Africaine», Bulletin Ecole National Supérieur d'Agriculture de Tunisie, 1996, p.77
55. Evéque. V.D «Optimisation of tissues cultures for *Opuntia*», thesis, University of Texas, Mai 1995, www.Lawrence.edu
56. Buxbaum. F «The phylogenetic division of the subfamily cereoi-deae cactaceae», Madrono 14, 1958, pp 177-216.
57. Grant. B.R et Grant. P.R, «Exploitation of *Opuntia* cactus by birds on The Galapagos », Oecologia 49, 1981, pp 179-187.
58. Reyes-Aguiero. J.A, Aguirre. R.J.R et Valiente. B.A, «Reproductive biology of *Opuntia* A review», In : Journal of Arid Environments 64, 2006, pp 549-585.
59. Boke. N.H «Developmental morphology and anatomy», In : Cactaceae. BioScience 30, 1980, pp 605 - 610.
60. Garralla. S et Cuadrado. G.A, «Pollen morphology of *Austrocylindropuntia* Backeb, *Maihueiopsis* Speg., *Opuntia* Mill. and *Tephrocactus* Lem. (Cactaceae, Opuntioideae) of Argentina», 31 January 2007, pp 1-17.

61. Pinkava. D.J «Cactaceae Cactus Family Part Three *Cylindropuntia* (Engelm) Knuth chollas», Journal Arizona Nevada Academy Science 23, 1999, pp 32-47.
62. Reeb. C et Dubuisson. J.Y, «Systématique des Embryophytes», Document illustrant plus particulièrement les taxons européens version 3-1 octobre, Université Pierre et Marie Curie (PARIS 6), Préparation à l'agrégation SVSTU, secteur B, 2006, p.66
63. Inglese. P, Barbera. G et Carimi. F, «The effect of different amount of cladodes removal on re.owering of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L Miller) », Journal of Horticulture Science 69, 1994, pp 61-65.
64. Rebours. H «Fruits méditerranéens autres que les agrumes», Maison rustique. Paris, 1968, p.207
65. Garcia. P.L.G, Reyes-Aguero. J.A, Aguirre. R.J.R et Pinos-Rodriguez. J.M, «Caracterizacion nutrimental de frutos deshidratados de seis variantes de Xoconostle (*Opuntia* spp.)», In : Esparza. G, Salas. M, Mena. J et Valdez. R, (Eds.), «Memoria del IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal», Universidad Autonoma Chapingo, Universidad Autonoma de Zacatecas e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Zacatecas, 2003, pp 18-22.
66. Glouib. M, Maataoui Belabbes. S et Hilali. S, «Evolution de la composition physico-chimique au cours de la maturité des fruits du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*)», Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole (APA) Recueil des Résumés. Maroc Settat, 16 – 17 Mars 2006, p.218
67. Nerd. A et Mizrahi. Y, «Reproductive biology», In: Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E.de J, (Eds.), «Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear», FAO, Rome Italy, 1995, pp 49-58.
68. Barbera. G, Inglese. P et La Mantia. T, «Seed content and fruit characteristics in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Miller)», Scientia Horticulturae 58, 1994, pp 161-165.
69. Pimienta. B.E et Engleman. E.M, «Desarrollo de la pulpa y proporcion, en volumen, de los componentes del loculo maduro en tuna (*Opuntia ficus-indica* [L.] Miller)», Agrociencia 62, 1985, pp 51- 56.
70. Barbera. G, Carimi. F et Inglese. P, «The reowering of prickly pear *Opuntia ficus-indica* L. Miller, influence of removal time and cladode load on yield and fruit ripening Advances», In : Horticulture Science 5, 1991, pp 77-80.
71. Reyes-Aguero. J.A, Aguirre. R.J.R et Carlin-Catelan. F, «Analisis de la variacion morfologica de 38 variantes mexicanas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller», In : Esparza-Frausto. G, Valdez-Cepeda. R.D et Mendez-Gallegos S.J, (Eds.), El nopal, topicos de actualidad. Universidad Autonoma

Chapingo, Chapingo, Mexico, 2004, pp 21-47.

72. Bowers. J.E «The effect of drought on Engelmann prickly pear (Cactaceae : *Opuntia engelmannii* fruit and seed production», *Southwestern Naturalist* 42, 1997 b, pp 240-242.
73. Adli. B «Contribution a l'étude de l'*Opuntia* et perspectives d'amélioration dans le milieu steppique», Mémoire de magister, Faculté des Sciences Agro-Vétérinaire, Département d'Agronomie, Université de Blida, 2007, p.144
74. Piotto. B et Di Noi. A, «Seed propagation of mediterranean trees and shrub», APAT-Agency for the protection of the environment and for technical services Via Vitaliano Brancati, 48-00144 Roma – Italy, 2003, pp 38-39.
75. Mulas. M et D'allewin. G.G, «Fruit quality of four cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivars as influenced by irrigation», *Acta Horticulture* 438, 1997, pp 115-121.
76. Khales. A et Baaziz. M, «Peroxydases d'*Opuntia ficus indica* L. Activités catalytiques et propriétés biochimiques», Congrès International de Biochimie. Marrakech, Maroc, 3-6 Mai 2004, pp 142-145.
77. Garcia-Carreno. F.L «Peroxidase activity in the xerophytic cardon (*Pachycereus Pringlei*), a cactaceae of Sonoran desert of Mexico», *J. Plant Physiol.* (142), 1993, pp 274-280.
78. Susum. H, Katsutomo. S, Hiroyuki. I, Yuko. O et Hirokazu. M, «A large family of class III plant peroxidases», *Plant cell physiol.* 42(5), 2001, pp 462-468.
79. Bouya. D «S3 SVI Biologie Végétale Cormophytes (Végétaux Supérieurs) Morphologie, Anatomie, Reproduction, Adaptations», 2006, p.76
80. Leclerc. J.C «Ecophysiologie végétale», Publication de l'Université de Saint-Etienne, 1999, p.277
81. Pimienta. B.E «El nopal tunero», Edizioni dell'Università di Guadalajara, Mexico : 1990, p.246
82. Juárez. M.C et Passeea. C.B, «Propagation in vitro d'*Opuntia* aux états de champ», *Biocell-ISSN0327-9545* version nimpresa, *Biocell* v.26 N°3 Mendoza Argentine, 2002, p.10
83. Mauseth. J.D «Introduction to 9 cactus anatomy», *Epidermis Cactus and succulent journal US*, N°7, 1984, pp 272-276.
84. Wang. N, Zhang. H et Nobel. P.S, «Phloem-xylem water flow in developing cladodes of *Opuntia ficus-indica* during sink to source transition», *J. Exp. Bot.*, 48, 1997, pp 675-682.

85. Dekok. G «The use of *Opuntia* as a fodder source in arid areas of southern Africa», In: Mondragon. J.C, Perez. S.G, Reynolds. S.G et Sánchez. M.D, (eds.), «Cactus (*Opuntia* spp.) as forage», F. A. O. plant production and protection paper 169, Rome Italy, 2001, pp 101-107.
86. De Kock. G.C «Cultivation of drought tolerant fodder shrubs», In : Browse in Africa: The Current State of Knowledge (Le Houérou, H. N. ed.). International Livestock Center for Africa, Addis-Abeba, Ethiopia, 1980, pp 399-410.
87. Monjauze. A «Rapport provisoire sur les *Opuntia*», Roéo. Minist. Agr. et Réf. Agr. Alger, 1964, p.63
88. Mondragón. J.C, Méndez-Gallegos. J.S et Olmos-Oropeza. G, «Cultivation of *Opuntia* for fodder production: from re-vegetation to hydroponics», In: Mondragon. J.C, Pérez. G.S, Arias. E, Reynolds. S.G Sánchez, M.D, (eds.) «Cactus (*Opuntia* spp.) as forage», FAO. Plant production and production paper 169, Rome Italy, 2001, pp 107-122.
89. Levitt. J «Response of plant to environmental stress», Vol. II. Water radiation, salt and other stresses. 2nd ed. Academic Press, New York, 1980.
90. Nobel. S.P et Hartsock. T.L, «Relationship between photosynthetically active ratio, nocturnal acid accumulation and CO₂ uptake for Crassulacean acid metabolism plant in *Opuntia ficus-indica*. Plant physiology», 71, 1983, pp 71-75.
91. Bowers. J.E «More. Owers or new cladodes ? Environmental correlates and biological consequences of sexual reproduction in a Sonoran Desert prickly pear cactus *O. Engelmannii* », Bulletin of the Torrey Botanical Club 123, 1996 a, pp 34-40.
92. Bowers. J.E «Growth rate and life span of a prickly pear cactus, *Opuntia engelmanni* in the northern Sonoran Desert.Southwestern Naturalist», 41, 1996 b, pp 315-318.
93. Monet. R et Bastard. Y, «Effet d'une temperature modérément élevée», 25C° sur les bourgeons floraux du pêcher, Rev. Physio. Vég. 9 (2), 1970, pp 209-228.
94. Pesson. P et Louveaux. J, «Pollinisation et production végétale», Ed. INRA, Paris, 1984, p.633
95. Benttayeb. Z «Biologie et écologie des arbres fruitiers», Collection le Cour d'Agronomie Institut d'Agronomie de Chlèf. (Ed.). Office des Publication Universitaires, 1993, p.139
96. Mandujano M.C, Montan. A.C et Eguiarte. L.E, «Reproductive ecology and

inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert», Why are sexually derived recruitments so rare ? American Journal of Botany 83, 1996, pp 63-70.

97. Liguori. G, Di Miceli. C, Gugliuzza. G et Inglese. P, «Physiological and Technical Aspects of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) Double Reflowering and Out-of-Season Winter Fruit Cropping», In : International Journal of Fruit Science (ISSN : 1553-8362), Vol (6), Issue 3, Canada, 2006, pp 23-34.
98. Del Castillo. R «Exploracion preliminar sobre los sistemas de cruzamiento en *Opuntia* », In : Aguirre. R.J.R et Reyes-Aguero. J.A, (Eds.), Memoria del VIII Congreso Nacional y III Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autonoma de San Luis Potosi, San Luis Potosi, 1999, pp 360-389.
99. Rosas. C.P et Pimienta. B.E, «Polinizacion y fase progamica en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.)Miller) tunero», Fitotecnica 8, 1986, pp 164-176.
100. Barbier. E «Pollinisation, Pourquoi? Comment?», Ed. Barbier, 1986, p.471
101. Bourbonnais. G «Ressources en ligne et actualités scientifiques Francophones», Cégep de Sainte-Foy Québec. Canada 3 Décembre 2006, p. 250, www.cegep-stefoy.qc.ca
102. Gautier. M «Quelques problèmes posés par la fructification des arbres fruitières», Rev. Arbo. Fruit, N°210, 1971, pp 20-27.
103. Gouyon. P.H «Les Fleur, Evolution de l'architecture florale des Angiospermes», © Dunod, Paris, 2002, p.177, www.dunod.com
104. Contanceau. J «L'arboriculture fruitière. Technique et économie des cultures des rosacées fruitières ligneuses», Ed. Bailliére. J.B. 1962, p.575
105. Berkaloff. A «Concepts et Techniques», Bulletin des Biotechnologies N°210, INRA, Septembre, 2003, p.37, www.inra.fr
106. Mondragon. J.C et Pimienta. B.E, «Propagation», In : Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E de J, (Eds.), Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. F.A.O., Rome, 1995, pp 58-70.
107. Weiss. J, Nerd. A et Mizrahi. Y, «Vegetative parthenocarpy in the cactus pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill », Annals of Botany 72, 1993, pp 521-526.
108. Pinkava. D.J, Parfitt. B.D, Baker. M.A et Worthington. R.D, «Chromosomes numbers in some Cacti of Western North America-VI-with Nomenclatural Changes», Madrono. 39(2), 1992, pp 98-113.

109. Pimienta. B.E et Munoz. U.A, «Demostication of *Opuntia* and cultivated varieties», In : Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E.De J. (eds.), Agro-écologie, «cultivation and uses of cactus pear», EAO., plant production and production paper132, Rome Italy, 1995, pp 58-63.
110. Demarly. Y et Sibi. M, «Amélioration des plantes et biotechnologie», (ed). John Libbey. Eurotext, Paris, 1989, p.152
111. Aguilar. B.G et Chavez. F.S, «Frutos partenocarpicos de nopal (*Opuntia amyclae* mediante la induccion de esterilidad masculina», In : Pimienta. B.E, Neri. L.C, Munoz. U.A et Huerta. M.F.M, (Eds.), Memoria del VI Congreso Nacional y IV Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 1995, pp 136-138.
112. Nieddu. G, Satta. D, Depau. L, Pala. M et Chessa. I, «Description and identification of cactus pear variety as fruit corps», In : IV Internationa Congress of Cactus and IV thmeeting on cactus net FAO, Hammamet , Tunisie, Octobre 2000, p.2
113. Parnes. J, Charrier. A, Combes. D, Guillaumet. J.L, Leblanc. J.M, Lourd. M, Nguyen van. E, Savidan. Y et Second. G, «Gestion des ressoiurces gtenetiques des plantes», Tome II, Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 1984, p.346
114. Mergen. F «Unasylya - Vol. 13, No. 3 - Recherches sur l'amélioration des arbres fruitiers (II)», University School of Forestry, New Haven, Connecticut, Etats-Unis, 2004, www.fao.org
115. Grant. V.K.A et Grant. K.A, «Hybridization and variation in the *Opuntia phaeacantha* group in central Texas», Botanical Gazette, Vol. 140, N°. 2 Jun, 1979, pp 208-215.
116. Mondragón. J.C et Pérez. G.S, «Germplasm ressorces and breeding opuntia production and protection», In : Mondragon. J.C, Perez. G.S, Arias. E, Reynolds. S.G et Sanchez. M.D, (eds.), «Cactus (*Opuntia spp.*) as forage», Fao. Plant production and protection paper 169, Rome Italy, 2001, pp 21-28.
117. Grant. V.K.A et Grant. K.A, «Natural hybridization between the cholla cactus species *Opuntia spinosior* and *Opuntia versicolor*», N°9, in : HighWire Press-hosted journals : Proceedings of the National Academy of Sciences, USA Vol. 68, 1993-1995, Abstract/Free Full Text
118. Valdez-Cepeda. R.D, Blanco-Macías. F, Gallegos-Vázquez. C, Salinas García. G.E et Vázquez-Alvarado. R.E, «Freezing Tolerance of *Opuntia spp*», San Nicolás de los Garza, N. L., México, J. PACD May 2001, pp 105-116.

119. Trujillo. A.S et Gonzalez. E.M, «Hybridization, reproductive isolation and reproduction forms of *Opuntia spp* », *Agrociencia (Mexico)*; Serie Recursos Naturales Renovables. V. 1(1), Mexico, 1991, pp 39-58.
120. Monneveux. P et This. D, «La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : Espoirs et difficultés. Synthèse sécheresse», Ed. INRA. Paris, 1997, pp 29-36.
121. Kerstupp. S.F, Scheinvat. L, Bottler. R, Peter Amador. M.C, Conzalez. C, Migalgomontano. M et Tuarez-Tapia. J, «Ethnobotany of *Opuntia* in three locations of Alto-Mezquital de Hidalgo, Mexico», In : IVth International Congress on Cactus and Cochineal and IVth meeting of cactus net FAO, Octobre 2000 Hammamet, Tunisie, 2000, p.23
122. Tous. J et Ferguson. L, «Mediterranean fruits», In : Janick, J. (ed.) *progress in new crops*» ASHS press, Arlington VA., 1996, pp 416-430.
www.hort.purdue.edu
123. Payot. L «La défence des plantes cultivées», 7^{ème} Ed. Maison rustique, Paris, 1979, pp 211-212.
124. Walali. L «Quelques espèces fruitières d'interet secondaire cultivées au Maroc», In : Liàer. G, Aksoy. U et Mars. M, (eds), «Culture sous utilisées dans la région méditerranéenne», Zaragoza, CIHEAM-IAMZ (Cahier option mediterraneene, 4. 13), Zaragoza (Spain), 1995, pp 47-62.
125. Felker. P, Paterson. A et Jenderek. M.M, «Forage Potential of *Opuntia* Clones Maintained by the USDA, National Plant Germplasm System (NPGS) Collection», Review et Interpretation, Published in : *Crop Sci* 46, 2006, pp 2161-2168
126. Havaux. A et Lannoye. R, «Changement biochimique observé pendant l'adaptation au froid de l'orge», In : *Revue agronomique mensuelle : Science de production végétale et de l'environnement*. Ed. INA. Paris, 1982, pp 1-7.
127. Felker. P «Utilisation of *Opuntia* forage in the United States of America», In : Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E. De J. (eds.), «Agro-écologie, cultivation and uses of cactus pear», F. A. O., plant production and production paper 132, Rome Italy, 2001, pp 51-56.
128. Barbera. K.M «Characterization of cactus pear germplasm in South Africa », A thesis submitted In: fulfilment of the requirements for the degree of Philosophiae Doctor. The Faculty of Natural and Agricultural Sciences. Department of Plant Sciences (Plant Breeding Division). University of the Free State May-2007, p.194
129. Felker. P «Forage and fodder production and utilisation». In : Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E. de J. (eds.), «Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear», F.A.O., plant production and

- production paper 132, Rome Italy, 1995, pp 144-154.
130. Nefzaoui. A et Bensalem. H, «*Opuntia*, a strategic Fodder and Efficient tool to combat desertification in the WANA region», INRAT. Tunisie, 1997.
 131. Felker. P et Inglese. P, «Short-term and long-term research Needs For *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. Utilisation in Arid Areas», J. PACD, Novembre 2003, pp 131-151, www.j.pacd.org/pdf.
 132. De Kock. G.C «Drought resistance of fodder crops (crops in South Africa)», In : Browse in Africa: The Current State of Knowledge (Le Houérou. H.N, ed.). International Livestock Center for Africa, Addis-Abeba, Ethiopia, 1983, pp 1-30.
 133. Rojas-Aréchiga. M et Vázquez-Yanes. C, «Cactus seed germination: a review. Journal of Arid Environments», 44, 2000, pp 85 –104.
 134. Beltran. P.M «Evaluacion del potencial germinativo en el laboratorio de cinco especies de *Opuntia* de los estados de San Luis Potosi y Zacatecas», Bachelor thesis. Mexico, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia, 1984, p. 49
 135. Montiel. S et Montana. C, «Vertebrate frugivory and seed dispersal of a Chihuahuan Desert cactus», Plant Ecology 146, 2000, pp 221-229.
 136. Potter. R.L, Petersen. J.L et Ueckert. D.N, «Germination responses of *Opuntia* spp. To temperature, scarification, and other seed treatments, Weed Science», N°32, 1984, pp 106-110.
 137. Hernández. H.M, Gomez. H.C et Barcenas. R.T, «Studies on Mexican Cactaceae.II. *Opuntia megarhiza* a poorly known endemic from San Luis Potosi», Mexico. Brittonia 53, 2001 b, pp 528-533.
 138. Harvey. A.D «Rootsprouts as means of vegetative reproduction in *Opuntia polyacantha*», Journal of the American Society of Agronomy 28, 1936, pp 767-768.
 139. Swiatoniowski. P «Naître de quelques aréoles», In : Revue du Tephrocactus Study Group. p.3, www.arides.info
 140. Guevara. J.C, Estevez. O.R, «*Opuntia* spp. for fodder and forage production in Argentina: experiences and prospects», In : Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. Mondragón, J.C. Pérez González. S, (eds), pp 63-71. Rome Italy, FAO,2001.p.146, www.scielo.org.ar
 141. Poupon. J.E «Cactus et ressources fourragères», Note technique. Note technique N° 2. Projet PNUD/FAO MOR/73/016, Amélioration et aménagement des parcours forestiers. Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire - Maroc. 1975, p.12

142. Bourbouze. A et Donadiou. P, «L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes», CIHEAM/LAM : Montpellier, 1987, p.104
143. Santacruz-Ruvalcaba. F, Gutiérrez-Moraand. A et Rodríguez-Garay B, «Somatic embryogenesis in some cactus and agave species», JPACD 3, 1998, pp 15-26.
144. F. A. O. «Elevage : du nouveau au menu Les spécialistes de la FAO étudient le potentiel inexploité des mûriers et du figuier de Barbarie», Focus / 2000, www.fao.org
145. Nefzaoui. A, Bensalem. H et Bensalem. L, «La complémentation azotée du Cactus inerme pour les ovins. Effet de la source d'azote», In : Annals de zootechnie. INRAT, 1995, pp 425-430.
146. Beloued. A « Plantes médicinales d'Algérie», 1998, p.26
147. Espinosa. J, Borrocal. R, Jara. M, Zorrilla. C, Zanabria. C et Medina. J, «Quelques propriétés et essais préliminaires de conservation des fruits et du jus de figue de barbarie (*Opuntia ficus indica*) », Fruits 28, 1973, pp 285–289.
148. Kenny. L «Le figuier de barbarie *Opuntia ficus indica* L», Acte de la journée d'étude sur le caprier et le cactus, organiser par DPA de Marrakech, 1995, pp 49-60.
149. El Mannoubi. I, Barrek. S, Skanji. Th et Zarrouki. H, «Etude de la composition chimique des granies du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) », In : Internationa Symposium on Perfume, Aromatic and Medicinal Plants : from production to valorization : SIPAM 2006 Jerba, Tunisia, 2-4Novembre2006, Thème A, p.24.
150. Dupard. S «Zones tempérées et méditerranéennes le figuier de barbarie article édition fruit oublier», France N°3, 2005, pp 16-18.
151. Nefzaouie. A «Utilisation médicinales et cosmétiques des cladodes, des fleurs et des fruits de cactus», Programme régional d' ICARDA Afrique du Nord, Tunisie, SIPAM Thème 2006 C.
152. Nobel. P.S «Ecophysiologie of *Opuntia ficus indica*» In : Mondragon. J.C, Pérez. G.S, Arias. E, Reynold. S.G et Sánchez. M.D. (eds.), «Cactus (*Opuntia spp.*) as forage», F. A. O. PLant production and protection paper169, Rome Italy, 2001, pp 13-20.
153. Djebaili. S «Steppe algérienne phytosociologie et écologie», édition O.P.U., Alger, (1984), p.177
154. Djellouli. H.T.Y «Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud Oranais, wilaya de Saida comportements des espèces vis-à-vis des éléments du climat», Thèse doctorat de 3eme cycle en science biologique,

option écologie végétale, Université des Science et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, 1981, p.178

155. Greco. J «L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie», Alger (Algérie), 1966, p.393
156. Valdez-Cepeda. E.M, Guevera. J.C et Brito de la fuente. E, «Passive and semi active modified atmosphere packaging of prickly pear Cactus stems (*Opuntia* sp)», In : fourth international congress on Cactus Pear and Cochineal. And fourth meeting of Cactus net» FAO (Octobre 2000). Hammamet, Tunisia, 2000, p.43
157. Carretero. Canado. I, Doussinague. C et Villena. F.E, «Technicien en agriculture», Édition cultural, s.a. Madrid – Espagne, 2003, t 1, p.281
158. Bagnouls. F et Gaussen. H, «Saison et indice xérothermique», Doc. Cart. Prod. Vég. Serv. Gén. II, 1, art. VIII, Toulouse 1953 : p.47 + 1 carte. Article bleu.
159. U. P. O. V. «Figuier de Barbarie et *Xoconostles* (*Opuntia*, groupe 1 et 2), principes directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité», TG/217/1 Genève, Mars 2004, p.31
160. Breteudeau. J «Atlas d'arboriculture fruitière», Ed. Lavoisier, Paris 1993, p.273
161. Tcherkez. G «Les fleurs évolution de l'architecture florale des angiospermes», Paris 2002, p.177, www.dunod.com
162. Jahier, J «Techniques de cytologie végétal», Revue, INRA de Paris, 1990, pp 99-105.
163. Brewbaker. J.L et Kwack. H.B, «The essential of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth-Amer-jour», Botany, 50 (9), 1963, pp 859-865.
164. Stern. R.A et Gazit. S, «Pollen viability in lychee», J. Am. Soc. Hortic. Sci. 123, 1998, pp 41-46.
165. Colas. F et Mercier. S, «Etablissement d'une gamme de viabilité du pollen de pin gris», Ministère des ressources naturelles. Note de recherche forestière n°58, Québec, 1994, p.8
166. Bunch. R.A «Update on Cactus Pear Breeding and New Products at D*Arrigo Bros», Salinas, California, J.PACD – 1997, pp 60-70.
167. Crossa_Raynaud. P «Technique d'hybridation et de culture d'embryons d'abricotier», Ed.INRA. Tunisie, 1966, p.18

168. Hamood. H.H et Shalah. J.S, «Effect of storage periods of pollinisation mixture on fruit set and fruit quality of date palm (*Phoenix dactylifera*. L.)», *Date Palm J.* Vol. 5(1) : 1987, pp 23-37.
169. Soltner. D «Les bases de la production végétale», Tom 1, le sol 16^{ème} édition. Srau Deau & cie Angers France, 1988, p.466
170. Kenny. L «Le figuier de barbarie : Importance économique et conduite technique», Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Agadir, 1992.
171. Tijani. M «Hydromasse et biomasse des Opuntias», Dossier : Le Cactus (l'Opuntia à fruit Comestible) appelé communément Fiquier de Barbarie (Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus) El Kelaa des Sraghna Maroc, 30 mai 2000, pp 22-26.
172. Lozet. J et Mathieu. C, «Dictionnaire de Science du sol », deuxième édition, 1990, Lavoisier, p.166
173. Garcia, S. R., «Patrones de polinizacion y fenologia floral en poblaciones de *Opuntia* spp en San Luis Potosi y Zacatecas», Bachelor thesis.Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexique, 1984, pp128.
174. Rodríguez. Z.O «Fenologia, reproduccion y aporte de frutos y semillas en dos nopaleras del altiplano potosino-zacatecano», Bachelor thesis.Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Monterrey, 1981, p.77
175. Beutelspacher. B.R «Polinizacion de *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck y *O. robusta* Wendl and en el Pedregal de San Angel», *Cactaceas y Suculentas Mexicanas*, Mexique 16, 1971, pp 84-86.
176. Nieddu. G et Spano. D, «Flowering and growth in *Opuntia ficus-indica*», *Acta Horticulture* 296, 1992, pp 153-159.
177. Wessels. A.B et Swart. E, «Morphogenesis of the reproductive bud and fruit of the prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) Mill. cv. Morado)», *Acta Horticulture* 275, 1990, pp 245-253.
178. Tafasca. A «Le rôle de la culture du cactus, dans le développement en pays arides : le cas du sud ouest marocain» Dossier de presse 31/9. In *Terre & Vie*, Revue Périodique du Monde Rural et de l'Environnement, N°100, Rabat, Janvier 2007, p.6, www.terre.vie.net
179. Grant. V et Connell. W.A, «The association between *Carpophilus* beetles and cactus fowers», *Plant Systematics and Evolution.* 133, 1979, pp 99-102.
180. Osborn. M.M, Kevan. P.G et Lane. M.A, «Pollination biology of *Opuntia polyacantha* and *Opuntia phaeacantha* (Cactaceae) in southern Colorado», *Plant Systematics and Evolution* 159, 1988, pp 85-94.

181. Schlindwein. C et Wittmann. D, «Stamen movement in flowers of *Opuntia* favour oligolectic Pollination», *Plant Systematics and Evolution* 204, 1997, pp 179-193.
182. Monciero. A «Contribution à l'étude du pollen et de la fécondation du palmier dattier», *Rev. Agron. Sahar., I. N. R. A. A, El –Arifiane*, 1953, pp 1-28.
183. Le Bellec. F «Pollinisation et fécondation d'*Hylocereus undatus* et d'*H. costaricensis* à l'île de la Réunion», Cirad-FIhor, Article original Programme arboriculture fruitière, *Fruits*, vol. 59 (6), France, 2004, p.12
184. Nixon. R.W «Effet of metaxenia and fruit thinning on size and checking of Deglet-Nour dates», *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci*, 67 : 1956, pp 258-268.
185. Mizrahi. Y, Mouyal. J, Nerd. A et Sitrit. Y, «Metaxenia in the Vine Cacti *Hylocereus polyrhizus* and *Selenicereus* spp», *Oxford Journals Oxford University Press. Annals of Botany* 93 : 2004, pp 469-472.
186. Lichtenzveig. J, Abbo S, Nerd. A, Tel-Zur. N et Mizrahi. Y, «Cytology and mating system in the climbing cacti *Hylocereus* and *Selenicereus*», *American Journal of Botany* 87 : 2000, pp 1058-1065.
187. Gupton. C.L et Spiers. J.M, «Interspecific and intraspecific pollination effects in rabbiteye and southern highbush blueberry», *HortScience* 29 : 1994, pp 324-326.
188. Gupton. C.L, Yarborough. D.E et Smagula. J.M, «Evidence of xenia in blueberry. Proceedings of the sixth international symposium on *Vaccinium* culture, Orono, Maine, USA», *Acta Horticulturae* 446 : 1997, pp 119–123.
189. Normand. F «De la fleur au fruit : étude et modélisation de la floraison, de la fécondation- fructification et de la croissance du fruit chez le goyavier-fraise (*Psidium cattleianum*)», Institut national agronomique Paris-Grignon, thèse, Paris, France, 2002.
190. Daulta. B.S et Chauhan. K.S, «Metaxenia studies on fruit set, maturity and quality characters in grapes (*Vitis vinifera* L.) », *Haryana Journal of Horticultural Sciences* 12 : 1983, pp 22–25.
191. Higgazy. M, El-Ghayati. S.H et Al makhton. F.B, «Effects of pollen on fruits setting, yield and some physical fruit properties of some date varieties», In, first symposium on the date palm, K.F.U. Al-Hassa, Saudi-Arabia, 23-25 Mars 1982, pp 84-93.

APPENDICE A

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

FAO	: Food and Agriculture Organisation.
CIRGP	: Compromisso Internacional sobre Recursos Genéticos das Plantas
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
CNREF	: Centre National de Recherches et d'Expérimentation Forestières.
DRS	: Défense et Restauration des Sol
I. N. R. F	: Institut National de la Recherche Forestière
HCDS	: Haut Commissariat au Développement de la Steppe.
CAM	: Crasulcean Acide Métabolique
PEPcase	: Phosphoénolpyruvate carboxylase
C ₃	: Métabolisme photosynthétique de type C3
AG3	: Acide gibbérellique
AIB	: Acide indol butyrique
POX	: Peroxydases
Brix	: Le degré Brix (°B) sert à mesurer le pourcentage de matière sèche soluble
HCl	: Acide chlorhydrique
pH	: Potentiel hydrogène
N P	: Azote, Phosphore
O. N. M	: Office Nationale de Météorologie.
P°	: Précipitations
T°	: Température
M	: Moyenne des maxima du mois le plus chaud
m	: Moyennes des minima du mois le plus froid
M-m	: L'amplitude thermique

APPENDICE B

ETUDE DU MILIEU

Tableau 1 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (mm) de différentes stations météorologiques de référence et les valeurs corrigées des zones d'étude (1996 - 2005).

Mois Zones	J	F	M	A	Mi	J	Jt	A	S	O	N	D	Cumul
Tébessa	34,7	23,0	24,7	34,1	33,4	32,2	16,0	31,0	44,3	42,8	47,9	31,2	395,3
Doukkara	35,7	23,6	25,41	35,0	34,3	33,1	16,4	31,8	45,5	44,0	49,2	32,0	406,7
Djelfa	33,5	21,3	14,8	30,0	28,5	10,5	4,9	22,0	37,9	19,5	25,8	32,6	289,2
Mesrane	26,5	16,8	11,71	23,7	22,5	8,31	3,8	17,4	30,0	15,4	20,4	25,8	229
Choucha	27,3	17,4	12,0	24,5	23,2	8,5	4,0	17,9	30,9	15,9	21,0	26,6	236,4
M'sila	23,4	9,7	11,6	20,8	27,2	8,8	1,8	9,6	33,8	23,4	20,8	22,0	209,4
Belaiba	26,6	11,0	13,1	23,6	30,9	10,0	2,0	10,9	38,4	26,6	23,6	25,0	238,2

Source O.N.M (2007) pour les stations météorologique de référence

Tableau 2 : Régimes saisonniers des zones d'étude.

Saisons Zones	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Type
Doukkara	91,45	94,85	81,47	138,88	APHE
Mesrane	69,19	58,02	29,61	65,87	HAPE
Choucha	71,43	59,9	30,56	68,05	HAPE
Belaiba	62,66	67,79	22,97	88,71	APHE

Tableau 3 : Répartition des valeurs de température moyennes dans les stations météorologiques de référence et les valeurs corrigées des zones d'étude (1996 – 2005).

Zones		Mois												Annuel
		J	F	M	A	Mi	J	Jt	A	S	O	N	D	
Tébessa	m	2,2	2,2	5,2	8,1	12,8	16,5	19,3	19,3	15,8	12,2	7,0	3,6	10,8
	M	12,1	12,8	17,4	20,5	26,9	31,7	35,4	34,5	28,5	24,2	16,7	12,9	23,4
	T	7,15	7,5	11,3	14,3	19,85	24,1	27,3	26,9	22,1	18,2	11,8	8,2	17,1
Doukkara	m	2,02	2,02	5,03	7,93	12,63	16,3	19,13	19,1	15,6	12,0	6,83	3,4	10,1
	M	11,6	12,3	16,9	20,0	26,45	31,2	34,9	34,0	28,0	23,7	16,2	12,4	22,3
	T	6,83	7,18	10,9	13,9	19,54	23,7	27,0	26,5	21,8	17,8	11,5	7,9	16,2
Djelfa	m	0,2	0,4	3,6	6,0	10,5	15,4	18,8	18,4	14,1	9,8	4,3	1,4	8,7
	M	9,7	11,5	16,0	18,7	23,9	30,4	34,2	33,1	27,2	21,7	14,1	10,5	21,1
	T	4,9	6,0	9,8	12,3	17,2	22,9	26,5	25,7	20,7	15,7	9,2	6,0	14,9
Mesrane	m	1,1	1,3	4,5	6,9	11,14	16,3	19,7	19,3	15,0	10,7	5,2	2,3	9,47
	M	12,1	13,9	18,4	21,1	26,3	32,8	36,6	35,5	29,6	24,1	16,5	12,9	23,3
	T	6,6	7,6	11,4	14	18,72	24,5	28,1	27,4	22,3	17,4	16,5	7,6	16,3
Choucha	m	0,99	1,19	4,39	6,79	11,29	16,1	19,5	19,1	14,8	10,5	5,09	2,19	9,36
	M	11,8	13,6	18,1	20,8	26,01	32,5	36,3	35,2	29,3	23,8	16,2	12,6	23,0
	T	6,4	7,4	11,2	13,8	18,65	24,3	27,9	27,2	22,1	17,2	10,6	7,4	16,1
M'sila	m	3,4	4,3	8,1	11,2	16,4	21,7	24,9	24,3	19,3	14,7	8,3	4,9	13,5
	M	13,8	16,1	20,9	23,6	29,1	35,4	38,7	37,8	31,7	26,3	18,7	14,4	25,6
	T	8,6	10,2	14,5	17,4	22,7	28,5	31,8	31,1	25,5	20,5	13,5	9,7	19,5
Belaiba	m	2,97	3,8	8,27	10,7	15,97	21,2	24,4	23,8	18,8	14,2	7,87	4,4	13,0
	M	12,6	14,9	19,7	22,4	27,95	34,2	37,5	36,6	30,5	25,1	17,5	13,2	24,3
	T	7,81	9,41	14,0	16,6	21,96	27,7	31,0	30,2	24,7	19,7	12,7	8,8	18,7

Source O.N.M (2007) pour les stations météorologique de référence

Tableau 4 : Répartition des nombres de jours de gelées mensuelles moyennes dans les stations météorologiques de référence pour la période (1996-2005).

Mois \ Zones	J	F	M	A	Mi	J	Jt	Ao	S	O	N	D	Cumul
Tébessa	1	9	3	0	0	0	0	0	0	0	1	6	20
M'sila	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	10
Djelfa	15	14	5	1	0	0	0	0	-	-	4	10	49

Source O.N.M (2007) pour les stations météorologique de référence

Tableau 5 : Répartition des vitesses mensuelles moyenne du vent (m/s) dans les stations météorologiques de référence pour la période (1996-2005).

Mois \ Zones	J	F	M	A	Mi	J	Jt	Ao	S	O	N	D	Annuel
Tébessa	2,8	3,6	3,4	4,0	3,5	2,9	3,1	2,6	2,6	2,3	3,1	3,2	3,1
M'sila	3,9	4,1	4,3	5,4	4,9	4,5	4,8	4,4	3,9	3,5	4,0	4,2	4,3
Djelfa	4,6	4,3	4,4	5,2	4,6	3,8	4,1	3,6	3,5	3,9	4,5	4,7	4,2

Source O.N.M (2007) pour les stations météorologique de référence

Tableau 6 : Quotient pluviométrique d'emberger et étage bioclimatique des zones d'étude.

Paramètres \ Périmètre	Doukkara	Mesrane	Choucha	Belaiba
pH	7.52	8.55	7.53	7.69
MO%	1.16	0.31	0.20	0.40
CaCO3 total %	38.73	2.34	3.77	32.91
CaCO3actif %	11	--	--	11.25
CE mmho /cm ²	0.710	0.346	0.322	0.598

Zones \ Mois	m (°C)	Q ₂	Bioclima	Variante à
Doukkara	2,02	42,37	Semi-arides	Hiver frais
Mesrane	1,1	22,10	Aride moyen	Hiver frais
Choucha	0,99	23,65	Aride moyen	Hiver frais
Belaiba	2,97	23,48	Aride moyen	Hiver tempéré

Tableau 7 : Résultats d'analyse chimique du sol des quatre périmètres étudiés

Tableau 8 : Type d'effervescence en fonction de la teneur en CaCO₃ [172]

Teneur	Réaction a l'HCl	CaCO ₃ %
Faible	Moyenne	2-10
Forte	Vive	25-50

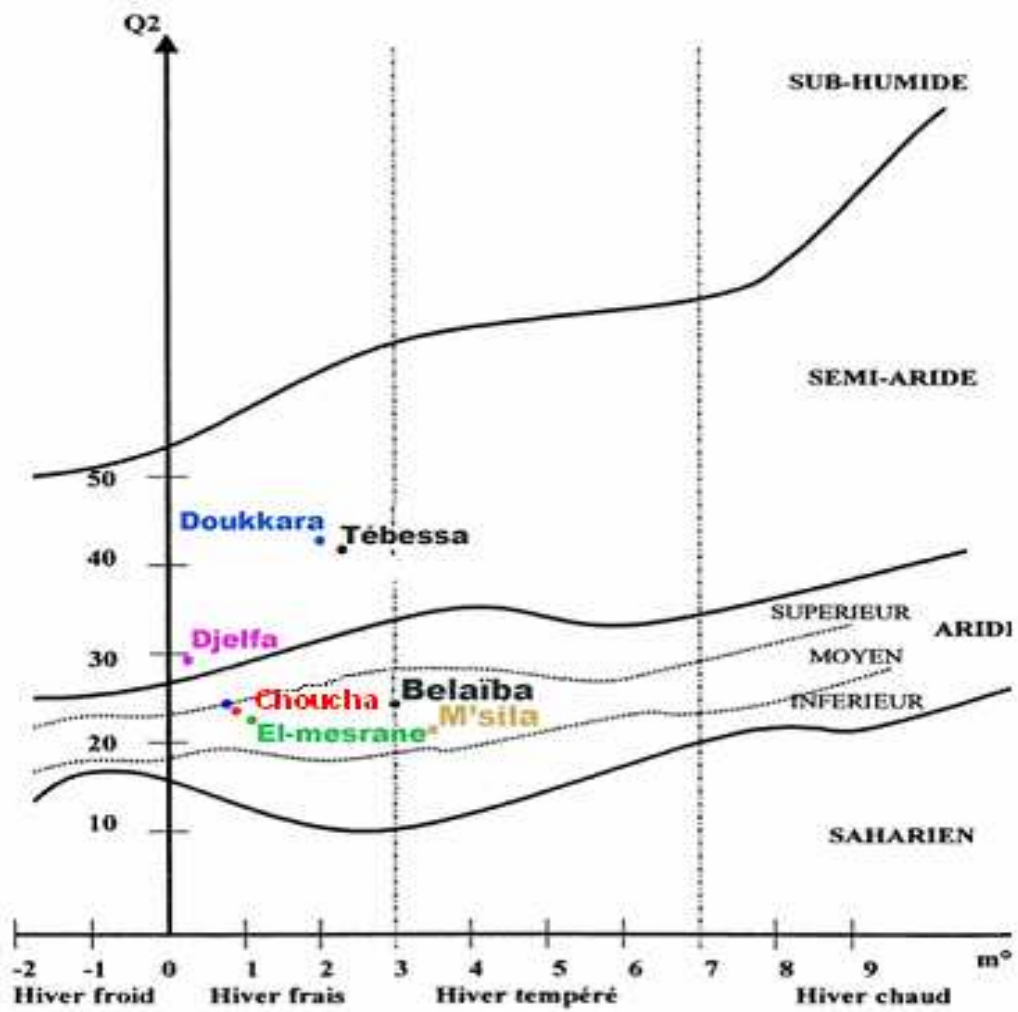


Figure 1 : Climagramme pluviothermique d'EMBERGER des zones d'étude

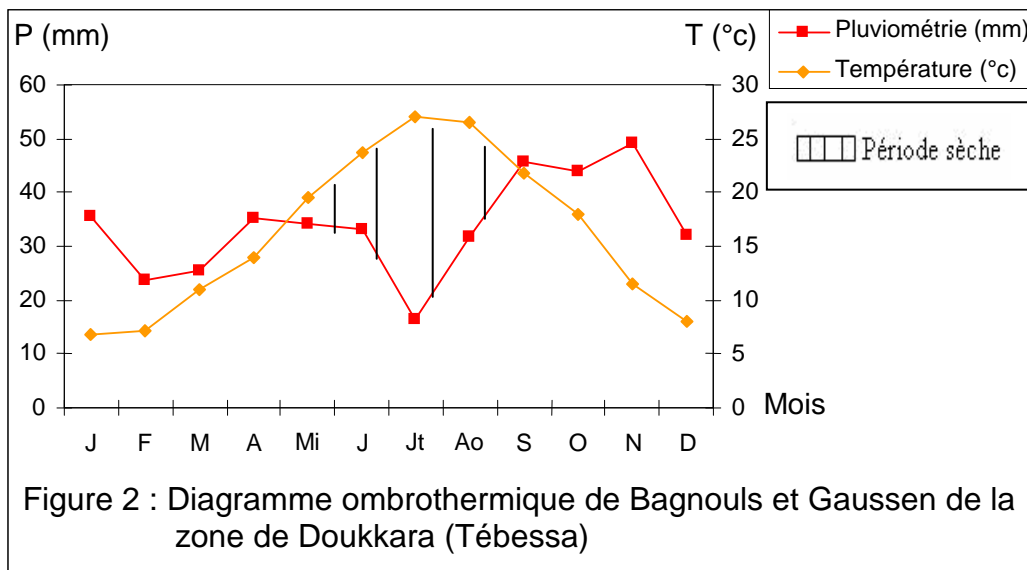
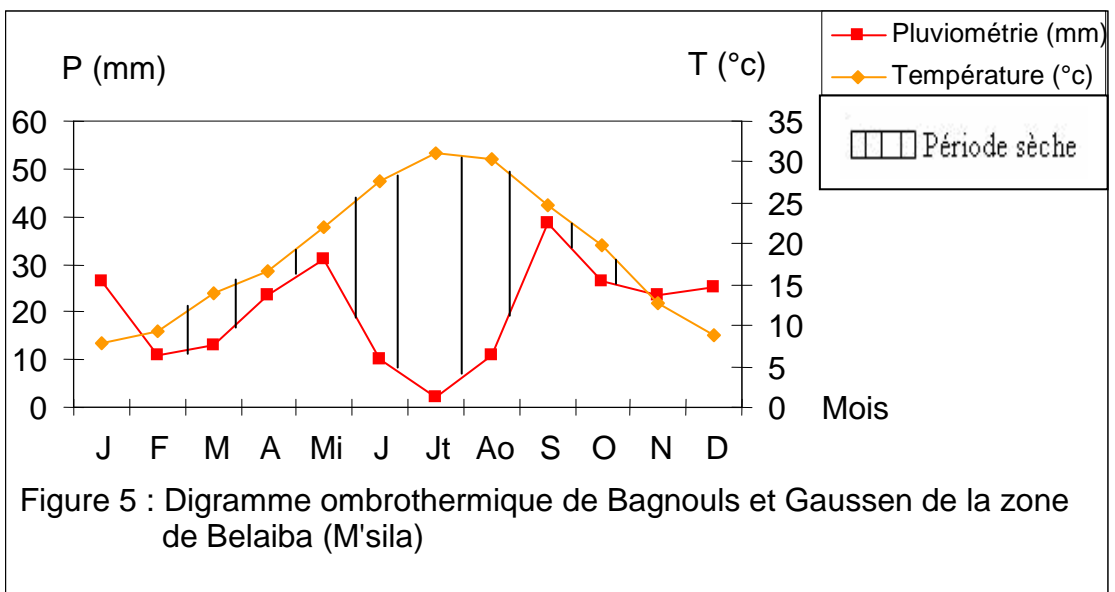
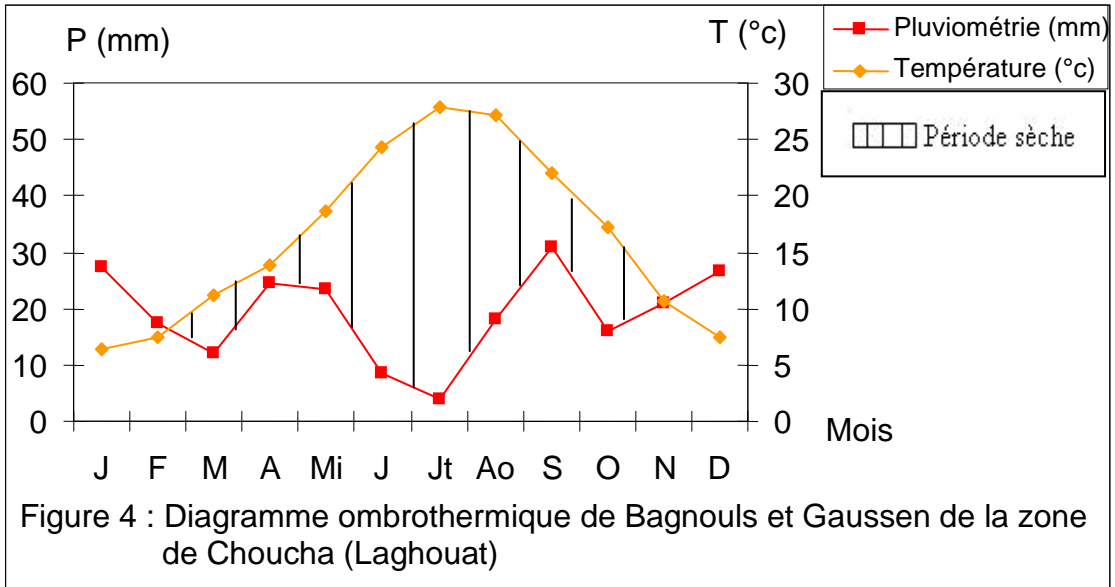
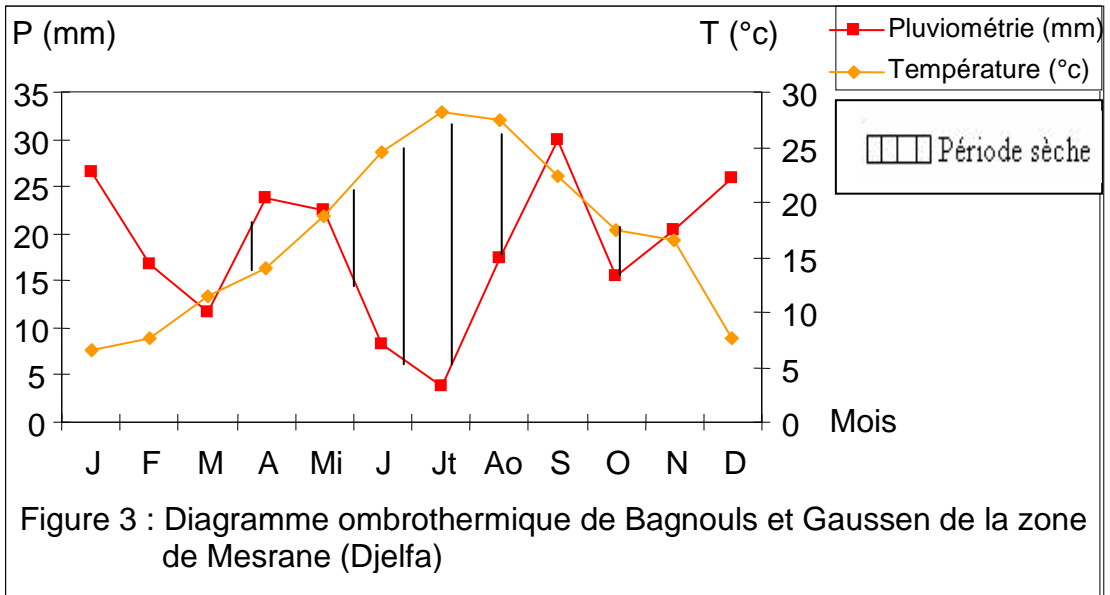


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la zone de Doukkara (Tébessa)



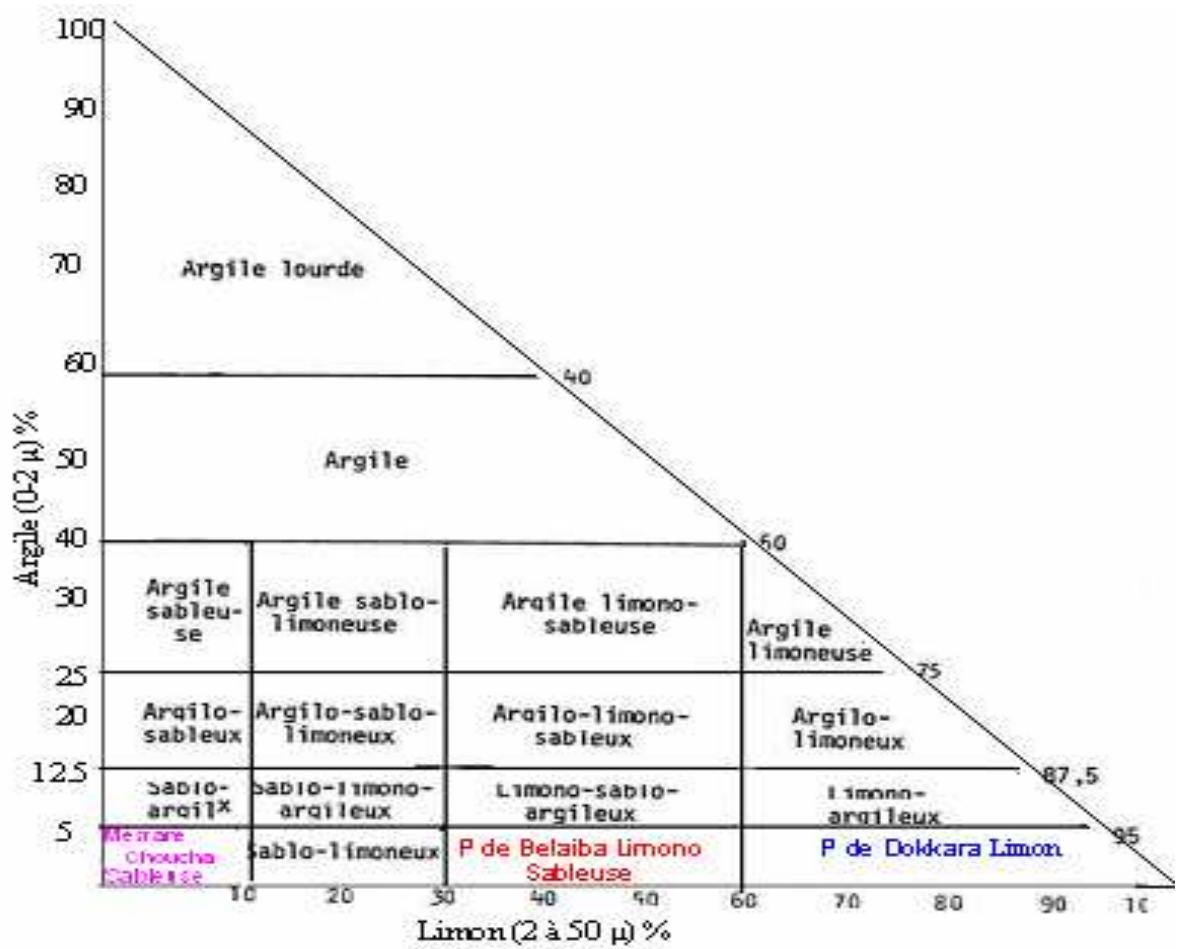


Figure 6 : Triangle de textures de Henin, 1969 [169].

APPENDICE C

ANALYSE DE LA VARIANCE

Tableau 1: Analyse de la variance de nombre de fleurs par raquette

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	228.95	19	12.05				
Var facteur 1	208.20	4	52.05	37.63	0.0000		
Var résiduelle 1	20.75	15	1.38			1.18	14.6%

Tableau 2 : Analyse de la variance de nombre de sepales

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	56.80	19	2.99				
Var facteur 1	28.80	4	7.20	3.86	0.0238		
Var résiduelle 1	28.00	15	1.87			1.37	14%

Tableau 3 : Analyse de la variance de nombre de pétales

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	170.80	19	8.99				
Var facteur 1	124.80	4	31.20	10.17	0.0004		
Var résiduelle 1	46.00	15	3.07			1.75	11.2%

Tableau 4 : Analyse de la variance de nombre des étamines

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	222668.20	19	11719.38				
Var Facteur 1	222432.20	4	55608.05	3534.4	0.0000		
Var résiduelle 1	236.00	15	15.73			3.97	0.9%

Tableau 5 : Analyse de la variance de nombre de carpelles

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	51.20	19	2.69				
Var facteur 1	35.20	4	8.80	8.25	0.0011		
Var résiduelle 1	16	15	1.07			1.03	12.6%

Tableau 6 : Analyse de la variance du poids du fruit

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	1541.13	19	81.11				
Var facteur 1	1541.11	4	385.28	278488.1	0.0000		
Var residuelle 1	0.02	15	0.00			0.04	0.0%

Tableau 7 : Analyse de la variance du poids de la pulpe

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	1694.8	19	89.20				
Var facteur 1	1694.4	4	423.62	19123	0.0000		
Var residuelle 1	0.33	15	0.02			0.15	0.2%

Tableau 8 : Analyse de la variance du poids de la peau

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	24.14	19	1.27				
Var facteur 1	24.12	4	6.03	4573.77	0.0000		
Var residuelle 1	0.02	15	0.00			0.04	0.2%

Tableau 9 : Analyse de la variance de nombre de graines viables

Source de variabilité	SCE	DDL	Carres moyens	Test F	Proba	ET	CV
Var total	23067.20	19	1214.06				
Var facteur 1	2205.20	4	5726.30	530.21	0.0000		
Var residuelle 1	162.00	15	10.80			3.29	1.4%