

UNIVERSITE SAÂD DAHLAB BLIDA

Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MAGISTER

Spécialité: Amélioration des productions végétales

CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DU GENRE *Opuntia*.
HYBRIDATION INTERSPECIFIQUE ENTRE *O. scheerii web* ET *O.*
robusta var. robusta DANS LA REGION D'EL-MESRANE (DJELFA)

Par :

Djamila HADADOU

Devant le jury composé de:

A. BOUTEKRABT	Professeur, USD, Blida	Président
S.A. SENOUSI	Professeur, USD, Blida	Promoteur
F.Z. CHAOUCH	Maître de conférences, USD, Blida	Co-promotrice
T. HADJ SADOK	Maître de conférences, USD, Blida	Examineur
F.Z.BEN RABIHA	Maître de conférences, USD, Blida	Examinatrice

15 Mars 2011 Blida

ملخص

يعتبر الصبار (التين الشوكي) من أهم النباتات المقاومة للجفاف و التي احتلت في السنوات الأخيرة أهمية بالغة في اطار مكافحة التصحر، اضافة الى كونها مصدر بيئيا و اقتصاديا هاما و كذا في الصناعة الغذائية (مصدر للعلف، مصدر للغذاء ، أهمية طبية)، الأمر الذي حفزنا على دراسة هذا النوع، و النتائج المحصل عليها سمحت لنا باحصاء نوعين مختلفين جينيا (*O.scheerii web . O. robiste var. robusta*) ، و هذا يفسر الاختلاف في المظهر بين النوعين في الخصائص الكمية و النوعية على مستوى الجذر، ظلف، الأزهار، الثمار، و البذور، و بهدف تحسين نوعية الثمار *O.scheerii web* قمنا بتهجينها ب: *O. robusta var. robusta* حيث أن النوعين يتواجدان بمنطقة المصران بالجلفة ، و كذا قمنا بدراسة بيولوجية لأزهار *O. scheerii web* و خصوبة حبوب الطلع بالنسبة للنوعين و خصائص الكمية و النوعية للثمار الهجينة و الثمار المحصل عليها بالظل و مقارنتهما بثمار الأم و الأب، حيث أن الثمار المحصل عليها بالظل اكبر حجم و تملك بذور، عكس الثمار الهجينة.

مفاتيح الكلمات :

O.robusta var. robusta ,O. scheerii web، تهجين، الظل، دراسة بيولوجية.

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 source écologique et économique très importante (source fourragère, intérêt médicinal, industriel et alimentaire...) dans les zones arides et semi-arides, ce qui nous a poussé à étudier ce genre. Les résultats obtenus nous ont permis de recenser deux espèces (*Opuntia scheerii web*, *Opuntia robusta var. robusta*) génétiquement très différentes. Cette différence explique la variation phénotypique entre les deux espèces au niveau des paramètres qualitatifs et quantitatifs du pied, de cladode, fleur, fruit et graine. Dans le but d'améliorer la qualité des fruits, nous avons réalisé l'hybridation entre les deux espèces d'*Opuntia* en tant qu'espèce pollinisée c'est *O. scheerii web*. Pour l'espèce pollinisatrice, nous avons choisi l'*O. robusta var. robusta*, les deux espèces de l'*Opuntia* qui sont localisées dans la zone de Djelfa, périmètre de El-Mesrane. En vue d'améliorer la qualité des fruits. Nous avons étudié la biologie florale pour l'espèce pollinisée, la viabilité des grains de pollen pour les deux espèces étudiées et les caractères qualitatifs et quantitatifs des fruits issus de l'hybridation et les fruits obtenus à l'ombre et les comparés par les fruits de plante mère et de plante père. Les fruits obtenus à l'ombre ont un poids plus important, avec graines, que ceux obtenus par l'hybridation.

Mots clés: *Opuntia scheerii web*, *Opuntia robusta var. robusta*, hybridation, l'ombre, biologie florale.

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 consist an ecological and economic source very significant (source fodder, interest medicinal, industrialist and food) in the arid and semi-arid, what us supported us to study this genre, as a results that us obtained license of listed two species (*O.scheerii web*, *O. robusta var. robusta*) genetically are very different this difference explaining the phonologic variation between the species on the level of qualitative and quantitative parameters the of the cladode, flower, fruit and seed, with an aim of improving quality, we carried out hybridization between tow species of *Opuntia* as pollinated specie is *O. scheerii web* and pollinating specie is *O. robusta var. robusta* (Djelfa, perimeter of EL- Mesrane), in order to improve of the quality of fruit, we studied floral biology four specie pollinated and the viability of grains of pollen for the two species and the qualitative and quantitative natures of the fruits resulting from hybridization and of the fruits resulting from umbrage and comparative by fruits mother and of the fruits father, the fruits resulting from umbrage are a weight more significant with present of the seed, contrary the fruits resulting from hybridization.

Key words : *Opuntia scheerii web*, *Opuntia robusta var. robusta*, hybridization, umbrage, floral biology.

REMERCIEMENTS

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

C'est pour nous agréable devoir remercier tous ceux qui ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, en particulier:

- P^r. SENOUSSE S.A. notre promoteur et M^{me} D^r Chaouche F.Z. notre co-promotrice du mémoire pour avoir accepté de diriger ce travail.
- P^r. Boutekrabi A. le responsable de l'axe de recherche sur l'*Opuntia*, et qui nous a fait grand honneur de présider le jury.
- M^r. Hadj Sadok T. et M^{me} Ben rabiha, pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.
- Le personnel du département d'Agronomie de l'Université Saâd Dahlab, Blida.
- Le personnel du département d'Agronomie de l'Université Zaine Achour, Djelfa.
- Un remerciement particulier s'adresse à mes parents, mes frères et mes soeurs, mon mari et sa famille et surtout mon fils (Mohamad), mes amis et mes collègues de post-graduation.

TABLE DE MATIERE

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DE MATIERE

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION	9
1. GENERALITE SUR LE GENRE <i>OPUNTIA</i>	11
1.1 Origine	11
1.2 Répartition	12
2. SYSTEMATIQUE ET DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE	18
2.1 Systématique	18
2.2 Description morphologique	20
3. FACTEURS LIMITANTS, CULTURE ET PROPAGATION DE L' <i>OPUNTIA</i>	29
3.1 Facteurs limitants la culture de l' <i>Opuntia</i>	29
3.2 Technique de propagation	36
3.3 Techniques culturelles	38
4. IMPRTANCE ET EXPLOITATION D' <i>OPUNTIA</i>	45
4.1 Introduction	45
4.2 Importance écologique	45
4.3 Importance économique	47
5. MATERIEL ET METHODES	53
5.1 Matériel	53
5.2 Méthode d'étude	62
6. RESULTATS ET DISCUSSION	74
6.1 Etude phénologique	74
6.2 Caractères biométriques et morphologiques	75
6.3 Etude de la biologie florale	89
6.4 L'hybridation	97
6.5 L'effet de l'ombre sur la fructification	99

CONCLUSION

REFERENCES

APPENDICES

A. LISTE DES SYMBOLES ET DE ABREVIATIONS

B. ETUDE DU MILIEU

C. ANALYSE DE LA VARIANCE

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 5.1: Carte de situation de la zone d'étude	55
Figure 5.2: Fluctuation des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1990-2008)	57
Figure 5.3: Régime saisonnier de la zone d'étude	58
Figure 5.4: Evaluation des températures moyennes mensuelles durant la période (1990-2008)	59
Figure 5.5: Répartition moyenne mensuelle et annuelle du nombre de jours de la gelée de la zone d'étude (1990-2008)	60
Figure 5.6: Vue générale de la zone d'étude située à El-Mesrane	63
Figure 5.7: Différentes formes du pied chez l' <i>Opuntia</i> selon UPOV	64
Figure 5.8: Différentes formes des cladodes d' <i>Opuntia</i> selon UPOV	65
Figure 5.9 : Les différentes mesures des cladodes	66
Figure 5.10 : Différentes formes de l'épine centrale selon UPOV	67
Figure 5.11: Castration des fleurs de l'espèce pollinisée (<i>Opuntia scheerii web</i>)	70
Figure 5.12: Fruit de l' <i>O. scheerii web</i> ayant gardé sa couleur vert	71
Figure 5.13: Ombrage artificielle sur certains pieds de l' <i>O. scheerii web</i>	72
Figure 5.14: Les différentes formes de fruit du figuier de barbarie UPOV	73
Figure 6.1: L'espèce <i>O. robusta var. robusta</i> (pied et cladode)	76
Figure 6.2: L'espèce <i>O. scheerii web</i> (pied et cladode)	77
Figure 6.3: Fleurs des deux espèces d' <i>Opuntia</i> étudiées	78
Figure 6.4: Les fruits des deux espèces d' <i>Opuntia</i> étudiées	79
Figure 6.5: Différentes stades de différenciation des bourgeons floraux	91-92
Figure 6.6: Position des bourgeons floraux et végétatifs sur les raquettes	93
Figure 6.7: Coupe longitudinale d'une fleur d' <i>Opuntia scheerii web</i>	95
Figure 6.8: Forme, et couleur de grains du pollen	96
Figure 6.9: Test de viabilité des grains de pollen	96
Figure 6.10: Fruits issus de l'hybridation	98
Figure 6.11: Fruits intacts sur pied de l' <i>O. scheerii web</i> (plante- mère)	98
Figure 6.12: Fruits obtenu à l'ombre	100

Figure 6.13: Chaires de couleurs violettes et des graines	100
Tableau 1.1: Réalisation des plantation d' <i>Opuntia</i> et les superficies endommagées par les gelés	17
Tableau 4.1: Composition chimique de la pulpe et de la graine de fruit d' <i>Opuntia Ficus indica</i>	47
Tableau 4.2: Influence de l'ingestion d' <i>Opuntia</i> sur l'ingestion de paille	48
Tableau 4.3: Contribution de la consommation d' <i>Opuntia</i> dans la résolution de problème de l'abreuvement	49
Tableau 4.4 : Variation de la composition chimique des raquettes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	50
Tableau 5.1: Type d"effervescence en fonction de la teneur en CaCo ₃	62
Tableau 6.1: La date de début de floraison et de la maturation	74
Tableau 6.2: Port des pieds et caractères qualitatifs des cladodes des deux espèces étudiées	76
Tableau 6.3: Caractères qualitatifs des fleurs des deux espèces étudiées	78
Tableau 6.4: Caractères qualitatifs des fruits des deux espèces étudiées	79
Tableau 6.5: Hauteur des pieds et caractères quantitatifs des cladodes des deux espèces étudiées	81
Tableau 6.6: Nombre de fleurs par raquette des deux espèces étudiées	82
Tableau 6.7: Caractères quantitatifs des fruits des deux espèces étudiées	86
Tableau 6.8: Caractères quantitatifs des graines des deux espèces étudiées	88
Tableau 6.9: Période de la différenciation florale	94
Tableau 6.10: Epoque et durée d'étalement de la floraison	94
Tableau 6.11: Différentes mesures des caractères quantitatifs effectuées sur les fleurs de l'espèce étudiée	95
Tableau 6.12: Caractères quantitatifs des grains du pollen des deux espèces étudiées	97

INTRODUCTION

Cactus est le nom usuel des plantes de la famille des *cactacées*, ordre des *caryophyllales*, on les appelle également cactées. C'est presque toutes des plantes grasses ou plantes succulentes, c'est-à-dire des plantes xérophytes qui stockent dans leurs tissus des réserves du "suc" pour faire face aux longues périodes de sécheresses.

Les *cactacées* ou cactus sont des plantes dicotylédonaire, dont la famille comprend environ 2000 espèces réparties 90 genres. Le genre *Opuntia*, comprend environ 11 sections et 180 espèces. Ce sont des plantes herbacées ou des arbustes, généralement à forme végétative particulière avec la fonction chlorophyllienne transférée aux tiges, les pieds d'*Opuntia* sont souvent épineux, et pérennes.

En Algérie, la culture de l'*Opuntia* se concentre dans les villes côtières, et dans le semi-aride (Tébessa, M'sila, Djelfa, Laghouat..). En plus, le haut commissariat au développement de la steppe (H.C.D.S), a joué un rôle important dans l'introduction de cette espèce, en réalisant plusieurs projets de plantation dans le cadre de grands travaux.

Le cactus est l'exemple typique d'espèce parfaitement en investissement, il peut contribuer à améliorer le revenu des agriculteurs, par sa production fruitière ou fourragère. En plus, sur le plan environnemental, le cactus est d'une grande utilité pour la lutte contre l'érosion, la restauration et la valorisation des terres.

Actuellement, la nécessité d'entreprendre des études sur l'*Opuntia* est évoquée, surtout dans le domaine de l'amélioration, en matière de résistance aux aléas climatiques (froid), de production fourragère et de production fruitière.

Le développement de cette culture nécessite d'abord l'identification et la détermination des différentes espèces et variétés qui existent en Algérie.

La production fruitière est un critère important parmi les rôles multiples de l'*Opuntia* (écologique, médicinal, fourragère...).

Notre travail s'intéresse à l'amélioration de la qualité des fruits de l'*Opuntia*. Ainsi nous avons entamé deux volets dans notre expérimentation:

- Caractérisation de deux espèces d'*Opuntia* (*O. scheerii web* et *O. robusta var. robusta*) par l'étude des caractères morphologiques et biométriques.
- Hybridation de l'*O. scheerii web* par l'*O. robusta var. robusta*, qui a pour objectifs, l'obtention de fruits presque parthénocarpiques (peu de graines) qui auront un intérêt au niveau de la transformation technologique et de la consommation en frais, l'objectif le plus important est de produire des variétés avec peu de graine. En même temps des fruits avec des dimensions importantes. L'espèce d'*O. robusta var. robusta* donne des fruits dont le poids est de 97g, ne contenant que 2 à 3 graines par gramme de fruit entier, et elle possède des fruits vigoureux. [1]. Ainsi que le transfert de la résistance de l'*O. robusta var. robusta* vers l'*O. scheerii web*.

CHAPITRE 1

GENERALITE SUR LE GENRE *OPUNTIA*

1.1 Origine

Le genre *Opuntia* est originaire des zones tropicales du continent nord-américain, en particulier du Mexique, où l'on a retrouvé des graines fossiles, datant du septième millénaire av. J-C [2].

Dans l'histoire enregistrée du vieux monde, l'*Opuntia* a été certainement connu au début du 16^{ème} siècle [3.4], 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 [5.6], elle est connue sous le nom de "figue du diable" à cause de ses épines [7].

Au 15^{ème} siècle, les européennes utilisaient les jeunes raquettes comme assurance contre le scorbut [8].

L'*Opuntia* est connue dans le bassin méditerranéen depuis le 16^{ème} siècle, sa distribution s'est étendue considérablement entre le 17^{ème} et le 19^{ème} siècle. Cette distribution était devancée par l'expansion espagnole du 16^{ème} au 17^{ème} siècle, et aussi par le retour des musulmans vers l'Afrique du nord, après leurs expulsions de l'Espagne en 1610 par Philip III. Ils ont pris avec eux l'arbre de la figue indienne, qu'ils appellent encore "Karmous Hindi" en arabe (c'est-à-dire la figue indienne) ou "Hindi". Ils ont aimé les fruits, ils les ont alors plantés autour de leurs villages [7].

Au 19^{ème} siècle, aux îles Canaris, la culture de l'*Opuntia* avait une grande importance, non pour ses fruits, mais pour son parasite la cochenille, avec laquelle, on obtenait un colorant rouge, le carmin. Ces cultures ont été abandonnées vers 1870, avec l'arrivée sur le marché des colorants chimiques [9].

Il est impossible de lui attribuer un lieu d'origine bien définie, 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 [10].

1.2 Répartition

1.2.1 Répartition mondiale

L'*Opuntia* se trouve actuellement dans tous les continents, il existe, généralement dans les régions à climat tropicale et sub-tropicale, jusqu'à un climat plus aride.

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, ceci explique sa répartition dans le monde.

1.2.1.1 En Amérique

A. Aux Etats-Unis

Dans les états du sud surtout, au Texas et en Arizona et même en Californie du sud et au nouveau Mexique, la culture des *Opuntia* se fait presque uniquement, à des fins fourragères. Les formes cultivées sont inermes. Les rendements vont de 25 à 137 tonnes par hectare et par an, selon les conditions culturelles [11].

B. Au Mexique

La culture des *Opuntia* est pratiquée à des fins fruitières et fourragères, après avoir joué un rôle notable dans le développement de la civilisation mexicaine, l'exploitation des "nopals" constitue encore aujourd'hui, une des plus importantes spéculations agricoles des hauts plateaux mexicains [11].

C. Au Brésil

Les *Opuntia* au Brésil occupent environ 300 000 hectares, et les densités de plantation sont de l'ordre de 5000 à 150 000 pieds/ha. Cette culture constitue la deuxième grande utilisation du cactus indien, pour l'alimentation du bétail comme fourrage. Les pèles (écorce des raquettes) d'*Opuntia* sont, avec le tourteau de coton, la base de l'alimentation du cheptel bovin, notamment les vaches laitières [11].

1.2.1.2 En Asie

L'introduction de l'*Opuntia* dans ce continent a eu lieu à la fin du 17^{ème} et au 18^{ème} siècle. Sa présence est signalée aux Philippines dès 1695, en Chine en 1700 et en Inde vers 1780. En Palestine, 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 [12].

L'utilisation des techniques de production, les plus modernes, telles que la ferti-irrigation de la goutte à goutte, fait que la majorité de la production est exportée vers les marchés européens [13].

1.2.1.3 A Madagascar

Dans le sud de l'île, où la région est la plus sèche, les cactus (*Opuntia ficus indica*) ont été cultivés pour diverses finalités. Les travaux réalisés par BERTE et SUTTIE, (1974), HABLUTZEL et SUTTIE, (1975) et SUTTIE (1976, 1977), ont montré que cette culture est fort intéressante, cependant son adoption à plus grande échelle se heurte au mode d'élevage, encore très extensif dans la région, et aux différentes priorités des éleveurs, qui sont souvent confrontés à des problèmes de sécheresse [14].

1.2.1.4 En Europe

La culture de l'*Opuntia* s'est développée dans toute la partie occidentale de la mer méditerranéenne; notamment de l'Espagne et au sud du Portugal, la Sicile et Calabre [7].

En Sicile, l'*Opuntia* occupe plus de 100 000 ha, il est destiné à la production fruitière et fourragère. En Espagne, il est utilisé généralement comme plantation familiale, parfois en association avec les amandiers [15].

1.2.1.5 En Australie

Le cactus est considéré comme une mauvaise herbe, en raison de la facilité avec laquelle, elle se propage [2].

1.2.1.6 En Afrique

1.2.1.6.1 Afrique du sud

L'*Opuntia* épineux couvrait en 1942 une superficie importante avec près de 860 000 ha, il a été éliminé par l'introduction délibéré de cochenilles, alors que l'*Opuntia* inerme résistant aux cochenilles, était sélectionné et multiplié dans les zones arides à des fins fourragères [16].

1.2.1.6.2 Afrique du nord

Il a été introduit en Afrique du nord vers le 16^{ème} siècle [17]. Sa plantation couvre environ 300 000 ha [18]. En Afrique du nord et au Proche-orient, l'*Opuntia* est considéré actuellement comme une culture de subsistance importante. On estime que 700 000 à un million d'hectares ont été plantés [19]. Dans le cadre des projets de la FAO /CIRGP/PNUE, lancés en 1979 près de 200 000 ha d'*Opuntia* inerme ont été planté en Afrique du nord [20].

1.2.1.6.3 Milieu méditerranéen

Le figuier de barbarie fait de puis 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 [2]. Il existe depuis longtemps de vastes zones de culture d'*Opuntia* en Algérie, au Maroc, et en Tunisie [2].

1.2.1.6.3.1 En Tunisie

La Tunisie dispose de 60 000 à 80 000 ha de cactus, dont environ 35 000 ha sont plantés en zone steppique [11]. 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 à atteint environ 300 000 ha en 1996 [7].

1.2.1.6.3.2 Au Maroc

La majorité de la culture d'*Opuntia ficus indica*, soit 85% se trouve localisée au niveau de cinq grandes zones: Taounate (22 230 ha); Chefchaouen (7050 ha); Al Hoceima (5 000 ha); Ouzzane (3150 ha), Tétouan (2 000 ha). Les autres plantations sont réparties entre Taza, Nador, Essaouira, El Jadida, Safi et d'autres régions [13].

1.2.1.6.3.3 En Algérie

L'introduction de ce végétale vivace est possible dans la steppe algérienne, pour la production de fourrage d'appoint, pour le maintient des sols dans le cadre d'une action défense et de restauration, pour des fruits pour la consommation humaine et pour la lutte contre la désertification [11].

En zone steppique algérienne, l'espèce *Opuntia* a été introduite à titre expérimental vers 1940 [21].

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 à Tlemcen [22].

En 1961, deux collections importantes de cactus ont été réalisées dans la région rurale de Zériba près de Bouira (Grande Kabylie), et à Chabli [11].

Le cactus inerme a fait l'objet de plusieurs projets menés par la FAO en Algérie [22]:

- Suite à la recherche des espèces et des clones tolérants aux différentes contraintes des zones arides, des études sont menées en Algérie entre 1967-1969, comportant soixante sept espèces, cultivars et clones, établies au mois de Septembre 1967 par la FAO à la station de Taadmit à Djelfa [7].
- Une collection a été aménagée à la sortie de M'sila, en 1969 par la FAO, elle est composée d'espèces et de variétés aux résultats encourageants [23].
- Les vergers et les collections installés dans la région, de Berrouagua semblent avoir disparu [22].

Un important programme de plantation d'*Opuntia* a été lancé par l'I.N.R.F en 1986-1987, à El-Mesrane dans la wilaya de Djelfa. Celui-ci, touche près de 400000 ha, et vise, la mise en œuvre 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 16 000 ha d'*Opuntia* inerme ont été planté dans la wilaya de Souk Ahras, Tébessa, Khenchela, Oum el Bouaghi et Batna (Tableau 1.1).

Tableau 1.1: Réalisation des plantations d'*Opuntia* et les superficies endommagées par les gelées.

Wilaya	Superficie réalisée	Superficies endommagées par les gelées
Djelfa	64 ha	-
Tébessa	4560 ha	-
Souk Ahras	3617 ha	-
Laghouat	116 ha	-
M'sila	10076.57 ha	1825.35 ha
Bordj Bouarreridj	1023 ha	-
Médéa	7180 ha	5810.35 ha
Khenchela	213 ha	-
Oum El Bouaghi	59 ha	-
Batna	83 ha	-
Bouira	36 ha	-
Total	27051.57 ha	7636.12 ha

Source: Valeur extraites à partir des rapports de H.C.D.S réalisés en 2005.

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 programme du H.C.D.S [22].

En effet, en 1993, un programme de restauration des parcours a été lancé par l'H.C.D.S, réparti dans huit wilayates steppiques, a permis de valoriser l'intérêt porté pour la culture de l'espèce *Opuntia ficus indica*, dans la région est et son introduction très encourageante au niveau des wilayates du centre et de l'ouest.

CHAPITRE 2 SYSTEMATIQUE ET DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

2.1 Systématique

La découverte de betalains dans les cactacées, a aidé les taxonomistes à comprendre la place phylogénétique de ces plantes. Les betalains sont des pigments rougeâtres; trouvés dans un petit groupe de familles, dans l'ordre des caryophyllales [24].

Les betalains obtiennent leur nom de la betterave rouge (le genre *Beta* chez les *Chenopodiaceae*), la betterave est rouge, ceci est dû à la présence de betalains.

Les cactacées ont été classées pour la première fois, près de la famille de la carotte (*Apiaceae*), mais maintenant la famille est placée dans un ordre très différent, le *Caryophyllale*, avec les autres familles des *Angiospermes* qui produisent du betalain: *Achatocarpoceae*, *Azoceae*, *Amaranthaceae*, *Basellaceae*, *Chenopodiaceae*, *Didieriaceae*, *Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae*, et *Portulacaceae* [24].

Les cactacées se divisent en trois sous- familles fondamentales; les *Pereskioïdées*, qui comportent la tribu *Pereskieae*, les *Céréoïdées*, qui comportent la tribu *Cereae* et les *Opuntioïdées*, qui comportent la tribu *Opunteae* [24.25]. Ces tribus sont décrites par Britton et Rose [11]:

- La tribu *Pereskieae*: cactées à feuilles normales, pas de soies glochidiées, comprend un seul genre c'est le *Pereskieae*.

- La tribu *Cereae*: les feuilles sont inexistantes, pas de soies glochidiées, les fleurs sont pédonculées, les graines sont tendres. Elle comprend huit sous- tribus avec 115 genres, dont les plus connus sont: *Cereae*, *Pactycerens*, *Echinocerens*, *Lemaireo- cerens*, *Echinocactus phyllocerens* et *Mammillaria*.

- la tribu *Opunteae*: les feuilles sont précocement caduques et petites, présence de soies glochidiées sur les aréoles, fleurs sessiles, graines dures. Elle comprend sept genres dont les plus connus sont: *Opuntia*, *Nopalea* et *Consolea*.

Britton et Rose [11], ont décrit les différences entre ces genres:

- Genre *Nopalea*: les fleurs ont des tépales dressés, des étamines exercés et un ovaire à section circulaire.

- Genre *Consolea*: les fleurs du genre *Consolea* ont des tépales rotacés, les étamines incluses et l'ovaire est de section aplatie.

- Genre *Opuntia*: les fleurs du genre *Opuntia* ont des tépales rotacés, les étamines incluses, l'ovaire est de section circulaire.

Le genre *Opuntia* est subdivisé en quatre sous- genres, classés d'après la forme des cladodes: *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia* [2], dont leurs principales caractéristiques selon Britton et Rose [11], sont:

1/ Sous- genre de *Platyopuntia*: les cladodes sont aplatis en raquettes, c'est ce sous- genre de *Platyopuntia* qui nous intéresse le plus, il faudra donc entendre sous le terme d'*Opuntia* le sous genre *Platyopuntia* seulement.

2/ Sous- genre *Cylindropuntia*: les cladode sont cylindriques.

3/ Sous- genre *Tephrocactus*: les cladodes sont sphériques ou oviformes.

4/ Sous- genre *Brasiliopuntia*: les tiges sont rondes, émettant des cladodes.

En ce qui concerne le sous- genre de *Platyopuntia* ou *Opuntia*, le nom *Opuntia* vient d'un ancien village grec dans la région de *Locride*, appelé Beocia, c'est-à-dire Opus ou *Opuntia*, où Tournefort avait trouvé une plante épineuse, qui le fait penser à l'*Opuntia* américaine [25.26]. Ce sous- genre comprend environ 300 espèces décrites, du Canada à la Patagonie (Chili et Argentine), le Mexique comprend 104 espèces et variétés [25.2].

Les 300 espèces et variétés de *Platyopuntia*, se répartissent sur une trentaine de séries distinctes, classées suivant, la taille, le port, les caractères des cladodes et leurs épines, la couleur des fleurs et les caractères des fruits [11].

Les séries, qui renferment le plus grand nombre de plantes intéressantes pour l'Afrique du nord et pour le bassin méditerranée sont [11]:

- série *Tunae*: *O. puberula*, *O. depressa*, *O. tuna*.
- série *Basilaire*: *O. basilaris*, *O. microdesys*.
- série *Tortispinea*: *O. vulgaris*, *O. helvetica*, *O. opuntia*, *O. tortispina*, *O. compressa*.
- série *Phaecanthae*: *O. engelmannii*, *O. phacantha*, *O. rostra*, *O. accidentalis*, *O. majavensis*, *O. camauchica*.
- série *Elatiores*: *O. bergeriana*, *O. élatior*, *O. schemani*.
- série *Elatae*: *O. vulgaris*, *O. banaernsis*, *O. cardiosperma*, *O. Elata*, *O. monacantha*.
- série *Scheriana*: *O. scheerii*.
- Série *Dilleniane*: *O. flavescens*, *O. lindheimeri*, *O. linguiformis*, *O. laevis*, *O. strictis*, *O. cantabrigiensis*, *O. dellenii*.
- Série *Tomentosa*: *O. Tomentosa*, *O. Tomentella*.
- Série *Leucotrichae*: *O. leucotricha* (régions sud- désertiques).
- Série *Ficus-Indica*: *O. ficus indica maxima*, *O. lanceala*, *O. decumana*, *O. elongata*, *O. amyclea*, *O. Topona*.
- Série *Streptacanthae*: *O. streptacanth*.
- Série *Robusta*: *O. robusta*, *O. demissa*, *O. camusea*.

2.2 Description morphologique

Les *Opuntia* sont des espèces qui ont des formes très variées depuis le plus petit arbuste jusqu'à l'arbre de 5 à 7m et même jusqu'à 15m de hauteur [11].

2.2.1 Système racinaire

Les racines se développent à partir des aréoles, produisant avec le temps un vrai système racinaire [27]. Elles sont généralement fasciculées, particulièrement denses [38]. La racine principale est courte, mais les racines latérales ont une très grande extension [29].

La distribution des racines dépend du type de sol et des techniques culturales. Sous les conditions favorables, les racines pénètrent jusqu'à 30cm dans le sol. Cependant, sous les conditions de la sécheresse, les racines latérales se développent pour prendre l'humidité du sol des niveaux inférieurs. Néanmoins, dans tous les types de sol, la grande partie des racines absorbantes se trouve dans les premiers centimètres, avec une profondeur maximale de 30cm, et peuvent s'étendre latéralement de 4 à 8 mètres [27].

Des études au Mexique ont montré que les racines de plusieurs espèces d'*Opuntia* sont colonisées par des mycorhizes [30].

2.2.2 Système caulinaire

2.2.2.1 Tige

Les *Opuntioïdés* sont des cactus terrestres, possédant des tiges à segments multiples, avec des feuilles rudimentaires sur les jeunes pousses [35]. La tige charnue est chlorophyllienne [31]. L'*Opuntia ficus indica*, émet des tiges de 3 à 4 mètres, aux articles elliptiques épais [32].

2.2.2.2 Raquette

Comme organe, les cladodes constituent la tige, elles sont succulentes et leurs formes sont typiquement oblongues à spatulées oblongues, habituellement, elles mesurent de 30 à 40cm de longueur, quelque fois elles arrivent jusqu'à 80cm, et 18 à 25cm de largeur [27].

Les cladodes ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm, ont une grande capacité d'emmagasiner l'eau, surtout au niveau des tissus parenchymateux, qui peuvent accumuler à eux seuls 82 % de l'eau retenue par la plante [17].

Anatomiquement, la cladode dans une section transversale est formé par: une peau, un cortex, un réseau de tissus vasculaire, séparé par un tissu du parenchyme; et une moelle qui est le tissu succulent majeur.

La peau est constituée d'une couche de cellules épidermiques et de 6 à 7 couches de cellules hypodermiques, avec des murs fondamentaux épais qui ressemblent au tissu laminaire du collenchyme. Les cellules épidermiques sont plates, sveltes et façonnées.

L'épiderme de même que l'hypoderme, montre une intégrité mécanique et efficace avec les cellules épaisses d'hypoderme, elles sont très fortes et agissent en tant que première ligne de défense contre les champignons, les bactéries et les parasites.

La peau reste intacte longtemps et est remplacée finalement par le périoderme (écorce) celui-ci est formé de cellules épidermiques [27].

- Epiderme:

L'épiderme constitue la couche la plus extérieure de cellules du corps du cactus, il est constitué par une couche continue de cellules protectrices qui montrent des stomates.

L'épiderme a trois fonctions majeures [27]:

1/ Réguler le mouvement de l'entrée du dioxyde de carbone, et de sortie de l'oxygène.

2/ Retenir l'eau dans la plante.

3/ Protéger la plante contre les attaques fongiques, les attaques d'insectes et la lumière intense.

- Stomates:

Les stomates sont distribués également sur les deux cotés de la surface des cladodes. Ils sont distribués aléatoirement avec une faible densité. *O. ficus indica* présente habituellement 15 à 35 stomates/ mm² [27].

Les cellules stomatiques de l'*Opuntia* ne diffèrent pas de celles des autres plantes à fleurs, donc l'ostiole est caché dans la surface de la tige. Ces stomates assurent les échanges gazeux avec le milieu externe et régulent la transpiration des organes, la chambre sous- stomatique se localise dans la couche du collenchyme [27].

La paire de cellules stomatiques est entourée par trois à quatre lignes de cellules accessoires, chaque ligne est formée par plusieurs cellules, la dernière ligne atteinte la surface des cellules épidermiques. La surface épicuticulaire éclaire ces cellules et les stomates peuvent être observés par conséquent avec un grossissement faible [27].

- Aréoles:

Les bourgeons axillaires du cactus sont représentés par les aréoles ovales, situées à 2 mm au dessous de la peau. Sous des conditions appropriées, les nouvelles cladodes, fleurs ou racines développeront à partir des tissus méristématiques des aréoles [27].

Il y a deux théories qui déterminent, comment les aréoles peuvent produire, de telles structures diverses, comme épine, racine, ou fleur:

La première théorie est que le méristème des bourgeons axillaires est initialement indifférencié, le développement des primordia est basé sur les messages chimiques qu'il reçoit. Le problème posé par cette théorie est que le méristème qui produit les épines, diffère de celui qui produit les fleurs.

La deuxième théorie est que c'est les hormones qui déterminent, si un méristème de pousse courte ou longue se développe initialement, et quels sont les primordia produits, ceci dépend entièrement de la forme du méristème déjà différencié [33]. Depuis que la différence entre les méristèmes produisant des pousses courtes ou longues a été faite, il

semble que les hormones peuvent contrôler le développement du méristème. Il est possible que les hormones messagères affectent les deux, c'est-à-dire les méristèmes et les niveaux des primordia. Ainsi les premières hormones messagères, vont déterminer le développement d'un méristème de pousse courte ou longue. Les deuxièmes hormones vont déterminer, si la pousse courte produit des épines courtes ou longues, ou une glochide ou déterminer, si la pousse longue produit une autre cladode, ou une cladode modifiée qui deviendra un fruit. Il doit y avoir aussi le contrôle à quelque niveau, pour les dimensions des fruits et des fleurs, car la longueur des épines, les dimensions des fruits et des fleurs est variable pour l'*Opuntia* selon l'environnement [33].

- Épines.

Chez les *cactacées*, les épines sont attachées à la base par un bouchon, afin qu'elles ne soient pas enlevées facilement [33]. Elles seraient alors des poils spécialisés, protégeant les points végétatifs [34]. Les épines sont présentes dès la première phase de croissance des cladodes, et la plupart d'entre-elles tombent avec la progression de l'âge et de la température. Seulement parfois quelques épines restent à la base des cladodes pour une longue période [27].

La couleur des épines est différente, pour les *cactacées* en général. La couleur des jeunes épines, varie du blanc ou presque translucide à jaune, doré, brun, rose, orange, gris ou presque noire. Avec l'âge la couleur passe habituellement vers une nuance sombre. Les épines individuelles peuvent être multi-colorées [33].

- Glochides:

Les glochides sont de petits poils barbelés, différents des aiguillons, très cassants, que l'on trouve exclusivement chez les *Opuntioïdés* [35]. 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 [27].

Enfin, il paraîtrait que les épines et les glochides ont beaucoup de fonction. L'idée la plus populaire est que les épines défendent la plante contre les animaux et aident à préserver l'eau. Cependant, la fonction la plus importante reste, leur capacité de condenser l'eau de l'air. De plus les épines aident à réduire la température de la tige pendant la journée, et leur présence diminue aussi, l'interception de la lumière par la cladode [27].

2.2.2.3 Fleurs

On peut distinguer les fleurs entre les bourgeons végétatifs et reproducteurs selon leur volume spatial. Le bourgeon reproducteur est plus sphérique, alors que le bourgeon végétatif est plus plat. Les deux genres de bourgeon peuvent se développer sur la surface la plus éclairée de la cladode [27]. Les fleurs des cactus sont tout à fait variables mais il y a quelques dispositifs généraux qui sont partagés par la famille entière [24].

Dans les zones arides et chaudes, certaines plantes du genre *Opuntia* fleurissent et portent des fruits deux fois dans l'année [35]. Les fleurs de l'*Opuntia* sont hermaphrodites et actinomorphes, elles se développent sur une cladode âgée, d'un ou deux ans et parfois sur une cladode de trois ans [27]. Généralement, elles sont grandes et belles, avec un style unique à stigmate digité entouré d'un nombre défini de sépales et indéfini de pétales de couleur brillante, le plus souvent jaune, orange ou rougeâtre [16], et parfois rose [36]. Ces fleurs sont disposées en spirale sur les cotés dorsaux et ventraux et en périphérie de la raquette, donnant naissance à de gros fruits ovoïdes [36]. Elles s'ouvrent au maximum la nuit, lorsque la température est clémente. Elles ont cependant une vie très courte [37]. Les fleurs de couleur jaune changent à orange ou au rose après la fécondation.

Les différenciations florales se produisent sur une période courte, de 50 à 60 jours, après que le méristème commence à être actif jusqu'à la floraison. Les sépales sont peu apparents, mais les pétales sont bien visibles de couleur jaune orangé [11]. Le pistil est surmonté d'un stigmate multiple. Les étamines sont très nombreuses, à plusieurs verticilles, se développant d'une façon centrifuge, de telle façon que le verticille intérieur est au-dessous du pistil et le supérieur est au dessus de stigmate [27]. Le même auteur rapporte que les anthères produisent une grande quantité de grains de pollen sec, qui mûrit avant la

maturité des ovules "protandrie". L'ovaire est uniloculaire (une loge), formé de cinq carpelles et a une placentation pariétale [27]. L'ovaire est infère et inclus profondément à l'intérieur du réceptacle, a une seule loge renfermant de nombreux ovules. Après la fécondation, le périanthe et l'androcée se fanent et se détachent [38].

Dans le genre *Opuntia*, les grains de pollen sont sphéroïdes, polaires, radio-symétriques [39], ils ont une couche externe épaisse, "l'exine", dont la fonction est protectrice. La couche interne est "l'intine", elle est mince et peut s'adapter, facilement aux changements en dimension [27]. La quantité de nectaires change selon les espèces, quelques espèces d'*Opuntia* ne produisent pas le nectaire [40]. Au début de la floraison, les étamines sont serrées au style et les anthères sont en contact avec le pistil. Les protandries expliquent le processus d'autogamie (Cléistogamie). La pollinisation est entomophile, quand la fleur est ouverte, le stigmate est supérieur aux étamines [27].

2.2.2.4 Fruits

Le fruit est une baie charnue simple [27.41]. Les mêmes auteurs précisent qu'il devrait être considéré comme une fausse baie, puisque le fruit est formé par un ovaire inférieur coulé sur le tissu du réceptacle.

Le fruit est de forme variable, sphérique, ovoïde, pyriforme, juteux jusqu'à la maturité, la couleur de la pulpe peut être verdâtre, jaune orange et même rouge [11]. La taille des fruits est très variable, leur poids varie de 30 à 60g et peut atteindre 250g [42].

La croissance du fruit en dimension et poids, se fait en trois phases consécutives: (1) croissance initiale rapide; (2) croissance intermédiaire lente; et (3) croissance finale rapide [43]. La peau se développe à une vitesse élevée pendant la phase1, la graine montre que la croissance maximum se fait pendant la phase 2 et la croissance maximum de pulpe se produit pendant les phases 2 et 3 [44].

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 à mesure que les fruits deviennent matures.

- Peau:

La peau se développe à une vitesse rapide, pendant la première phase de croissance des dimensions et du poids du fruit [44]. La peau est fine mais pleine d'épines [16]. La couleur de la peau commence à changer à 70 jours après la floraison, elle est profondément colorée en jaune, rouge ou blanc selon les cultivars entre 85 à 100 jours après la floraison [44].

- 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 correspond respectivement; à la phase de croissance intermédiaire lente et la phase de croissance rapide [45]. La pulpe est constituée par les cellules parenchymateuses, provenant de l'épiderme dorsal de la couverture funiculaire. Les 10% restants étant les tissus funiculaires [46]. La pulpe a une saveur acidulée [35], profondément colorée au 80^{ème} et 100^{ème} jour, après la floraison [44], la couleur peut être verdâtre, jaune ou orange [12].

La maturité des fruits est généralement estivale ou automnale. Il peut avoir deux saisons de floraison, séparées par la saison sèche. Certaines variétés sont très précoces et d'autre très tardives [11].

- Graine:

Les graines sont nombreuses, dures, osseuses et plates plus ou moins réniformes ou lenticulaires [11]. Elles sont libres ou adhérentes à la pulpe. Elles sont de forme et de taille variable: plates discoïdales, arrondies ou bombées sur les cotés [9].

La graine constitue la forme la plus commune de reproduction chez les cactacées, elle ne peut pas germer dans les fruits à cause de la présence des inhibiteurs de germination, comme c'est le cas de la tomate et du melon [33]. Les graines d'*Opuntia*

peuvent garder leur aptitude à la germination pendant environ 20 ans [25.33]. Les fruits renferment souvent deux types de graines avortées, le premier type est prédominant, il est caractérisé par le manque de la viabilité des graines, ceci est en relation avec l'échec accidentel de l'ovule ou du jeune embryon adventif. Le deuxième type, est représenté par le nucelle qui montre une croissance continue, même après la formation de l'embryon, en même temps, le funicule se transforme en une enveloppe lignifiée et dure [27].

Au Chili, beaucoup de fruits d'*Opuntia ficus indica*, ont révélé un troisième genre, où aucune graine n'est viable, c'est une forme d'anomalie, qui résulte peut être du développement du funicule, dans une enveloppe dure mais avec le développement actif du nucelle. Eventuellement ce dernier émerge à travers le micropyle [27]. La polyembryonie d'origine nucellaire est commune dans le genre *Opuntia*, cela explique le développement de deux ou trois plantules à partir d'une seule graine. La polyembryonie d'origine nucellaire et le développement d'endosperme sans fécondation, se produisent chez *O. vulgaris*, *O. ficus indica* et chez d'autres espèces de cactus, à l'exception d'*O. aurantica*, où il n'y a ni la formation de l'endosperme ni la fécondation [27].

Chez *Opuntia ficus indica*, le poids des graines augmente quand les plantations sont irriguées [47]. Cependant, chez *Opuntia engelmannii*, durant une année exceptionnellement sèche, les différents fruits ont le même nombre de graines qu'une année normale [48].

CHAPITRE 3 FACTEURS LIMITANTS, LA CULTURE ET LA PROPAGATION DE L'*OPUNTIA*

3.1 Facteurs limitants la culture de l'*Opuntia*

3.1.1 Facteurs abiotiques

L'*Opuntia* a des exigences culturelles réduites. En effet, il ne nécessite que des travaux peu profonds et une taille peu importante, pas besoin d'apports importants en eau ni de traitement antiparasitaires et par conséquent, il présente de faibles coûts énergétiques, pour la culture en implantation spécialisées [15].

Les espèces du genre l'*Opuntia* présentent des caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimiques, leur permettant de végéter dans les milieux difficiles, caractérisés par une faible pluviosité et une faible fertilité du sol [49].

3.1.1.1 Facteurs climatiques

Les cactus aiment les pluies en toutes saisons, mais ils peuvent pousser dans les régions à précipitations annuelles ne dépassant pas 250 mm [50].

Le développement de l'*Opuntia ficus indica*, dans le bassin méditerranéen est limité par les températures froides de l'hiver. La limite inférieure où le développement est possible est de + 1.5 à 2°C de la moyenne journalière des températures minimales du mois le plus froid (Janvier) ou (m) qui correspond approximativement à une température moyenne mensuelle de 7 à 9°C pour ce mois, mais la moyenne des maxima doit être égale ou supérieure à 12°C [7].

Le cactus craint le froid humide (minimum absolu supérieur à -10°C), puisque le froid favorise une pourriture d'origine bactérienne [51]. Le même auteur trouve que certaines espèces adaptées aux régions méditerranéennes, arriveraient à résister à des températures comprises entre -5 et -10°C , il s'agit de :

- *Opuntia ficus indica* qui résisterait à des froids de -8°C ;
- *Opuntia dillenii* qui résisterait à -5°C seulement;
- *Opuntia compressa var. helvetica* résisterait jusqu'à -10°C .

La limite thermique où se développe le cactus n'excède généralement pas les 1000 mètres d'altitude [11.51].

3.1.1.2 Facteurs édaphiques

Du point de vue pédologique, le figuier de barbarie s'adapte aux terrains sableux ou à l'empattage moyen, pauvres en substances organiques (0.4 à 1.8) et superficielles [52]. Les capacités d'adaptation de l'espèce, lui permettent de coloniser les sols stériles des pentes, déterminant la formation d'un terreau indiqué pour des cultures plus rentables [52]. Par contre, LE-HOUEROU (1996), trouve que la croissance de l'*Opuntia* est contrôlée par la nature et le drainage du sol. Les cactus s'accommodent mal à des sols hydro morphes, asphyxiants et trop compacts [11.51].

Les *Opuntia* n'ont aucune exigence vis-à-vis de la nature chimique du sol, et peuvent supporter sans dommage les sols gypseux ou les sols légèrement salins à condition qu'ils soient bien drainés [11.51].

L'*Opuntia* préfère les sols légers, sablonno-limoneux, ayant des pH moyennement acides (5.1 à 6.7). La majorité des espèces d'*Opuntia* préfèrent des sols légèrement acides [17].

Les cactus sont tolérants à des pH basiques jusqu'à 8.5 [13].

3.1.1.3 Eco-physiologie de l'*Opuntia*

De point de vue écologique, l'*Opuntia* est typiquement une espèce des zones arides et désertiques. Elle présente une série d'adaptation morphologiques et physiologies aux caractéristiques du milieu aride.

Les bases physiologiques du succès écologie et de l'utilité agricole de l'*Opuntia* comme fourrage, reflètent dans une large mesure leur modèle quotidien de l'ouverture des stomates. La plupart des plantes présentent des stomates qui s'ouvrent pendant la journée, de telle sorte que la prise de CO₂ s'effectue simultanément avec la photosynthèse; l'énergie lumineuse est utilisée pour incorporer le CO₂ atmosphérique a l'hydrate de carbone. Cependant, d'autres plantes comme *Opuntia*, possèdent des stomates qui s'ouvrent pendant la période nocturne. Ce modèle d'échange de gaz est désigné sous le nom du métabolisme d'acide Crassulacean (CAM) parce qu'il a été étudié intensivement dans les Crassulacées, bien avant d'être reconnu dans les cactacées [53].

3.1.1.4 Adaptations structurales aux milieux arides

L'*Opuntia* est une dicotylédone vivace, munie de raquette, qui représente des tiges modifiées. La plante est dépourvue de feuilles, car elles sont de nature éphémère et tombent hâtivement. Les raquettes sont recouvertes d'un épiderme épais recouvert de cire, structurée de manière à limiter les pertes d'eau par transpiration. 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 [2].

La réponse xéromorphique des racines d'*Opuntia* aux conditions arides, diffère des autres plantes, par des caractéristiques qui leur permettent de survivre pendant des périodes prolongées de sécheresse; où les racines fines sont couvertes par une couche qui set relativement imperméable à l'eau.

Les racines des cactacées peuvent tolérer la sécheresse à l'aide de trois principaux mécanismes [27]:

1. En réduisant la surface de la racine et en diminuant leur perméabilité à l'eau;
2. En absorbant rapidement la petite quantité d'eau fournie par les pluies éphémère; grâce à la capacité de produire en très peu de temps des racines;

3. En diminuant la transpiration à cause du potentiel hydrique négatif élevé des racines.

Une fois que les cactacées ont absorbé l'eau à travers les racines, elles la lient immédiatement à un composé hydrophile mucilagineux, le mucilage qui ralentit les pertes par transpiration. Ce composé hydrophile se trouve emmagasiné dans les cellules charnues du mésophylle des raquettes [2].

Plusieurs fonctions ont été attribuées au mucilage des *Opuntia*. Ainsi, une étude a proposé que le mucilage protège l'*O. ficus indica* contre les hautes températures. Les températures des tissus des succulentes du déserte dans leurs habitats normaux, peuvent être de 10 à 20°C, plus élevées que les températures de l'air ambiant [33].

Il a été suggéré que le mucilage agit en tant qu'un réservoir du sucre ou du calcium, assurant ainsi le stockage de l'eau. On l'a également suggéré que le mucilage produit par l'*Opuntia* colmate les blessures tout en constituant une couche imperméable pour empêcher la perte d'eau [33].

3.1.1.5 Mécanisme d'arido-résistance:

En l'absence de feuilles permanentes, le processus photosynthétique se réalise dans les raquettes vertes [2]. Celles-ci contiennent également un parenchyme aquifère qui peut emmagasiner et conserver l'eau de façon efficace.

La limitation de la transpiration cuticulaire est améliorée grâce à la présence d'un épais revêtement cireux épicuticulaire et intracuticulaire. La réduction des feuilles en épines, et la morphologie stomatique contribuent à limiter les pertes, par transpiration, tout comme l'ensemble du processus photosynthétique [24, 53].

La photosynthèse peut avoir lieu suivant le cycle CAM, qui permet l'ouverture nocturne des stomates pour les échanges gazeux, réduisant par conséquent les pertes par transpiration. Les CAM, ont un métabolisme destiné à économiser l'eau durant la sécheresse, tout en maintenant une assimilation photosynthétique nette positive grâce à la haute concentration tissulaire en CO₂. La photorespiration et la photoinhibition sont négligeables, favorisant un métabolisme lent, mais sans gaspillage [2].

Les principales caractéristiques du métabolisme type CAM sont:

1. stomates fermés de jour et ouverts la nuit;
2. carboxylation nocturne, à partir de la décomposition de l'amidon avec la production d'acide malique, accumulé dans la vacuole, qui détermine une augmentation de pH pendant la nuit;

3. décarboxylation du malate et fixation de CO₂, par la Rubisco, durant le jour (stomate fermés), avec la synthèse d'amidon et d'autres glucanes.

Le processus photosynthétique CAM se produit la nuit, le CO₂, absorbé à travers les stomates ouverts, est transformé en acide malique. Les grandes quantités d'acide malique produites font augmenter l'acidité des cellules qui atteint son maximum peu avant l'aube. Au cours des premières heures du matin, les stomates ont tendance à se fermer, l'acide malique est extrait par la vacuole et décarboxylé grâce à l'enzyme malique-NAD dépendante. Le CO₂ ainsi libéré, vu qu'il ne peut pas sortir de la plante, forme un pool très concentré qui supprime toute photorespiration. Il entre dans un cycle C₃ normal qui mène à la synthèse de l'amidon [2].

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. Les jeunes raquettes, étant donné qu'elles ont un métabolisme photosynthétique de type C₃, maintiennent les stomates ouverts le jour, et rappellent l'eau dont elles ont besoin à travers les raquettes situées en dessous, constituant une perte d'eau très remarquable pour toute la plante [2].

Si le déficit hydrique est extrêmement sévère, le métabolisme CAM subit des modifications particulières. En effet, étant donné que les stomates restent fermés aussi bien durant le jour que durant la nuit, empêchant l'assimilation nocturne CO₂, on a une utilisation de l'anhydride carbonique produite par la respiration, de manière à ce que, malgré tout, une faible photosynthèse puisse avoir lieu durant le jour [2].

3.1.2 Facteurs biotiques

3.1.2.1 Maladies cryptogamiques

- Dessèchement des *Opuntia*:

Causé par le champignon, *Hendersonia opuntia*, cette maladie est généralement propre aux opunces. Elle se caractérise par des lésions, au centre brun gris et craquelé, d'abord bien délimitées, elles en arrivent à couvrir des articles entiers, qui tournent au brun rouge avant que la plante ne meurt [54].

- Rouille:

Causée par *Phyllosticta opuntiae*, uridinée qui se manifeste par de petites tâches de couleur jaune-rouille, circulaires, pouvant s'étendre en plaques irrégulières d'un blanc sale ou cendré. Ce sont surtout les raquettes de deux ans qui, une fois attaquées, n'émettent que peu de cladodes et finissent par se dessécher. La gale causée par cette espèce qui est probablement l'ennemi le plus redoutable des *Opuntia*, est efficacement combattue par des traitements à base de cuivre et l'ablation des raquettes parasitées [55].

- Mildiou et pourriture:

Elle est produite par un champignon; *Phytophthora cactorum*, qui met en fermentation le suc cellulaire et se propage avec une rapidité déconcertante. Les symptômes de mildiou se présentent sous forme de cloques soulevant l'épiderme, d'état chlorotique prononcé et de tâches brunâtres qui envahissent les fruits et les raquettes selon les variétés [54]. Une lutte préventive consiste à couper et à incinérer les parties atteintes de la plante [55].

3.1.2.2 Parasites et prédateurs

- Cochenilles et poux des racines:

Bien que généralement polyphage, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et inféodées à une seule espèce de cactées. *Cactoblastis cacterum* a décimé la culture de l'*Opuntia dillenii* au sud de Madagascar. Les poux des racines parents de la cochenille, *Rhizoecus falcifer*, s'établissent sur les racines et sur le collet des cactus, qu'ils piquent et dont ils sucent la sève [13]. La lutte contre les cochenilles nécessite des traitements aux huiles blanches ou au parathion [55].

- La cératite:

Causée par *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 permet de se débarrasser facilement de cet insecte [55].

- Limaces et autres:

On repérera leur passage aux traces brillantes qu'elles laissent derrière elles, et aux parties dévorées. On utilisera un insecticide spécifique. Les lapins et d'autres rongeurs, les bétails et d'autres animaux domestiques et sauvages sont des prédateurs de l'*Opuntia* inerme. Les perroquets causent aussi de vrais dommages à l'*Opuntia* inerme par la consommation des extrémités des raquettes [56].

3.1.2.3 Les anomalies de culture

- Allongement et plissement des articles:

Les cactus filent lorsqu'ils manquent de lumière. On modifiera progressivement leur exposition, en les rapprochant d'une zone plus lumineuse [54].

- Tâches rougeâtres:

Les tâches rougeâtres visibles sur les espèces exposées à une température trop basse [56].

- Gelée et grêle:

La gelée est un facteur abiotique dangereux, qui a provoqué de graves blessures sur les arbustes d'*Opuntia* au Mexique. En Algérie, durant l'hiver 2004 environ 7636 ha d'*Opuntia* ont été endommagés par la gelée, suivie de la neige dans les wilayates de Médéa et M'sila [57].

La grêle cause des dégâts importants en blessant les fruits et les cladodes. Les blessures constituent des terrains poreux, pour la pénétration et le développement des agents responsables des plusieurs maladies tel que le *Botrytis cinerea* [54].

Des mesures préventives peuvent jouer un rôle important, pour minimiser les dégâts causés par les insectes, telle que l'exécution rationnelle des pratiques culturales, spécialement la fertilisation, l'irrigation et la réduction régulière de la densité des cladodes dans la partie centrale de la plante. De plus, l'enlèvement des cladodes âgées et toutes les

cladodes sèches, où plusieurs insectes peuvent se développer est obligatoire [58]. Pour les maladies fongiques, l'utilisation des produits chimiques pour le contrôle des maladies de cactus, est limitée à un certains nombres de pathologies. Les traitements anti- parasitaires sont préconisés après les événements atmosphériques, qui provoquent des blessures sur les organes des plantes, ce qui facilite l'inoculation des agents pathogènes, comme les champignons et les bactéries [54].

3.2 Technique de propagation

3.2.1 Multiplication par la voie asexuée

La multiplication asexuée pour le figuier de barbarie est assurée par les aréoles, qui sont des tissus méristématiques capables de produire de nouvelles pousses, fleurs ou racines, dépendant de leur position, comme dans d'autres arbres fruitiers vivaces. Les cladodes, les fleurs et même les jeunes fruits sont capables de se différencier. Cependant les cladodes sont les éléments typiques de propagation [59]. Les cladodes peuvent initier le processus d'enracinement au moment où elles seront en contact avec le sol. L'humidité du sol est importante mais pas limitante, puisque les racines initiales sont supportées par l'eau stockée dans les cladodes. Si les cladodes sont détachées de la plante- mère, elles subissent un processus de durcissement pour colmater les vois de pertes d'eau, le dégagement immédiat du mucilage par les cellules blessées, accélère le processus [60].

La multiplication asexuée est effectuée par bouturage. Dans la pratique culturale, la bouture du figuier de barbarie est formée par une raquette de deux ans avec deux ou trois raquettes d'un an [2]. Une période de pré- séchage des sections de raquettes, pendant deux semaines et parfois plus, est préconisée. Cette période ne se justifie pas, cependant, certains travaux ont même montré, ses effets négatifs sur les repousses [51]. Alors que pour d'autres travaux les cladodes collectées, doivent être stockées pendant quatre à six semaines dans un endroit sec et ombragé, afin de favoriser le durcissement des sections. Le séchage au soleil devrait être évité, puisqu'il favorise le recourbement des cladodes [59].

Les boutures préparées en partant de portion de raquettes, constituent une meilleure voie pour combattre l'indisponibilité du matériel végétale. Par cette méthode, on peut en

effet planter des boutures de différentes dimensions et avec un nombre différent d'aréoles présentes à la surface de la raquette. Théoriquement la fraction minimum devrait avoir au moins une aréole ou bourgeon de chaque côté. Cette technique a besoin d'un traitement thermique ou chimique pour éviter les maladies virales ou fongiques. Cependant, elle n'est pas communément pratiquée à cause des coûts élevés et du manque de pépinières spécialisées [59]. Il est également possible d'utiliser les rejets de racines ou les fleurs. Puisque chez ces dernières, les aréoles du réceptacle (qui est un thalle modifié) ont la capacité de différencier les racines et les pousses végétatives [2].

La micro- multiplication est aussi possible en cas de carence du matériel végétatif à multiplier, en utilisant les bourgeons axillaires comme explants qui seront traités avec une solution de benzyladénine. Celle- ci permet en partant d'une seule raquette, d'obtenir jusqu'à 25000 plantes [61].

La technique de bouturage présente plusieurs avantages par rapport à la micro- multiplication, en effet; elle est simple, rapide et économique. Cependant les deux techniques permettent d'obtenir des plantes uniformes et identiques à la plante mère.

3.2.2 Multiplication par la voie sexuée

La multiplication à partir des graines n'est pas courante, puisqu'elle présente plusieurs inconvénients: la germination est lente; les plantules ne sont pas uniformes du point de vue génétique et phénotypique, elles traversent aussi une phase juvénile très longue [2].

Généralement les graines d'*Opuntia*, collectées et stockées pendant une année n'exigent pas un traitement spécial pour germer [62]. Cependant certains traitements ont été utilisés pour lever la dormance des graines récemment collectées dont:

1. La scarification mécanique.
2. La scarification mécanique, plus immersion dans l'acide gibbérellique.

3. L'immersion dans l'eau à une température de près de 100°C pendant 5 à 20 minutes.

4. L'immersion dans l'acide sulfurique concentré, ensuite les graines sont lavées et imbibées dans l'acide gibbéréllique à 100 mg/l [59].

D'autres traitements ont été utilisés, tels [40]:

5. L'immersion dans du Hcl à 20% pendant 24 heures.

6. Le refroidissement.

7. Le trempage dans l'eau courante pendant 24 h, 48h et 72h.

Un phénomène qu'on peut relever lors de la multiplication par les graines, c'est la polyembryonie, c'est-à-dire la formation de plusieurs embryons. L'un de ces embryons est en général d'origine sexuée et dérive de la fécondation du sac embryonnaire, les autres qui sont appelés apomictiques, viennent des cellules du même sac embryonnaire ou des tissus du nucelle [2].

3.3 Techniques culturales

3.3.1 Choix des espèces et des cultivars

Le choix de la variété dépend du but recherché, dans le cas où la plantation serait destinée à la production de fruits pour la consommation directe, il est très important de connaître l'évolution du marché et d'évaluer le type de fruits préférés par les consommateurs, qui sera donc plus facile à commercialiser. Par contre si le but de la plantation est l'utilisation fourragère, la production des fruits et le choix de la variété passent au second plan.

Les facteurs importants qui doivent être pris en considération au moment du choix de la variété [2]:

- Productivité élevée et bonne qualité.
- Adaptation au climat et au sol.
- Grande rusticité.
- Résistance à l'agression des parasites et des insectes.

3.3.2 Préparation du sol

C'est une opération qui consiste à confectionner et à préparer les trous de plantation de 10 à 20cm de profondeur et 50cm de diamètre. La seule précaution prise par les paysans, c'est de veiller à épierrer complètement le sol par crainte d'entraver le développement du système racinaire [17]. La destruction des mauvaises herbes est fort conseillée, pour obtenir une plantation productive, ceci peut se réaliser facilement par une année préparatoire de jachère travaillée [11].

3.3.3 L'implantation ou mise en place

3.3.3.1 Epoque

De la comparaison du comportement des boutures plantées en trois périodes de l'année ; automne, hiver et printemps dans les conditions locales de la Sardaigne centrale et occidentale, il en ressort: que l'automne est indiqué comme la saison la plus favorable pour l'implantation, dans les conditions méditerranéennes [2]. Deux périodes semblent être favorables à la mise en place [11]:

- Soit Septembre – Novembre et Février – Avril, pour les zones à hivers doux.
- Soit Septembre – Octobre et Avril – Mai, pour les zones à hivers frais.

3.3.3.2 Plantation

Si l'objectif principal est la défense contre la dégradation et l'érosion du sol, les méthodes sont [2]:

- La plantation doit être réalisée dans des trous, surtout si l'endroit à planter est une dépression où l'eau de pluie est recueillie.
- En rangs ou en bandes le long des courbes de niveau plus ou moins rapprochées suivant la pente. Les boutures seront plantées dans des tranchées de 30 cm de profondeur, les rangs seuls ou les bandes de deux ou trois rangs doivent être espacés en moyenne de 6 à 8 m.

Avant l'implantation, les raquettes doivent être prélevées sur des plantes adultes, puis exposées à l'air pendant quelques semaines pour que la blessure se cicatrise.

Parmi les techniques de plantation, on distingue [11.63]:

- Plantation à raquette unique, en posant simplement les raquettes à plat sur un sol ameubli, puis en les recouvrant en partie d'une pelletée de terre. Cette méthode rapide est peu coûteuse entraîne cependant un retard d'un à deux ans d'entrée en production. Un hectare de pépinière permet, selon cette technique de réaliser entre 25 à 50 hectares de plantations.

- Plantation à raquettes doubles placées dans un sillon, qui est tracé avec une charrue à un écartement convenable, constituant à l'aval un ados, assez large à sa base (1m) et favorisant ainsi l'accumulation de l'eau de ruissellement. Les raquettes sont inclinées contre l'ados, dans le sillon. La raquette inférieure est ensuite recouverte de terre. L'avantage de cette méthode est une entrée en production plus rapide que par plantation à raquette unique (1 à 2 ans gagnés). Néanmoins cette méthode est relativement coûteuse. Un hectare de pépinière permet de créer alors annuellement 10 à 20 hectares de plantation.

On peut recourir à la plantation des rameaux de 3 raquettes à condition que la disponibilité en raquettes soit suffisante et que le transport se fait à faible distance.

Cette technique permet de raccourcir encore les délais d'entrée en production, mais les manipulations sont alors plus délicates (rupture des articles).

3.3.3.3 Ecartement, densité de plantation

L'écartement et la densité des peuplements dépendent de deux groupes de facteurs dont le climat et les conditions de cultures [11]

Sous les climats tropicaux du nord du Brésil, les densités préconisées étaient de 10000 pieds/ ha avec des écartement de 1 x 1 m ou 2 x 0.5 m. En Sicile sous des pluviosités de 500 à 800 mm, les écartement sont de 5 à 7 m entre les rangées et 0.50 à 1.25 m sur la rangée, soit 1200 à 4000 pieds/ ha.

En zones arides et semi- arides, la densité peut varier de 1000à 3000 pieds par hectare (150 à 400mm) avec des écartements de 5 à 10 m entre les lignes. Pour le nord de l'Afrique, la densité maximale, provisoirement préconisée est de 4000 à 5000 pieds à l'hectare avec des écartement de 4 à 5 m entre les ligne en culture non mécanisée et 6 et 7m en culture mécanisée (passage d'un tracteur et d'une remorque), sous les pluviosités supérieures à 400mm [11]. Au Maroc, les espacements varient de 0.5 x 2m à 4 x4m, alors que le plus utilisé dans la région de Tiznit est de 3 x4m, ce qui donne une densité de 830 plants/ ha. Cependant la forte densité de 1600 à 2000 plants / ha, n'est recommandée que pour les zones qui sont relativement bien arrosées [17].

Concernant les plantations conçues pour la production de fourrage, il est recommandé d'intensifier la densité, puisqu'une grande compétitivité entre les plants réduit l'activité reproductrice. En prolongeant la phase juvénile et en favorisant la régénération de nouvelles raquettes qui est, le principal objectif dans la production du fourrage. C'est le cas des plantations au Mexique, celle-ci sont constituées par des rangs compact d'une hauteur non supérieur à 1.50m, avec une densité, d'environ 40000 plants / ha (80 x40cm). Une méthode semblable à la précédente a été menée au Brésil, avec la même densité, mais l'ordre est de 100 x 25cm. Une implantation plus intensive prévoit 2m entre les rangs et 1m sur le rang. Deux ans après l'implantation, on obtient dans les plantations à haute densité des productions de 246t / ha, cependant pour ceux d'une densité inférieure, la production tourne autour de 100t / ha [60.2].

3.3.3.4 Fertilisation et fumure

Les différents essais sur la fertilisation, réalisés dans différentes parties du monde, montrent que la fertilisation détermine une augmentation remarquable de la production tant de fruits que de raquettes [60].

Des applications importantes d'azote, jusqu'à 160Kg/ha, favorisent l'augmentation du nombre de nouvelles raquettes chez *O. engelmanni* [2].

En Afrique du nord plusieurs travaux d'expérimentation ont été effectués sur l'effet de la fertilisation sur l'augmentation de la production:

Les essais entrepris en Tunisie sur une jeune plantation (Sidi Thabet; précipitation: 420mm) démontrent, par rapport à un témoin non fertilisé que:

- La fumure (20, 20,20) accroît la production de 246 %.
- Un apport de fumier (15t / ha / an) apporte une amélioration de 272 %.

Après plusieurs expérimentations, on conclut que:

- La fumure organique, au moment de la plantation est recommandée, surtout le fumier de mouton, qui avait montré une influence positive sur le nombre de repousses.
- La production de jeunes raquettes réagit différemment aux apports d'engrais: l'apport de l'azote est très positif. Les engrais potassiques n'ont pas eu d'effet, quant aux engrais phosphatés, un effet positif a été constaté dans les régions semi- arides [11.64].

Au Maroc, il n'y a pratiquement aucun apport d'éléments fertilisants, pour le figuier de barbarie en culture traditionnelle, cependant vu le gain d'intérêt pris par cette culture, durant ces dernières années, certains agriculteurs ont commencé à apporter du fumier à leurs plantation de figuier à raison de 1 à 5kg par plant. Cela engendre une augmentation de 20 à 30 % dans la productivité [17].

En Algérie, une expérimentation a été réalisée au Hodna (précipitation: de 224mm) par la F.A.O en 1974, la technique recommandée par cette dernière est:

Des plantations à raquette unique, l'application d'une fumure constituée d'un apport de 4 à 5kg de fumier de mouton par pied (soit environ 10t / ha), de 50 unités / ha de P₂O₅ et 20 unités / ha d'azote, on doit lors de l'implantation, éviter de mettre la raquette en contact

avec du fumier [23.63]. Au Mexique, dans un système intensif, la production de "nopalitos" demande de grande quantité de fumier, elle varie de 100 à 200t / ha. Alors que la quantité de l'azote (N) varie de 100 à 200kg / ha et la quantité du phosphore (P) varie de 80 à 100kg / ha [75].

3.3.3.5 Irrigation

L'*Opuntia* est peu exigeante vis-à-vis de l'eau, vue qu'elle développe un mécanisme de tolérance à la sécheresse. Néanmoins, des recherches en Italie ont montré que les deux périodes critiques pendant lesquelles il est très recommandé de faire des apports d'eau sont la floraison et le grossissement des fruits. Au Maroc dans la région de Tiznit, avec une pluviosité de 100mm / an, on arrive à récolter 30à 40kg de figuier par arbre et par an. Hors en année pluvieuse (200 à 250mm) le rendement par arbre triple [17].

En Algérie, l'expérimentation réalisée par la FAO en 1974, au Hodna sur des plantations à raquette unique, recommande d'irriguer en Avril, Mai, Juin, Juillet, et Août. Ceci est justifié puisque cette période coïncide avec la période, allant de la floraison au grossissement des fruits [23].

3.3.3.6 La récolte

L'utilisation de l'*Opuntia* comme source de fourrage pour les caprins, les ovins et les bovins, constitue une tradition ancienne au nord du Mexique. Leur exploitation varie de la consommation directe sur pied à plusieurs types d'exploitation pratiqué par les paysans [66]. Il est déconseillé de pâturer le cactus inerme, en raison du gaspillage considérable et des risques de destruction des plantations. Alors on doit recourir à la récolte, puis à la distribution aux animaux [23]. Les récoltes annuelles exhaustives réduisent considérablement la production. D'autre part les raquettes de plus de trois ans ne sont plus consommables. De se fait certains auteurs préconisent une récolte tous les deux ans, d'autre tous les trois ans. On peut récolter tous les deux à trois ans, selon la nature du cheptel, et selon la rapidité de croissance du végétal [11]. Au Maroc, dans la région de Tiznit où les plantations sont installées pour la production de fruits, cette opération mobilise tous les membres de la famille. Dans cette région elle est échelonnée sur une période de 7 mois de

Juin à Décembre, du fait qu'il existe des variétés qui diffèrent par la période de fructification [17].

Au Mexique, la récolte de "nopalitos" destinée à la consommation humaine, se fait 30 à 60 jours après le bourgeonnement végétatif, quand leur poids atteint 80 à 120g et leur longueur 15 à 20cm [65].

CHAPITRE 4

IMPORTANCE ET EXPLOITATION D'*OPUNTIA*

4.1 Introduction

La culture de cactus connaît actuellement un regain d'intérêt dans plusieurs pays, en raison de sa contribution dans la mise en valeur des terres marginales et des zones arides et semi-arides, son adaptation à divers climats et sols, ainsi que ses multiples utilisations et son impact sur les recettes des producteurs et des éleveurs.

Dans certains pays tels que l'Italie, l'Espagne, le Mexique, la culture du cactus est pratiquée de façon intensive et moderne, avec des programmes de recherche-développement pour la production de fruits ou de fourrage et même pour des usages industriels.

4.2 Importance écologique

Les *Opuntia* peuvent être considérés comme des cultures qui pourraient tolérer les changements climatiques, et permettent donc de mettre en valeur des terres marginales infertiles et sèches. Ils sont connus pour leur tolérance à la sécheresse et leur adaptation aux conditions désertiques.

L'utilisation du cactus pour la protection et la mise en valeur des sols dans les régions arides et semi- arides a été démontrée dans la région de Milpa- Alta au Mexique. Cette région a été complètement défrichée, pour y introduire des cultures fourragères tel que le maïs. L'échec était total en raison de la faiblesse et de l'irrégularité des précipitations. Ce n'est que par la réintroduction du cactus que toute la région a été sauvée et remise en valeur sans risque de dégradation environnementale. Les *Opuntia* en association avec d'autres

espèces ligneuses ont été utilisés avec succès dans un programme de fixation des dunes en Somalie et contre l'érosion des sols dans plusieurs autres pays.

Dans la région de Sidi- Ifni au sud du Maroc, les plantations d'*Opuntia* jouent un rôle écologique important, car elles permettent de lutter contre l'érosion et donc à conserver le sol.

Le cactus est utilisé pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. Il résiste au feu et peut être utilisé comme obstacle à la propagation des incendies [12].

En Algérie la culture de l'*Opuntia* dans les zones arides et semi- arides, a permis de préserver les écosystèmes steppiques fragiles [67].

La plantation d'*Opuntia* dans la wilaya de Djelfa a permis:

- Une augmentation de la litière;
- Une augmentation de la matière organique;
- Une augmentation du recouvrement végétal;
- Une augmentation de la richesse floristique.

L'intérêt accordé par le H.C.D.S à cette culture, s'explique par les avantages que parcourt cette plante:

- Les racines mortes de l'*Opuntia* et celles de l'année produisent d'importantes quantités de matière organique, pour améliorer les sols, par l'augmentation de leur aération, leur perméabilité et leur capacité de rétention en eau.
- En constituant des peuplements vivaces et durables [67].

Au Maghreb, les vieilles raquettes d'*Opuntia* desséchées sont utilisées comme fumure des vergers, et la dispersion d'articulation d'*Opuntia* broyées autour des pieds de certaines plantes, éloigne les parasites et empêche la prolifération des mauvaises herbes [67]. Pour détruire les larves de moustiques, on utilise des raquettes de ce figuier, coupées en morceaux et jetées dans les eaux stagnantes, laissant exsuder un mucilage qui forme à la surface une couche isolante amenant la destruction des larves de moustiques [67].

4.3 Importance économique

4.3.1 Production de fruits

L'importance économique de la culture réside dans ses fruits, dont la valeur nutritive est comparable à celle des fruits juteux types poires, pommes, abricots et oranges, ils sont considérés comme une bonne source de vitamine C, avec un apport énergétique important. La teneur en sucre de la plupart des variétés est relativement élevée entre 12 à 17 % (Tableau 4.1).

Les fruits sont consommés à l'état frais, séchés, congelés, confits ou transformés en jus concentré, en boisson alcoolisée, en confiture ou en huile alimentaire à partir de la graine [12].

En Amérique, on extrait une farine blanche des graines, qui une fois bouillie, est façonnée en une sorte de pain [12].

Au Chili, les figues de barbaries sont utilisées pour l'extraction d'un sirop, dont les caractéristiques nutritionnelles sont similaires à celles du raisin et du maïs [17].

Tableau 4.1: Composition chimique de la pulpe et de la graine de fruit d'*Opuntia ficus indica* [68].

Constituants	Pulpe	Graine
Eau (%)	85.60	5.3
Protéine (%)	0.21	16.6
Matière grasse (%)	0.12	17.2
Fibres (%)	0.02	49.6
Vitamine C (mg/100g)	26.0	/
Matière minérale (cendre) (%)	0.44	3.0
Ca (mg/100g)	20.0	16.2
Mg (mg/100g)	28.0	74.8
K (mg/100g)	161	163
Na (mg/100g)	0.8	67.6
P (mg/100g)	15.4	152
Fe (mg/100g)	1.5	9.45

4.3.2 Production de fourrage

Le cactus constitue une source fourragère sur pied pour l'alimentation du bétail [12].

L'utilisation de l'*Opuntia*, comme plante fourragère, est très connue depuis l'antiquité dans les pays du Maghreb (Tunisie, Algérie, Maroc) [16]. En général, on peut affirmer que l'*Opuntia* est très appétible. Le mouton nourri avec des raquettes d'*Opuntia*, pouvait ingérer jusqu'à 9kg / jour de ce fourrage [12].

La consommation d'*Opuntia* mène à une augmentation de l'ingestion de la paille (Tableau 4.2), un effet très positif, si l'on considère le fait que, dans les zones arides de WANA (ouest asiatique et Afrique du nord), la paille représente la principale source de nutrition du bétail [69]. On peut expliquer cet effet positif en supposant que l'ingestion d'*Opuntia*, améliore les conditions de fermentation du rumen [70].

Tableau 4.2: Influence de l'ingestion d'*Opuntia* sur l'ingestion de paille [70].

Ingestion d' <i>Opuntia ficus indica</i> forme inerme (g de MS/ jour)	0	150	300	450	600
Ingestion de paille (g de MS / jour)	550	547	523	643	716

De nombreuses espèces d'*Opuntia* représentent une source alternative de fourrage, valable en particulier durant les périodes de sécheresse, quand les autres espèces fourragères sont faibles. Pour permettre la consommation des raquettes de la part des bétails, on doit éliminer les épines:

- Par l'action directe du feu;
- Par l'immersion dans l'eau;
- Par l'utilisation de la vapeur, lavage avec de la soude [2].

Les espèces d'*Opuntia* épineuses sont caractérisées par une valeur nutritive supérieure aux espèces inermes [71].

Au Brésil, les pèles (écorce des raquettes) d'*Opuntia* sont, avec le tourteau de coton, la base de l'alimentation du cheptel bovin, notamment les vaches laitières [11]. Dans le

nord est du Brésil, les éleveurs préfèrent que les animaux broutent directement le figuier de barbarie [72].

Les *Opuntia* sont cultivés, comme culture fourragère dans beaucoup de pays dans le but d'assurer un stock d'aliment en cas de situation critique de sécheresse (Tableau 4.3). Leur grande efficacité d'utilisation de l'eau, les qualifie d'espèces fourragères idéales, dans les régions semi- arides, où la plupart des cultures fourragères sont peu rentables et difficiles à réussir [12].

Tableau 4.3: Contribution de la consommation d'*Opuntia* dans la résolution de problème de l'abreuvement [73].

Consommation d' <i>Opuntia ficus indica</i> forme inerme (g de MS/jour)	0	200	400	600
Consommation d'eau (l/jour)	2.5	1	0.75	00

Les raquettes d'*Opuntia sp.* présentent un taux élevé en eau (90%), en cendres (20% de la MS), en Ca (1.4% de la MS), en hydrate de carbone soluble et en vitamines A (Tableau 4.4). En revanche, elles possèdent un faible taux de protéines brutes (4% de la MS), des fibres brutes (10% de la MS) et de phosphore (0.2% de la MS) [73].

Ces valeurs nutritives de l'*Opuntia* varient en fonction de l'espèce et de la variété considérée, elle est influencée par l'âge des raquettes, par l'évolution thermo-pluviométrique, au cours de l'année et par de nombreux facteurs agronomiques, comme le type de sol et les conditions de croissance et de développement de la plante [2]. Le contenu en fibres augmente de 9 à 20 % de la MS, quand les raquettes passent de 1 à 5 ans [70]. La valeur énergétique des raquettes diminue avec l'âge:

- 0.6 UF/kg de MS pour les raquettes de 1 an;
- 0.4 UF/kg de MS pour les raquettes de 2 ans;
- 0.2 UF/kg de MS pour les raquettes de 4 ans.

Tableau 4.4 : Variation de la composition chimique des raquettes d'*Opuntia ficus indica* (100g de MF) [15].

Composition chimique	Quantité
Eau %	85-90
Protéine brutes %	5-12
Digestibilité de Ms in vitro %	75
Digestibilité des Protéines in vivo %	72
Matière sèche %	62
Fibre brutes %	43
Matière organique %	67
Calcium %	4.2
Magnésium %	1.4
Phosphore %	0.08-0.18
Potassium %	2.3
Energie (M cal/ kg)	2.61
Caroténoïdes (mg /100g) Energie (M cal/ kg)	29
Acide ascorbique (vitamine C, mg/100g)	13

4.3.3 Production maraîchère

Les cultivars inermes de cactus sont utilisés pour la production de jeunes raquettes, consommées en tant que légume. Ces jeunes raquettes sont appelées nopals ou nopalitos au Mexique et au sud des Etats- Unis où vit une large population mexicaine. Celles- ci sont préparées sous différentes formes, comme composantes de salade, cuites avec de la viande et des œufs, ou sous forme de tartes avec une saveur de pomme, reflétant le niveau élevé d'acide malique contenu dans les pommes et les nopals.

La valeur nutritive des nopals est similaire à de nombreux légumes à feuilles, telles la laitue ou les épinards. Ils sont considérés comme une source importante en vitamines et en minéraux, principalement le calcium et le fer.

Le Mexique en produit annuellement plus de 230.000 tonnes dont 2000 à 3000 tonnes font l'objet d'exportation sur le marché américain.

Les nopalitos sont traditionnellement emballées dans des ballots ronds avant d'être expédiées aux marchés [12].

4.3.4 Autres utilisations

- L'apiculture:

Les fleurs de cactus constituent une source nutritive très appréciée des abeilles, d'où la possibilité de développer l'apiculture en parallèle. Dans la région de Tiznit, l'apiculture dépend essentiellement de la culture de figuier de barbarie. Avec un calendrier apicole qui dure sept mois (Mars – Septembre), l'activité des abeilles a lieu sur les fleurs de l'*Opuntia ficus-indica* pendant trois mois (Avril – Juin).

Les rendements des ruches dans la région sont de 1 à 4 litres ce qui constitue une source financière importante pour les paysans [12].

- La médecine:

L'usage médicinal des *Opuntia* se traduit par l'utilisation des différentes parties de la plante. Les fruits sont connus partout au Maroc, par le fait qu'ils arrêtent les coliques et les diarrhées. En Australie et en Afrique du sud, l'effet hypoglycémique des nopalitos est utilisé pour le traitement des diabètes non dépendants de l'insuline. En Sicile, le thé préparé avec des fleurs d'*Opuntia ficus-indica* est utilisé comme traitement contre les maux des reins. Le mucilage isolé des raquettes permet de réduire aussi le cholestérol total dans le sang. Les cladodes sont utilisées pour traiter les inflammations, de même des préparations de fleurs sont utilisées comme substances anti-diurétiques [12].

- Fabrication des produits cosmétiques:

Les nopalitos sont utilisés aussi au Mexique pour la fabrication de shampooings, d'assouplissants de cheveux, de crèmes et de laits hydratants pour le visage [12].

- Production industrielle:

En Afrique du sud et au Mexique, on a intensifié l'élevage des cochenilles *Dactylopius coccus costa* ou *Dactylopius opuntiae cockerell*, sur l'*Opuntia* sous tunnels pour la production d'une teinte rouge (le carmin), produite par les femelles qui prolifèrent sur des raquettes saines, en prélevant des substances nutritives du phloème. Cette teinte est très demandée en industrie alimentaire, médicinale et cosmétique comme colorant naturel. D'autre part, au Mexique et dans beaucoup de pays latino-américains, plusieurs sous-produits peuvent être extraits à partir des fruits, tels que les jus, les concentrés, les

confitures, du miel "miel de tuna" et une boisson alcoolisée nommée "colonche" produite au Mexique [\[12\]](#).

CHAPITRE 5 MATERIEL ET METHODES

5.1 Matériel

5.1.1 Matériel de terrain

Certaines mesures doivent être effectuées sur pied. Le matériel adopté est une règle ordinaire, un mètre ruban et un appareil photo numérique, pinceau fin; gant; sacs en papier.

5.1.2 Matériel de laboratoire

Une balance de précision, un pied à coulisse, et un microscope optique

5.1.3 Matériel végétal

Notre travail a porté sur deux espèces d'*Opuntia* à savoir:

- *Opuntia scheerii web* qui constitue l'espèce à polliniser;
- *Opuntia robusta var. robusta*, qui est l'espèce pollinisatrice.

La parcelle choisie pour notre expérimentation se limite à un hectare.

5.1.4 Lieu d'expérimentation

5.1.4.1 Situation géographique

La zone d'étude, El-Mesrane, est située dans la frange méridionale des hautes plaines steppiques à 30km au nord de Djelfa et à 20km au sud de la commune de Hassi – Bahbah. Cette zone est traversée par la route nationale n°1 et la ligne ferroviaire Alger - Ghardaia.

La région de El-Mesrane qui appartient administrativement à la commune de Ain Maabed, se situe sur la latitude $34^{\circ},36'$ nord, la longitude $3^{\circ},03'$ et, une altitude de 879m. Cette commune est limitée au nord par Hassi EL-Euch et Hassi Bahbah, au sud par Djelfa à l'est par Sidi Baizid et Dar Chioukh et à l'ouest par Zaafrane (Figure 5.1).

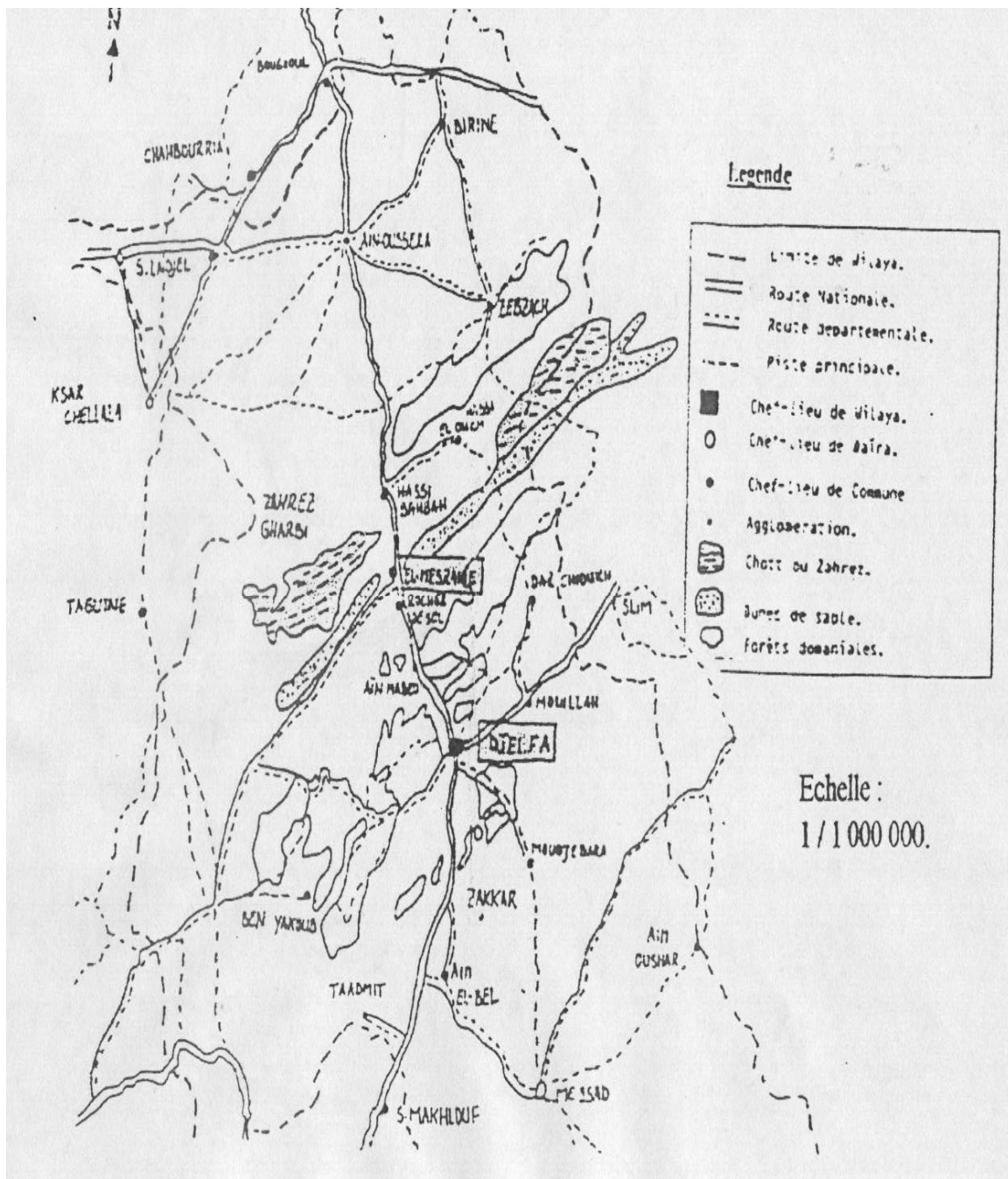


Figure 5.1: Carte de situation de la zone d'étude

5.1.4.2 Etude du milieu

5.1.4.2.1 Caractéristiques climatiques

Dans cette partie nous avons défini notre zone d'étude dans un contexte climatique et bioclimatique, en abordant les influences des différents facteurs qui caractérisent son climat spécifique (précipitation, température, humidité, vent, etc...).

Pour cela nous avons contacté la station météorologique de Djelfa, afin de récolter les données climatiques qui concernent l'agglomération de Djelfa dont l'altitude est de 1146m. De ceci il est indispensable de faire une correction climatique pour préciser celle de la zone d'étude dont l'altitude est de 879m. Le gradient pluviométrique de DJEBAILI est donc de 20mm/100m, et le gradient thermique de DJELLOULI qui est pour $M=0.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ et $m=0.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

- Précipitation

La forme de précipitation, la plus importante est la pluviosité, la précipitation moyenne annuelle reste la donnée la plus utilisée pour caractériser la quantité de pluie en un lieu. De plus, cette quantité d'eau reçue annuellement, est un élément essentiel pour la vie du végétale. Ainsi que la précipitation moyenne mensuelle, c'est de la répartition des pluies dont dépend la vie des végétaux [75].

La répartition des précipitations moyennes mensuelles durant la période de 1990 à 2008 de notre zone d'étude montre, que le mois de Septembre est le plus pluvieux, alors que le mois de Juillet constitue le mois le plus sec (Figure 5.2). Avec une précipitation moyenne annuelle très faible et irrégulière dans le temps, elle est de ordre de 263.87mm (Tableau 1; Appendice B).

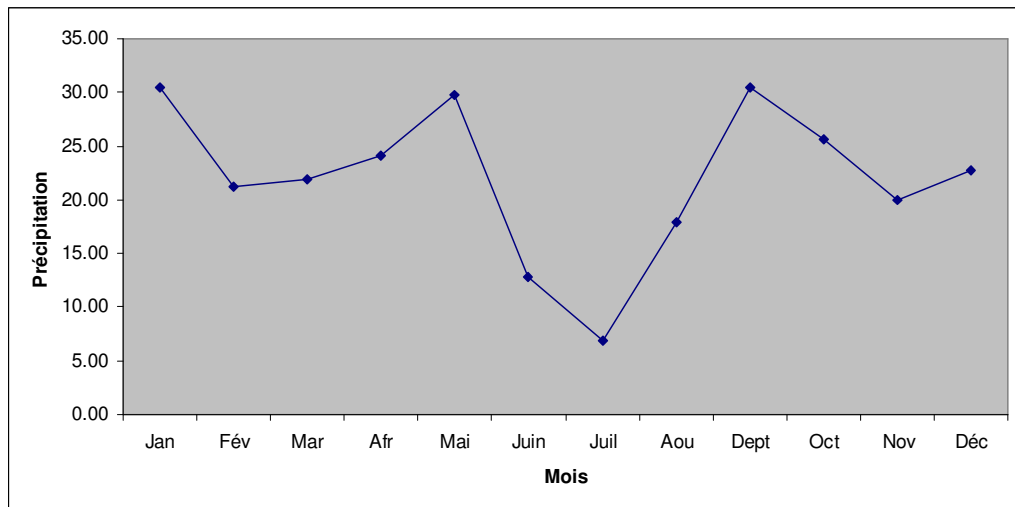


Figure 5.2: Fluctuation des précipitations moyennes mensuelles durant la période (1990-2008).

- Régimes saisonniers

Pour la végétation, la répartition des pluies est plus importante, que la quantité annuelle des précipitations, ceci constitue l'eau utile disponible durant le cycle de développement [76]. L'étude du régime saisonnier 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 [75].

L'analyse de la période de 1990 à 2008, montre que la répartition saisonnière des pluies est marquée par la prédominance des pluies d'automne et de printemps pour notre zone d'étude (Tableau 2; Appendice B et Figure 5.3).

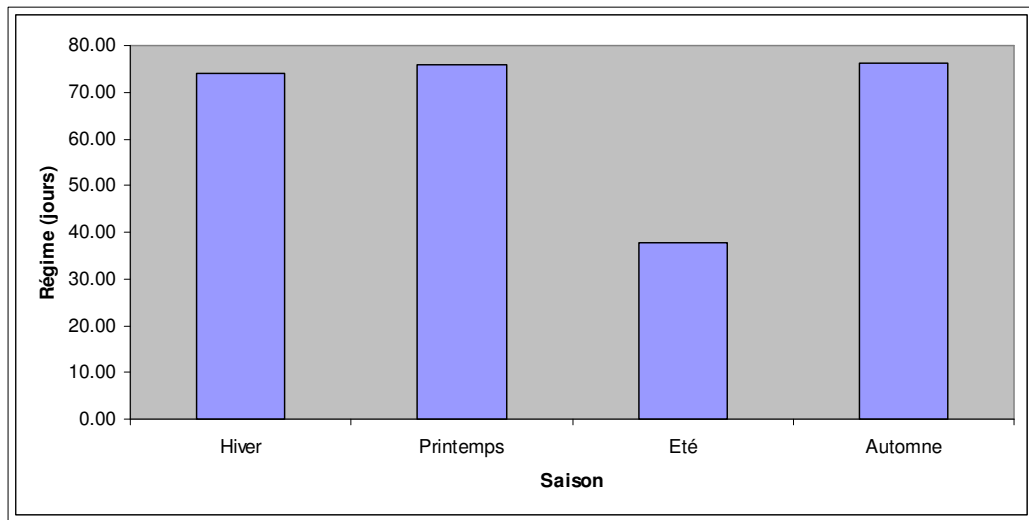


Figure 5.3: Régime saisonnier de la zone d'étude.

- 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 de l'influence sur la végétation [77]. 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).

On constate que la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud est de 36.24°C pour Juillet et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid est de 0.94°C en Janvier (Tableau 3; Appendice B).

L'étude de l'évaluation des températures moyennes mensuelles montre, que le mois de Janvier représente le mois le plus froid avec une température moyenne de 6.40°C et que le mois de Juillet représente le mois le plus chaud avec une température moyenne de 27.72°C (Figure 5.4).

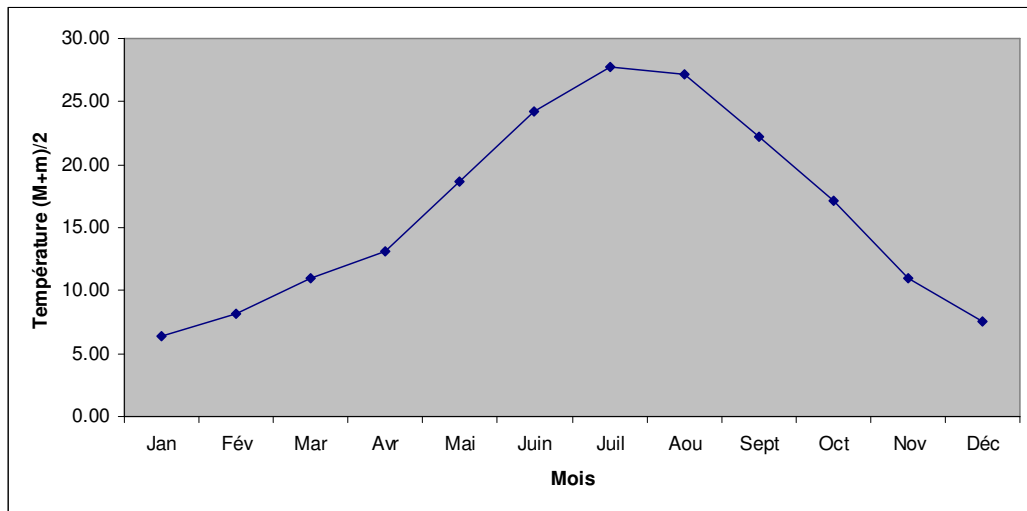


Figure 5.4: Evaluation des températures moyennes mensuelles durant la période (1990-2008).

- Gelée

Dans le Tell, les hautes plaines et l'Atlas saharien, le risque de gelée commence lorsque le minimum de la température tombe au-dessous de 10°C [78]. Alors que par définition, la gelée se déclenche à des températures inférieures à 0°C, et pour mettre en évidence la durée et la fréquence du froid, on peut simplement retenir le nombre de jours de gelée [97]. Les gelées sont fréquentes à partir du mois de Novembre, elles s'étalent jusqu'au mois de Mars, durant la période allant de 1990 à 2008 (Figure 5.5), La plus grande valeur a été enregistrée durant le mois de Janvier (Tableau 4; Appendice B).

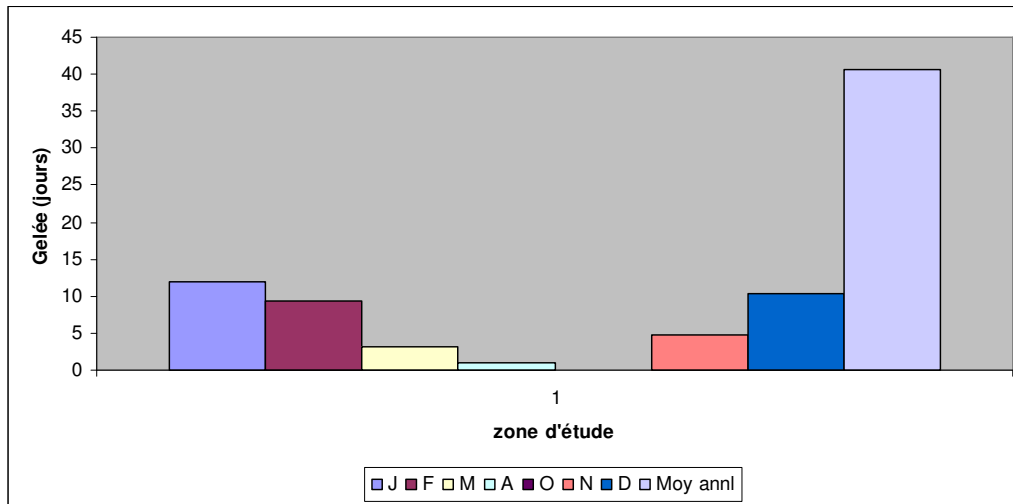


Figure 5.5: Répartition moyenne mensuelle et annuelle du nombre de jours de la gelée de la zone d'étude (1990-2008).

- 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 [80].

La vitesse moyenne annuelle des vents varie entre 3.12 et 4.70 m/s. La plus grande vitesse est enregistrée en Avril avec 4.70m/s (Tableau 5; Appendice B)

- Synthèse climatique

1. Coefficient pluviométrique d'EMBERGER

Ce coefficient (Q2) est utilisé pour situer la zone d'étude dans les étages bioclimatiques du climagramme d'EMBERGER.

$$Q2 = 2000P / (M^2 - m^2).$$

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) (Tableau 6; Appendice B).

D'après le climagramme d'EMBERGER (Figure 1; Appendice B), la zone d'étude se situe dans l'étage aride moyen variante à hiver frais.

2. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

La saison sèche (durée et intensité) joue un rôle capital dans la distribution de la végétation [81]. D'après BAGNOULS et GAUSSEN, un mois est dit biologiquement sec, si "le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimé en degrés centigrades: $P \leq 2T$ " [81]. Cette formule permet de construire le diagramme ombrothermique.

A l'aide du diagramme ombrothermique nous pouvons déterminer les périodes humides et sèches de la zone d'étude durant l'année.

Le diagramme ombrothermique (Figure 2; Appendice B) nous montre l'existence d'une période sèche qui s'étend sur 3 mois, du mois de Juin jusqu'au mois Août.

5.1.4.2.2 Conditions édaphiques

Le sol constitue le facteur qui intervient, directement de manière prépondérante sur le développement et la croissance des plantes, comme il joue un rôle essentiel sur le rendement, en particulier par sa réserve en eau utile qui dépend de sa texture, sa structure, et de la profondeur explorée par les racines.

Afin de préciser les caractéristiques du sol de notre périmètre, nous avons fait quelques analyses physico-chimiques.

Il est essentiel de connaître toutes les caractéristiques physico-chimiques de notre zone d'étude, se travail a déjà été fait par HADJKOUIDER (2008), dont les résultats sont:

- *Texture du sol*: le sol est à texture sableuse, selon KANNY (1998), l'*Opuntia* préfère les sols légers sablonneux et limoneux. Ce type de sol pourrait donc convenir à cette culture.
- *Potentiel hydrogène (pH)*: le sol présente une réaction basique (pH= 8.55).
- *Matière organique % (MO)*: le sol est moyennement pauvre en matière organique (0.31).

Le figuier de barbarie peut se développer dans les sols pauvres en matières organiques [17].

- *Calcaire total % (CaCO₃):* le sol est faiblement calcaire avec un taux de CaCO₃ de 2.34.

Selon LOZET et MATHIEU (1990), 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 (tableau 5.1). Le CaCO₃ est souvent accompagné de MgCO₃ [82].

- *Conductivité électrique (CE):* le sol n'est pas salé, car sa CE est inférieur à 4 mmhos/ cm², (0.346 mmhos / cm²).

D'après ces résultats, le type de sol de notre zone d'étude et ses caractéristiques physico-chimiques, indiquent que le sol est favorable au développement et la croissance de l'*Opuntia*.

Tableau 5.1: Type d'effervescence en fonction de la teneur en CaCO₃ adapté par [83].

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

5.2 Méthode d'étude

Les caractères qui font l'objet de notre étude sont ceux trouvés dans les principaux directeurs pour la conduite de l'examen, de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité des caractères d'*Opuntia*, groupes 1 et 2 (figuier de barbarie et xoconostles) et admis par l'UPOV 2004 (Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales). Dans ce travail, nous avons étudié les caractères qualitatifs et quantitatifs de la plante dont: la cladode, la fleur, le fruit et la graine. Ces caractères sont choisis pour identifier les deux espèces et pour refléter la variabilité entre les deux espèces.

Le matériel végétal qui fait l'objet de notre étude, doit être manifestement sain, indemne de tout parasite ou maladie importante et ne doit pas avoir subi de traitement susceptible d'influer l'expression des caractères de l'espèce et de la variété (Figure 5.6).



Figure 5.6: Vue générale de la zone d'étude située à El-Mesrane

5.2.1 Caractères phénologiques

- Epoque du début de floraison
- Epoque du début de maturation des fruits.

Le début de floraison est remarqué lorsque 10% des fleurs sont épanouies et le début de la maturation des fruits est noté lorsque 10% des fruits sont mûres [90].

5.2.2 Caractères morphologiques et biométriques

Toutes les observations et mesures se font sur dix pieds pour chaque espèce. Les dix sujets sont choisis d'une manière aléatoire dans une superficie d'un hectare. Quatre raquettes de l'année précédente, aux quatre points cardinaux (nord, sud, est, ouest) ont été choisies par pied, soit 40 raquettes pour chaque espèce. Et 10 fleurs et 10 fruits pour chaque espèce ont été choisis de manière aléatoire.

5.2.2.1 Pied

- Forme:

Nous déterminerons la forme des pieds de deux espèces par comparaison avec les formes rapportées par l'UPOV (Figure 5.7).

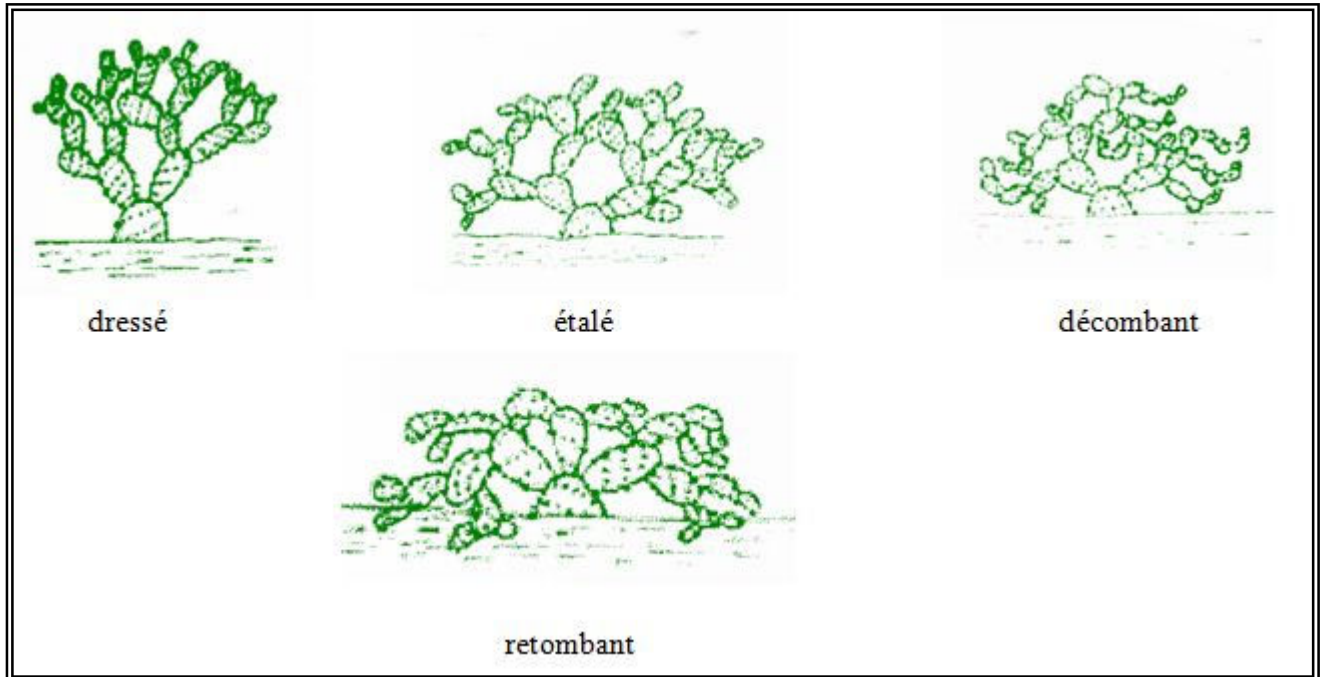


Figure 5.7: Différentes formes du pied chez l'*Opuntia* selon UPOV

- hauteur des pieds:

La hauteur des pieds (cm) est mesurée par un ruban- mètre du sommet du pied jusqu'au ras du sol.

5.2.2.2 Cladodes

- forme:

Toutes les observations portant sur la cladode doivent être effectuées sur des cladodes arrivées à maturité et âgées d'un à deux ans [83]. Les différentes formes seront déterminées, selon le schéma directeur de l'UPOV (Figure 5.8).

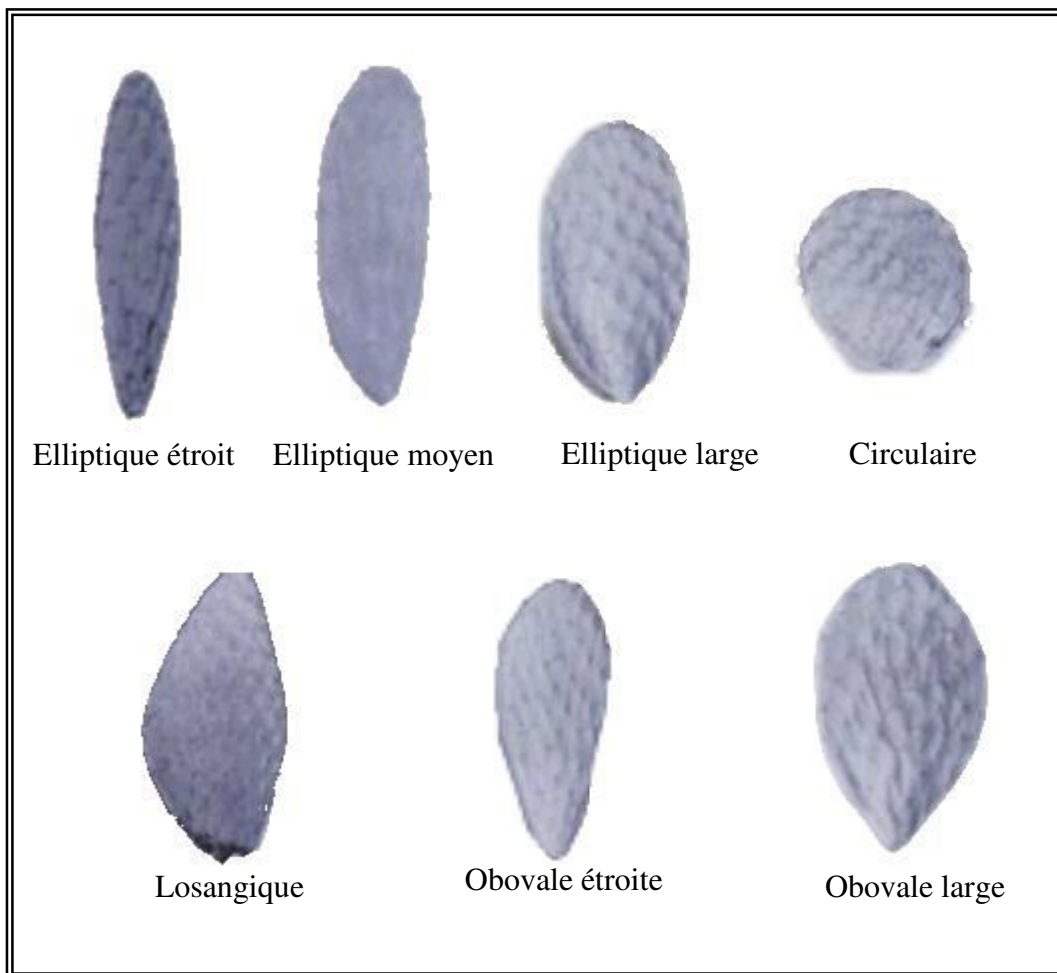
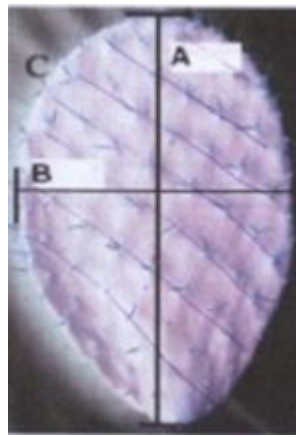


Figure 5.8: Différentes formes des cladodes d'*Opuntia* selon UPOV

- couleur.
- Longueur, et largeur: sont mesurées en cm directement sur le pied avec une règle ordinaire.
- Epaisseur: est mesuré en cm directement sur le pied avec un pied à coulisse.
- Rapport longueur / largeur: ce rapport est calculé pour déterminer la forme de la cladode (Figure 5.9).



A: Longueur, B: Largeur,
C: Epaisseur

Figure 5.9 : Les différentes mesures des cladodes

5.2.2.3 Aréoles

Toutes les observations sur l'aréole doivent être effectuées selon les caractères des cladodes ou des fruits intacts [83].

- Couleur des aréoles.
- Nombre des séries d'hélices d'aréole.
- Nombre d'épines par aréole.

5.2.2.4 Epines et glochides

Toutes les observations sur les épines et les glochides doivent être effectuées selon les caractères, sur des cladodes ou des fruits intacts.

- Couleur des glochides sur cladode.
- Couleur principale des épines.
- Port de l'aiguillon central.
- Longueur de l'épine la plus longue: mesurée en cm directement sur la cladode avec une règle ordinaire (Figure 5.10).

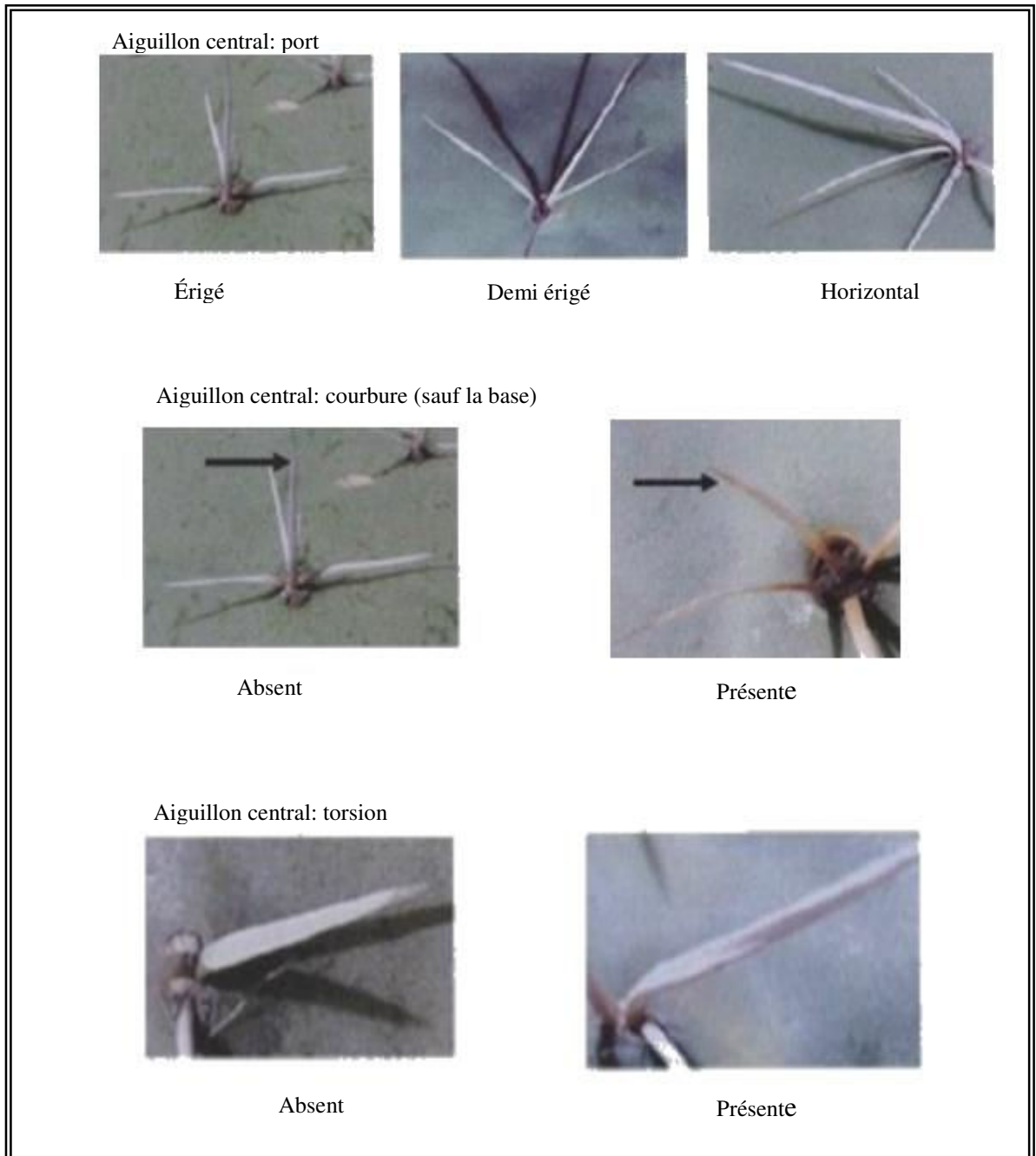


Figure 5.10 : Différentes formes de l'épine centrale selon UPOV

5.2.3 Etude de la biologie florale

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 (10 pieds). 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 le schéma directeur de l'UPOV (2004).

- Détermination des différents stades de croissance des bourgeons floraux.
- Nombre de fleurs par raquette: le nombre de bourgeons floraux par raquette a été déterminé au début de leur apparition. On a différencié entre les bourgeons floraux et les bourgeons végétatifs, selon leur aspect morphologique, ainsi les bourgeons floraux au début de leur apparition sont plus sphériques, alors que les bourgeons végétatifs sont aplatis.
- Epoque et durée d'étalement de la floraison: selon BRETEAUDEAU (1993), les phases de floraison ont été déterminées par:
 1. Début floraison est remarqué lorsque 10% des fleurs sont épanouies.
 2. Pleine floraison est atteinte lorsque 50 % des fleurs sont épanouies.
 3. Fin floraison apparaît quand 75 % des fleurs sont épanouies.
- Description des fleurs:
 1. La couleur du périanthe (sépalés, pétales).
 2. La couleur du lobe du stigmate.
 3. La couleur du style.
 4. La couleur des étamines.
 5. La formule florale.
- Etude 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.

Afin de caractériser la qualité du pollen, produit par les deux génotypes d'*Opuntia* (espèce pollinisatrice: *O. robusta* var. *robusta* et l'espèce pollinisée: *O. scheerii web*), nous avons réalisé le test de viabilité du pollen. Les pollens collectés ont été testés au stade de déhiscence des étamines (disponibilité du pollen) par la méthode de coloration au carmin acétique.

5.2.4 Technique de l'hybridation

Après avoir sélectionné les deux parents, en nous basant sur les caractères phénotypiques dont: la vigueur des pieds, le nombre de fleurs par raquette, et le moment de l'ouverture des fleurs, nous avons pratiqué la technique de l'hybridation manuelle, qui comprend trois étapes:

- Castration:

Avant de réalisation de 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 optimale 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 [44].

Le meilleur indice 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 déjà autopollinisée;
- Si les anthères ne sont pas bien formées 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.
-

Pour notre expérimentation, la castration a été réalisée sur des fleurs avant la déhiscence des anthères (Figure 5.11A) c'est-à-dire deux ou trois jours avant l'ouverture des fleurs.

Pour la suppression des sépales et des pétales, nous avons 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.

On retire soigneusement les étamines, coupées près de la base avec une lame sans endommager le stigmate (Figure 5.11B).

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

On sèche la surface rincée avec une serviette en papier.

On laisse à l'air libre pendant 15 à 20 minutes pour favoriser le séchage du stigmate (Figure 5.11C).

Les fleurs castrées sont en sachées, afin d'éviter une pollinisation accidentelle (Figure 5.11D).



Figure 5.11 A: Fleur fermée



Figure 5.11 B: Elimination des étamines

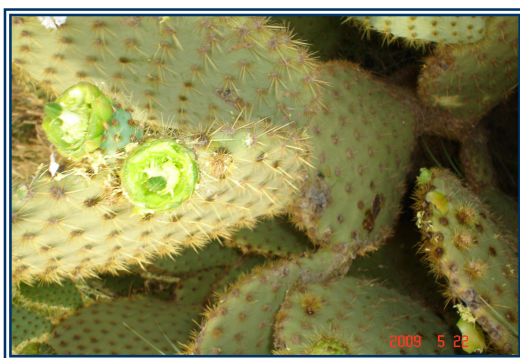


Figure 5.11 C: Séchage de la fleur castrée



Figure 5.11 D: Ensachage des fleurs castrées

Figure 5.11: Castration des fleurs de l'espèce pollinisée (*Opuntia scheerii web*).

- Collecte du pollen:

Cette étape consiste à la récolte des grains de pollen de l'espèce pollinisatrice (*O. robusta var. robusta*). Pour cela, nous avons suivi le procédé de TORVARISUMI [86]. 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 0.7mm. Elles y sont doucement frottées avec le doigt. Le pollen ainsi libéré et obtenu, est placé dans des boîtes de Pétri fermés hermétiquement et stockées à 4°C au réfrigérateur.

- Pollinisation:

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

L'hybridation selon CROSSA-RAYANUD (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, afin d'augmenter les chances de fécondation.

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.

5.2.5 Ombrage artificielle

Au cours de notre travail sur terrain, après avoir effectué l'hybridation, nous avons remarqué, que certains fruits de l'*O. scheerii web* gardaient leur couleur verte; ils se trouvaient à l'ombre entre deux raquettes (Figure 5.12).

Nous avons alors décidé de suivre l'évolution des ces fruits. Nous avons alors créé artificiellement un ombrage sur certains pieds par la pose d'un écran (Figure 5.13), afin de pouvoir déterminer, s'il y a un effet d'ombre sur les fruits et leur maturité.



Figure 5.12: Fruit de l'*O. scheerii web* ayant gardé sa couleur verte.



Figure 5.13: Ombrage artificielle sur certains pieds de *O. scheerii web*.

Concernant les fruits nous avons étudiée les paramètre suivants:

- Période de maturation des fruits.
- Fruits: toutes les mesures se font au laboratoire sur les 10 fruits/ pieds.
 - Poids des fruits: à partir du poids moyen de 10 fruits, nous pouvons calculer le poids moyen d'un fruit;
 - Densité des aréoles;
 - Poids de la pulpe: à partir du poids moyen de la pulpe;
 - Poids de la peau: à partir du poids moyen de la peau;
 - Longueur (L), largeur (I) et l'épaisseur (E): mesurée en cm avec un pied à coulisse.
 - Diamètre maximum (Dg): calculée et exprimée en cm en utilisant l'équation suivante: $Dg = (L \times I \times E)^{1/3}$;
 - Sphéricité (\emptyset): calculée et exprimée en cm^2 en utilisant l'équation suivante: $\emptyset = Dg/L$;
 - Surface de la peau (S): calcule et exprimée en cm^2 en utilisant l'équation suivante: $S = \emptyset \times D^2$ g;
 - Nombre de graines développées: les graines fertiles ont des dimensions supérieures à 1.7mm [87]. les résultats obtenus par le calcul du nombre des

graines développées de 10 fruits; (l'extraction des graines se fait au laboratoire après séchage des fruits à l'air).

- Couleur du fruit et forme sont déterminés à l'aide du schéma directeur de l'UPOV (Figure 5.14).



Figure 5.14: Les différentes formes de fruit du figuier de barbarie UPOV.

CHAPITRE 6

RESULTARS ET DISCUSSION

6.1 Etude phénologique

Les observations réalisées sur le terrain, (Tableau 6.1), montrent une différence au niveau de l'époque, du début de floraison et au niveau du début de l'époque de maturation, chez les deux espèces étudiées.

Le début de floraison pour l'*O. robusta var. robusta* a lieu le 09 Mai, alors que l'*O. scheerii web* le 15 Mai.

L'*O. robusta var robusta* paraît précoce par rapport à l'*O. scheerii web*.

Concernant le début de maturation, il y a une différence très nette entre les deux espèces étudiées, le 01 Juillet pour l'*O. scheerii web* et le 10 Août pour l'*O. robusta var. robusta*.

D'après les résultats, nous remarquons une variabilité au niveau de l'époque du début de floraison et du début de maturation des fruits. Cette variabilité est probablement d'origine génétique. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par WALLALI (1998) et TAFASCA (2007) et HADJ KOUIDER (2008), qui ont trouvé une différence entre les espèces et même entre les variétés.

Concernant le début de maturation des fruits, KAOURI (1969), note que la maturation est généralement estivale ou automnale, certaines variétés sont très précoces alors que d'autre très tardives.

Tableau 6.1: La date de début de floraison et de la maturation.

Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>
Paramètres		
Début de floraison	15/05/2009	09/05/2009
Début de maturation	01/07/2009	10/08/2009

Les stades phénologiques (début de floraison, début de maturation), varient selon l'espèce, les conditions pédo-climatiques et l'exposition au soleil, qui varient d'une année à l'autre et d'une région à l'autre.

SUDZUKI (1995), trouve que les bourgeons floraux se développent rapidement sur la surface la plus éclairée de la cladode. L'intervalle entre les espèces précoces et tardives est de l'ordre de 2 mois. Cette longue différence pourrait ouvrir de large possibilité pour une meilleure gestion de ces variétés quand à l'extension et à la commercialisation.

6.2 Caractères morphologiques et biométriques

6.2.1 Caractères morphologiques

6.2.1.1 Pied et cladode

Nos observations montrent qu'il existe une différence entre les deux espèces étudiées (Tableau 6.2):

- Les pieds:

Le port est décombant pour l'*O. scheerii web* et dressé pour l'*O. robusta var. robusta*. La forme de port est liée à un caractère génétique de l'espèce (Figure 6.1 et Figure 6.2).

- Les cladodes:

Les cladodes ont une forme abovale large à couleur vert-jaunâtre pour l'*O. scheerii web* et circulaire à couleur vert-bleuâtre pour l'*O. robusta var. robusta*. BOUSSARD (1978), rapporte que les cladodes sont des articulations charnues de forme et de couleurs variables.

- La couleur des glochides est jaune pour les deux espèces étudiées.
- La couleur des aréoles est grise pour l'*O. scheerii web* et marron pour l'*O. robusta var. robusta*.
- Le port et la couleur de l'épine centrale, sont demi-érigés à couleur jaune pour l'*O. scheerii web* et érigé à couleur blanche pour l'*O. robusta var. robusta* (Figure 6.1, Figure 6.2).

Tableau 6.2: Port des pieds et caractères qualitatifs des cladodes des deux espèces étudiées.

Paramètres \ Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>
Port	Décombant	Dressé
Forme et couleur de cladode	Obovale large, vert-jaunâtre	Circulaire, vert- bleuâtre
Couleur des glochides sur cladode	Jaune	Jaune
Couleur des aréoles	Grise	Marron
Le port et la couleur d'épine centrale	Demi-érigé, jaune	Érigé, blanche

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par ADLI (2007), et HADJ KOUIDER (2008).

D'après STEPHAN et al (2001), le phénotype change considérablement selon les conditions écologiques et la polyploidie de l'espèce.

Le génotype joue un rôle fondamental dans la détermination des caractères morphologiques de chaque espèce.

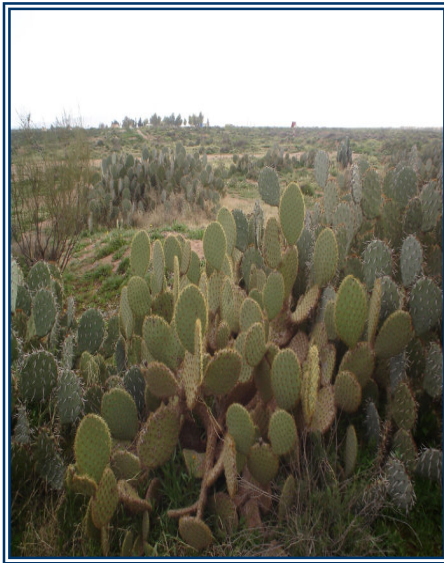


A: forme de pied.



B: Forme et couleur de cladode.

Figure 6.1: L'espèce *O. robusta var. robusta* (pied et cladode).



A: forme de pied.



B: Forme et couleur de cladode

Figure 6.2: L'espèce *O. scheerii web* (pied et cladode).

6.2.1.2 Fleurs

- La couleur du périanthe des espèces étudiées est jaune puis rose (Tableau 6.3). Le changement de la couleur des fleurs pour les deux espèces, peut être expliqué par la fécondation de la fleur, en effet la fleur de cactus change de couleur après la fécondation [27]. Ce résultat est conforme avec celui de KARTEZ (1996), qui trouve que les fleurs jaunes changent à l'orange, au rose après la fécondation.
- La couleur du style est rose pour l'*O. scheerii web* et blanche pour l'*O. robusta var. robusta*.
- La couleur du lobe de stigmates varie du vert pour l'*O. scheerii web* au jaune pour l'*O. robusta var. robusta*.
- La couleur des étamines est jaune pour les deux espèces étudiées d'*Opuntia* (Figure 6.3).

Tableau 6.3: Caractères qualitatifs des fleurs des deux espèces étudiées.

Paramètres \ Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>
Couleur du périanthe	Jaune	Jaune
Couleur du style	Rose	Blanche
Couleur du lobe du stigmate	verte	Jaune
Couleur des étamines	jaune	Jaune

La variation des caractères morphologiques de la fleur est liée aux caractères génétiques. REBMANI et PINKAVA (2001), trouvent que les fleurs des cactus sont tout à fait variables et qu'il y a quelques dispositifs généraux qui sont partagés par la famille entière.

MONJAUZE et LEHOUEIROU (1965), notent que généralement de couleur brillantes, le plus souvent jaune, orange ou rougeâtres. WESSELS et SWART (1990), ajoutent que parfois la couleur est rose.

A: Fleur de l'*O. scheerii web*B: Fleur de l'*O. robusta var. robusta*Figure 6.3: Les fleurs des deux espèces d'*Opuntia* étudiées.

6.2.1.3 Fruits

- Les fruits d'*O. scheerii web* sont elliptiques très étroits, à couleur rouge (fruits chétifs). Pour l'*O. robusta var. robusta*, les fruits sont aplatis, de couleur violette (Tableau 6.4 et Figure 6.4).

Ces observations sont en conformité avec celles rapportées par KHOURI (1970), les fruits présentent des formes variables, sphériques, ovoïdes ou pyriformes.

- La couleur de la chair est rose claire avec l'absence des graines pour l'*O. scheerii web* et violette avec présence des graines pour l'*O. robusta var. robusta*.
- La couleur des glochides est jaune pour les deux espèces étudiées d'*Opuntia*.

Tableau 6.4: Caractères qualitatifs des fruits des deux espèces étudiées.

Paramètres / Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>
Forme et couleur de fruit	Chétif, elliptique très étroit, rouge	Aplati, violette
Couleur de la chair	Rose claire	violette
Présence d'épines ou glochides sur le fruit	Glochides jaunes	Glochides jaunes

A: Fruits intacts sur pied de l'*O. scheerii web*.B: Fruits intacts sur pied de l'*O. robusta var. robusta*C: Fruit de l'*O. scheerii web*.D: Fruit de l'*O. robusta var. robusta*.Figure 6.4: Les fruits des deux espèces d'*Opuntia* étudiées

6.2.2 Caractères biométriques

6.2.2.1 Pieds et cladodes

6.2.2.1.1 Hauteur des pieds

D'après l'analyse de la variance (Tableau 6.5), il n'existe pas une différence significative entre les deux espèces étudiées d'*Opuntia*, on observe une moyenne de 105cm de l'hauteur pour les deux espèces, ceci est due aux plantations, les deux espèces, qui ont la même date (1986), le même lieu, d'où les pieds ont approximativement la même croissance, puisque les conditions de climat sont les mêmes.

6.2.2.1.2 Cladodes

- L'analyse de la variance (Tableau 6.5) montre une différence très hautement significative au niveau de la longueur, de la largeur, de l'épaisseur et le rapport longueur sur largeur et ainsi que la longueur de l'épine centrale. Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 1; Appendice C), nous permet de distinguer deux groupes; le premier groupe, c'est le groupe A pour l'*O. robusta var. robusta*. et le deuxième groupe est le groupe B pour l'*O. scheerii web* avec les moyennes:
 1. La longueur de la cladode: avec une moyenne de 27.93cm pour l'*O. robusta var. robusta*, et de 22.84cm pour l'*O. scheerii web*.
 2. La largeur de la cladode: avec une moyenne de 27.36cm pour l'*O. robusta var. robusta* et de 16.43cm pour l'*O. scheerii web*.
 3. L'épaisseur de la cladode: avec une moyenne de 2.27cm pour l'*O. robusta var. robusta*, et de 1.28cm pour l'*O. scheerii web*.
 4. La longueur de l'épine centrale; avec une moyenne de 2.89cm pour l'*O. robusta var. robusta*, et de 1.40cm pour l'*O. scheerii web* (tableau 6.5).

La grande variation enregistrée, au niveau des dimensions des cladodes (longueur, largeur, l'épaisseur), est probablement d'origine génotypique.

5. Pour le rapport longueur/ largeur; le test de NEWMEN - KEULS montre l'existence de deux groupes, le premier groupe c'est-à-dire le groupe A concerne l'*O. scheerii web* avec une moyenne de 1.40 et le deuxième groupe c'est le groupe B pour l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne

de 1.03. Ces résultats expliquent la forme obovale large pour l'*O. scheerii web* et la forme circulaire pour l'*O. robusta var. robusta*.

6. Pour le nombre d'épines par aréole, l'analyse de la variance ne montre aucune différence significative.

Tableau 6.5: Hauteur des pieds et caractères quantitatifs des cladodes des deux espèces étudiées.

Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>	sign
Paramètres			
Hauteur des pieds (cm)	105.63 ± 15.47	105.75 ± 7.54	ns
Longueur des cladodes (cm)	22.84 ± 1.56 B	27.93 ± 1.97 A	***
Largeur des cladodes (cm)	16.43 ± 0.95 B	27.36 ± 1.20 A	***
Epaisseur des cladodes (cm)	1.28 ± 0.12 B	2.27 ± 0.35 A	***
Rapport L / I	1.40 ± 0.09 A	1.03 ± 0.06 B	***
Nombre d'épines/ aréole	3.11 ± 0.40	2.93 ± 0.43	ns
Longueur d'épine centrale (cm)	1.40 ± 0.06 B	2.89 ± 0.19 A	***

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

KENNY (1998), note que la variété marocaine *Achfri* est caractérisée par des épines longues et une densité de 3 épines par aréole, ceci se rapproche de nos résultats pour les deux espèces étudiées (3 épines / aréole).

6.2.2.2 Fleur

- Nombre de fleurs par raquette:

L'analyse de la variance (Tableau 6.6) révèle une différence hautement significative entre les deux espèces étudiées, qui se classent d'après le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 2; Appendice C) en deux groupes:

Groupe A: comprend l'*O.scheerii web* avec une moyenne de 4.50;

Groupe B: comprend l'*O.robusta var. robusta* avec une moyenne de 2.75.

Cette différence est due à l'origine à des facteurs génotypiques. Le nombre de fleurs par raquette varie selon l'aptitude génétique de l'espèce à la floraison, aussi leur fertilité est influencée par l'âge de la plante [82].

BOWERS (1996), montre que la plupart des espèces d'*Opuntia* ne produisent des fleurs que sur de nouvelles cladodes pendant les 10 premières années.

- Tableau 6.6: Nombre de fleurs par raquette des deux espèces étudiées:

Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>	sig
Nombre de fleurs par raquette	4.50 ± 1.76 A	2.75 ± 0.97 B	**

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

6.2.2.3 Fruits

- La longueur:

L'analyse de la variance relève une différence très hautement significative entre les fruits de deux espèces étudiées (Tableau 6.7).

Le test de NEWMEN – KEULS (tableau 3; Appendice C), nous a permis de dire que l'*O. robusta var. robusta* présente la longueur de fruit la plus élevée, avec une moyenne de 5.06cm et représente le premier groupe (groupe A), suivie par les autres espèces restantes: l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé et l'*O. scheerii web* à l'ombre, qui représentent le deuxième groupe (groupe B) avec les moyennes respectives de 2.50cm, 2.26cm et 2.56cm. Les fruits à l'ombre présente une longueur des fruits de 2.56cm semblable aux fruits du témoin de l'*O. scheerii web*.

- La largeur:

L'analyse de la variance de la largeur du fruit, fait ressortir une différence très hautement significative (tableau 6.7).

D'après le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), la largeur la plus élevée est toujours enregistrée Chez l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne de 4.10cm (groupe A), alors que la largeur la plus faible (1.26cm, 1.38cm) est enregistrée chez l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé qui représentent le deuxième groupe (groupe B) avec l'*O. scheerii web* à l'ombre dont la moyenne de 2.40cm. Contrairement a

la longueur du fruit, la largeur des fruits obtenus à l'ombre de l'*O. scheerii web* est plus importante (2.40cm), que les fruits de l'*O. scheerii web* témoin (1.26cm).

- L'épaisseur:

L'analyse de la variance (Tableau 6.7) a montré une différence très hautement significative. Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe (groupe A) concerne l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne de 4.26cm et le deuxième groupe (groupe B) est l'*O. scheerii web* à l'ombre avec une moyenne de 2.28cm, alors que l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé représentent le troisième groupe (groupe C) avec les moyennes de 1.12cm et 1.16cm.

- Poids de fruit:

L'analyse de la variance (Tableau 6.7) a montré une différence très hautement significative. Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), montre l'existence de trois groupes:

Groupe A: l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne de 61.40g.

Groupe B: *O. scheerii web* à l'ombre avec moyenne de 15.50g.

Groupe C: *O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii* hybridé avec les moyennes de 3.48g et 3.22g.

- Poids de la pulpe:

L'analyse de la variance, nous permet de constater une différence très hautement significative entre les espèces (Tableau 6.7). Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), avec l'*O. robusta var. robusta* en premier groupe avec une valeur moyenne de 21.20g et le deuxième groupe pour l'*O. scheerii web* à l'ombre avec une moyenne de 9.47g, le troisième groupe regroupe les deux espèces qui restent avec une moyenne presque égale, de 2g.

- poids de la peau:

Apparition d'une différence très hautement significative (Tableau 6.7), le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), nous a permis de distinguer deux groupes:

Groupe A: l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne de 9.87g.

Groupe B: l'*O. scheerii web* témoin, l'*O. scheerii web* hybridé et l'*O. scheerii web* à l'ombre avec une moyenne presque est égale de 1g.

- poids de la pulpe en % :

L'analyse de la variance (Tableau 6.7), montre une différence très hautement significative, selon le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), le pourcentage du poids de la pulpe le plus élevé, a été enregistré au niveau du groupe A (le premier groupe) chez l'*O. scheerii web* à l'ombre avec 76.01% et suivi par l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé dans le deuxième groupe avec de 60.31% et 62.80%, et le troisième groupe concernant l'*O. robusta var. robusta* avec de 35.81%.

- poids de la peau en %:

D'après l'analyse de la variance du poids de la peau, nous constatons qu'il existe une différence très hautement significative (Tableau 6.7). Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), montre que l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybride, présentent les pourcentages de la peau les plus élevés (groupe A), avec les valeurs de: 31.03% et 30.13%, tandis que les pourcentages du poids de la peau les plus faibles ont été enregistrés chez l'*O. scheerii web* à l'ombre et l'*O. robusta var. robusta* avec les valeurs respectives suivantes: 10.32%, 15.54%.

- Diamètre géométrique:

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les espèces d'*Opuntia* étudiées (Tableau 6.7), le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), ceci nous a permis de distinguer trois groupes différents:

Groupe A: *O. robusta var. robusta* (4.70cm).

Groupe B: *O. scheerii web* à l'ombre (2.28cm).

Groupe C: *O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé (1.12cm et 1.16cm).

- Sphéricité des fruits:

Il existe une différence très hautement significative entre les espèces étudiées, selon l'analyse de la variance de la sphéricité des fruits (Tableau 6.7).

Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), nous a permis de classer les espèces en deux groupes, le premier groupe constitué de l'*O. robusta var. robusta* (0.93 cm²) et de l'*O. scheerii web* à l'ombre (0.94 cm²). Le deuxième groupe concerne l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé avec les moyennes respectives de 0.63 cm² et 0.66 cm².

- Surface de la peau:

Les espèces sont significativement très hautement différentes (tableau 6.7). Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 3; Appendice C), place l'*O. robusta var. robusta* dans le groupe A (premier groupe) avec une surface de la peau moyenne de l'ordre de 69.65 cm², tandis que l'*O. scheerii web* à l'ombre se trouve dans le groupe B (deuxième groupe) avec une moyenne de 16.15 cm². Le groupe C (troisième groupe), regroupe l'*O. scheerii web* témoin et l'*O. scheerii web* hybridé avec les moyennes respectives de 7.59 cm² et 6.89 cm².

- Densité des aréoles:

L'analyse de la variance fait ressortir une différence très hautement significative entre les espèces étudiées (Tableau 6.7). D'après le test de NEWMEN – KEULS, toutes les espèces sont classées individuellement et quatre groupes ont été établis (Tableau 3; Appendice C):

Groupe A: *O. scheerii web* témoin;

Groupe AB: *O. scheerii web* hybridé;

Groupe B: *O. robusta var. robusta*;

Groupe C: *O. scheerii web* à l'ombre.

L'examen des différentes mesures, dimensions et poids des fruits nous montrent, une très grande variabilité entre les espèces. Cette variabilité est liée au facteur génétique.

Tableau 6.7: Caractères quantitatifs des fruits des deux espèces étudiées.

Espèces Paramètres	O. scheerii web			O. robusta var. robusta	sign
	O. scheerii web témoin	O. scheerii web hybridé	O. scheerii web à l'ombre		
Longueur	2.50 ± 0.27 B	2.26 ± 0.32 B	2.56 ± 0.27 B	5.06 ± 0.48 A	***
Largeur	1.38 ± 0.13 B	1.26 ± 0.11 B	2.40 ± 0.33 B	4.10 ± 1.60 A	***
Epaisseur	1.12 ± 0.18 C	1.16 ± 0.05 C	2.28 ± 0.30 B	4.26 ± 0.40 A	***
Diamètre géométrique	1.56 ± 0.13 C	1.48 ± 0.12 C	2.41 ± 0.27 B	4.70 ± 0.31 A	***
Sphéricité des fruits	0.63 ± 0.08 B	0.66 ± 0.05 B	0.94 ± 0.09 A	0.93 ± 0.05 A	***
Surface de la peau	7.59 ± 1.52 C	6.89 ± 1.06 C	16.15 ± 7.09 B	69.65 ± 8.97 A	***
Poids du fruit	3.48 ± 0.47 C	3.22 ± 0.49 C	12.50 ± 2.61 B	61.40 ± 12.34 A	***
Poids de la pulpe	2.11 ± 0.39 C	2.04 ± 0.26 C	9.47 ± 1.52 B	21.20 ± 5.43 A	***
Poids de la peau	1.07 ± 0.16 B	0.98 ± 0.28 B	1.30 ± 0.35 B	9.87 ± 1.52 A	***
Poids de la pulpe (%)	60.31 ± 5.64 B	62.80 ± 3.97 B	76.01 ± 3.38 A	35.81 ± 11.63 C	***
Poids de la peau (%)	31.03 ± 5.77 A	30.13 ± 5.11 A	10.32 ± 0.93 B	15.54 ± 4.86 B	***
Densité des aréoles	35.00 ± 3.81 A	33.00 ± 3.94 AB	17.40 ± 3.65 C	26.67 ± 5.09 B	***

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

6.2.2.4 Graines

- Poids des graines par fruit:

L'analyse de variance relative au poids des graines par fruit montre une différence très hautement significative entre les deux espèces étudiées (Tableau 6.8).

Le poids le plus élevé est enregistré chez l'*O. robusta var. robusta* avec 30.07g, alors que le faible poids est enregistré chez l'*O. scheerii web* à l'ombre avec 1.73g (Tableau 6.8). On rappelle que l'*O. scheerii web* témoin, et l'*O. scheerii web* hybridé, ne contiennent pas de graines.

- Poids des graines par fruit en %:

Nous remarquons d'après l'analyse de la variance qu'il y a une différence très hautement significative entre les deux espèces d'*Opuntia* étudiées (Tableau 6.8).

On peut classer les deux espèces en deux groupes selon le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 4; Appendice C):

Groupe A: comprend l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne de 49.12%;

Groupe B: comprend l'*O. scheerii web* à l'ombre avec une moyenne de 13.29%.

- Nombre des graines par fruit:

Selon l'analyse de la variance, il y a une différence très hautement significative pour le nombre de graines par fruit (Tableau 6.8).

Le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 4; Appendice C), nous a permis de classer les deux espèces dans deux groupes:

Groupe A: comprend l'*O. robusta var. robusta* (384.40);

Groupe B: comprend l'*O. scheerii web* à l'ombre (34.20).

- Nombre des graines viables:

Les résultats de l'analyse de la variance font ressortir une différence très hautement significative entre les deux espèces (Tableau 6.8).

Le test de NEWMEN – KEULS (tableau 4; Appendice C), montre que le nombre de graines viables par fruit est plus élevé chez l'*O. robusta var. robusta* avec une moyenne de 338.48 graines par fruit, la valeur la plus faible est enregistrée chez l'*O. scheerii web* à l'ombre avec une moyenne de 34.20 graines par fruit.

Les fruits obtenus à l'ombre, présentent des graines, alors que les fruits de l'*O. scheerii web*, qu'ils soient hybridés ou non, ne contiennent pas de graines.

L'ombre semble favoriser la formation de graines dans les fruits de l'*O. scheerii web*.

- Nombre des graines avortées:

L'analyse de la variance nous révèle que les résultats sont significatifs (Tableau 6.8).

Les espèces se classent individuellement en deux groupes selon le test de NEWMEN – KEULS (Tableau 4; Appendice C):

Groupe A: comprend l'*O. robusta var. robusta*;

Groupe B: comprend l'*O. scheerii web* à l'ombre.

Tableau 6.8: Caractères quantitatifs des graines des deux espèces étudiées.

Paramètres	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>	Sign
Nombre de graines par fruit	34.20±13.88 B	384.40±70.63 A	***
Nombre de graines viables	34.20±13.88 B	338.48±70.40 A	***
Nombre des graines avortées	3.40±1.14 B	6.00±2.00 A	***
Poids graines par fruit	1.73±0.76 B	30.07±7.86 A	***
Poids des graines (%)	13.29±3.70 B	49.12±10.87 A	***

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

L'examen des résultats relatif à la graine, met en évidence la variabilité génétique entre les deux espèces étudiées.

Nous avons enregistré une variabilité pour tous les paramètres (nombre de graines / fruit, nombres de graines viables / fruit, nombre de graines avortées / fruit, poids des graines / fruit et poids des graines en %).

Lorsque les deux espèces étudiées se trouvent dans un même environnement (climat, sol) et ont le même âge, leur variabilité ne peut s'expliquer que par l'effet génotypique.

Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par HADJ KOUIDER (2008), la grande différence entre les espèces d'*Opuntia* étudiées pour le nombre de graines viables par fruit est due probablement à la variabilité génétique, concernant le nombre de graines avortées par fruit, nous avons enregistré une variabilité uniquement interspécifique.

MONDRAGON et PEREZ (1996) et BARBARA (2007), suggèrent que la teneur de fruits de poire de cactus en graine change selon le cultivar et la taille.

Pour la distinction entre les graines normales et les graines avortées, on se base sur l'Observation visuelle. Les graines normales présentent un léger renflement à cause de la

présence d'embryon, elles ont des dimensions supérieures à 1.7mm, par contre les graines avortées sont plus ou moins aplaties avec des dimensions de 1 à 1.7mm [82].

6. 3 Etude de la biologie florale

6.3.1 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'*O. scheerii web* se fait à partir de la troisième semaine de mois de Mars. Ce résultat confirme 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 [93.94], 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, l'initiation des bourgeons floraux commence durant le mois d'Avril et s'étale jusqu'au mois de Mai [96].

Pour LALLOUCHE (2008), dans les zones arides et semi-arides algériennes, 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 '*Opuntia robusta* var. *robusta*. Alors que pour l'*Opuntia engelmannii* var. *languiformis*; l'initiation des bourgeons floraux se produit au mois d'Avril.

Selon la taille, l'âge et le comportement des bourgeons, nous distinguons les différents stades de croissance et de développement (Figure 6.5).

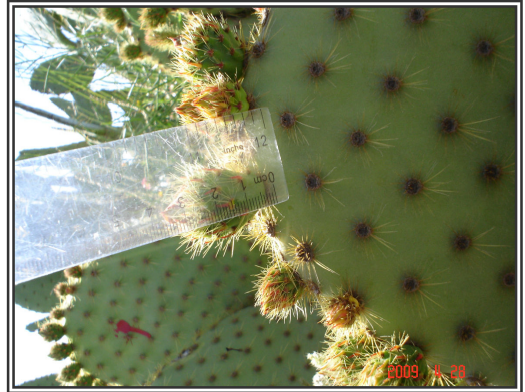
- Stade A "gonflement du bourgeon": le méristème au centre de la dépression de l'aréole, entrant en activité, provoque l'apparition d'une pousse de couleur rouge de forme sphérique qui constitue le bourgeon floral.

- Stade B "apparition du réceptacle": c'est l'apparition d'un réceptacle de couleur verte, à la base du bourgeon floral (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, 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": les pétales changent de couleur, du jaune, elles deviennent roses, le stigmate s'ouvre et grossit.
- Stade I "fleur partiellement fermée": le calice et la corolle sont partiellement fermés (sépales et pétales s'enroulent).
- Stade J "fleur entièrement fermée": le calice et la corolle sont entièrement fermés.
- Stade K "chute de la fleur": la fleur se dessèche et tombe,
- Stade L "fruit chétif": l'apparition d'un fruit chétif de couleur rouge et sans graines.

Nos résultats concordent avec ceux obtenus par LALLOUCHE (2008), pour cinq espèces d'*Opuntia* (*O. ficus indica* Mill.f. *inermis*, *O. robusta* var. *robusta*, *O. engelmannii* var. *languiformis*, *O. ficus indica* Mill.f. *amyaclea*, *O. streptacantha* Lem.), où le dernier stade se caractérise par des fruits complets et mûres, par rapport à *O. scheerii* web où le fruit à maturité reste chétif et ne contient pas de graine.



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 6.5: Différentes stades de différenciation des bourgeons floraux

On peut déduire selon nos résultats, que l'initiation des bourgeons floraux se produit au printemps, après un hiver froid, où la température s'élève et la longueur du jour augmente.

L'apparition des bourgeons floraux et des bourgeons végétatifs a eu lieu sur les aréoles, où chaque aréole est responsable; soit de la formation d'un bourgeon floral soit d'un bourgeon végétatif (Figure 6.6). 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 d'année précédente. Ces résultats confirment ceux de LALLOUCHE (2008) pour cinq espèces d'*Opuntia* (*O. ficus indica* Mill .f. *inermis*; *O. ficus indica*. Mill. *F. amyoclea*; *O. robusta* var. *robusta*, *O. engelmannii* var. *languiformis* et *O.streptacantha*. lem). NIEDDU et SPANO (1992), REYES-AGUIERO et al (2006), notent que 74% des bourgeons floraux *O. ficus indica* se développent sur les raquettes de l'année précédente.



Figure 6.6: Position des bourgeons floraux et végétatifs sur les raquettes.

La période entre l'apparition du bourgeon floral et la floraison, est très longue, elle est de l'ordre de 7 semaines (Tableau 6.9).

SUDZUKI (1995), note que les différenciations florales chez *Opuntia* se produisent sur une période de 50 à 60 jours, après que le méristème commence à être actif jusqu'à la floraison.

Pour LALLOUCHE (2008), la période entre l'apparition du bourgeon floral et la floraison est de l'ordre de 6 à 7 semaines.

Tableau 6.9: Période de la différenciation florale.

Paramètres	L'initiation des bourgeons floraux	Apparition de la première fleur
<i>O. scheerii web</i>	14/03/2009	09/05/2009

6.3.2 Epoque et durée d'étalement de la floraison

Afin d'évaluer l'époque et la durée d'étalement de la floraison de l'*O. scheerii web*, nous avons noté les dates qui correspondent à l'apparition des différents phénomènes (début floraison, pleine floraison et fin floraison).

Le début de floraison durant l'année 2009 pour l'*O. scheerii web* a eu lieu le 15/05/2009, et la durée d'étalement de la floraison se déroule dans un temps très court, elle est de 8 jours (Tableau 6.10).

Pour LALLOUCHE (2008), l'étalement de la floraison chez l'*Opuntia* est variable selon les espèces, elle peut être de l'ordre de 10 jours pour l'*O. robusta var. robusta*, comme elle peut aller jusqu'à 26 jours pour l'*O. ficus indica Mill .f. inermis* et *O. ficus indica Mill. F. amyctea*.

Tableau 6.10: Epoque et durée d'étalement de la floraison.

Paramètres	Période de floraison			Etalement (jours)
	Début floraison	Pleine floraison	Fin floraison	
<i>O. scheerii wib</i>	15-05-2009	18-05-2009	22-5-2009	08 jours

6.3.3 Formule florale

A partir du nombre de sépales, du nombre de pétales, du nombre des étamines et aussi du nombre de carpelles et le type de fruit, on peut synthétiser la formule florale (Figure 6.7 et Tableau 6.11).

OSBORN et al (1988), ont signalé que les étamines sont nombreuses, jusqu'à 265 chez l'*O. polyacantha*, 358 chez l'*O. phaeacantha*. Alors que SCHLINDWEIN et

WITTAMANN (1997), ont déterminé 450 étamines chez l'*O. viridirubra*, et 598 chez l'*O. brunne ogemmia*.

NIEDDU et SPANO (1992), montrent que chez l'*Opuntia*, l'ovaire a beaucoup de carpelles, dont le nombre peut être de 6 à 12 selon les espèces.

LALLOUCHE (2008), synthétise une formule florale pour chaque espèce d'*Opuntia* étudiée:

<i>O. ficus indica</i> Mill .f. <i>inermis</i>	* 8S	16P	468 E	8C	baie charnue
<i>O. ficus indica</i> . Mill. <i>F. amyaclea</i>	* 8S	16P	474 E	8C	baie charnue
<i>O. robusta</i> var. <i>robusta</i>	* 10S	20P	410 E	9C	baie charnue
<i>O. engelmannii</i> var. <i>languiformis</i>	* 9S	18P	234 E	6C	baie charnue
<i>O.streptacantha</i> Lem	* 10S	20P	546 E	9C	baie charnue

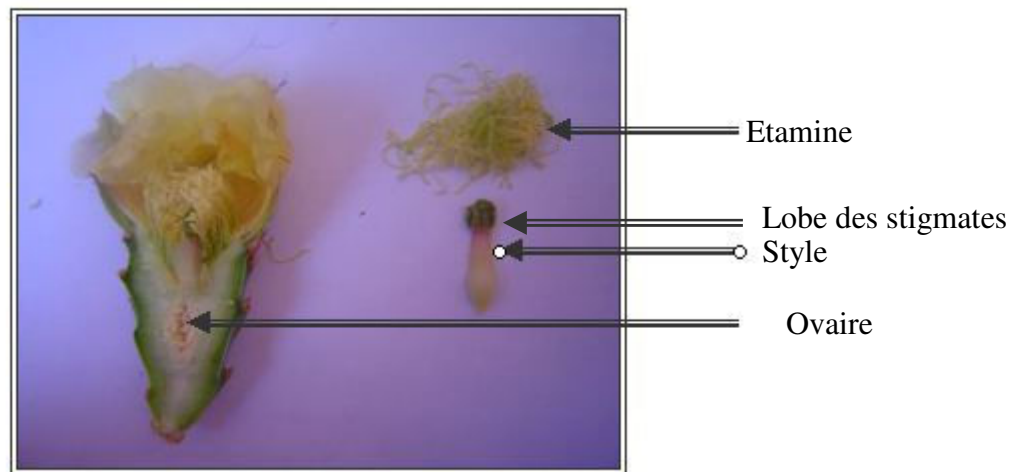


Figure 6.7: Coupe longitudinale d'une fleur d'*Opuntia scheerii web*.

Tableau 6.11: Différentes mesures des caractères quantitatifs effectuées sur les fleurs de l'espèce étudiée.

Paramètres	Nombre de sépales	Nombre de pétales	Nombre des étamines	Nombre de carpelles
<i>O. scheerii web</i>	11	20	406	09
<i>Formule florale:</i> * 11S 20P 406 E 9C baie charnue.				

6.3.4 Etude qualitative du pollen

Les résultats obtenus après l'observation des grains de pollen des deux espèces d'*Opuntia* étudiées, sous microscope montrent que:

- La forme est arrondie;
- La couleur est jaune verdâtre (Figure 6.8);
- La majorité des grains de pollen est fertile (colorés en rouge); la coloration rouge des grains de pollen est un bon indicateur de la viabilité et l'efficacité du pollen des espèces testées (Figure 6.9).
- Le taux de coloration est de 90% pour l'*O. scheerii web* et de 80% pour l'*O. robusta var. robusta*.
- L'analyse de la variance de nombre des grains fertiles (Tableau 6.12 et Tableau 5; Appendice C), ne montre pas une différence significative entre les deux espèces étudiées du point de vue fertilité

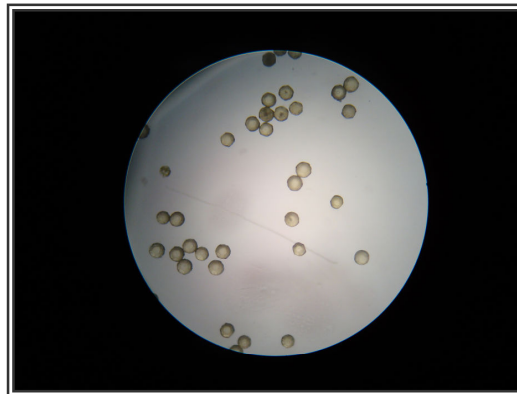


Figure 6.8: Forme, et couleur des grains de pollen.

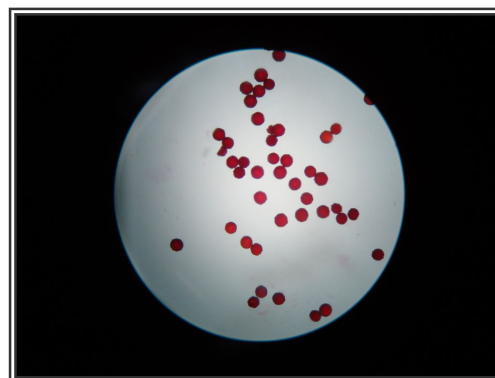


Figure 6.9: Test de viabilité des grains de pollen.

Tableau 6.12: Caractères quantitatifs des grains de pollen des deux espèces étudiées.

Paramètres \ Espèces	<i>O. scheerii web</i>	<i>O. robusta var. robusta</i>	sign
Nombre des grains fertiles	12.80 ± 3.97	8.50 ± 0.66	ns
Nombre des grains stériles	0.58 ± 0.6 B	2.33 ± 0.76 A	*

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

6.4 L'hybridation

Aucune influence de la source de pollen n'a été observée sur les caractères qualitatifs et quantitatifs des fruits hybrides comme, la forme, la couleur, le poids et la présence de graines.

Aucune modification n'a eu lieu dans le fruit, surtout l'absence des graines, qui normalement, seront le résultat de l'hybridation, ceci semble indiquer, qu'il n'y a pas eu fécondation entre les deux espèces hybridées.

L'échec de la fécondation pourrait être dû à différentes causes, dont nous notons essentiellement, les températures.

En effet les fleurs de l'*O. scheerii web* semblent être sensibles au rayonnement solaire, ceci se manifeste par l'absence des graines dans les fruits que ce soit pour l'*O. scheerii web* témoin ou pour l'*O. scheerii web* hybridé



A: Fruit hybridé intact sur pied de l'*O. scheerii web*



B: Fruits hybridés de l'*O. scheerii web*.



C: Fruit hybridé sans graines de l'*O. scheerii web*.

Figure 6.10: Fruits issus de l'hybridation



Figure 6.11: Fruits intacts sur pied de l'*O. scheerii web* (plante- mère).

6..5 Effet de l'ombre sur la fructification

Les fruits obtenus à l'ombre, grossissent et restent verts pendant le mois de Juillet jusqu'à la mi- Août.

Au delà du 10 Août, les fruits commencent leur maturité qui s'étale jusqu'à la mi- Septembre. Les fruits obtenus à l'ombre sont rouge, turgescents (Figure 6.12), avec une chaire de couleur violette et des graines (Figure 6.13).

Ces fruits ont eu un développement normal, contrairement aux fruits obtenus après hybridation et les fruits exposés à l'ensoleillement, qui sont rabougris, momifiés, sans graines.

L'effet de l'ombre semble bénéfique pour l'obtention de fruits charnus de l'*O. scheeri web*. Nous pensons que l'ombre a agit sur l'amélioration des facteurs externes de la fécondation.

Ainsi l'ombre a adouci les forts températures de la région et a aidé a créer une certaine humidité, afin de favorisée la germination du pollen. Sachant que les températures élevées et une humidité faible provoque la dessiccation des sécrétions stigmatiques, empêchant ainsi la germination du pollen.

Chez les angiospermes , Le pollen doit être retenu par le stigmate. Pour cela, il existe de petites forces électrostatiques qui retiennent le grain où il y a des substances gluantes (sucres). Il y a également des liaisons spécifiques entre les molécules du grain de pollen et le récepteur au niveau du stigmate. Le grain de pollen doit être hydraté (l'eau provient du pistil). Il va y avoir alors le déclenchement de la formation du tube pollinique.



Figure 6.12: Fruits obtenu à l'ombre.



Figure 6.13: Chaires de couleurs violettes et des graines

Le résultat de l'hybridation est confirmé par les résultats que nous avons obtenu, à l'ombre, puisque les fruits de l'ombre sont arrivés à maturité et possèdent des graines viable car leurs longueurs est supérieure à 1.7mm.

Durant la fécondation, nous avons relevé de température pas très favorable, (Moyenne = 18.9°C) et une hygrométrie de 52% seulement. En effet BRETEAUDEA (1993), rapporté que les périodes chaudes et humides sont les plus favorables à la fécondation.

CONCLUSION

Ce travail expérimental en plein champ et au laboratoire nous a permis de faire ressortir certaines observations:

Ainsi nous distinguons deux espèces phytotypiquement différentes, il s'agit de *l'Opuntia scheerii web* et *l'Opuntia robusta var. robusta*.

1. Pour l'étude phénologique il y a une différence pour les deux espèces étudiées, qui se situe au niveau de l'époque du début de floraison, ainsi pour *l'O. robusta var. robusta*, cette époque se déroule vers le 09 Mai, et le 15 Mai pour *l'Opuntia scheerii web*. Le début de maturation constitue aussi une différence entre les deux espèces, c'est le 01 Juillet pour *l'Opuntia scheerii web* et le 10 Août pour *l'Opuntia robusta var. robusta*.
2. L'analyse des paramètres qualitatifs et quantitatifs, nous a permis de confirmer et de distinguer deux espèces avec une très grande variabilité de tous les paramètres examinés (des pieds, des cladodes, des fleurs, des fruits et des graines).
 - Le port des pieds varie de décombant pour *l'Opuntia scheerii web* à dressé pour *l'Opuntia robusta var. robusta*.
 - La hauteur des pieds est la même pour les deux espèces d'*Opuntia* étudiées, puisqu'elles ont le même âge et qu'elles évoluent dans la même climat.
 - Au niveau des cladodes, nous avons enregistré une grande variabilité concernant la forme, la couleur et la taille.
 - La forme des cladodes varie de la forme abovale large à couleur vert- jaunâtre avec des épines et des glochides jaunes pour *l'Opuntia scheerii web*, à la forme circulaire à couleur vert- bleuâtre avec des épines blanches et des glochides jaunes pour *l'Opuntia robusta var. robusta*.
 - La couleur des aréoles est grise pour *l'O. scheerii web* et marron pour *l'O. robusta var. robusta*.

- Le port et la couleur de l'épine centrale sont demi-érigé à couleur jaune pour *l'Opuntia scheerii web* et érigé à couleur blanche pour *l'O.robusta var. robusta*.
- Les dimensions des cladodes de *l'Opuntia robusta var. robusta* sont plus grandes que les dimensions des cladodes de *l'Opuntia scheerii web*.
 - La longueur de la cladode: avec une moyenne de 27.93cm pour *l'O. robusta var. robusta*, et de 22.84cm pour *l'O. scheerii web*.
 - La largeur de la cladode: avec une moyenne de 27.36cm pour *l'O. robusta var. robusta* et de 16.43cm pour *l'O. scheerii web*.
 - L'épaisseur de la cladode: avec une moyenne de 2.27cm pour *l'O. robusta var. robusta*, et de 1.28cm pour *l'O. scheerii web*.
 - La longueur de l'épine centrale; avec une moyenne de 2.89cm pour *l'O. robusta var. robusta*, et de 1.40cm pour *l'O. scheerii web*.
 - le rapport longueur sur largeur, avec une moyenne de 1.40 pour *l'O. scheerii web*, et pour *l'O. robusta var. robusta* est de 1.03.

Pour le nombre d'épines par aréole, aucune différence n'a été enregistrée entre les deux espèces étudiées.

3. Concernant les fleurs, nous avons enregistré aussi une variabilité, au niveau de la couleur du stigmate qui est verte pour *l'Opuntia scheerii web* et jaune pour *l'Opuntia robusta var. robusta*.

- la couleur du style, est rose pour *l'Opuntia scheerii web* et blanche *l'Opuntia robusta var. robusta*.
- la même couleur, jaune dans les périanthes, des étamines pour les deux espèces d'*Opuntia* étudiées. Comme on a enregistré aussi, une différence concernant le nombre de fleurs par raquette, ainsi *l'Opuntia scheerii web* compte 4.5 fleurs alors que *l'Opuntia robusta var. robusta* de 2.75 fleurs.

4. L'étude de la biologie florale de l'espèce pollinisée c'est-à-dire *l'Opuntia scheerii web* indique que:

- L'initiation des bourgeons floraux chez *l'O. scheerii web* se fait à partir de la troisième semaine du mois de Mars.

- Les différents stades de croissance des bourgeons floraux sont très longs, ils sont de l'ordre de 7 semaines.
 - La durée d'étalement de la floraison est très courte avec 8 jours, seulement avec de 12 stades.
 - Concernant la viabilité des grains de pollen, le test de viabilité donne une coloration rouge, révélatrice de la viabilité du pollen pour les deux espèces d'*Opuntia* étudiées avec 90% pour l'*O. scheerii web* et 80% pour l'*Opuntia robusta var. robusta*.
 - Les grains de pollen ont une forme arrondie et de couleur jaune verdâtre pour les deux espèces d'*Opuntia* étudiées.
5. Les fruits montrent une grande variabilité entre les espèces examinées au niveau des paramètres morphologiques et biométriques telles que: les dimensions, la densité des aréoles, le pourcentage de la pulpe et le pourcentage de la peau, la forme, la couleur de la surface et la couleur de la chair et aussi le nombre de graines.
- Les fruits d'*O. scheerii web* sont elliptiques très étroits, à couleur rouge en surface avec des glochides jaunes, et rose claire pour la chair. Pour l'*O. robusta var. robusta*, les fruits sont aplatis, de couleur violette pour la chair et en surface.
 - Le poids de fruits le plus élevé présente par l'*Opuntia robusta var. robusta* de 61.40g et suivi par l'*O. scheerii web* à l'ombre de 12.50g.
6. Concernant le résultat de l'hybridation, aucune différence n'a été enregistrée, la couleur et la forme et le poids de fruits issus de l'hybridation est identique aux fruits de la plante- mère qui sont rabougris, momifiés, sans graines.
7. Pour le résultat de l'effet d'ombre sur la fructification, on a enregistré une grande différence, qualitativement et quantitativement, entre les fruits de la plante- mère et les fruits obtenus à l'ombre qui sont rouges, charnus, avec une chair de couleur violette et des graines.

8. La fécondation entre l'*O. scheerii web*, avec d'autre espèce doit se faire à l'ombre si on veut garantir l'obtention de la F1, et aussi pour assurer un transfert de caractère de l'*O. robusta var. robusta* vers *O. scheerii web*, il faut tenir compte du climat, c'est-à-dire que l'hybridation ne doit se faire qu'à l'ombre afin de favoriser les sécrétions stigmatiques.

RÉFÉRENCES

1. Adli, B., "Contribution a l'étude de l'*Opuntia* et perspectives d'amélioration dans le milieu steppique", Mémoire de magister, Faculté des Science Agro- Vétérinaire, Département d'Agronomie, Université de Blida, (Février 2007), 144 p.
2. Mulas, M. et Mulas, G., "Potentialités d'utilisation stratégique des plants des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification", Short and medium-term priority environmental action programme (SAMP), Université des études de Sassari, groupe de la recherche sur la désertification (Italie), (Février 2004), 112 p.
3. Donkin, R., "Spanish red: an ethnogeographical study of cochineal and the *Opuntia* cactus". Transactions of the American Philosophical Society 67, (1977), 1 - 77.
4. 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), 143 – 162.
5. Russell, C.E. et Felker, P., "The prikly pears (*Opuntia spp.* Cactaceae)" a source if human and animal food in semiarid regions. Ecomonic Botany 41, (1987), 433 - 445.
6. Anderson, E.F., "The cactus family", Timber Press, Portland, Oregon, USA, (2001), 776 p.
7. 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), 135 - 159.
8. Kiesling, R., "Origen, domesticacion y distribucion de *Opuntia ficus-indica*". Journal of the Proffessional Association for Cactus Development 3, (1998), 50 - 59, Online at www.jpacd.org.
9. Yousfi, S., "Les cactées, *Opuntia ficus indica* rapport bibliographique sur les *Opuntia* et Bilan de quelques études en Algérie", INRA, Algérie, (Octobre 2000), 17 p.

10. Griffith, M.P., "The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae)": New molecular evidence 1. *American Journal of Botany* 91, (2004), 1915 - 1921.
11. Khouri, M.S., "*Opuntia*, bilan écologique en Algérie", INRF et CAREF, (Janvier 1969), 59 p.
12. Araba, A., El Aich, A. et Sarti, B., "Valorisation du figuier de Barbarie en élevage", *Bulletin Mensuelle d'information et de Liaison du PNTT* n° 68, (2000), 1 - 4.
13. Walali, L., ""Bulletin de liaison du Programme National de Transfert de Technologie (PNTTA)", Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat (Maroc), n°35, (1998), 5 - 10.
14. Lallouche, B., "Hybridation de *l'Opuntia ficus indica* Mill.f. *inermis* par quatre espèces d'*Opuntia* (*O. robusta* var. *robusta*; *O. engelmannii* var. *languiformis*; *O. ficus indica* Mill.f. *amyoclea*; *O. streptacantha* Lem.) dans les zones arides et semi-arides", Mémoire de magister, Faculté des Science Agro- Vétérinaire, Département d'Agronomie, Université de Blida, (Juillet 2008), 132 p.
15. Barbera, G., "History, Economic and Agro-ecological importance in Barbera, G., inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 01 - 11.
16. Manjouze, A. et Le Houérou, HN., "Le rôle de *l'Opuntia* dans l'économie Agricole Nord- africaine", Extrait du Bulletin de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Tunisie. n°8 - 9 (Septembre - Décembre 1965), 85 - 164.
17. Kenney, 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), <http://www.iav.ac.ma/pntta/02-35 htm>.
18. 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).
19. F.A.O., "Share of the semester, recommendation 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 Tunisia/ October 23-27, 2000", *Cactus Net Newsletter*, FAO international technical cooperation net work on cactus, issue n°6, (June 2002), 17 - 19.

20. 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.
21. Arias-Jiménez, J., "Agro-ecologic cultivation and uses of cactus pear", FAO, (1995), 834 p.
22. chouaki, S., "Deuxième rapport national sur l'état des ressources génétiques". Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture INRA (Juin 2006), 91 p.
23. F.A.O., "Etudes des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricole dans la région du Hodna, Algérie, 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), 27p.
24. Rebman, J.P. et Pinkava, D.J., "*Opuntia* cacti of North America- An overview", Journal Florida Entomologist 84 (4), (December 2001), 474 - 483.
25. Fournier, P., "Les cactées et les plantes grasses", ed. 2^{ème} édition, PAUL LECHE VALIER, Paris, (1954), 305p.
26. Scheinvar, L., "Taxonomy of utilized *Opuntia* in: Barbera, G., inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 20 - 27.
27. Sudzuki, H.F., "Anatomy and morphology in: Barbera, G., inglese, P., pimienta, B.E., Arias, J.E. de J. (eds), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear", F.A.O., plant production and paper 132, Rome (Italy), (1995), 28 - 35.
28. Le Houérou, H.N., "La désertification des régions arides". Doct. Trav. Pro. FAO,Tunsia , (1966), 71 p.
29. Laperonie, A., "Les productions fourragères méditerranéennes Techniques". Edt. ENSAT. Laboratoire de Production fourragère, (1982).
30. Kenny, L., "Importance et conduite technique". Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Agadir (Maroc), (2002), 6 p.

31. Chalandre, M.C., "Eléments de Botanique, Cour de première année de Pharmacie". UFR de Pharmacie et Ingénierie de la Santé – ANGERS, (1999-2000), www.123bio.net.
32. Bossard, R., "Floriculture", N°3, ed. 4^{ème} édition entièrement revue, Collection d'Enseignement Horticole., Paris, (1978), 269 – 270.
33. Evêque, V.D., "Optimization of tissues cultures for *Opunia*", thesis, University of Texas, (Mai, 1995), <http://www.Lawrence.edu/Fast/magnov/Valthesis.html>.
34. Buxbaum, F., "the phylogenetic division of the subfamily cereoi - deae cactaceae", Madrono 14, (1958), 177 - 216.
35. Shweizer, M., "Docteur NOPAL le mèdin du Bon Dieu", APB, ed 3^{ème} trimestre, France, (1997), 81 p.
36. Wessels, A.B. et Swart, E., "Morphogenesis of the productive bud and fruit of the prickly pear (*Opuntia ficus- indica* l.) Mill.cv.Morado)", Acta Horticulture 275, (1990), 245 - 253.
37. Kartez, R., "Nature", Le livre de Paris Hachette imprimé en Italie par G. Gana, (1996).
38. Boiteau, P., "Cours de Botanique. La carotte- Ombellifères: Myrtacées, Mélastomacées, Cactacées", (8^{ème} TYPE). In: le Rouge Botanique et Madagascar. Copyright Association le rouge, (28 Septembre 2006), <http://www.ilerouge.org>.
39. Garralla, S. et Cuadrado, G.A., "Pollen morphology of *Austrocyllindropuntia* Backeb, *Maihueniopsis* Speg., *Opuntia* Mill. And *Tephrocactus* Lem. (*Cactaceae*, *Opuntioideae*) of Argentina", (31 January 2007), 1 - 17.
40. Reyes-Aguero, R.J.A., Aguirre, R.J.R. et Banute, V.A., "Reproductive biology of *Opuntia*: A review", journal of arid environments, 64, (2006), 549 – 585.
41. Tous, J. et Ferguson, L., "Mediterranean fruits in: Janick J. (ed.) progress in new crops", ASHS press, Arlington VA., (1996), 416-430. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings_1996/V3-416.html.
42. Rebours, H., "Fruits méditerranéens autres que les agrumes". Maison rustique. Paris, (1968), 207 p.
43. Inglese, P., Barbera, G. et Carimim 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), 61- 65.

44. Nerd, A. et Mizrahi, Y., "Reproductive biology in: Barbera, G., inglese, P., pimienta, B.E., Arias, J.E. de J. (eds), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear", F.A.O, Rome (Italy), (1995), 49- 58.
45. Barbera, G. Anglese, P et La Mantia, T., "Seed content and fruit characteristics in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill)". *Scientia Horticulturae* 58, (1994), 161 - 165.
46. Pimienta, B.E0 et Engleman, E.M., "Desarrollo de la pulpa y proporcion, en volumen, de los componetes del loculo maduro en tuna (*Opuntia ficus indica* l. Miller)". *Agrociencia* 62, (1985), 51-56.
47. 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) 115 - 121.
48. Bowers, J.E., "The effect of drought on Engelmann prickly pear (Cactaceae: *Opuntia engelmannii* fruit and seed production". *Southwestern Naturalist* 42, (1997) b, 240 - 242.
49. Martinez, B.A.E. et Villam A.B.S., "Plantaciones de nopal para el desarrollo sustentable de areas degradadas en la region central de Mexico", *Atti del 4° Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Guadajara, Mexico, (6 -10 Noviembre 1995), 72 – 73.*
50. Villax, E.J., "La culture des plantes fourragères dans les régions méditerranéennes occidentales", *Cahiers de la recherche agronomique INRA. Maroc publication, (1963), 589 - 590.*
51. Walali, L., "Quelques espèces fruitières d'intérêt secondaire cultivées au Maroc in: Llàer, G., Aksoy, U. et Mars, M. (eds.), *culture sous utilisées dans la région méditerranéenne*", Zaragoza, CIHEAM-IAMZ (cahier option méditerranéenne, 4.13), first meeting of the CIHEAM cooperative working group on underutilized fruit crops in the mediterranean region, Zarragoza (Spain), (1995), 47- 62.
52. Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P., "Influenza dell'epoca d'impianto et del tipo di talea sulla radicazione et sullo sviluppo di barbatelle di *Opuntia ficus- indica Mille*", *Frutticoltura*, 55 (10), (1993), 67 - 71.
53. Nobel, P.S., "Ecophysiology of *Opuntia ficus indica* in: Mondragon, J.C., Pérez, G.S., Arias, E., Reynolds, S.G. et Sénchez, M.D. (eds.), *Cactus (*Opuntia spp*) as forage*", F.A.O. plant production and protection paper 169, Rome (Italy), (2001), 13-20.

54. Granta, G., "Biotic and abiotic diseases in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 109 - 119.
55. Poupon. J.E, "Cactus et ressources fourragères", 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), 12 p.
56. Felker, P., "Forage and fodder production and utilisation", in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 144 - 154.
57. HCDS. Document de l'HCDS de Tébessa. Redjel, N., "La promotion de la culture de l'*Opuntia*", Document du Haut Commissariat au Développement de la Steppe. Commissariat régional de Tébessa, (1988).
58. Longo, S. et Rapisarda, C., "Pests of cactus pear in Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 100-108.
59. Mondragón, J.C. et Pimienta, B.E., "Propagation in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 64 - 71.
60. Mondragón, J.C., Méndez, G.S. de J. et Olmos, O.G., "Cultivation of *Opuntia* for fodder production: from re-vegetation to hydroponics in: Mondragón, J.C., Pérez, G.S., Arias, E., 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), 107 - 122.
61. Villalobos V., "Tissue culture application for *Opuntia* sp. Pl. micropropagation in Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 71 - 77.
62. Mandujano, M.C., Montaña, C. et Rojas-Aréchiga, M., "Breeding seed dormancy in *Opuntia rastrera* from the chihuahuan desert", *Journal of arid Environments* 62, (2005), 15-21. <http://www.Elsevier.com/locate/jnlabr/yjare>.
63. F.A.O., "Technique de développement pastorale", V.3, plantation d'arbustes fourragers, projets F.A.O. RAB.84.025, (1989), 171 p.

64. El Hamrouni, A. et Sarson, M., "Méthode de plantation du cactus inerme", projet FAO Tun. 71/540, B.P.2- Ariana- Tunisie (1971), 17p.
65. Flores- valdez, C.A., " 'Nopalitos' production, processing and marketing in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta, B.E., 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), 92 – 99.
66. Lopès, G.J.J., Fuentes, R.J.M. et Rodriguze, R.A., "Production and use of *Opuntia* as forage in northern Mexico in: Mondragón, J.C., Pérez, G.S., Arias, E., 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), 29 – 36.
67. HCDS. "La situation actuelle des parcours", Document de l'HCDS DE Djelfa, (2005).
68. Anaya-Pérez, M.A., "History of the use of *Opuntia* as forage in Mexico", in: Mondragón, J.C., Pérez, G.S. (Eds.), Cactus (*Opuntia spp.*) as storage. Rome Italy, FAO, (2001), 5 - 12.
69. Ben Salem, H., Nefzaoui, A., Abdouli, H. et Orskov, E.R., "Effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus- indica var. inermis*) on intake and digestion by sheep given straw- based diets", *Animal Science*, 62, (1996), 293 – 299.
70. Nefzaoui, A. Ben Salem, H., "Spineless cactus: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones", *International Symposium Proceedings: "Cactus pear and nopalitos processing and uses"*. September 24- 26, Santiago Chile, (1998).
71. Yasseen, Y.M., Sheryl, A., Barringer. Splittstoesser.W.E., "A note on uses of *Opuntia spp*", in *Central/North America. Journal of Arid Environments*, 32, (1996), 347 - 353.
72. Santana, O.P., "Tunas Forrajeras (*Opuntia ficus- indica* y *Nopalea cochenillifera*) en el Noroeste Brasileño: una revisión", *Actas del ii Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla 22- 25 Sep 1992*, Santiago Chile, (1992), 126 – 142.
73. Nefzaoui, A., Ben Salem, H., Ben Salem, L., "Ewe- lambs feeding with cactus-based diets. Effect of the type of nitrogen supplement", *IV International Symposium on the nutrition of Herbivores- Satellite "Ruminant use of fodder resources in warm climate countries"* Montpellier France, (7 – 9 Sept 1995).
74. Djbaili, S., "Steppe algérienne phytosociologie et écologie", édition O.P.U., Alger, (1984), 177p.

75. Djellouli, H.T.Y., "Etude climatique et bioclimatique des hautes plateaux du sud Oranais, wilaya de" Saida comportements des espèces vis-à-vis des éléments du climat", Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle en science biologique, option écologique végétale, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, (1981), 178 p.
76. Halimi, H., "L'Atlas blidéen, climat et étage de végétation", O.P.U., Alger, (1980), 178 p.
77. Greco, J., "L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie", Alger (Algérie), (1966), 393 p.
78. Seltezz, P., "Le climat d'Algérie", tav. Institut météorologique du globe, Université d'Alger, (1946), 219 p.
79. Estienne, P., et Godard, A., "Climatologie", ed. 5^{ème} édition, Armand Colin collection U., Paris, (1970), 367 p.
80. Jahier, J., "Techniques de cytologie végétal", Revue, INRA de Paris, (1990), 99 - 105.
81. Kaâbeche, M., "Les groupement végétaux de la région de Boussaâda (Algérie), essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb", Thèse de doctorat en sciences, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay. Paris, (1990), 104 p.
82. Hadj kouider, B., "Approche de caractérisation et d'identification des espèces du genre *Opuntia* (sous genre *platyopuntia*) dans les zones steppiques et perspectives d'amélioration", Mémoire de magister, Faculté des Science Agro- Vétérinaire, Département d'Agronomie, Université de Blida, (Juillet 2008), 155 p.
83. UPOV, "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), 31 p.
84. Breteudeau. J, "Atlas d'arboriculture fruitière", Ed. Lavoisier, Paris (1993), 273 p.
85. Bunch, R.A., "Update on Cactus Pear Breeding and New Products at d*Arrigo Bros" Salinas, California, J.PACD, (1997), 60 - 70.
86. Crossa-Raynaud, P., "Technique d'hybridation et de culture d'embryons d'abricotier" Ed. INRA. Tunisie, (1966), 18 p.
87. Soltner. D, "Les bases de la production végétale", Tom 1, le sol 16^{ème} édition. Srau Deau et cie Angers France, (1988), 466 p.

88. 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 et Vie, Revue Périodique du Monde Rural et de l'Environnement, n°100, Rabat, (Janvier 2007), 6 p, www.terrevie.net.
89. Stephen, G., Reynolds And Enrique. A., "Plant Production and Protection Division", FAO international technical cooperation network on cactus, issue N°6, (June 2002), 17 - 19.
90. 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), 34 – 40.
91. Mondragon, J.C. et Pérez, G.S., "Native cultivars of cactus pear in Mexico in: Janick J. (ed), progress in new crop", ASHS press, Arlington, V.A, (1996), 446 – 450.
92. Babara, K.M., "Characterization of cactus pear germless in South Africa", Athesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Philosophiae Doctor. In the Faculty of Natural and Agricultural Sciences. Department of Plant Sciences (Plant Breeding Division).University of the Free State, (May 2007), 194 p.
93. Garcia, S.R., "Patrones de polización y fenología floral en poblaciones de *Opuntia* spp en San Luis Potosi y Zacatecas". Bachelor thesis. Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Mexico, (1984), 128 p.
94. Rodriguez, Z.O., "Fenología, reproducción y aporte de frutos y semillas en dos nopaleras del altiplano potosino-zacatecano". Bachelor thesis. Universidad Autónoma de Nuevo Leon, Monterrey, (1981), 77 p.
95. Beutelspacher, B.R., "Pollinisation de *Opuntia tomentosa* Salm-Dyck y *O. robusta* Wendl and en el Pedregal de San Angel". Cactaceas y Suculentas Mexicanas, Mexico 16, (1971), 84 - 86.
96. Nieddu, G. et Spano, D., "Flowering and growth in *Opuntia ficus-indica*". Acta Horticulture 296, (1992), 153 - 159.
97. Osborn, M.M., Kevan, P.G et Lane, M.A., "Pollinisation biology of *Opuntia polyacantha* and *Opuntia phaeacantha* (Cactaceae) in southern Colorado" Plant Systematics and Evolution 159, (1988), 85 – 94.

98. Schlindwein, C. et Wittmann, D., "Stamen movement in: owers of *Opuntia* favour oligolectic Pollination" *Plant Systematics and Evolution* 204, (1997), 179 - 193.

APPENDICE A
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

A.P.H.E	: Automne, Printemps, Hivers, Eté.
CAM	: Crasulcean Acide Métabolique.
CE	: Conductivité électrique
CIRGP	: Compromisso Internacional Sobre Recursos Genéticos das Plantas
CNREF	: Centre National de Recherches et d'Expérimentation Forestières.
F.A.O	: Food and Agriculture Organisation
H.C.D.S	: Haut Commissariat au Développement de la Steppe.
I.N.R.F	: Institut National de la Recherche Forestière
M	: Moyenne des maxima du mois le plus chaud.
MF	: La matière fraîche.
M-m	: L'amplitude thermique.
MO	: Matière organique
MS	: La matière sèche.
O.N.M	: Office Nationale de Météorologie.
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Q2	: Quotient pluviothermique d'Emberger
Sing	: La signification
UF	: Unité fourragère
UPOV	: Union international de Protection des Obtentions Végétales
WANA	: Ouest Asiatique et Afrique du Nord
m	: Moyennes des minima du mois le plus froid.
mmho	: Unité de mesure de la conductivité électrique.
pH	: Potentiel hydrogène

APPENDICE B
ETUDE DU MILIEU

Tableau 1: Répartition des précipitations moyennes mensuelles et les valeurs corrigées de la zone d'étude (1990-2008).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc	cumul
Djelfa *	36.61	25.15	26.39	28.96	35.81	15.46	8.25	21.84	36.68	30.82	24.01	27.31	317.27
El-Mesrane	30.45	21.22	21.95	24.08	29.78	12.86	6.86	17.87	30.51	25.63	19.97	22.71	263.87

* : Source O.N.M. de Djelfa (2008).

Tableau 2: Régime saisonnier de la zone d'étude.

	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Type
El-Mesrane	74.38	75.81	37.59	76.1.	APHE

Tableau 3: Répartition des températures moyennes mensuelles et les valeurs corrigées de la zone d'étude (1990-2008).

	Mois	Jan	Fév	Mar	Afr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
Djelfa*	M	9.74	11.92	15.47	17.36	23.88	30.18	34.13	33.22	27.22	21.46	14.47	10.29
	M	0.15	1.49	3.49	5.88	10.66	15.44	18.4	18.18	14.31	9.94	4.55	1.94
	M-m	4.94	6.71	9.48	11.62	17.27	22.81	26.27	25.7	20.76	15.7	9.51	6.11
El-Mesrane	M	11.85	14.03	17.58	19.47	25.99	32.29	36.24	35.33	29.33	23.57	16.58	12.40
	M	0.94	2.28	4.28	6.67	11.45	16.23	19.19	18.97	15.10	10.73	5.34	2.73
	M-m	6.40	8.16	10.93	13.07	18.72	24.26	27.72	27.15	22.22	17.15	10.96	7.57

* : Source O.N.M. de Djelfa (2008).

Tableau 4: Répartition des valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de gelées dans la station météorologiques de référence pour la période (1990-2008).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc	Cumul
EL-Mesrane	12	9.26	3.11	1.05						0.05	4.84	10.26	40.58

Source: O.N.M. de Djelfa (2008).

Tableau 5: Répartition des vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s) dans la station météorologique de référence pour la période (1990-2008).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
El-Mesrane	3.74	3.79	4.16	4.70	4.18	3.65	3.42	3.12	3.24	3.49	3.76	4.54

Source: O.N.M. de Djelfa (2008).

Tableau 6: Quotient pluviométrique et étage bioclimatique de zone d'étude.

	m (°C)	Q2	Bioclimat	Variante à
El-Mesrane	0.94	25.64	Aride moyen	Hiver frais

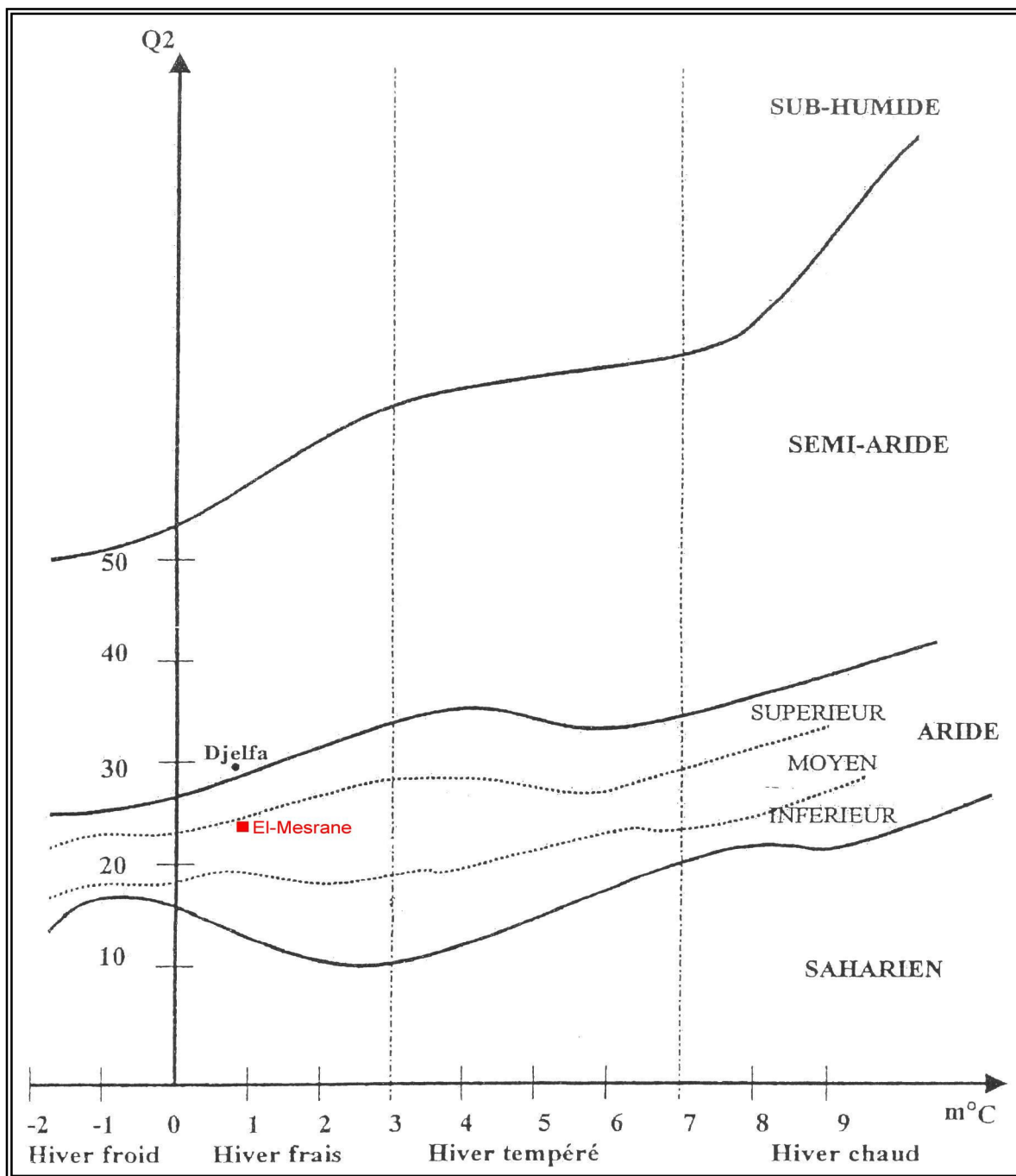


Figure 1: Climagramme pluviométrique d'Emberger de la zone de El-Mesrane

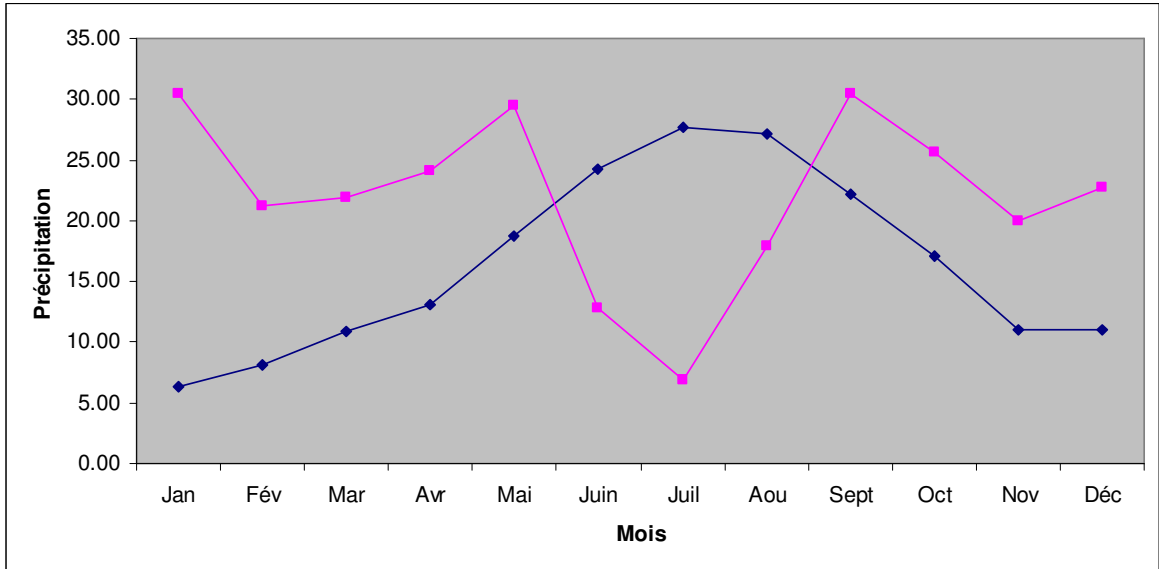


Figure2: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausan de la zone d'étude

APPENDICE C
ANALYSE DE LA VARIANCE

Tableau 1: Analyse de variance des différentes mesures et mensuration du pied et cladode.

Paramètres	Source de variation	SCE	DDL	Carres moyennes	Test F	Prob	ET	CV
Hauteur des pieds (cm)	Var. total	2073.44	15	138.23	0.000	0.9815	12.17	11.5 %
	Var. facteur 1	0.06	1	0.06				
	Var. Résiduelle 1	2073.38	14	148.10				
Longueur des cladodes (cm)	Var. total	147.92	15	9.86	32.76	0.0001	1.78	7.0 %
	Var. facteur 1	103.63	1	103.63				
	Var. résiduelle 1	44.29	14	3.16				
Largeur des cladodes (cm)	Var. total	494.40	15	32.96	410.15	0.0000	1.08	4.9 %
	Var. facteur 1	478.08	1	478.08				
	Var. résiduelle 1	16.32	14	1.17				
Epaisseur des cladodes (cm)	Var. total	4.88	15	0.33	57.10	0.0000	0.26	14.8 %
	Var. facteur 1	3.92	1	3.92				
	Var. résiduelle 1	0.96	14	0.07				
Rapport L / I	Var. total	0.62	15	0.04	92.07	0.0000	0.08	6.3 %
	Var. facteur 1	0.54	1	0.54				
	Var. résiduelle 1	0.08	14	0.01				
Nombre d'épines/ aréole	Var. total	2.51	15	0.17	0.82	0.3843	0.41	13.6 %
	Var. facteur 1	0.14	1	0.14				
	Var. résiduelle 1	2.37	14	0.17				
Longueur de l'épine centrale (cm)	Var. total	9.02	15	0.60	431.40	0.0000	0.14	6.6 %
	Var. facteur 1	8.73	1	8.73				
	Var. résiduelle 1	0.28	14	0.02				

Tableau 2: Analyse de variance du nombre de fleurs par raquette.

Paramètres	Source de variation	SCE	DDL	Carres moyennes	Test F	Prob	ET	CV
Nombre de fleurs par raquette	Var. total	107.37	39	2.75	15.17	0.0005	1.42	39.2 %
	Var. facteur 1	30.63	1	30.663				
	Var. Résiduelle 1	76.74	38	2.02				

Tableau 3: Analyse de variance des différentes mesures et mensuration du fruit.

Paramètres	Source de variation	SCE	DDL	Carres moyennes	Test F	Prob	ET	CV
Longueur	Var. total	31.77	24	1.32	69.65	0.0000	0.33	11.2 %
	Var. facteur 1	29.64	4	7.41				
	Var. Résiduelle 1	2.13	20	0.11				
Largeur	Var. total	38.18	24	1.59	12.63	0.0000	0.74	34.0 %
	Var. facteur 1	27.35	4	6.84				
	Var. Résiduelle 1	10.83	20	0.54				
Epaisseur	Var. total	35.43	24	1.48	134.25	0.0000	0.25	12.1 %
	Var. facteur 1	34.15	4	8.54				
	Var. Résiduelle 1	1.27	20	0.06				
Diamètre géométrique	Var. total	37.13	24	1.55	215.26	0.000	0.21	8.6 %
	Var. facteur 1	36.28	4	9.07				
	Var. Résiduelle 1	0.84	20	0.04				
Sphéricité des fruits	Var. total	0.54	24	0.02	21.41	0.000	0.07	8.9 %
	Var. facteur 1	0.44	4	0.11				
	Var. Résiduelle 1	0.10	20	0.01				
Surface de la peau	Var. total	15001.22	24	625.05	133.43	0.000	5.20	23.7 %
	Var. facteur 1	14459.40	4	3614.85				
	Var. Résiduelle 1	541.82	20	27.09				
Poids du fruit	Var. total	13341.31	24	555.89	99.17	0.000	5.66	33.5 %
	Var. facteur 1	12700.94	4	3175.24				
	Var. Résiduelle 1	640.37	20	32.02				
Poids de la pulpe	Var. total	1522.88	24	63.45	53.17	0.000	2.56	34.6 %
	Var. facteur 1	1391.99	4	348.00				
	Var. Résiduelle 1	130.89	20	6.54				
Poids de la peau	Var. total	318.60	24	13.27	148.13	0.000	0.72	25.3 %
	Var. facteur 1	308.19	4	77.05				
	Var. Résiduelle 1	10.40	20	0.52				
Poids de la pulpe (%)	Var. total	6191.73	24	257.99	10.67	0.001	9.94	17.0 %
	Var. facteur 1	4215.71	4	1053.93				
	Var. Résiduelle 1	1976.01	20	98.80				
Poids de la peau (%)	Var. total	2434.40	24	101.43	14.70	0.000	5.56	24.0 %
	Var. facteur 1	1816.68	4	454.17				
	Var. Résiduelle 1	617.72	20	30.89				
Densité des aréoles	Var. total	1289.22	24	53.72	14.37	0.000	4.08	14.4 %
	Var. facteur 1	956.43	4	239.11				
	Var. Résiduelle 1	332.79	20	16.64				

Tableau 4: Analyse de variance des différentes mesures et mensuration des graines.

Paramètres	Source de variation	SCE	DDL	Carres moyennes	Test F	Prob	ET	CV
Nombre des graines par fruit	Var. total	570349.56	24	23764.56	129.40	0.000	32.57	36.5 %
	Var. facteur 1	549131.56	4	137282.89				
	Var. Résiduelle 1	21218.00	20	1060.90				
Nombre des graines viables	Var. total	327906.50	9	36434.06	119.30	0.0000	50.72	24.2%
	Var. facteur 1	307300.91	1	307300.91				
	Var. Résiduelle 1	20605.59	8	2575.70				
Nombre des graines avortées	Var. total	38.10	9	423.90	6.38	0.0345	1.63	34.6%
	Var. facteur 1	16.90	1	2.65				
	Var. Résiduelle 1	21.20	8	6.38				
Poids des graines par fruit	Var. total	3757.35	24	156.56	70.28	0.000	3.53	55.1 %
	Var. facteur 1	3507.80	4	876.95				
	Var. Résiduelle 1	249.55	20	12.48				
Poids des graines (%)	Var. total	8907.52	24	371.15	76.48	0.000	5.23	37.5 %
	Var. facteur 1	8360.95	4	2090.24				
	Var. Résiduelle 1	546.58	20	27.33				

Tableau 5: Analyse de variance des grains du pollen des deux espèces étudiées.

Paramètres	Source de variation	SCE	DDL	Carres moyennes	Test F	Prob	ET	CV
Nombre des grains fertiles	Var. total	60.11	5	12.02	3.43	0.1369	2.84	26.7 %
	Var. facteur 1	27.73	1	27.73				
	Var. Résiduelle 1	32.37	4	8.09				
Nombre des grains stériles	Var. total	6.55	5	1.31	9.38	0.0382	0.70	48.0 %
	Var. facteur 1	4.59	1	4.59				
	Var. Résiduelle 1	1.96	4	0.49				