

**UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA**  
**Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaire**  
Département d'Agronomie

## **MÉMOIRE DE MAGISTER**

en Agronomie

Spécialité : Amélioration des productions végétales

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'*OPUNTIA* ET PERSPECTIVES  
D'AMÉLIORATION

Par

**Benziane ADLI**

Devant le jury composé de :

|                       |                                       |                      |
|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| - A. BOUTEKRABT       | Professeur, USD de Blida              | Président            |
| - M. BOUDJENIBA       | Maître de conférences, E.N.S. (Kouba) | Examineur            |
| - M. S. ABDEL HUSSAIN | Maître de conférences, USD de Blida   | Examineur            |
| - T. HADJ SADOK       | M. A. Chargé de cours USD de Blida    | Examineur            |
| - F.Z. CHAOUCH        | M. A. Chargé de cours USD de Blida    | Directeur du mémoire |

Blida, Février 2007

## ملخص

الصبار نبتة متحملة للجفاف و قادرة على النمو بسهولة. هذه النبتة تحتاج إلى مجال خاص من الاهتمام في إطار تهمين الأراضي الفقيرة و الغير صالحة للزراعة بالمناطق السهبية. غراسة هذه النبتة يمكن أن يحد من آثار الجفاف في المنطقة السهبية سواء على المدى القصير أو على المدى الطويل. هذه المساهمة في دراسة الجنس *Opuntia* في الوسط السهبي أظهرت تنوع كبير بين شكلين من النوع *Opuntia ficus indica* Mill. و هما الشوكي و الأملس. الأنواع البيئية المحصية تبين تنوع على جميع الأصعدة: الظلف, الثمار, الأشواك و البذور. في الحقيقة هناك خمسة أنواع بيئية للشكلين الشوكي و الأملس للنوع *Opuntia ficus indica* Mill, و النوعين المجلوبين *robusta* var. *Opuntia robusta* و *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis*. يمكن أن نعتبر هذا التنوع كمخزون لتحسين القدرة على الإنتاج و على التأقلم. حيث أن الأنواع و الأنواع البيئية المحصاة تظهر قدرة على تخطي عراقيل الوسط السهبي. و تحسين بعض الخصائص المرغوب فيها في هذا الوسط, منها تحمل البرودة, المرد ودية العالية لإنتاج العلف و الثمار, ملوسة الظلف و خلاء الثمار من الأشواك و عدد اقل من البذور في الثمار.

الكلمات المفتاح: الجفاف, الجنس *Opuntia*, الشكل الأملس, الشكل الشوكي, التنوع, الأنواع البيئية, التحسين.

## RÉSUMÉ

Le cactus est une plante rustique, très résistante à la sécheresse, peut pousser facilement. Cette plante nécessite un regain d'intérêt particulier dans le but de rentabiliser les terres incultes et impropres à la culture des zones steppiques. La culture de cette espèce, peut à court ou à moyen terme limiter les effets de la sécheresse dans les zones steppiques. L'observation d'un phénotype dans un écotope donnée, devant permettre le choix des bons individus, au sein des communautés naturelles.

Cette contribution à l'étude de l'*Opuntia* dans le milieu steppique a révélé l'existence d'une très grande variabilité au sein de deux formes de l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill, épineuse et inerme. Les écotypes inventoriés montrent une variabilité à tous les niveaux : cladode, fruit, épine et graine. En effet, cinq écotypes ont été distingués pour les deux formes épineuse et inerme de l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill., et deux espèces introduites, dont *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* et *Opuntia robusta* var. *robusta*.

Cette variabilité constitue une base d'amélioration. Puisque les espèces et les écotypes inventoriés montrent des aptitudes capables de surmonter les contraintes du milieu steppique et d'améliorer certains critères recherchés pour ce milieu, qui sont une résistance au froid, un rendement fourrager et fruitier élevé, une absence d'épines pour la cladode et le fruit et un nombre moindre de graine par fruit.

**Les mots clés :** sécheresse, *Opuntia*, inerme, épineux, variabilité, écotypes, amélioration.

### SUMMARY

The cactus is a rustic plant, very resistant to the drought, can develop easily. This plant requires a particular renewed interest with an aim of making profitable the wastelands and unsuitable with the culture of the steppe region. The culture of this specie, can limit the effects of drought in the steppe zone, in the short or medium term. The observation of a phenotype in an ecotope, having to permit the choice of the good individuals, within the natural communities, This contribution to the study of *Opuntia* in the steppe revealed the existence of a very great variability within two forms of the species *Opuntia ficus indica* Mill, thorny and spineless. The inventoried ecotypes show variability on all the levels: *cladode*, fruit, spine and seed. Indeed, five ecotypes were distinguished for the two, thorny forms and spineless forms of the specie *Opuntia ficus indica* Mill., and two introduced species, of which *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* and *Opuntia robusta* var. *robusta*.

This variability constitutes a base of improvement. Since the inventoried species and ecotypes show aptitudes able to overcome the constraints of the steppe region and to improve certain criteria sought for this region, which are a resistance to the cold, a high yield in production fodder and fruit, a lack of spines for the *cladode* and the fruit and a less number of seed per fruit.

**Key words:** drought, *Opuntia*, thorny, spineless, variability, ecotypes, improvement.

## REMERCIEMENTS

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

- M<sup>me</sup> D<sup>r</sup>. Chouche F.Z. notre directrice du mémoire pour avoir accepté de diriger ce travail.
- Nous sincères remerciements au P<sup>r</sup>. Boutekrabt A. le responsable de l'axe de recherche sur l'Opuntia, et qui nous a fait un grand honneur de présider le jury.
- Nos profondes gratitudes au D<sup>r</sup>. Boudjniba d'avoir accepté de juger ce modeste travail.
- Notre respect à M<sup>me</sup> D<sup>r</sup>. Maria Stella d'avoir accepté d'évaluer ce travail.
- Nos remerciements vont également D<sup>r</sup>. Hadj sadok qui a accepté d'examiner notre travail.
- Le personnel du département d'Agronomie de l'Université Saâd Dahlab, Blida.
- Le personnel de l'H.C.D.S. surtout les deux commissariats régionaux de M'sila et de l'Est, dont nous tenons à remercier profondément M<sup>r</sup>. Roudjel S. ancien ingénieur du commissariat régionale de M'sila, pour leur accueil et hospitalité, sans oublier M<sup>r</sup>. Brouri L. cadre de l'H.C.D.S. pour son aide.
- Le personnel de la station de l'I.N.R.F. de Djelfa, pour leur aide, surtout M<sup>r</sup>. Brague Ahmed le responsable de cette station.
- Nous tenons à remercier l'ingénieur en géographie Harfouch Ben Hamza pour l'élaboration de la carte de situation, et l'ingénieur Arour Hichem pour la prise des photos.
- Nous tenons à remercier tous les gens qu'on a rencontré sur le terrain, et qui nous ont aidé à élaborer ce travail

## TABLE DE MATIÈRE

|  |     |
|--|-----|
| INTRODUCTION   | 06  |
| Chap. I HISTORIQUE ET RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE         | 08  |
| Chap. II BIOLOGIE ET RESSOURCE GÉNÉTIQUE DE L'OPUNTIA  | 16  |
| 2-1 Biologie   | 16  |
| 2-2/ Les ressources génétiques et amélioration         | 43  |
| Chap. III CULTURE, PROPAGATION ET INTÉRÊT DE L'OPUNTIA | 55  |
| 3-1/ Facteurs limitants de la culture d'opuntia        | 55  |
| 3-2/ Technique de propagation, culture et conduite     | 57  |
| 3-3/ Intérêt de l'Opuntia                              | 64  |
| Chap. IV MATÉRIEL ET MÉTHODE                           | 72  |
| 4-1 Matériel   | 72  |
| 4- 2 Méthode   | 83  |
| Chap. V RÉSULTAT ET DISCUSSION                         | 93  |
| 5-1/ Les formes inermes                                | 93  |
| 5-1-1/ Résultats                                       | 93  |
| 5-1-2/ Discussion                                      | 98  |
| 5-2/ Les formes épineuses                              | 101 |
| 5-2-1/ Résultats                                       | 101 |
| 5-2-2/ Discussion                                      | 108 |
| 5-3/ Caractéristiques des espèces et des écotypes      | 112 |
| 5-4/ Identification des atouts d'amélioration          | 126 |
| 5-5/ Perspectives d'amélioration                       | 129 |
| CONCLUSION   | 133 |
| RÉFÉRENCES   |     |

## LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Figure 2.1  | Coupe transversale de la cladode d' <i>Opuntia ficus indica</i>   | 20  |
| Figure 2.2  | vue de surface et coupe transversale d'un stomate.  | 22  |
| Figure 2.3  | : Schéma montrant l'organisation d'un apex d'angiosperme.   | 24  |
| Figure 2.4  | Cycle photosynthétique des plantes de type CAM.   | 39  |
| Figure 2.5  | Influence de la période de sécheresse, de la température de nuit, et de la lumière sur la prise net de CO <sub>2</sub> pour <i>O. ficus indica</i> .                          | 42  |
| Figure 4.1  | Carte de situation de nos zones d'étude.  | 76  |
| Figure 4.2  | Régime saisonniers des zones d'étude.   | 78  |
| Figure 4.3  | Répartition moyenne mensuelle du nombre de jours de la gelée des différentes zones d'étude pendant la période (1995-2004).  | 79  |
| Figure 4.4  | Les différentes formes de cladodes.   | 86  |
| Figure 4.5  | Différent formes d'épine centrale.  | 87  |
| Figure 4.6  | Les différentes formes de fruit de figuier de barbarie et de xoconostles.   | 88  |
| Figure 4.7  | Les différents ports de figuier de barbarie et de xoconostles.  | 89  |
| Figure 4.8  | Les différentes mesures des cladodes.   | 90  |
| Figure 4.9  | Axes et les trois majeures dimensions du fruit.   | 91  |
| Figure 5.1  | Ecotype de Kissa.   | 113 |
| Figure 5.2  | Ecotype de Belaiba.   | 115 |
| Figure 5.3  | Ecotype de Doukkara.  | 117 |
| Figure 5.4  | Ecotype de Choucha.   | 119 |
| Figure 5.5  | Ecotype de Zaâfrane.  | 121 |
| Figure 5.6  | L'espèce <i>Opuntia robusta</i> var. <i>robusta</i> .   | 123 |
| Figure 5.7  | L'espèce <i>Opuntia engelmannii</i> var. <i>linguiformis</i> .  | 125 |
| Tableau 1.1 | Réalisation de plantations d' <i>Opuntia</i> et superficies endommagées par les gelées dans certaines régions des commissariats régionaux de l'est et du centre de l'H.C.D.S. | 15  |
| Tableau 2.1 | Composition chimique de la pulpe et des graines des fruits d' <i>Opuntia ficus indica</i> .   | 35  |
| Tableau 2.2 | Les différences morphologiques entre les parents et leurs hybrides pour l' <i>Opuntia</i> .   | 45  |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau 3.1 Variation de propriétés granulométriques et chimiques des sols sous les plantations de cactus comparativement à celles sous Olivette. | 66  |
| Tableau 3.2 Valeurs typiques moyennes de la composition des cladodes utilisées en alimentation animale.   | 69  |
| Tableau 5.1 Les différentes observations effectuées sur les formes inermes.   | 93  |
| Tableau 5.2 Les différentes mesures et mensurations des formes inermes.   | 97  |
| Tableau 5.3 Comparaison des caractéristiques climatiques et édaphiques de la région de Kissa et de Belaiba.                                       | 100 |
| Tableau 5.4 Récapitulatif des caractères de différence entre les deux écotypes inermes.   | 100 |
| Tableau 5.5 Les différentes observations effectuées sur les formes épineuses.   | 102 |
| Tableau 5.6 Les différentes mesures et mensurations des formes épineuses.   | 107 |
| Tableau 5.7 Comparaison des caractéristiques climatiques et édaphiques des régions de Doukkara, Choucha et Zaâfrane.                              | 110 |
| Tableau 5.8 Récapitulatif des caractères de différence entre les trois écotypes épineux.  | 111 |

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

CAM : Crasulcean Acide métabolique.

f.: form.

WFP : World Food Programme.

O.N.U.: Organisation des Nations Unies.

FAO: Food and Agriculture Organisation.

D.R.S : Défense et restauration des sols.

I.N.R.A. : Institut national de recherche Agronomique.

H.C.D.S. : Haut Commissariat au Développement de la Steppe.

ATT : acides titrables totaux.

SST : solides solubles totaux.

GA<sub>3</sub> : acide gibbérellique.

NAD : nicotinamide-adénine-dinucléotide.

C3 : à métabolisme en C<sub>3</sub>.

FPP : flux des photons photosynthétiques.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

COPENA : Colegio de Postgraduados d'Escuela Nacional de Agricultura.

UAAAN : l'Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

cv. : Cultivar.

P : Précipitations.

dollars U.S.: La monnaie des U.S.A.

DH : Dirham, la monnaie du Maroc.

UF : Unité Fourragère.

M.S.: La matière sèche.

Cal : Calorie.

M= moyenne des maximum du mois le plus chaud.

m= moyenne des minimum du mois le plus froid.

Q<sub>2</sub> : l'indice pluviothermique.

D.H.S.: Distinction, Homogénéité, Stabilité.

U.P.O.V. : Union international de Protection des Obtentions Végétales.

A.N.O.V.A.: Analyse de la variance.

D<sub>g</sub> : le diamètre géométrique est exprimé en cm.

Ø : la sphéricité.

S : La surface de la peau est exprimée en cm<sup>2</sup>.



***L, l, E*** : la longueur, la largeur, l'épaisseur.  
Moy. : La moyenne.  
Et. : L'écart type.  
Min. et Max. : Le minimum et le maximum.  
Sign. : La signification.  
ns. : Non significatif.  
O.N.M. : Office Nationale de Météorologie.  
APHE : Automne, Printemps, Hivers, Eté.  
HAPE : Hivers, Automne, Printemps, Eté.  
mmho : Unité de mesure de la conductivité électrique.  
SC ef. : Somme des carrées des effets.  
dl ef. : Degré de liberté des effets.  
MC ef. : Moyen carrée des effets.  
SC er. : Somme des carrées des erreurs.  
dl er. : Degré de liberté des erreurs.  
MC er. : Moyen carrée des erreurs.  
F : Le F. observé de Fisher.  
P : La probabilité.  
RFLP : Restriction Fragment Length Polymorphism.  
RAPD : Rapid Amplified Polymorphic DNA.

## INTRODUCTION

En Algérie, les écosystèmes steppiques sont très fragiles. Actuellement, ils subissent des dégradations intenses, la végétation steppique méditerranéenne est réduite de 2%/an, ceci correspond à une réduction de 50% pendant une période de 35 ans [1]. Cette dégradation est due à la sécheresse, associée à des pressions anthropiques multiformes : pression démographique, déboisement, défrichement des parcours et réduction des espaces réservés au pâturage et surpâturage. La destruction du tapis végétal accentue l'érosion éolienne, favorise l'érosion hydrique et entraîne la disparition de nombreuses espèces végétales, exposant la région à la désertification. Cette dernière constitue une véritable menace pour toutes les régions arides et semi-arides. La régénération de ces dernières repose sur la plantation des plantes fourragères. L'utilisation de la culture de l'Opuntia est une alternative de premier rang. En effet, cette dernière possède une très grande adaptation aux conditions de milieu les plus critiques (aridité du climat, chaleur, terrains pauvres...) et possède, en outre ces qualités technologiques, une production en biomasse très efficace et d'une valeur fourragère acceptable. Ces critères permettent à l'Opuntia; premièrement de jouer un rôle dans la protection du sol par la constitution d'un micro-climat favorable au développement de la biomasse fourragère; deuxièmement, de jouer un rôle comme aliment de complément pour le bétail, surtout que la région est caractérisée par un mode de vie basé sur l'élevage. Troisièmement, la production fruitière afin de diversifier la production et d'engendrer des activités et des ressources supplémentaires pour l'économie des familles rurales; quatrièmement, l'usage en industrie, en apiculture et en médecine traditionnelle contribue ainsi à la valorisation de cette usine. Cette fortune peu exigeante, mérite d'être exploitée, il est déjà temps d'accorder plus d'importance à cette culture en la considérant en tant que telle, à l'instar de certains pays comme le Mexique, l'Italie, l'Afrique de sud et la Tunisie.

En Algérie, la culture de l'Opuntia se concentre dans les villes côtières, et dans certaines villes internes entre autres Tébessa. En plus, le haut commissariat au développement de la steppe (H.C.D.S.), a joué un rôle dans l'introduction de cette espèce, en réalisant plusieurs projets de plantations dans le cadre de grands travaux. En matière de recherches, malheureusement peu de travaux ont été réalisés. Des travaux ont été menés par le professeur Le Houérou en 1967 pour l'introduction de 67 espèces, clones et variétés, afin de tester leur comportement vis-à-vis du froid, dans la zone de Taâdmit (Djelfa). Pour

les publications, on cite celle de Khouri en 1970, qui est un récapitulatif de plusieurs observations faites dans des places d'essais et des pépinières à Ain Oussera et à BenHar (Djelfa). 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. La phase préliminaire, est celle de l'identification et de l'évaluation des ressources phytogénétiques ou de la variabilité du matériel végétal (variétés, formes, écotypes...etc). A la base de cette évaluation, nous pouvons tracer des perspectives d'amélioration de l'*Opuntia* dans le milieu steppique.

La présente étude rentre dans ce cadre. Nous avons effectué un inventaire des espèces naturalisées et introduites en vue de leur valorisation dans le milieu steppique. Nous signalons que l'espèce la plus répandue est *Opuntia ficus indica*. Espèce qui a prouvé son adaptation remarquable au milieu aride de l'Afrique du nord, surtout en Tunisie, en Algérie et au Maroc. Des études sur la variabilité (variétés, écotypes ...etc), ont été effectuées au Maroc en vue de leur amélioration. Ce qui constitue l'objet de notre étude, celle ci consiste à inventorier les variétés et les écotypes d'*Opuntia ficus indica* en milieu steppique, ainsi que les espèces introduites. Ce patrimoine peut constituer un gain génétique pour l'amélioration de l'espèce. Cette étude cherche à contribuer pour répondre aux questions suivantes :

- Y'a-t-il une variabilité à l'intérieur de l'espèce *Opuntia ficus indica* dans le milieu steppique en Algérie (formes et écotypes) ?
- Y'a-t-il des espèces introduites qui ont fait preuve de leur adaptation aux conditions du milieu steppique ?
- Comment peut-on exploiter cette variabilité (s'il existe) en matière d'amélioration ?

## CHAPITRE I

### HISTORIQUE ET RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

#### 1-1/ Historique :

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. et indiquant l'utilisation alimentaire de l'espèce à l'époque préhistorique [2].

Selon les spécialistes, les cultures du nopal remontent à 5000 ans avant J.C., son nom originel est "Tenochtitlan", soit « fruit de la pierre ». En 1587 les aztèques, l'utilisent sous le nom de "nopali". D'après les historiens, une prédiction indiquait que le peuple d'Azlan devait s'exiler, parcourir le continent et ne s'arrêter que lorsqu'il verrait percher sur un nopal (nom local du figuier de barbarie) un aigle en train de manger. C'est à cet emplacement que les aztèques devaient établir leur colonie. La prédiction se réalisa et ils fondèrent la ville Tenochtitlan qui devint par la suite Mexico. C'est en raison de cette légende, qu'existe sur le drapeau mexicain un aigle penché sur un nopal [3].

Cactus (*Opuntia spp.*) a été introduit en Andalousie avec le retour de la première expédition de Colomb, le 15 mars 1493 [4]. Après l'Espagne méridionale, les premières régions qui ont connu et ont évalué le figuier de barbarie, étaient l'Afrique du nord et la Sicile, en raison de la contiguïté géographique et les rapports socio-politiques avec la péninsule espagnole [5]. L'*Opuntia* est connue dans le bassin méditerranéen depuis le 16<sup>ème</sup> siècle ; sa distribution s'est étendue considérablement entre le 17<sup>e</sup> et le 19<sup>e</sup> siècle [4]. Cette distribution était devancée par l'expansion espagnole du 16<sup>e</sup> aux 17<sup>e</sup> 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 "Kermous Hindi" en arabe (c'est-à-dire la figue indienne) ou 'Hindi'. C'est des fruits qu'ils ont aimés, ils les ont alors planté autour de leurs villages [4]. L'expansion espagnole vers l'Italie et les îles méditerranéennes pendant ces siècles, paraît avoir joué un rôle semblable dans l'extension de l'*Opuntia*. L'introduction de cette espèce en Europe fut l'œuvre des colons espagnols pendant la première moitié du 16<sup>ème</sup> siècle [2].

En effet, la production des cladodes et des fruits de cactus inerme du figuier de barbarie, le 'Chumbera' d'Andalousie, ou 'Higo Mauro' de Catalogne, peut être relativement maintenue facilement dans un état frais pendant une longue durée. L'utilisation des fruits

constitue un des moyens les plus faciles pour prévenir et guérir le scorbut, qui décimait les équipages de bateaux de haute mer pour les longues expéditions [4].

Au 19<sup>ème</sup> siècle, aux îles Canaris, on faisait d'importantes cultures d'*Opuntia*, non pour ses fruits mais pour son parasite la cochenille, avec laquelle on obtenait un colorant rouge ; le carmin [3]. Quelques tentatives de culture de cochenille ont été faites, à Malte (1928), en Algérie (1834), et en Sicile (1860). Les tentatives d'élever des cochenilles sur *O. ficus indica* ou *Nopalea cochenilifera* ont échoué dans le secteur méditerranéen, vue que les cochenilles ne pouvaient pas supporter la combinaison des températures excessivement basses et des précipitations fréquentes en hiver [5].

Beaucoup de plantations ont été établies entre le 17<sup>e</sup> et le 19<sup>e</sup> siècle, le long des rivages méditerranéens et dans les îles atlantique central de l'est. Ces plantations étaient composées de nombreuses populations, de variétés, d'écotypes, de clones et de cultivars d'*Opuntia ficus indica* (L.) Miller, soit sous sa forme inerme, ou sous sa forme épineuse [4].

Les plantations étaient établies aussi pour l'élevage des cochenilles et la production de carmin rouge c'est-à-dire le vermillon ou de teinture de l'acide carminique. A l'origine ils ont utilisé *O.ficus indica*, ensuite *Nopalea cochenilifera* Salm-Dyck, mais seulement dans les régions où il n'y a pas de gelée [4].

C'est seulement au début des années 1920-1930, que cette culture a été établie pour la production du fourrage, essentiellement basé sur *O.ficus indica* f. *inermis*. Des opérations autour de la Tunisie et autres villes d'Afrique du nord, avant l'expansion des cultures irriguées en 1950 et 1960. Le fourrage était basé sur le cactus frais, le foin/paille et le grain de céréale. De telles plantations, produisent des rendements importants. Les plantations de l'*Opuntia* en tant que fourrage ont été développées systématiquement, surtout en Tunisie [4].

De nombreuses espèces ont aussi été introduites dans le bassin méditerranéen à des fins ornementales, mais seul *O.ficus indica* est devenue une espèce de signification agricole. La forme épineuse (f. *amyclaea*) est utilisée comme une haie défensive, tandis que la forme inerme (f. *inermis*) est utilisée soit pour la production de fruit, soit pour la production de fourrage [4].

## **1-2/ Répartition géographique :**

### **1-2-1/ Dans le monde :**

Toutes les *Opuntia* sont spontanées d'Amérique (Sud des Etats-Unis et Mexique), puis, elles ont été introduites dans le bassin méditerranéen, en Afrique du nord et en Australie [3,6].

- En Amérique ; au Mexique, le cactus semble avoir joué un grand rôle dans le développement de la civilisation mexicaine, la culture de l'opuntia est pratiquée à des fins fruitières et fourragères, par contre aux Etats-Unis (Texas et Arizona) et au Brésil, les opuntia sont surtout cultivées à des fins fourragères [3,6].

- En Afrique du sud et en Australie, le cactus est considéré comme une mauvaise herbe, en raison de la facilité avec la quelle, elle se propage [2].

- Pour le bassin méditerranéen, en Sicile, l'Opuntia est cultivée pour sa production fruitière et fourragère, les raquettes sont souvent utilisées en alimentation du bétail, et non seulement dans les périodes de disette d'été [3]. Les *Opuntia spp* étaient principalement développées, le long de la partie ouest de la Méditerranée : le sud de l'Espagne, le sud du Portugal, la Sicile, Calabria et l'Afrique du nord. Les principales régions sont situées en Sicile et en Tunisie, avec une surface approximative de 100.000 ha (hectare), et 300.000 ha, respectivement [4,7].

Au début des années 60, Calabre et Sicile comportent 106.000 ha. Ces plantations incluent plusieurs centaines de milliers de km de haies [4].

De vastes régions (des dizaines de milliers d'hectares), ont été plantées avec le support de plusieurs organisations internationales ; tel que le programme mondial de nourriture (World Food Programme "WFP") et l'organisation de la nourriture et de l'agriculture de l'O.N.U. (Food and Agriculture Organisation"FAO"). Cela a été réalisé à travers plusieurs projets qui ont duré quelques 15 années. Une superficie importante est récemment plantée en Tunisie centrale; quelques 70.000 ha, dont 50.000 ha ont été plantés entre 1970 et 1975. Des projets semblables ont été rendus effectifs en Algérie, mais sur moins de superficies et plus tard dans les autres pays nord –africains [4].

Le cactus, est présent dans le Proche Orient, mais il est beaucoup moins populaire que dans l'ouest méditerranéen, il semble que ceci est dû à des raisons climatiques et historiques.

Plusieurs raisons expliquent la distribution des cactus dans le bassin méditerranéen, entre autres les raisons historiques et les raisons climatiques. La région méditerranéenne de l'ouest a une distribution bimodale de chute de pluie ; en automne et au printemps.

Cependant, l'est de la méditerranée est soumis à un régime monomodale avec un seul sommet hivernal, donc une saison sèche plus dure et plus longue dans l'est que dans l'ouest ; ce qui est défavorable pour l'*Opuntia spp.*, bien que considérée naturalisée dans le Proche Orient [4].

Les cactacées ont pris un rôle considérable dans l'aménagement du sud-ouest méditerranéen; *Opuntia ficus indica* en Calabria, Basilicate, Puglie, Sicile, Sardaigne, Malte, Pantellaria, Corse et les Îles Baléares, sud-est de l'Espagne, Portugal du sud (Algarve) et le long des rivages de l'Afrique du Nord. Cependant l'*Opuntia stricta* Haw. Var *dillenii*, est moyennement dispersée dans la Tunisie (Djerba), la Libye (Misurata), et le sud du Maroc (Agadir), toutes ces régions ne présentent pas des périodes de gelée [4].

L'*Opuntia vulgaris* Mill. (= *O.compressa* McBr. = *O.humifusa* Rafin.) est aussi naturalisée, mais pas envahissante ou commune, sur les rivages nord de la méditerranée (Nice, Montpellier, Perpignan).

### **1-2-2/ En Afrique du Nord :**

Dans les régions de la steppe de l'Afrique du nord, les *Opuntia* ont suivi la transformation des tribus nomades en communautés rurales, donc représenté une étape intermédiaire entre le nomadisme et l'agriculture permanente "sédentarisation" [4].

L'*O. ficus indica* couvre dans son ensemble approximativement 200 000 ha en Afrique du nord[8].

En Afrique du nord, l'*Opuntia amyntea* et *O. ficus indica*, sont plantées depuis des siècles par le secteur traditionnel. Les fellahs utilisent le cactus pour faire des haies au tour de leurs champs et récoltent le fruit pour leur consommation personnelle et parfois pour la vente sur les marchés locaux. Les raquettes ne sont presque jamais distribuées aux animaux ; ces derniers se servent eux-mêmes en périodes difficiles [9].

En 1970, la Tunisie possède entre 60 et 80.000 ha de cactus, dont environ 35.000 ha pour la seule zone steppique de la Tunisie centrale. Ces surfaces ne comprennent pas les haies qui entourent les champs, les vergers et les vignobles. La Tunisie compte un total de 100.000 ha environ de cactus. La forme épineuse représente environ 80 % de la superficie totale [9]. Entre les années 1970 et 1975, une superficie de 50.000 ha est plantée en Tunisie centrale, avec le support de W.F.P et F.A.O.. Au cours du temps, cette superficie a évolué et a atteint environ 300.000 ha en 1996 [4].

Au Maroc, le cactus est diffusé et utilisé principalement dans le Rif, dans les plaines nord-ouest et nord-est, dans le plateau central, dans les plateaux atlantiques et

plaines, et dans les plaines du piedmont. Dans la région du Rif, les précipitations sont habituellement comprises entre 500 et 600 mm / an, cependant dans le sud il est facile de trouver des conditions naturelles et des plantations artificielles avec des précipitations de 200 à 400 mm/an.

En Algérie, le cactus est utilisé depuis très longtemps par les fellahs comme des haies autour de leurs champs [9]. Le fruit du cactus peut se trouver dans les régions côtières (Annaba) et les régions intérieures (Tébessa, Teniet El Had et Batna). Les paramètres des précipitations sont semblables à ceux rapportés pour le Maroc. Les formes épineuses et inermes sont présentes, et les deux sont utilisées. Les variétés inermes sont plus sensibles aux températures froides, c'est seulement la forme épineuse qui est trouvée sur les haut- plateaux [8].

Les *Opuntia* sont utilisées comme des plantes multifonctionnelles, au nord du Maroc et au nord de l'Algérie, il n'y a aucune culture spécifique pour le fruit ou le fourrage. Ils sont utilisés le plus communément comme clôture autour des fermes et petits villages, et comme des plantes brise-vent. Les pieds utilisés en clôtures sont aussi utilisés pour la production du fruit et, en cas de sécheresse, pour le fourrage. Les fruits, sont aussi récoltés à partir des plantations naturelles (sauvages), principalement en Algérie.

Dans les régions du sud des deux pays (Maroc et Algérie), les champs d'*Opuntia* sont petits, denses, à parcelles irrégulières. Bien que les fruits soient toujours consommés par la population et sont vendus sur les marchés, la production de fourrage ajoute aussi de l'importance à la culture [8].

### **1- 2-3/ L'*Opuntia* en Algérie**

Dés 1946, les services publics ont commencé les premières réalisations des plantations d'*Opuntia* dans les périmètres de défense et restauration de sols dans la région de Nedroma (Tlemcen) [6]. Depuis 1961, une collection importante de cactus et plusieurs places d'essais ont été créés par le service des forêts. Les premières plantations de cactus inerme ont été effectuées à Zérifa près de Bouira [9]. Selon le même auteur, la principale collection d'*Opuntia* se trouve au petit Atlas (Bois de Boulogne) actuellement, elle n'existe plus. La deuxième collection se trouve à la pépinière des forêts et de la D.R.S. à Chebli. Quant aux places d'essais, une à Benhar Kef Lefaa, près de Ain Oussera [6,9]. La deuxième à Ain Oussera, la troisième, appartient à l'I.N.R.A (Institut National de recherche Agronomique). se trouve à Taâdmit [9].



Des observations peuvent être tirées sur le comportement des espèces à Benhar et Ain Oussera. En effet certaines variétés se sont distinguées par leurs résistances aux rigueurs climatiques, tel l'*Opuntia robusta*. Les dernières observations de Mars 1974 à Djelfa, montrent la supériorité des espèces suivantes, *O. Mesacanta*, *O. Scheeri*, *O. Tomentosa*, *O. Robusta* (semis). Alors que d'autres espèces semblent résister: *O. ficus indica F. Tunzana*, *O. Streptacantha*. Les espèces qui souffrent notablement sont *O. Koddem*, *O. Maxima*, *O. Mojavensis*[6].

Une collection a été aménagée à la sortie de M'sila, en 1969, elle est composée d'espèces et de variétés qu'ont donné des résultats encourageants dans des conditions similaires notamment en Tunisie [10]. Plusieurs expérimentations entre les années 1969-1972 ont été menées et concernent l'effet combiné de l'irrigation et des apports d'engrais.

D'autres études ont été poursuivies à M'sila de 1970 à 1971 pendant près d'un an, en utilisant l'alimentation exclusive de jeunes béliers avec le cactus ad-libitum, de la paille d'orge et de l'urée. Ces études se révèlent satisfaisantes du point de vue du maintien du poids des animaux [11]. Les autres expérimentations, notamment celles de Ain Oussera et Benhar, concernent les aspects phénologiques et la résistance aux rigueurs climatiques [9].

Suite à la recherche des espèces et des clones tolérants aux différentes contraintes des zones arides (surtout le froids) en Afrique du Nord, des études sont menées en Algérie entre 1967-69, l'une d'elles comporte soixante sept espèces, cultivars et clones avec dix répétitions sont établies en moins de septembre 1967 à la station de recherche de Taâdmit (Djelfa). Certaines espèces ont montré une très grande résistance au froid; telles : *Opuntia compressa*, *Opuntia lendheimri*, *Opuntia linguiformis*, *Opuntia robusta* et *Opuntia winteriana*[4].

Des études menées sur l'impact des techniques de fixation biologique et de restauration des sols au niveau de la wilaya de Djelfa, en utilisant l'*Opuntia*, montrent que la plantation de ces espèces a permis [3] :

- une augmentation de la litière.
- une augmentation de la matière organique.
- une augmentation du couvert végétal.
- une augmentation de la richesse floristique.

D'autre part ; l'introduction de ces espèces dans les steppes algérienne, par le biais des grands travaux en 1994 par le Haut Commissariat au Développement de la Steppe (H.C.D.S), a permis la valorisation de l'intérêt porté à cette culture dans la région Est, et son introduction très encourageante au niveau des wilayates du centre et de l'ouest [3].

En ce qui concerne les taux de réussite des plantations de l'Opuntia réalisés par le H.C.D.S., les taux varient de 70% à 90% selon l'espèce et les conditions édaphiques, et cela dans les différentes zones steppiques à l'exception des zones près sahariennes, qui ont donné des taux de réussites de 95%. En matière d'offre fourragère, la production évaluée est de 400 à 600 UF/ha selon les régions [3].

La pratique de cette culture en milieu steppique a une double importance : la préservation des écosystèmes steppiques fragiles et une entrée de revenus des fellahs par les ventes des fruits, qui sont très appréciés, et l'utilisation des raquettes pour l'alimentation du cheptel.

La stratégie de l'H.C.D.S. consiste :

- A encourager les plantations individuelles dans les régions où la plantation des Opuntia est une tradition pour les populations.
- A établir des campagnes de vulgarisation et de sensibilisation, pour que les populations prennent conscience de l'importance de la protection nécessaire protection des espaces pastoraux, par les plantations d'Opuntia [3].

Selon les spécialistes de l'H.C.D.S. [3], l'analyse de deux campagnes de plantation d'Opuntia (94/95) et (95/96) montre pour la région est (Tébessa, Souk Ahras) qu'on enregistre une grande adhésion des populations. En effet 1460 agro-éleveurs ont réalisé la plantation de 4371 ha. Dans cette région, l'Opuntia est utilisée à la fois pour la production fruitière et fourragère. Au niveau de la wilaya de Bordj Boreidj, les plantations sont utilisées pour la production fruitière, l'adhésion est bonne, dont 210 agriculteurs ont réalisé 1023 ha. Cependant on note une faible adhésion dans la région de M'sila où 30 agriculteurs seulement ont réalisé 190ha [3].

L'introduction à titre expérimental de l'Opuntia dans les zones sahariennes (Sidi Rahal, Ksar El Hirane), a montré une très bonne adaptation aux conditions sahariennes. De ce fait, le H.C.D.S. a contribué dans le cadre des grands travaux à introduire cette espèce dans le milieu steppique, en tant que plante fourragère, et en tant qu'outil important pour combattre la désertification. Cependant la contrainte majeure dans le milieu steppique est la gelée, qui a décimé des centaines d'hectares dans certaines régions. On a observé la destruction de plus de 80% (5810,35 ha) des superficies plantées par le H.C.D.S. à Médéa. D'après les rapports de l' H.C.D.S. réalisés en 2005, les pertes sont dues à la période de neige (la fin de 2004 début de 2005) suivie par une période inhabituelle de gelée qui a débuté en Novembre 2004 et s'est prolongée jusqu'à Février 2005 (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Réalisation de plantations d'opuntia et superficies endommagées par les gelées dans certaines régions des commissariats régionaux de l'est et du centre de l'H.C.D.S..

| Wilaya            | Superficies réalisées | Superficies endommagées Par les gelées | Pourcentage d'endommagement |
|-------------------|-----------------------|--|-----------------------------|
| Tébessa*          | 3896 ha (93-97)       | --                                     | --                          |
| Souk Ahras*       | 3896 ha (93-97)       | --                                     | --                          |
| M'sila**          | 10076,57 ha (2000)    | 1825,35 ha (2005)                      | 18,1 %                      |
| Média**           | 7180 ha (2000-2004)   | 5810,77 ha (2005)                      | 80,93 %                     |
| Totale superficie | 25084,57 ha           | 7636,12 ha (M'sila, Média)             | 44,25 % (M'sila, Média)     |

\* : Valeurs de l'H.C.D.S. Est en 1998 [3].

\*\* : Valeurs extraites à partir des rapports de l' H.C.D.S. réalisés en 2005.

## CHAPITRE II

### BIOLOGIE ET RESSOURCE GENETIQUES DE L'*OPUNTIA*

#### 2-1 Biologie :

##### 2-1-1 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 [12].

Les betalains obtiennent leur nom de betterave rouge (le genre *Beta* chez les *Chénopodiaceae*), 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*, *Azoaceae*, *Amaranthaceae*, *Basellaceae*, *Chenopodiaceae*, *Didieriaceae*, *Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae* et *Portulacaceae* [12].

Les cactacées se divisent en trois sous-familles fondamentales; les *Pereskioïdées*, qui comportent la tribu *Pereskieae*, les *Céréoïdées*, qui comportent la tribu *Cereae*, les *Opuntioïdées*, qui comportent la tribu *Opuntieae* [12,13]. Ces tribus sont décrites par Britton et Rose [9]:

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

- La tribu *Cereae* : feuilles inexistantes, pas de soies glochidiées, fleurs pédonculées, graines 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 *Opuntieae* : feuilles précocement caduques, 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 [9], ont décrit les différences entre ces genres :

- Genre *Nopalea*: les fleurs ont des tépales dressés, des étamines exertes 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 qui sont classés d'après la forme des cladodes : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia* [2], dont leurs principales caractéristiques selon Britton et Rose [9], sont :

1/ sous-genre de *Platyopuntia* : Les cladodes sont aplaties en raquettes, c'est ce sous-genre *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 cladodes sont cylindriques

3/ sous-genre de *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 *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 lui fait penser à l'*Opuntia* américaine [13,14]. Ce sous-genre comprend environ 300 espèces décrites, du Canada à la Patagonie (Chile et Argentine), le Mexique comprend 104 espèces et variétés [13,2].

Les 300 espèces et variétés de *Platyopuntia*, se répartissent sur une trentaine de séries distinctes qui sont classées suivant, la taille, le port, les caractères des cladodes et leurs épines, la couleur des fleurs et les caractères des fruits [9].

Les séries, qui renferment le plus grand nombre de plantes intéressantes pour l'Afrique du nord et pour le bassin méditerranéen sont [9] :

- 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. occidentalis*, *O. mojavensis*, *O. camauchica*.
- Série *Elatiores*: *O. bergeriana*, *O. élatior*, *O. schemani*.
- Série *Elatae*: *O. vulgaris*, *O. Banaerensis*, *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 sub-désertiques).
- Série *Ficus Indica*: *O. ficus indica*, *opuntia maxima*, *O. lanceola*, *O. undulata*, *O. decumana*, *O. elongata*, *O. amyclea*, *O. Topona*.
- Série *Streptacanthae*: *O. streptacantha*.....
- Série *Robusta*: *O. robusta*, *O. demissa*, *O. camusea*.

### **2-1-2 Morphologie et anatomie :**

Les différentes espèces se classent dans la catégorie des arbres (5 à 6 m de hauteur) jusqu'aux formes rampantes prostrées, inférieures à 50 cm (centimètre). Avec des segments articulés, en forme de raquettes [15].

Les Cactacées sont largement caractérisées par la présence d'aréoles qui portent des glochides et des épines, d'une tige succulente avec un cortex vert et par le manque de feuillage [16].

Les Cactacées se distinguent par la présence des aréoles qui sont considérées comme des bourgeons axillaires. Ces aréoles produisent des feuilles, modifiées en épines de deux sortes ; les unes permanentes, se détachent difficilement et les autres petites, barbelées, et facilement détachables; ce sont les glochides [12].

#### **2-1-2-1 Système racinaire :**

Dès les premiers moments du cycle de la plante, y compris la germination, les racines sont essentielles pour la prise d'eau, l'acquisition minérale et l'ancrage de la plante [17]. *Opuntia ficus indica* est caractérisée par un système racinaire superficiel, latéral et fasciculé. La distribution des racines dépend du type de sol et des techniques culturales. Sous les conditions favorables, les racines pénètrent jusqu' à 30 cm 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 30 cm, et peuvent s'étendre latéralement de 4 à 8 mètres [16].

Le système racinaire de l'Opuntia est très complexe .Il peut présenter différents types de racines:

- **Les racines squelettiques (Skeletal roots) :**

Elles sont formées d'un squelette fondamental, de racines à peine fibreuses, 20 à 30 cm de longueur, qui vont bientôt former un périoderme, les bourgeons actifs ou

latents, se distribuait loin de la région apicale, sans un modèle régulier de distribution [16].

- **Les racines adventives :**

Elles sont celles qui se développent sur des organes, outre que les racines. Les cladodes d'*Opuntia ficus indica* peuvent produire aisément des racines adventives à partir des aréoles, à condition que ces dernières soient en contact avec le sol [17]. Les racines, qui se développent à partir des aréoles, produisent avec le temps un vrai système racinaire [16].

- **Root spurs:**

Celles-ci se développent à partir de la masse volumineuse des racines. Elles sont de deux sortes; les premiers sont des racines courtes, grosses et charnues avec beaucoup de chevelu racinaire, les secondes sont formées de deux ou trois racines sveltes et longues, semblables aux racines du système absorbant [16].

Il est très utile de noter que les racines peuvent s'associer avec des mycorhizes ou des bactéries. Il existe une relation entre l'absorption minérale et l'activité fongique ou microbienne dans la rhizosphère. Ainsi que l'association mycorhizienne peut se produire avec le système racinaire de nombreuses espèces de cactacées. Des associations mycorhiziennes ont été trouvées chez les cactacées des forêts tropicales, qui comprennent *Opuntia excelsa* et *O. puberula*. Pour les bactéries fixatrices de l'azote, il a été trouvé que l'espèce *Azospirillum lipoferum* s'associe généralement avec les racines de plusieurs espèces d'*Opuntia* en Inde. Une autre espèce se développe dans la rhizosphère de l'*Opuntia ficus indica* c'est *Azospirillum brasilense* [17].

### **2-1-2-2 Cladodes:**

Comme organe, les cladodes constituent la tige, sont succulentes et leurs formes sont typiquement oblongues à spatulées oblongues, habituellement, elles mesurent de 30 à 40 cm de longueur, quelque fois elles arrivent jusqu'à 80 cm, et 18 à 25 cm de largeur [16]. 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[18].

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 (Figure 2.1).

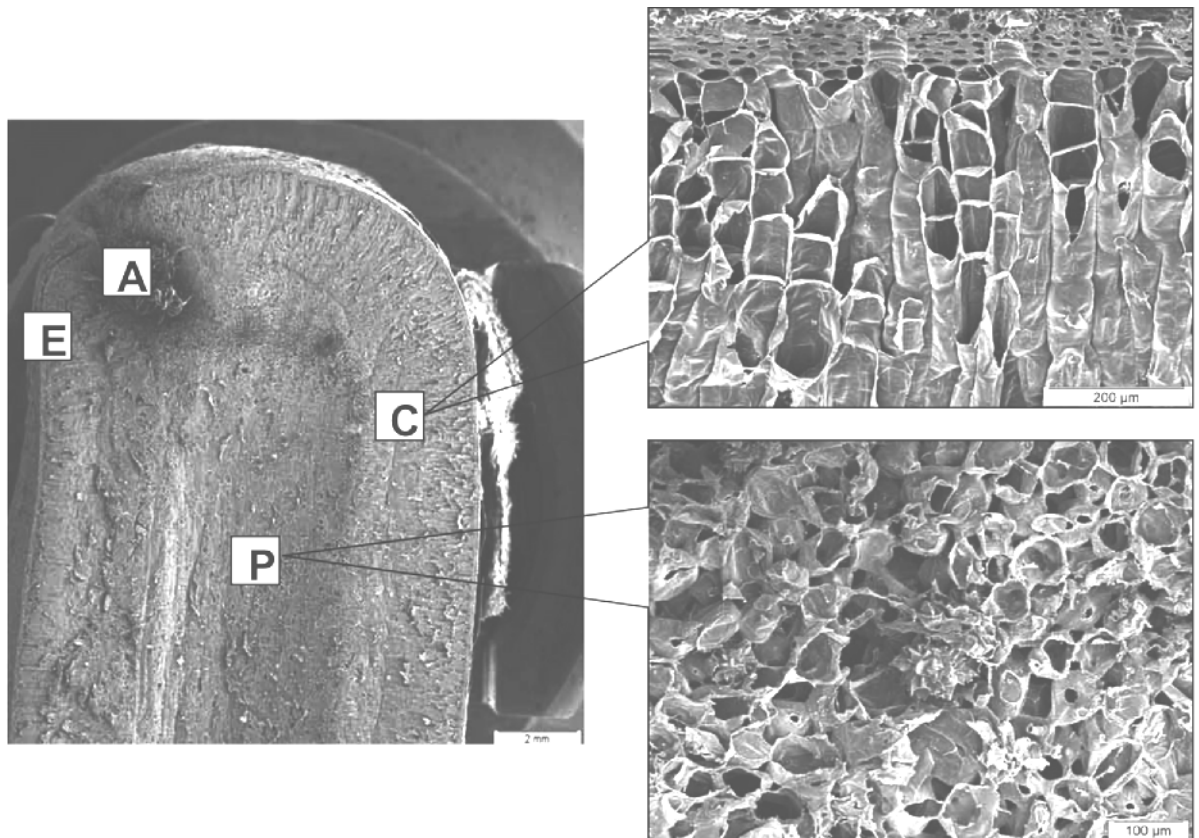


Figure 2.1: Observation au microscope électronique à balayage d'une coupe transversale de la cladode d'*Opuntia ficus indica* : E : cellules épidermiques ; A : domaine de l'aréole ; P : cellules parenchymateuses ; C : cellules du collenchyme [19].

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 [16].



### **2-1-2-2-1 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 montre des stomates.

L'épiderme a trois fonctions majeures [16]:

1/ Régler le mouvement de l'entrée du dioxyde du 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.

L'épiderme de la tige de l'*Opuntia ficus indica* est réduit à une seule assise de cellules à paroi cellulosique. Il est protégé par une mince cuticule imperméable de nature lipidique, la cuticule de cactus, en comparaison avec la cuticule de la plupart des plantes, et est relativement épaisse (8 – 20  $\mu\text{m}$  chez *O. ficus indica*).

Cette couche constitue un mécanisme pour minimiser la transpiration cuticulaire, et c'est cette couche qui donne l'apparence glauque des cladodes. La surface cireuse, rugueuse autour des cellules épidermiques, présente plusieurs fonctions, dont l'équilibre de l'eau, ainsi la cuticule empêche la perte de la vapeur d'eau des plantes (transpiration) [16].

### **2-1-2-2-2 stomates:**

Les stomates sont distribués également sur les deux côtés de la surface des cladodes. Ils sont distribués aléatoirement avec une densité faible. *O. ficus indica* présente habituellement 15 à 35 stomates/  $\text{mm}^2$  [16].

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 [16] (Figure 2.2).

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 atteint la surface des cellules épidermiques. La surface épicuticulaire éclaire ces cellules et les stomates peuvent être observés par conséquent avec un grossissement faible [16].

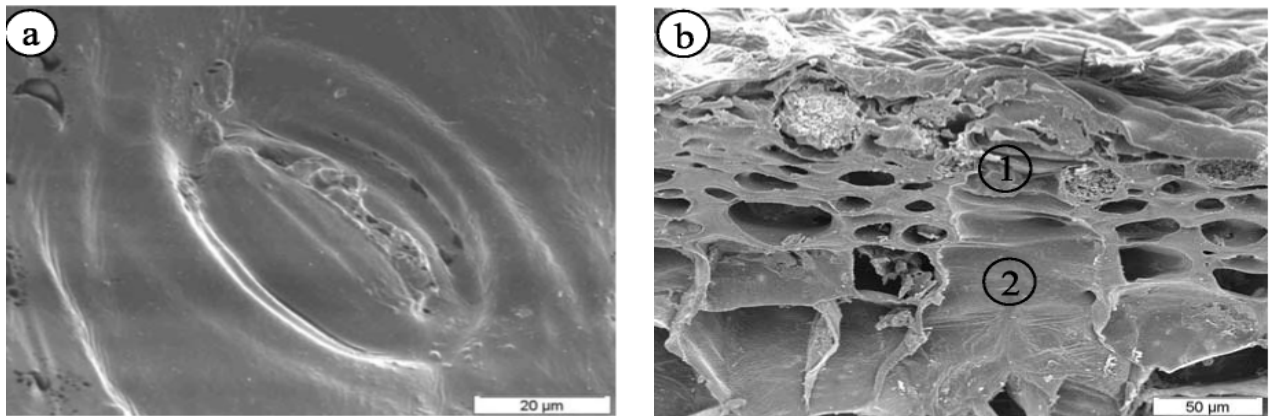


Figure 2.2: (a) : vue de surface d'un stomate au microscope électronique à balayage; (b) : coupe transversale d'un stomate: (b-1): Ostiole, (b-2) : chambre sous-stomatique [20].

### **2-1-2-2-3 Aréoles :**

Les bourgeons axillaires du cactus sont représentés par les aréoles ovales, situés à 2mm au dessous de la peau. Sous des conditions appropriées, les nouvelles cladodes, fleurs ou racines développeront à partir des tissus méristématiques des aréoles. Pour *O. ficus indica*, les aréoles sont distribuées d'une façon hélicoïdale, et elles développent plutôt des épines que des feuilles [16].

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 [21]. 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 messagères 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 sont variables pour l'Opuntia selon l'environnement.

Avec le nombre élevé de cellules dans le méristème, le besoin de divisions cellulaires est moindre. Cela peut aider à préserver l'intégrité génétique de la plante. Les méristèmes apicaux de l'Opuntia sont bien protégés par les primordia foliaires, les épines et les glochides contre les radiations et autres facteurs qui peuvent aussi causer un endommagement génétique [21]. Cette protection fournit une réduction d'exposition aux radiations photosynthétiques actives, une modération de la température, et un moyen de défense anti-herbivores. Les feuilles, bien qu'elles ne durent pas généralement longtemps, peuvent aider dans la transpiration, durant la croissance de la pousse, puisque les feuilles ont beaucoup plus de stomates que les pousses [21].

#### **2-1-2-2-4 Les épines et glochides:**

La présence des épines est la caractéristique spéciale de l'aréole. Leur morphologie a une signification taxonomique potentielle [21]. Il est possible de distinguer deux types: les épines et les glochides. Les glochides et les épines sont morphologiquement comparables aux feuilles, et les différences entre eux sont quantitatives; les deux types sont dérivés à partir de la tunica et du corpus, comme le cas des primordia foliaires [21]. Le primordium foliaire prend naissance à partir de l'anneau initial qui montre le caractère méristématique. Le méristème caulinaire est constitué d'une ou de quelques assises superficielles, la tunica, à l'origine de l'accroissement périphérique de la surface, par multiplication anticline des cellules, cellules de dimension réduite mais à cytoplasme abondant; sous la tunica, des cellules plus grandes à divisions parfois périclines qui permettent l'accroissement en volume constituent le corpus [22] (Figure 2.3).

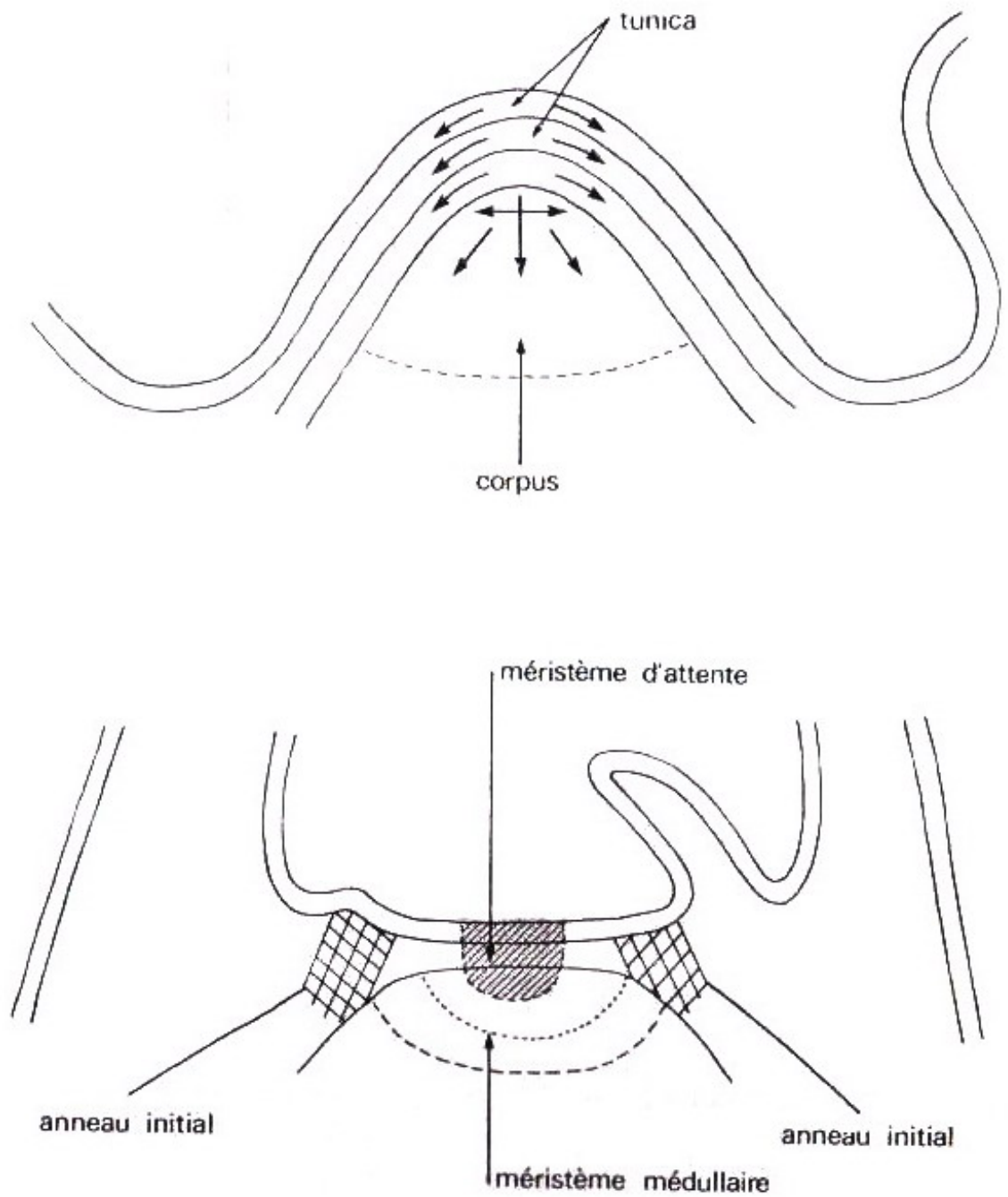


Figure 2.3 : Schéma montrant l'organisation d'un apex d'angiosperme [22].

Les épines sont attachées à la base par le liège, afin qu'elles ne soient pas enlevées facilement. Ce liège empêche la perte de l'eau, et empêche les épines d'être enfoncée aisément dans le parenchyme sous-jacent, quand un objet solide entre en contact avec elles. Il réagit comme un moyen de dispersion, souvent quand les épines s'accrochent sur la peau d'un animal [21].

Le nombre et la dureté des épines et des glochides de l'*Opuntia ficus indica* dépendent de la variété. Habituellement, les épines sont présentes dans la première phase de croissance des cladodes, et la plupart d'entre-elles tombent avec l'augmentation de la température, seulement parfois quelques épines restent à la base des cladodes pour une longue période [16].

La distinction de la sous-famille des Opuntioideae est très facile à cause de la surface rugueuse des glochides et des épines. Pour *O. ficus indica*, les épines ont une surface rude, alors que les glochides présentent une surface lisse; et sont arrangés en groupes de 7 à 12 dans les cavités des aréoles [16].

Les épines sont blanches, une ou deux parmi elles sont longues de 1 à 1.5 cm. Chacune des épines longues est accompagnée par deux plus petites, avec le durcissement des sommets des épines, le méristème fondamental continue à s'allonger. Les spécimens de la même espèce d'*Opuntia*, coupés également de la même plante, peuvent montrer différentes longueurs d'épines, variant de quelques mm à 8cm de longueur, quand elles croissent sous des conditions différentes [21].

La formation des épines est souvent plus spectaculaire en milieu naturel qu'en milieu cultivé [21]. D'après Gamong cité par Buxbaum [16], les glochides sont minuscules, courtes et multicellulaires ; il est suggéré que les deux premières "épines" d'aréoles, pourraient être des stipules où les cellules lisses et allongées (14-16 cellules) forment une chaîne et ne deviennent pas sclérosées.

La couleur des épines est différente, pour les cactacées en général, la couleur des épines jeunes, 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 [21].

Les épines sont des feuilles modifiées, produites par le méristème apical de la pousse courte. Elles proviennent de plusieurs cellules sub-épidermiques qui se divisent pour former un dôme de cellules [21].

Les glochides sont caduques. Les formes de transition épine-feuille et glochide-feuille apparaissent lors de l'extension de l'aréole. Ces formes de transition démontrent l'homologie de structure entre épines, glochides et feuilles [21].

Les glochides sont groupées en 4 à 6 groupes serrés. Dans lesquelles, il est possible de distinguer deux ou trois plus longues, avec une structure semblable aux épines. Elles sont dures, sclérosées et pointues; leur surface est couverte par des écailles barbelées. Pour *Opuntia ficus indica*, elles sont caduques et s'enlèvent facilement, quand elles sont touchées ou soufflées par le vent [16]. Il est possible de trouver des formes de transition entre les glochides et les épines, sur le côté dorsale de l'apex de l'aréole. Ces formes de transition ; glochide-épines sont plus larges que les glochides typiques, et peuvent paraître comme de petites épines, mais elles se détachent facilement comme les glochides. Les épines se détachent facilement pendant la période de croissance, quand les cellules du méristème basal sont très minces [21].

Il est peut être difficile de distinguer la forme de transition de l'épine immature. Cependant, la différence sera apparente quand l'épine devient mûre, comme elle ne peut pas être enlevée facilement à cause des cellules méristématiques basales qui forment une paroi dure et chaque épine est attachée aux aréoles par les cellules de liège [21].

Enfin, il paraîtrait que les épines et les glochides ont beaucoup de fonctions. 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 [16].

### **2-1-2-3 La fleur:**

#### **2-1-2-3-1 Les bourgeons floraux:**

Nous avons vu que les bourgeons axillaires sont les aréoles chez le cactus, ils sont très tôt développés à l'aisselle des primordia foliaire. Les épines et les glochides se développent prématurément. Après une période de temps variable (long ou court), les méristèmes au centre de la dépression des aréoles entrent en dormance. Quand, ils reprennent l'activité et croissent comme une longue pousse au lieu d'une pousse courte, ils forment une branche avec des feuilles et des aréoles, où ils produisent un genre de longue pousse, super-modifié; c'est la fleur. De ces méristèmes, seulement une fleur ou une pousse de cladodes est formé par aréole [16].

L'Opuntia peut avoir des fleurs terminales, comme pour le sous-genre de cylindropuntia, ou des fleurs latérales, comme pour *Opuntia engelmannii*; un membre du sous-genre de Platyopuntia [21].

Quand le bourgeon émerge, il est possible de savoir, s'il est végétatif ou reproducteur selon son volume spatial. Le bourgeon reproducteur est plus sphérique, alors que le végétatif est plus plat. La proportion des bourgeons floraux par rapport aux bourgeons végétatifs est de 3 pour 1, et 10% des cladodes peuvent avoir les deux genres de bourgeons dans une égale proportion. Les deux genres de bourgeons peuvent se développer sur la surface la plus éclairée de la cladode [16].

### **2-1-2-3-2 la fleur proprement dite :**

Les fleurs sont hermaphrodites et actinomorphes; elles se développent sur la partie supérieure d'une cladode âgée, d'un ou deux ans, et parfois sur une cladode de trois ans. Les bourgeons floraux peuvent se développer sur la surface la plus éclairée de la cladode [16].

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. La partie stérile de la fleur est représentée par le périclype. Il y a peu de différence entre les sépales et les pétales. Les sépales sont plus petits, mais les deux sont oblongues et amorcées à la base, avec une couleur jaune brillant ou rose. Les fleurs de couleur jaunes changent à orange ou au rose après la fécondation [16]. Les fleurs de différents Opuntia ont des nuances variées, y compris vert, jaune, ou rouge, mais rarement blanche [21].

Les nombreuses étamines sont fixées à la base et sont insérées à la cavité du réceptacle dans un arrangement fasciculé, se développant d'une façon centrifuge, de telle façon que le verticille inférieur est au-dessous du pistil et le supérieur est au-dessus du stigmate. Les filaments sont libres et les anthères produisent une grande quantité de grains de pollen sec, qui mûrissent avant la maturité des ovules "protandrie" [16]. Les étamines de l'Opuntia sont plus ou moins sensibles, ainsi les étamines les plus sensibles sont déployées en premier lieu, mais elles se serrent, quand elles sont stimulées par un insecte. Les étamines serrent alors l'insecte, près du gynécium de telle façon que l'insecte doit lutter pour en sortir, ce processus permet d'enlever les grains de pollen portés par l'insecte [21].

Au début de la floraison, les étamines sont serrées au style et les anthères sont en contact avec la base du pistil. Les protandries expliquent le processus d'autogamie

(Cléistogamie). La pollinisation est entomophile; quand la fleur est ouverte, le stigmate est supérieur aux étamines [16].

Le pistil a un style large à la base, et un stigmate coupé, granuleux et visqueux, formé de dix loges ou parties avec une forme semblable à celle d'une anthère. L'ovaire est uniloculaire (une loge), formé de cinq carpelles et a une placentation pariétale. Pour l'*Opuntia sp.*, le funicule est svelte et relativement long, les ovules ont trois vrais téguments. Le tégument intérieur est loin des téguments extérieurs, le troisième tégument est une partie modifiée d'un des deux téguments normaux, et il enveloppe complètement l'ovule [16].

Les ovules sont des circinotropes, puisque le funicule entour l'ovule et couvre le micropyle comme un troisième tégument épais. La surface intérieure du funicule est couverte avec des poils courts ou des papilles, exactement au point où le funicule touche le micropyle [16].

Les fleurs du cactus sont assez variables, mais il y à quelques traits généraux qui sont partagés par la famille entière. L'ovaire de la fleur est complètement enfoncé dans la tige. En générale, pour les plantes à fleurs, les vaisseaux vasculaires rentrent dans l'ovaire par la tige inférieur. Alors que pour les fleurs de cactus, les vaisseaux vasculaires rentrent par le sommet et les cotés de l'ovaire [12].

### **2-1-2-3-3 Le grain de pollen:**

Le grain de pollen a une couche épaisse, "l'exine", dont la fonction est protectrice. Elle change de volume selon l'humidité. La couche interne est l'intine, elle est mince et peut s'adapter facilement aux changements en dimension. Les modèles de l'exine ont une valeur taxonomique phylogénétique, comme la structure de la paroi, qui peut devenir très épaisse et complexe, et la couche externe est sculptée avec des arrêtes projetées, des épines et des granules [16].

Chez *Opuntia sp.*, les grains de pollen sont sphéroïdes, réticulés et nombreux. Il est possible d'observer des tubes polliniques germés sur la surface épidermique glandulaire du canal large du style, 24 heures après la floraison. La fécondation de l'ovule commence graduellement, 48 heures après la floraison et continue pendant 10 jours. Ce type de fécondation est nommé le model "progamitique". Le nombre moyen des ovules fécondés par fleurs dépend de la variété [16].



#### **2-1-2- 4 les fruits:**

Le fruit est une baie charnue simple. Il devrait être considéré comme une fausse baie, puisque le fruit est formé par un ovaire inférieur coulé sur le tissu du réceptacle [16,23].

Le fruit du cactus est réellement une combinaison amorcée du péricarpe (réceptacle) et l'ovaire mûre [12].

Les baies peuvent être juteuses ou sèches, épineuses ou inermes et souvent comestibles. Quelques espèces ont des fruits qui deviennent secs quand les graines sont mûres. Les fruits peuvent rester longtemps sur les pieds, dans certains cas le fruit change de couleur au fur et à mesure de sa maturité. La maturité peut prendre deux années pour certaines *Opuntia* [21]. La pulpe est formée de l'excroissance provenant des cellules épidermiques du funicule et de l'enveloppe funiculaire [16].

La pelure du fruit du cactus provient du réceptacle, elle a la même morphologie que la cladode; un épiderme avec des feuilles éphémères et des aréoles parfaites, dont les glochides sont plus permanents que dans les cladodes. Cependant la pelure est constituée d'un hypoderme maigre (svelte) et d'un cortex volumineux, beaucoup de cellules du mucilage, mais pas de cristaux [12]. Les comparaisons entre le développement de la pelure et la portion comestible révèlent que l'augmentation de la pelure est plus grande pendant les premières semaines, après la floraison. Alors que les portions comestibles commencent à s'étendre en particulier durant les dernières cinq à six semaines de maturité. Le diamètre équatorial représente le mieux le poids frais et sec du fruit, alors que la dimension du fruit dépend du nombre des graines fécondées et avortées [16]. Cependant la cause d'avortement des graines n'est pas encore élucidée.

#### **2-1-2-5 les graines:**

Le fruit contient un nombre élevé de petites graines, de couleur noir [23]. La graine constitue la forme la plus commune de reproduction chez les cactacées, elle ne peut pas germer dans le fruit à cause de la présence des inhibiteurs de germination, comme c'est le cas de la tomate et du melon [21]. Les graines d'*Opuntia* peuvent garder leur aptitude à la germination pendant environ 20 ans [13,21].

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 [16].

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 [16].

### **2-1-3/ Biologie reproductive :**

#### **2-1-3-1/ Fertilité des cladodes :**

Les fleurs de cactus apparaissent principalement sur les cladodes terminales durant la période qui précède la période de croissance. Bien que les cladodes subterminales produisent également des fleurs. Comme les bourgeons végétatifs, les bourgeons floraux s'initient en générale à partir des aréoles situées le long du bord des cladodes, principalement le bord supérieur. Les principales cladodes productives, sont celles produites l'année précédente [24].

L'émergence des bourgeons se produit d'abord, sur les vieilles cladodes et plus tard sur les nouvelles. L'accomplissement de la fertilité des nouvelles cladodes est associé à l'augmentation du poids sec de 29g au début de l'éclosion à 60g à la fin de l'éclosion.

Presque tous les bourgeons floraux donnent des fruits, le nombre des fleurs produites par une plante est en fonction du nombre des cladodes fertiles et le nombre moyen des bourgeons floraux par cladode [24].

Les cladodes terminales ombragées sont habituellement stériles. Tandis que pour celles exposées à la lumière, la plupart produisent un certain nombre de bourgeons floraux qui varie entre zéro à vingt ou plus. Dans le cas d'une plantation à rendement alternatif, les rendements bas de la mauvaise année a été associé au réduction de l'initiation des bourgeons floraux, mais le taux de formation des cladodes terminales, restait le même pour les années de bonne ou mauvaise production [24].

#### **2-1-3-2/ L'évocation des bourgeons floraux :**

Au printemps, le processus entier de croissance des bourgeons floraux, prend environ six à sept semaines, de l'initiation des bourgeons jusqu'à la floraison [24,25].

Dans la région sub-tropicale, l'initiation des bourgeons floraux se produit au printemps, après un hiver froid, où les températures s'élèvent et la longueur du jour augmente; en Mars à Avril dans l'hémisphère nord et Septembre à Octobre dans l'hémisphère sud. Il semble que la production des bourgeons floraux, soit induite par les basses températures et par l'augmentation de la longueur du jour. Des observations sur le champ montrent clairement qu'une augmentation de température, augmente l'initiation des bourgeons floraux après l'hiver [24].

La longue période de bourgeonnement peut être écologiquement avantageuse dans les environnements où les gelées printanières tardives peuvent affecter les premiers bourgeons floraux, comme dans les régions d'origine [24].

Les signes de la structure d'une fleur peuvent être détectés sous le microscope, quand les bourgeons atteignent une longueur de 4 à 5 mm. Les étamines se différencient rapidement en une paire d'anthères chacune à deux sacs polliniques [25].

L'enlèvement de l'éclosion du printemps, induit une deuxième éclosion des fleurs quelques semaines après [24]. Cette habilité est largement exploitée par les fermiers, dans différents pays pour obtenir des récoltes tardives [26].

La pratique courante en Sicile appelé "Scozzolatura" consiste à enlever toutes les nouvelles cladodes et fleurs pendant la floraison, la production de la nouvelle éclosion est récoltée entre mi-October et début Novembre, 7 à 11 semaines plus tard que la récolte régulière [24], alors qu'en Italie la récolte de la deuxième floraison se fait 30 à 40 jours (4 à 8 semaines) plus tard [26]. La période d'enlèvement des fleurs affecte le pourcentage de la deuxième floraison, le temps de développement et de la maturité du fruit [26].

Il a été ainsi montré récemment que le degré de la deuxième floraison, est linéairement corrélé avec la rigueur d'enlèvement des nouvelles cladodes, cependant l'enlèvement de nouvelles cladodes est moins crucial pour la floraison que l'enlèvement de nouvelles fleurs [24].

La floraison du cactus n'est pas limitée au printemps, elle peut se produire quand le sol est humide. Les fleurs peuvent apparaître sur les plantes de cactus à tout moment, pendant la saison chaude. L'émergence de bourgeons mineurs d'automne de valeur commerciale, avec des fruits qui mûrissent en hiver, a été rapporté dans des plantations situées dans les vallées de Santa Clara de la Californie, au Chili et en Afrique de Sud [24].

### **2-1-3-3/ Les besoins de pollinisation :**

La fleur de cactus est hermaphrodite ; elle s'ouvre pendant le jour. La plus part des fleurs s'ouvrent tard le matin (type A), bien que certaines s'ouvrent l'après – midi (type B) [24]. L'exemple des fleurs du type A, concerne l'espèce *Opuntia restrera*, alors que pour l'autre type (B), c'est l'espèce *Opuntia ficus indica* [25].

Toutes les fleurs se ferment le soir, cet événement marque la fin de la floraison pour celles du type A ; mais pour le type B la floraison reprend le matin suivant, les fleurs se ferment définitivement le soir [24]. Cependant ; on a observé que les deux types de fleurs s'ouvrent nouvellement pour une journée supplémentaire pendant les heures du matin. Le temps est relativement court pour que les fleurs puissent être visitées par les insectes, ce comportement doit être considéré comme une adaptation pour réduire les pertes en eau dûes à la transpiration [24].

La déhiscence des anthères commence avant la floraison. Pour *Opuntia ficus indica*, la déhiscence commence onze heures avant la floraison ou au moment de la floraison [25]. Les anthères touchent le pistil pendant l'ouverture des fleurs, posant ainsi des grains de pollen sur le stigmate (pseudo-cleistogamie) [24].

En dépit de l'autogamie, une visite des pollinisateurs augmente le nombre d'ovules fertilisés. Les fleurs sont visitées par des abeilles de diverses espèces [24]. Bien que les fleurs ne restent ouvertes que pendant une courte période, les stigmates sont couverts par un nombre relativement élevé de grains de pollen. La germination des grains de pollen commence 2 à 4 heures après le dépôt du pollen sur les stigmates. Les tubes polliniques se développent rapidement, car pendant 24 heures après l'ouverture des fleurs ils atteignent la base du style. Les premiers tubes polliniques peuvent atteindre le micropyle de l'ovule pendant trois jours après l'ouverture de la fleur [24].

Le nombre de graines par fruit est très variable, cette variabilité est dûe probablement à la variation du nombre initiale des ovules, quoique la pollinisation efficace, peut également jouer un rôle substantiel [24].

Une haute corrélation positive a été trouvée entre le poids du fruit et le nombre de graine. Ainsi que la disponibilité des pollinisateurs et des conditions appropriées pour la pollinisation, sont nécessaires pour produire de grands fruits [24].

#### **2-1-3-4/ Développement de fruits et maturation :**

Les fruits des *Opuntia* sont uniloculaires et polyspermiqes, on peut distinguer trois types de fruits :

- Fruit juteux (contient des graines entourées par une pulpe et une peau très maigre) ;
- Fruit sec (seulement des graines sans pulpe et une peau maigre) ;
- Fruit xoconostle (graines avec une légère pulpe et une peau épaisse et acide) [25].

Les changements de la dimension et du poids frais pendant la période de maturation des fruits tardives (Sicile) et d'une récolte d'été (Palestine occupée) d'*Opuntia*, montrent une double courbe sigmoïde se composant de trois phases consécutives distinctes

- (1) Une croissance rapide, débutant juste après la floraison.
- (2) Une croissance suspendue.
- (3) Une accélération finale de croissance après le début de changement de la couleur qui dure plusieurs jours [25].

Les trois phases montrent approximativement la même longueur. Alors que la période entière de la croissance du fruit dure 80 à 90 jours. Un gain considérable pour le

poids frais et sec s'est produit pour la peau dans la phase II et dans la phase III. Le fruit arrive à sa taille normale après une période dépendant des conditions environnementales. La croissance est augmentée par temps chaud, plutôt que par temps froid [24].

Le poids du fruit de l'*Opuntia ficus indica* est affecté par l'ordre d'émergence des bourgeons, et par la charge de la cladode en fruit. En effet, les bourgeons floraux qui émergent précocement produisent des fruits plus lourds que ceux produits par les bourgeons tardifs [25].

Plusieurs changements chimiques et physiques associés avec la maturation ont été signalés pendant la phase de croissance rapide de la pulpe du fruit. La teneur de divers composants de la pulpe du fruit tel que la matière sèche, les fibres brutes, les pectines, les acides titrables totaux (ATT), la cendre, les graisses et les protéines, se sont avérés diminuer jusqu'à peu avant la maturation (70 jours après floraison). Tandis que la teneur des solides solubles totaux augmente dans ce temps. Les sucres ont continué à s'accumuler pendant la maturation (85 à 100 jours après la floraison). La fermeté du fruit a diminué jusqu'à la maturation. La couleur de la peau commence à changer à 70 jours après la floraison, ainsi la peau et la pulpe sont profondément colorés (jaunes, rouge ou blanc selon les cultivars) 85 à 100 jours après la floraison [24].

Un index commun pour la récolte du fruit est le début de changement de la couleur de la peau. Ceci peut être complété par la mesure des solides solubles totaux (SST). Pour plusieurs cultivars, les valeurs des SST de 10 à 13 indiquent la maturité. La maturité de la pulpe de *Opuntia ficus indica* est liée au contenu des solides solubles. La pulpe fraîche a une teneur minimale de cendre de 0,44%, de protéines de 0,21%, de graisses de 0,12%, de pectines de 0,19% et de fibres de 0,02% (Tableau 2.1). Les sucres comprennent le glucose et le fructose (6 : 4 ratio). Seulement des traces de vitamines A ( $\beta$  carotène), 22,1 mg de vitamine C et 47,30 Kcal sont enregistré dans 100g de la pulpe fraîche. Elle est riche en K, avec un niveau acceptable de Mg, Ca, P et pauvre en Na et Fe, l'acidité de la pulpe (pH = 5,75) résulte de sa teneur en acide citrique qui est de 0,18%. [25]. Les fruits de cactus présentent des valeurs nutritives similaires à celle d'autres fruits. Il est important de noter que le contenu en solides solubles est plus élevée que chez d'autres fruits tels la pomme, l'abricot, la poire, la pêche et le melon. La majorité des sucres sont de type réductible, environ 53% de glucose, le reste est du fructose [27].

Le contenu du fruit en protéines, graisses, fibres et cendre, est semblable à d'autres fruits. Le contenu en acides aminés (257,24 mg/100g) est plus élevé que la moyenne des autres fruits; cette valeur est trouvée seulement chez le raisin et le citron. Le fruit de cactus

montre un niveau élevé en acide ascorbique, la concentration de la vitamine C est relativement élevée par rapport à celle trouvée chez la pomme, la poire, le raisin et la banane [27]. La contribution de l'apport en phosphore est similaire aux fruits de l'abricot, du melon, la framboise et de la cerise (Tableau 2.1).

Les graines d'*Opuntia ficus indica* contiennent une quantité élevée de P, K et Mg et une quantité faible de Ca, Na, Mn, Zn, Fe et Cu (Tableau 2.1). Elles contiennent 4,6 à 6,7% des acides gras, dont l'acide linoléique est le plus abondant (60,6 – 66,79%), suivie de l'acide oléique (18,12 – 23,46 %) et l'acide palmitique (12,18 – 12,80%). Onze acides aminés ont été extraits des graines d'*Opuntia ficus indica*, les plus abondants sont la glutamine, l'asparagine et l'arginine [25].

Tableau 2.1 : Composition chimique de la pulpe et des graines des fruits d'*Opuntia ficus indica* [28].

| <b>Composition</b>            | <b>Fruit (pulpe)</b> | <b>Graine</b> |
|-------------------------------|----------------------|---------------|
| <b>Eau %</b>                  | 85,60                | 5,3           |
| <b>Protéine (N *6,25) (%)</b> | 0,21                 | 16,3          |
| <b>Lipides (%)</b>            | 0,12                 | 17,2          |
| <b>Fibres (%)</b>             | 0,02                 | 49,6          |
| <b>Pectines (%)</b>           | 0,19                 | --            |
| <b>Vitamine C (mg/100g)</b>   | 22                   | --            |
| <b>B-carotene (IU)</b>        | Traces               | --            |
| <b>Cendres (%)</b>            | 0,44                 | 3,0           |
| <b>Ca (mg/100g)</b>           | 28                   | 16            |
| <b>Mg (mg/100g)</b>           | 28                   | 75            |
| <b>K (mg/100g)</b>            | 161                  | 163           |
| <b>Na (mg/100g)</b>           | 0,8                  | 68            |
| <b>P (mg/100g)</b>            | 15,4                 | 152           |
| <b>Fe (mg/100g)</b>           | 1,5                  | 09            |

### **2-1-3-5/ Réduction du contenu du fruit en graines :**

Les graines de cactus sont petites, dures et abondantes, cependant, leur présence réduit leur acceptabilité chez les consommateurs [24]. La croissance et la maturité des graines se produisent entre 30 et 70 jours après la floraison [25].

En général, le nombre moyen de graines par fruit varie considérablement; on compte 273 graines par fruit pour des cultivars italiens d'*opuntia ficus indica* dont 146 saines et 127 stériles. Les fruits des cultivars mexicains d'*opuntia ficus indica* contiennent un nombre de graines saines par fruit qui varie de 10 à 448, dont la moyenne est de 203 graines saines par fruit [25].

Certaines études ont été effectuées au Chili, afin de produire des fruits parthénocarpiques. Les fleurs couvertes et traitées avec GA<sub>3</sub>, donnent des fruits normaux mais avec des graines avortées. Les traitements efficaces avec le GA<sub>3</sub> se font en une seule pulvérisation d'une solution de 500 ppm à la floraison, ou trois pulvérisation avec une concentration de 100ppm chacune, dont la première à la floraison, la deuxième et la troisième, respectivement 22 et 42 jours après la floraison [24].

Le GA<sub>3</sub> empêche le développement des graines et induit la croissance du fruit. En comparaison avec des fruits normaux, les fruits obtenues après traitements par le GA<sub>3</sub> étaient plus longs, avec une peau épaisse, une pulpe plus petite, et une quantité inférieure des solides solubles totaux. Des cultivars parthénocarpiques naturels sont méconnues, mais quelques observateurs ont détecté des plantes qui poussent spontanément, dont les fruits contiennent des graines avortées [24].



#### **2-1-4 Eco-physiologie de l'Opuntia :**

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

Les bases physiologiques du succès écologique 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 du CO<sub>2</sub> s'effectue simultanément avec la photosynthèse ; l'énergie lumineuse est utilisée pour incorporer le CO<sub>2</sub> atmosphérique à l'hydrate de carbone. Cependant, d'autres plantes comme *Opuntia ficus indica*, 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 Crassulacéan (CAM) parce qu'il a été étudié intensivement dans les Crassulacées, bien avant d'être reconnu dans les cactacées [29].

#### **2-1-4 -1/ Adaptations structurales aux milieux arides :**

L'*Opuntia* est une dicotylédone vivace, munie de raquettes, qui représentent 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 est relativement imperméable à l'eau.

Les racines des cactaceae peuvent tolérer la sécheresse à l'aide de trois principaux mécanismes [16]:

- 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 éphémères ; grâce à la capacité de produire en très peu de temps des racines (rain root) qui disparaissent dès que le sol devient sec ;
- 3- En diminuant la transpiration à cause du potentiel hydrique négatif élevé des racines.

Une fois que les cactaceae 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 22 °C, plus élevées que les températures de l'air ambiant [21].

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 [21].

#### **2-1-4 -2/ 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 [12,29].

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 plantes 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 CO<sub>2</sub>, 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 du pH pendant la nuit;
- 3- décarboxylation du malate et fixation du CO<sub>2</sub>, par la Rubisco, durant le jour (stomates fermés), avec la synthèse d'amidon et d'autres glucanes.

Le processus photosynthétique CAM (Figure 2.4) se produit la nuit, le  $\text{CO}_2$ , 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  $\text{CO}_2$  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].

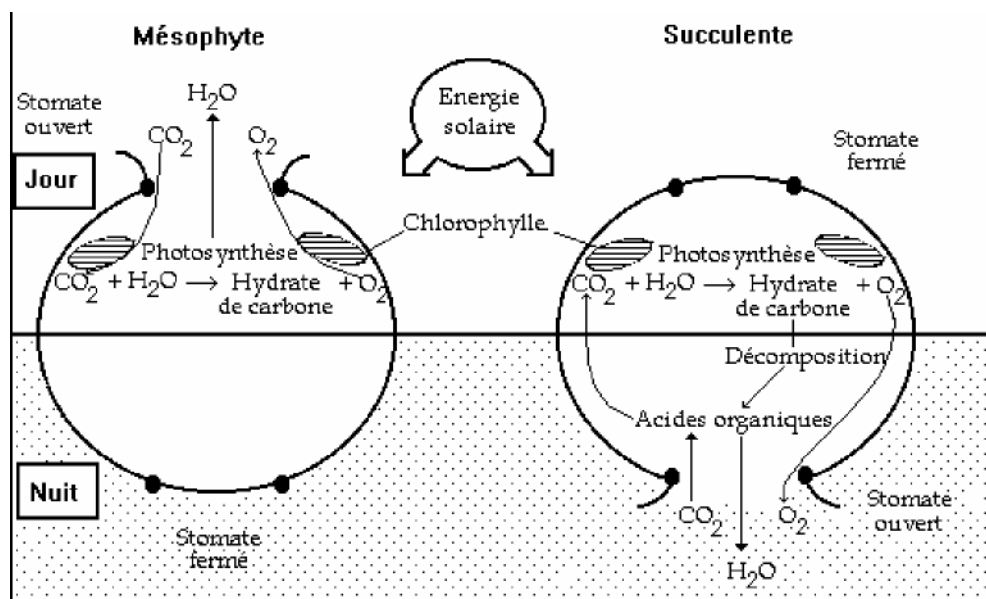


Figure 2.4 : Cycle photosynthétique des plantes de type CAM [20].

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 du  $\text{CO}_2$ , 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].

### **2-1-4 -3/ les facteurs environnementaux et les échanges gazeux :**

La prise nette du CO<sub>2</sub> dépend des conditions environnementales, dont les principaux sont l'humidité du sol, la température de l'air et la lumière.

#### **2-1-4 -3-1/ L'humidité du sol :**

La sécheresse par définition commence quand le potentiel de l'eau du sol baisse au dessous du potentiel de l'eau des racines, la prise de l'eau du sol cesse. Les plantes alors utilisent l'eau stockée dans les tissus. Ce qui mène à une réduction progressive de l'ouverture des stomates ; et par conséquent à une diminution de prise nette quotidienne du CO<sub>2</sub> (Figure 2.5 a). Pendant la première semaine de la sécheresse, on n'observe aucun changement de la prise nette du CO<sub>2</sub> pour *O. ficus indica*, ceci indique que l'arrosage hebdomadaire est adéquat, même dans les sols bien drainés ou sableux. Après trois semaines de sécheresse, la prise journalière nette du CO<sub>2</sub> devient environ la moitié de celle sous les conditions optimales d'arrosage. Après environ cinq semaines de sécheresse, on observe une diminution de prise de CO<sub>2</sub> de 90% environ de celle sous les conditions humides [30].

#### **2-1-4 -3-2/ La Température :**

Puisque la prise du CO<sub>2</sub> pour les plantes à CAM se produit principalement la nuit. Les températures de nuit sont plus importantes que celles de la journée concernant la prise quotidienne du CO<sub>2</sub> par l'*O. Ficus indica* (Figure 2.5 b). D'ailleurs la température optimale de nuit est relativement basse (15°C), les températures de 05°C à 20°C mènent au moins à 80% de la prise maximale du CO<sub>2</sub>. De telles basses températures mènent également à un bas taux de transpiration. Pendant que les températures de nuit s'élèvent, les stomates tendent à se fermer pour *Opuntia ficus indica*. Ainsi, à 30°C seulement le tiers des stomates est ouvert (par rapport à ceux ouverts à 20°C), ce qui réduit la prise de CO<sub>2</sub> pour les hautes températures. A l'exception des températures de nuit essentiellement inférieures à Zéro ou au dessus de 30°C, la température n'est généralement pas un facteur limitant, important pour la prise de CO<sub>2</sub> par *Opuntia ficus indica*, particulièrement en saison où l'eau de précipitation est disponible [29].

**2-1-4 -3-3/ La lumière :**

La prise de CO<sub>2</sub> pour *O. ficus indica* et d'autres plantes à CAM se produit la nuit où le FPP (flux des photons photosynthétiques) est nul, et par conséquent la photosynthèse ne peut pas avoir lieu. Pour des niveaux très bas de FPP, au dessous de 2 mol /m<sup>2</sup>/ j, aucune prise de CO<sub>2</sub> n'est produite à l'exception d'une petite quantité de CO<sub>2</sub> qui est libérée sur une période de 24 Heures (Figure 2.5 c). Quand la FPP augmente au-dessus de ce niveau, la prise quotidienne de CO<sub>2</sub> atteint la moitié de son maximum avec un FPP de 13 mol /m<sup>2</sup>/j et 90 % de son maximum à 22 mol /m<sup>2</sup>/j. Un FPP d'environ 30 mol /m<sup>2</sup>/j<sup>1</sup> sature approximativement la prise quotidienne par *O. ficus indica* [30].

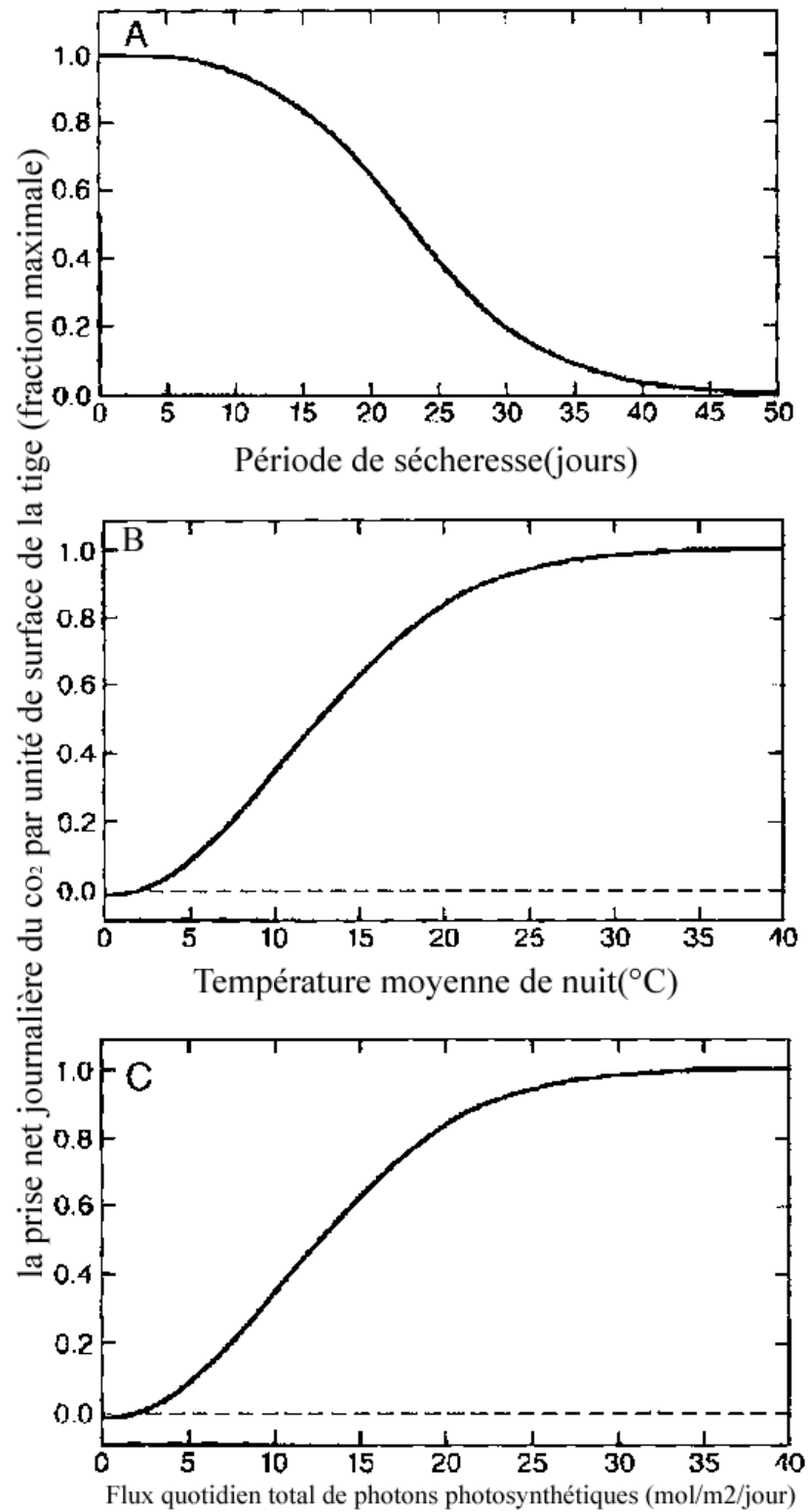


Figure 2.5 : Influence de la période de sécheresse (A), de la température de nuit (B), et de la lumière (B) sur la prise net de CO<sub>2</sub> pendant 24 heures pour *O. ficus indica*. [29].

## **2-2/ Les ressources génétiques et amélioration :**

### **2-2-1/ La variabilité génétique :**

La variabilité génétique des populations spontanées et cultivées constitue la base primordiale de l'amélioration et de la domestication. Elle est très grande dans les populations des jardins autour des maisons rurales que dans les populations commerciales ou les populations sauvages du Mexique. Il est commun de trouver des différences significatives pour les dimensions et la couleur du fruit, la morphologie de la cladode, la taille et la phénologie dont le temps de maturation du fruit etc.. La variabilité des populations sauvages et domestiques du cactus augmente à travers l'hybridation naturelle associée avec la polyploïdie et l'isolation géographique [31].

L'hybridation naturelle apparaît comme la cause majeure de la diversité. Pour les populations spontanées, les plantes qui se trouvent dans la périphérie d'une population montrent une très grande variabilité, comparativement à celle du centre de la population. Probablement, cela est dû à leur exposition avec les autres espèces et génotypes. La pollinisation croisée se trouve dans les champs cultivés ; ainsi les cultivars constituent le résultat de la pollinisation croisée [14]. Tous les cultivars mexicains sont signalés comme le produit de l'hybridation de l'*Opuntia ficus indica* avec différentes formes sauvages d'*Opuntia* [31].

Le changement des niveaux de ploïdie qui est généralement exprimé par une augmentation de la vigueur végétative (taille de cladode) ou la vigueur reproductive (dimension de fruit), a probablement joué un rôle important dans la domestication. Autrefois, pendant les premières phases de domestication, les phénotypes avec des niveaux de ploïdie plus élevés (des cladodes vigoureuses et grandes ainsi que des fruits attractifs) sont probablement sélectionnés préférentiellement. Avec le temps les populations dispersées dans les régions semi-arides des pays producteurs du cactus, ne constituent pas seulement un réservoir du cactus, mais contribuent également à l'évolution de l'espèce [31].

Les limites entre les espèces sont barbouillées, puisque l'évènement hybride se produit communément dans beaucoup de taxons d'opuntioïdée, ce qui mène à beaucoup de difficulté de taxonomie. Chez les cactacées, l'hybridation avec la polyploïdie et la propagation végétative peut céder même à la nouvelle espèce capable d'envahir les habitats des deux parents [12]. L'hybridation associée avec la polyploïdie et la reproduction asexuée, jouent un rôle dans l'augmentation de la complexité des processus évolutifs.

des cactacées. L'évolution rapide de l'*Opuntia* est le résultat de plusieurs stratégies reproductives, qui ont contribué à l'adaptation de ce genre.

### **2-2-2/ Stratégies reproductives d'*Opuntia***

Le genre *Opuntia* a évolué rapidement et avec succès en profitant d'une combinaison de plusieurs stratégies reproductives [12]:

1 - Reproduction sexuée qui encourage les échanges actifs des gènes et maintient la variabilité génétique, y compris le développement de dioecie et gynodioecie qui augmentent la diversité génétique de population.

2 - Multiplication par des propagules végétatives tel que les cladodes, les fruits et le bourgeonnement à partir des racines ou des graines adventives (non sexuées).

3 - Polyploïdisation, qui tient compte de l'ADN supplémentaire, celui-ci peut subir une mutation susceptible de fournir des nouveautés génétiques et maintenir aussi les copies du génome inchangées.

4 - L'hybridation interspécifique, qui tient compte de l'échange de gène entre des individus génétiquement séparés ou des populations partiellement séparées.

Les deux modes, dont l'autogamie et l'hétérogamie se produisent pour *Opuntia ficus indica* [24]. Les fleurs de l'*Opuntia* sont hermaphrodites, l'autogamie est donc très favorisée. Cependant les grains de pollen de la même fleur (autopollinisation), sont trouvés à la base du stigmate, alors que les grains de pollen d'autres plantes avoisinantes sont déposés sur le stigmate. Ceci n'empêche pas la présence d'autopollinisation qui a été expérimentalement démontré sur l'*Opuntia robusta*, sur *Opuntia streptacantha*, *O. cochinera* et *O. restrera* [25].

Il existe des espèces d'*Opuntia* ayant un système d'hybridation mélangé. Dont le niveau d'autogamie et d'hétérogamie, varie en fonction de la saison de floraison ou d'un site à un autre. Dans un site, l'autopollinisation a été enregistrée dans 61,1% pour la population d'*Opuntia retrorsa* (de l'Argentine Chaco), cependant 67% des individus d'un autre site ont montré une pollinisation croisée [25].

L'hybridation de l'*Opuntia* sous les conditions naturelles est très connue, parmi les indicateurs les plus utilisés pour sélectionner la compatibilité interspécifique c'est l'existence des individus avec des caractères morphologiques intermédiaires (Tableau 2.2) [25].



Tableau 2.2 : Les différences morphologiques entre les parents et leurs hybrides pour l'Opuntia [25].

| caractère                            | <i>O. edwardsii</i>    | Hybride                                   | <i>O. phaeacantha</i>                          |
|--------------------------------------|------------------------|---|--|
| <b>Le port</b>                       | dressé                 | légèrement dressé                         | décombant                                      |
| <b>La forme des cladodes</b>         | circulaire             | intermédiaire                             | elliptique                                     |
| <b>La couleur des épines</b>         | blanche ou cendré      | rose ou marron claire                     | marron   |
| <b>La longueur des épines (cm)</b>   | 1,1 à 3,5              | 3,6 à 4,0                                 | 4,1 à 5,4                                      |
|                                      | <i>O. ficus indica</i> | Hybride                                   | <i>O. phaeacantha</i>                          |
| <b>Le port</b>                       | arbre                  | arbustive à étalé                         | décombant                                      |
| <b>L'hauteur (m)</b>                 | 3 à 5                  | 1 à 1,5                                   | 0,3  |
| <b>La forme des cladodes</b>         | obovale ou oblongue    | obovale                                   | obovale  |
| <b>La longueur des cladodes (cm)</b> | 30 à 60                | 25  | 15   |
| <b>La largeur des cladodes (cm)</b>  | 20 à 40                | 15  | 11   |
| <b>La couleur des épines</b>         | blanche                | Jaune claire, légèrement sombre à la base | Marron à marron-rougeâtre avec un sommet blanc |
| <b>La longueur des épines</b>        | 1 à 2,5                | 3 à 3,6                                   | 3,5 à 7,5                                      |
| <b>La forme du fruit</b>             | sphérique              | obovale                                   | obovale  |
| <b>La couleur du fruit</b>           | jaune ou orange pâle   | orange                                    | rouge  |

L'analyse cytogénétique chez les cactaceae a été un utile taxonomique très important, pour distinguer entre les espèces et les populations hybrides naturelles. La cytogénétique du cactus a fait l'objet des travaux de nombreux auteurs dont Baker et Pinkava en 1987 ; Pinkava et MacLeod en 1971 et Pinkava et Parfitt en 1982). Les cactaceae ont un nombre de base  $x=11$  chromosomes. La polyploïdie est le type le plus connu dans les variations chromosomiques, bien que l'aneuploïdie, l'association secondaire, la cytoméxise, les corps extra-nucléaires, les inversions et les translocations, sont aussi des types qui ont été découverts [12].

Bien que la polyploïdie ne se produit que pour 28% de toutes les cactaceae. Cependant, elle joue un rôle important dans l'évolution de la sous-famille Opuntioideae avec un pourcentage de 64,3%. La polyploïdie ajoute un ADN supplémentaire à un

génomique d'une espèce, ce processus peut faciliter l'introduction des caractères nouveaux par mutation sans affecter les adaptations prouvées [12].

L'apomixie se produit fréquemment pour l'*Opuntia* [32], ainsi la production des graines se fait sans fécondation antérieure. Pour l'*Opuntia* le plus commun est le développement des embryons adventifs (agamospermie sporophytique) à partir des tissus nucellaires. Pour *Opuntia streptacantha*, les embryons peuvent se développer à partir des ovules sans fécondation, c'est la parthénogenèse diplosporique. La polyembryonie a été considérée comme la cause de l'apomixie [25]. 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 cactus, à l'exception d'*O. aurantiaca*, où il n'y a ni la formation de l'endosperme ni la fécondation [16].

La reproduction asexuée est un événement commun pour beaucoup d'espèces d'*Opuntia*, le type le plus connu de multiplication est la propagation végétative par des cladodes détachés. Les segments terminaux (cladodes terminales) de beaucoup d'espèces, comme *Opuntia fragilis* et *Opuntia pubescens*, se détachent facilement de la plante mère et développent des racines qui créent des clones [24].

### **2-2-3/variété et cultivar :**

Par définition, une variété est un ensemble végétal qui peut être défini par: «l'expression des caractères résultants d'un certain génotype ou d'une certaine combinaison de génotypes, et qui peut être distinguée de tout autre ensemble végétal par l'expression d'au moins un caractère» [33]. L'écotype constitue un autre type de variabilité, par définition: «un écotype résulte de la réponse génotypique d'une espèce à un habitat particulier. Cet habitat est légèrement différent de celui le plus fréquemment occupé par l'espèce, mais il n'existe pas de barrière d'isolement interne entre les divers écotypes d'une même espèce» [34].

Les caractères à prendre en considération lors des examens de distinction entre les différentes formes de figuier de barbarie et xocnostles sont ceux qui se rapportent à :

- 1-la plante, elle-même (pied), 2- la cladode, 3- l'aréole, 4-les épines, 5- les glochides, 6- les fleurs, 7- les fruits, 8- la graine [35].

### **2-2-3-1/les variétés fruitières :**

La morphologie, la couleur, la taille, le temps de la maturation et la qualité des fruits ; varient suivant les variétés cultivées au Mexique, en Italie et en Afrique du sud [31]. D'après Pimienta et Munoz, (1995), les espèces les plus importantes, qui produisent des fruits comestibles dans les populations cultivées et même sauvages sont : *Opuntia ficus indica*, *O. albicarpa*, *O. streptacantha* et *O. robusta* et les hybrides naturelles entre *O.ficus indica* et *Opuntia streptacantha* et *O. ficus indica* et *O.robusta* [31].

Plusieurs cultivars ont été développés, généralement ils sont nommés d'après la coloration des fruits à maturité; au Mexique 'Roja Pelona' est de couleur rouge pourpré, en Italie 'Gialla' est de couleur jaune-orange, 'Rossa' est de couleur rouge, et en Espagne 'Verdales' est de couleur verte, et 'Blancos' est de couleur blanche [23]. En Afrique de sud au moins 14 espèces sont naturalisées. Actuellement, il y a trois groupes de cultivars du cactus avec des besoins climatiques spécifiques : Cinq cultivars sensibles au gel, un pour les climats tempérés et enfin deux cultivars qui résistent aux hivers froids [31]. Trois cultivars sont répandus en Afrique de sud: Algérien, Malta et Morado [18]. Au Chili, la culture est limitée à *O. ficus indica* et une variété avec la chair blanc-verdâtre connue sous le nom de "Blanca" .et des variétés avec des fruits rouges ou jaunes qui ne se trouvent pas dans les plantations commerciales. En Argentine, trois variétés d'*Opuntia ficus indica* se distinguent 'Amarilla sin espinas', 'Rosada' et 'Naranja'. 'Amarilla sin espinas' constitue la principale variété en Argentine [31].

En Afrique du Nord, au Maroc dans la région de Tiznit, il existe trois cultivars : Achfri, Moussa et Aissa. La distinction entre ces cultivars est basée sur la période de floraison, la forme, la qualité et la période de maturité des fruits [18]. Le cultivar Aissa est inerme et précoce, Moussa est inerme et tardif, alors que Achfri est très épineux. Ce dernier peut servir de haies aux deux précédents [36].

Dans la région du Rif au Maroc, le cultivar Delahia est très apprécié pour la qualité de ses fruits et pour ses propriétés organoleptiques [36]. Pour les autres pays d'Afrique du nord, il n'y a pas d'études concernant la distinction entre les variétés ou les écotypes de la région.

### **2-2-3-2/Cultivars fourragers :**

Plusieurs espèces d'*Opuntia* sont utilisées comme fourrage dans le nord du Mexique, on compte 10 à 18 espèces, dont 15 espèces sont des *Platyopuntia*.

*Opuntia streptacantha*, *O. megacantha*, *O. leucotricha*, *O. robusta*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri*, *O. engelmannii*, *O. cantabrigiensis*, *O. macrocentra* et *O. phaeacantha*. Ces espèces sont les plus importantes du point de vue abondance, distribution et leur préférence par les paysans. Les plus fréquemment utilisées sont *O. engelmannii* et *O. lindheimeri* [37].

Les premières tentatives d'amélioration fourragère ont été réclamées la première fois par Luther burbank au début des années 1900, elles ont été menées pour le développement du cactus inerme, plusieurs cultivars ont été développés. Burbank a lancé cinq d'entre eux sur le marché. Ces cultivars constituent le produit de croisement et de sélection parmi des espèces qui viennent du Mexique et d'autres pays. Aujourd'hui, quatre de ces cultivars restent toujours dans la collection de l'Afrique du sud. L'*Opuntia* est restée presque oubliée par la communauté scientifique mexicaine pour plus de la moitié d'un siècle, l'augmentation formelle a été lancée au Mexique dans les années 60. À partir de cette date des travaux de sélection des cultivars résistants au froid ont été menés à l'Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Les premières hybridations d'*Opuntia* au Mexique sont menées pendant la même décennie par le Dr. Barrientos du collège de colegio Postgraduados de chapingo pioneered [37].

### **2-2-3-2-1/ Les cultivars améliorés**

#### **a / Les cultivars mexicains améliorés**

Les séries de cultivars "COPENA" ont été développées par la "Colegio de Postgraduados d'Escuela Nacional de Agricultura" dont *CPF1*, *CPF2* et *CPF3* qui ont été sélectionnés pour la production du fourrage, et le cultivar *CPV1* pour l'usage maraîcher, mais tous, appartiennent à l'espèce *O. ficus-indica*. Les cladodes mûres de *CPV1* peuvent être également utiles comme fourrage. Actuellement, seulement *CPF1* et *CPV1* peuvent être trouvés, plantés dans de petites parcelles de terrain au Mexique central.

*COPENA F1* ou *CPF1* produit des cladodes vertes, longues, et légères, excellentes pour la consommation humaine quand ils sont tendres. Les fruits de ce cultivar sont vert clair, avec le péricarpe mince et une légère rougeur.

*ANFI* et *ANVI* sont des cultivars développés pendant les années 60 par "l'*Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)*". Décrits comme inermes et appropriés à la production du fourrage. Des plantations ont été favorisées principalement au nord du Mexique, mais le succès est limité. Il est probablement dû au manque d'intérêt pour la culture fourragère de l'*Opuntia*, en raison de l'abondance de la ressource sauvage [37].

### **b / Le `Palmas du Brésil '**

Le nord-est du Brésil, est la région la plus importante pour la production fourragère de l'*Opuntia* dans le monde. ` *Palma Gigante* ' et ` *Palma Redonda* '(les deux sont des cultivars d'*O. ficus-indica* Mill.) sont largement cultivés dans les zones arides.

Ces cultivars ont de petits et doux fruits, sans importance commerciale. Ils ont été introduits au Brésil par les Portugais pendant l'ère coloniale. ` IPA-Clone 20' a été sélectionné parmi les graines pollinisées librement de '*Palma Gigante*' (*O. ficus-indica* Mill. ). Dans des essais au champ, '*IPA-Clone 20*' a produit 50% plus de fourrage que leurs parents [37].

### **c / Les sélections inermes de Burbank en Afrique du Sud**

L'espèce *O. ficus indica* est censée être introduite en Afrique du sud il y a 250 ans au moins. Donnant à ce pays l'introduction la plus ancienne de l'*Opuntia* comme fourrage. L'introduction moderne a commencé en 1914, elle comprend 22 entrées : dont 19 avec des cladodes verts et trois avec des cladodes bleus. De cette première collection, et en assurant des *pollinisations* croisées, de nombreux cultivars ont été trouvés. Ces sélections ont été obtenues par Luther Burbank en Californie avec du matériel rassemblé en Amérique centrale [37].

Les sélections Robusta, Monterey et Chico, décrites en tant que des cultivars avec des cladodes inermes et bleues, ont été introduits en Afrique du sud comme graine, de la pépinière de Burbank, pour être cultivés en tant que fourrage. Robusta et Monterey sont fortement productifs, quant à Chico, il présente une certaine résistance au froid. Tous les *Opuntia* inermes ou de `Burbank ' sont munies de glochides autour des *aréoles* et sur la surface du fruit [37].

### **2-2-3-2-2/ Critère et butes d'amélioration :**

Gallais définit l'amélioration des plantes comme "l'ensemble des processus, qui, à partir d'un groupe d'individus (populations, écotypes) n'ayant pas certains caractères au niveau recherché, permet d'obtenir un autre groupe d'individus- la variété- apportant un progrès" vis-à-vis des besoins de la race humaine [38]. La fixation des caractères ou butes recherchés constitue une étape primordiale. Afin d'augmenter l'utilisation des cactus, les buts les plus importants pour les travaux d'évaluation, doivent se concentrer sur [39] :

- La résistance à la sécheresse.
- La résistance à la salinité.
- La résistance au stress du froid et des températures.

Les buts qu'on doit prendre en considération lors d'une amélioration; sont les contraintes écologiques, ou intrinsèques de la plante qu'on cherche à surmonter, pour mieux valoriser cette fortune robuste. Parmi ces buts, on peut citer [37]:

#### **a / La tolérance au froid :**

Les espèces de cactus ayant des téguments relativement épais (une cuticule, un épiderme, et plusieurs couches de cellules avec des parois épaisses) étaient plus résistantes aux basses températures que ceux avec des téguments plus minces. La teneur en eau réduite et l'accumulation des corps organiques dissous et du mucilage peuvent être partiellement responsables de l'acclimatation au froid [37]. Alors que Gregory et al. [37], ont noté que pour l'*Opuntia*, le manque de résistance au gel est probablement dû à l'écart de températures entre le jour et la nuit ; et pas au manque de la tolérance intrinsèque au froid. Au Texas, les températures allant de 28°C le jour à -12°C la nuit de la même journée, ne permet pas à la plante de s'acclimater ou d'exprimer la tolérance au froid correctement. La sélection des génotypes résistants au froid a été menée depuis 1963 par le Docteur Lorenzo dans "l'université d'Antonio Narro" dans le nord du Mexique. Les meilleurs 31 individus ont été sélectionnés dans des conditions peu communes du froid - 16°C; ainsi que les génotypes régionaux qui ont également survécu à la gelée [37].

Il existe plusieurs espèces, cultivars et clones qui présentent une résistance au froid ; entre autre, l'espèce *Opuntia ellisiana*, le seul fourrage inerme au Texas, elle est complètement résistante au froid. Elle constitue une espèce fourragère utile dans les régions très froides où d'autres espèces comme *Opuntia robusta wendel* ou *Opuntia ficus indica*, ne peuvent pas se développer [40]. *Opuntia ellisiana* a présentée une tolérance complète pendant 20 heures à -7 °C, avec un minimum de -16°C.

Cette espèce n'était pas endommagée, quand les températures ont diminué à  $-12^{\circ}\text{C}$  en 1989 lors des essais au champs à Kingsville au Texas [41]. De plus *Opuntia ellisiana* n'est pas endommagée sous des températures de  $-20^{\circ}\text{C}$  dans un site distant de 500 km au nord de Kingsville [40]. Ainsi *Opuntia lindheimeri* a montré une tolérance à  $-20^{\circ}\text{C}$  à Kingsville [37]. L'*Opuntia robusta*, typiquement ne tolère pas les gelées, comme il a été observé au Texas avec les cultivars de 'robusta', 'Monterey' et 'Chico'. Un froid de  $-12^{\circ}\text{C}$  n'a pas été toléré par ces trois cultivars [41].

#### **b / Des cladodes inermes :**

La présence des épines sur les cladodes constitue un obstacle pour l'utilisation de l'*Opuntia*, on pense que les cladodes inermes sont le résultat de la domestication par l'homme, puisque les *Opuntia* inermes ne prospèrent pas à l'état spontané. Zimmerman et Moran [37], ont rapporté que seulement les formes inermes qui ont été introduite en Afrique du sud, il y a plus de 250 ans, et elles ont retournés à nouveau à la forme épineuse originale pendant presque 200 ans. Les sujets épineux sont plus robustes et mieux adaptés à la diffusion. Ces indices suggèrent l'existence des gènes récessifs liés aux épines, et confirment la capacité de l'*Opuntia* à se reproduire par la graine. Tous les programmes d'amélioration visent à produire des formes inermes.

#### **c / Productivité de la plante :**

Des différences saillantes ont été observées dans des populations autogames ou hétérogames de jeunes plantes. Ceci peut être exprimé par une densité plus élevée et par la capacité d'éclosion des bourgeons au printemps, ayant pour résultat plus de cladodes par plante ou une plus grande taille. C'est un trait important de sélection, en particulier s'il est lié aux bourgeons inermes.

Etant donné que la production de fourrage comporte l'utilisation partielle ou totale de la phytomasse, la capacité de produire de nouvelles cladodes et de récupérer rapidement la taille, sont les critères les plus importants à manipuler par l'améliorateur. La taille des cladodes est déterminée par le génotype, et à un moindre degré le dispositif de plantation et la fertilité du sol. Pour un rendement plus élevé en biomasse dans les cultures intensives, il est préférable d'avoir des cultivars avec des cladodes moyennes appropriées à une plantation dense [37].

#### **d / Teneur élevée en protéine :**

La teneur en protéine change de manière significative, selon l'âge des cladodes. Avec des cladodes mûres, le pourcentage est très élevé, la différence persiste parmi les variétés et les espèces [37].

Il existe des techniques pour augmenter la teneur en protéine. D'abord par la fertilisation avec les engrais N et P, ensuite, en utilisant la sélection génétique des cultivars ayant une teneur plus élevée en protéine [42]. Dans une comparaison entre huit clones fourragers d'*Opuntia*, Gregory et Felker [42], ont trouvé un clone brésilien (#1270, c'est à dire cv. Palma Redonda), qui présente une teneur de 11 % de protéine dans chacune des quatre classes d'âge. En revanche, l'*Opuntia* autochtone du Texas avait présentée 11 % de protéine dans la plus jeune des classes, mais 5 % seulement dans les trois classes les plus âgées, en plus, le clone brésilien a eu quatre fois la teneur en P ( C'est à dire 0,41%) du clone autochtone du Texas.

C'est par l'inoculation des racines avec des bactéries fixatrices d'azote comme *Azospirillum sp.*, qu'on pourrait aussi augmenter, la teneur en protéine au niveau des cladodes.

Il est difficile de séparer la composante génétique de ce critère (teneur en protéine) puisqu'il est fortement influencé par la fertilité du sol et la gestion des récoltes. Par conséquent, la sélection des cultivars avec une teneur élevée en protéine doit être conduite dans des conditions soigneusement contrôlées. Il est douteux que le gain génétique de la teneur en protéine lié à la sélection puisse surpasser les effets de la gestion efficace et de la fertilité du sol [37].

#### **e / La tolérance aux Parasites et maladies :**

Il y a un certain nombre de parasites qui affectent l'*Opuntia*, des variations de la susceptibilité aux parasites ont été observées mais pas complètement étudiées. Quoiqu'il y a des options pour le contrôle chimique. Les cultivars tolérants offriraient une alternative plus sûre et plus économique pour les cultivateurs [37].

#### **2-2-4/ Le rôle des biotechnologies dans l'amélioration:**

Les biotechnologies peuvent servir l'amélioration en bénéficiant d'un temps considérable. Les techniques qui peuvent directement manipuler les génotypes sont la culture *in vitro* et la transgénèse.



#### **2-2-4-1/ La culture in vitro :**

Les techniques de culture in vitro offrent de nombreuses potentialités pour la multiplication rapide et accrue des génotypes. La reproduction conforme, qualifiée de micropropagation peut être obtenue par deux voies : la culture in vitro des méristèmes ou "organogénèse", la culture in vitro de tissus (fragments d'organes : feuilles, tiges, racines ....) ou "embryogénèse somatique". D'après Abdelkafi et Marrakechi, (2000), l'organogénèse offre une bonne garantie de stabilité génétique, tandis que l'embryogénèse somatique est susceptible d'induire des mutations remaniant le patrimoine génétique du matériel considéré, elle peut, aussi, être génératrice de variations soma-clonales (phénovariants). La variabilité ainsi induite peut constituer un réservoir potentiel de diversité. Ainsi la culture in vitro ou la technique de la culture in vitro ouvre, par ailleurs, de nouvelles perspectives d'utilisation du réservoir de la variabilité génétique, dont on cite :

- L'androgénèse suivie du rétablissement du niveau initial de ploïdie (Haplo-diploïdisation) permet de stabiliser rapidement le matériel introgressé.

- L'hybridation somatique par fusion de protoplastes offre la possibilité de contourner les "barrières" de la reproduction sexuée. La fusion somatique permet une contribution équilibrée des deux partenaires dans la constitution de la variabilité génétique d'origine cytoplasmique des "cybrides". Cette technique, dont les produits régénérés sont hétérogènes, tente de réduire les délais imposés par les méthodes classiques de sélection [43].

Le premier essai de propagation in vitro des cactacées a été effectué par King en 1957. Depuis cette date, la méthode de culture de tissus des cactacées a été appelée pour plusieurs buts comme la biosynthèse alcaloïdes par Steinhart en 1962; et des études morphogéniques et physiologiques par Minocha et Menhra en 1974 ; Mauseth en 1976 ; et micropropagation par Corona et Yanez en 1984 ; Havel et Kolar en 1983, Mauseth en 1977, Mauseth et Halperin en 1975, Vyskot et Jara en 1984, Escobar et al. en 1986, Ault et blackmon en 1987, Clayton et al. en 1990, Infante en 1992 [44].

Une méthode efficace de micropropagation d'*Opuntia amyclaea* a été développée, dont une moyenne de 25000 plantes peuvent être obtenue en 100 jours avec une cladode d'environ 5 cm [44].

#### **2-2-4-2/ La transformation génétique :**

La transformation génétique est une technique qui cherche à intégrer un gène étranger dans le génome d'une plante hôte. La transformation génétique est une technique qui cherche à intégrer un gène étranger dans le génome d'une plante hôte. Pour réaliser cet objectif il est impératif, tout d'abord, de repérer, d'isoler et de cloner des gènes utiles et intéressants sur le plan agronomique, c'est à dire constituer des banques d'ADN. Les gènes à transférer sont classés en fonction des caractéristiques recherchées à faire acquérir à la plante transformée [43]:

- les gènes de résistance à des stress biotiques : résistance à des insectes, virus, maladies,
- les gènes de résistance à des stress abiotiques : résistance au sel, à la sécheresse, aux chocs
- les gènes qui interviennent dans les voies de biosynthèse.
- les gènes qui jouent un rôle dans la symbiose rhizobium-légumineuses.

## CHAPITRE III

### CULTURE, PROPAGATION ET INTÉRÊT DE L'*OPUNTIA*

#### **3-1/ Facteurs limitants la culture de l'Opuntia :**

##### **3-1-1/ Facteurs abiotiques :**

Les facteurs climatiques qui contrôlent la croissance de l'*Opuntia ficus indica* sont les précipitations (manque ou excès), l'humidité atmosphérique, les températures hivernales et la nature et le drainage du sol [4]. On distingue deux sortes d'exigences; climatiques et édaphiques.

##### **3-1-1-1/ Facteurs climatiques :**

D'une manière générale les Opuntia se développent sous un climat à pluviométrie allant de 200 à 1000 mm et faisant partie de la flore semi-aride [6].

Les caractéristiques des climats convenables au développement de l'Opuntia dont [9] :

- Les hivers relativement peu rigoureux.
- L'existence d'une saison sèche marquée.
- La coïncidence de la saison sèche et des jours courts.
- L'existence des pluies estivales.

Une fois ces conditions réunies, on trouve des peuplements d'Opuntia depuis des pluviosités moyennes annuelles de 180 mm jusqu'à 650 mm et plus.

Au Mexique, l'Opuntia se trouve sur des sites situés à 1800-2200 m d'altitude avec une pluviosité annuelle de 400-500 mm et une température moyenne annuelle de 16-18°C [18].

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 froids (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 [4].

Le cactus craint le froid humide (minimum absolu supérieure à -10 °c), puisque le froid favorise une pourriture d'origine bactérienne. La seule lutte consiste à supprimer les pieds et les raquettes atteints [45]. Certaines espèces adaptées aux régions

méditerranéennes arriveraient à résister à des températures comprises entre 5 et-10°C. Il s'agit :

-*O. ficus indica* qui résisterait à des froids de -8°C.

-*O. dillenii* qui résisterait à -5°C seulement.

-*O. compressa var helvetica* résisterait jusqu'à -10°C.

La limite thermique où se développe le cactus n'exécède généralement pas les 1000 mètres d'altitude [9,45].

### **3-1-1-2/ Facteurs édaphiques:**

Sous des climats moins arides, le cactus réclame des sols lourds mais bien aérés. La pluviométrie et le type de sol sont liés. Sous une pluviométrie de 150-200 mm/an, les Opuntia réclament des sols légers, profonds et bien alimentés, où les raquettes d'Opuntia tiennent la plus grande part en zone d'épandage et talwegs, etc. [6,46]. Les sols à éviter de façon absolue sont les sols hydromorphes, et asphyxiants, trop compacts [9, 46, 45,18].

Les opuntia n'ont aucune exigence vis avis 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 [9,45]. L'Opuntia préfère les sols légers, sablonneux-limoneux ayant des pH moyennement acides (5,1 à 6,7). Il s'agit des sols généralement pauvres en matières organiques (0,1 à 1,8%). La majorité des espèces d'Opuntia préfèrent des sols légèrement acides mais l'*Opuntia ficus indica* peut se rencontrer même sur des sols calcaires [18]. Elles sont plus à l'aise sur les piedmonts, que dans les plaines. Elles ne peuvent se maintenir et vivre convenablement que dans les terrains poreux, légers où l'eau ne séjourne pas [9].

### **3-1-2/ Facteurs biotiques :**

De nombreux parasites et maladies sont inféodés au cactus [45]:

**3-1-2-1/ La rouille** (*Phyllostica opuntiae*): Urédinée qui se manifeste par de petites taches jaunes rouilles, circulaires, pouvant s'étendre en plaques irrégulières d'un blanc sale ou cendré. Ce sont surtout les raquettes de 2 ans qui, une fois attaquées, n'émettent que peu de cladodes, et finissent par se dessécher. C'est la maladie des zones humides, elle est efficacement combattue par des traitements à base de cuivre et l'ablation des raquettes parasitées.

**3-1-2-2/ Le mildiou du cactus** (*Phytophthora cactorum* Schr., *P. omnivera* De Bary): Les symptômes de la maladie se présentent sous forme de cloques soulevant l'épiderme, d'état

chlorotique prononcé et de taches brunâtres qui envahissent les fruits et les raquettes. La sensibilité à la maladie est variable selon les variétés. Une lutte préventive consiste à couper et à incinérer les parties atteintes de la plante.

**3-1-2-3 / La cératite** (*Ceratitis capitata* Weid) : La mouche méditerranéenne des fruits peut occasionner des dégâts importants certaines années dans les plantations mal entretenues. Un insecticide de synthèse permet de se débarrasser facilement de cet insecte.

**3-1-2-4 / Les cochenilles** : Bien que généralement polyphages, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et inféodés à une seule espèce de cactée. *Cactoblastis cacterum* a éliminé la culture de l'*Opuntia dillenii* au sud de Madagascar. Certains cultivars inermes de cactées sont résistants aux cochenilles. La lutte contre les cochenilles nécessite des traitements aux huiles blanches ou au parathion.

Des mesures préventives peuvent jouer un rôle important, pour minimiser les dégâts causés par les insectes. Dont 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 tous les cladodes sèches, où plusieurs insectes peuvent se développées est obligatoire [47]. 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 [48].

### **3-2/ Technique de propagation, culture et conduite :**

#### **3-2-1/ Technique de propagation :**

*Opuntia ficus indica* se propage par multiplication végétative ou par graines. 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 [32]. Les cladodes peuvent initier le processus d'enracinement au moment où ils 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, ils subissent un processus du durcissement pour colmater les voies de pertes d'eau, le dégagement

immédiat du mucilage par les cellules blessées accélère le processus [49]. 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 [45]. Alors que pour d'autres travaux, les cladodes collectés, doivent être stockés 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 [32].

Les boutures préparées en partant de portions 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 besoins 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 des pépinières spécialisées [32]. 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 [44].

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.

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; et elles traversent une phase juvénile très longue [2].

Généralement les graines d'*Opuntia* collectés et stockés pendant une année n'exigent pas un traitement spécial pour germer [50]. Cependant certains traitements ont été utilisés pour lever la dormance des graines récemment collectés 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, lavées et imbibées dans l'acide gibbérellique à 100 mg / l [32].

D'autres traitements ont été utilisés, tels [25] :

5. L'immersion dans du Hcl à 20 % pendant 24 heures.
6. Le refroidissement.
7. Le trempage dans l'eau courante pendant 24 h, 48 h et 72 h.

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].

### **3-2-2 Techniques culturales pour le genre Opuntia :**

#### **3-2-2-1/ 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.

En général, il est toute fois opportun de choisir les variétés inermes, de manière à éviter l'opération d'élimination des épines avant la consommation de la part du bétail [49,2].

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.

### **3-2-2-2/ Préparation du sol :**

C'est une opération qui consiste à confectionner et à préparer les trous de plantations : 10 à 20 cm de profondeur et 50 cm 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 [18]. 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 [9].

### **3-2-2-3/ l'implantation ou mise en place :**

#### **3-2-2-3-1/ Epoque :**

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 ressort de ces expériences; 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 [9]:

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

#### **3-2-2-3-2/ plantation :**

Si l'objectif principal est la défense contre la dégradation et l'érosion du sol, les méthodes sont les suivantes [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 [9,51]:

- Plantation à raquette unique, en posant simplement les raquettes à plat sur un sol ameublis, 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 un charrue à un écartement convenable, constituant à l'aval un ados, assez large à sa base (1 m) 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 plantations.

On peut recourir à la plantation des rameaux de 3 raquettes à conditions que la disponibilité en raquettes est 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).

### **3-2-2-3-3/ Ecartement, densité de plantation :**

L'écartement et la densité des peuplements dépendent de deux groupes de facteurs [9]:

- Le climat ;
- Les conditions de cultures.

Sous les climats tropicaux du nord du Brésil, les densités préconisées étaient de 10000 pieds/ha avec des écartements de 1 x 1 m ou 2 x 0,5 m. En Sicile sous des pluviosités de 500 à 800 mm, les écartements 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 [9].

En zones arides et semi arides la densité peut varier de 1000 à 3000 pieds par hectare (150 à 400 mm) 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 écartements de 4 à 5 m entre les lignes en culture non mécanisée et 6 et 7 m en culture mécanisée (passage d'un tracteur et d'une remorque), sous les pluviosités supérieure à 400 mm [9]. Au Maroc, les espacements varient de 0,5 x 2m à 4 x 4, alors que le plus utilisée dans la région de Tiznit est de 3 x 4 m, ce qui donne une densité de 830 plants / ha. Cependant la forte densité (1600 à 2000 plants / ha) n'est recommandée que pour les zones qui sont relativement bien arrosées [18].

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 reproductive. En prolongeant la phase juvénile et favorisant la régénération de nouvelles raquettes qui est, le principal objectif dans la production du fourrage. C'est le cas des plantations au Mexique, elles sont constituées par des rangs compacts d'une hauteur non supérieur à 1,50 m, avec une densité d'environ 40000 plants / ha (80 x 40 cm). Une méthode semblable à la précédente a été menée au Brésil, avec la même densité, mais l'ordre est de 100 x 25 cm. Une implantation plus intensive prévoit 2 m entre les rangs et 1 m sur le rang. Deux ans après l'implantation, on obtient dans les plantations à haute densité des productions de 246 t / ha, cependant pour ceux d'une densité inférieure, la production tourne autour de 100 t / ha [49,2].

### **3-2-2-4/ 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 [49]. Des applications importantes d'azote, jusqu'à 160 kg / ha, favorisent l'augmentation du nombre de nouvelles raquettes chez *O. engelmannii* [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 : 420 mm) démontrent, par rapport à un témoin non fertilisé, que [9]:

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

Après plusieurs expérimentations, on conclut que [52]:

- 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.

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 plantations de figuier à raison de 1 à 5 kg par plant. Cela engendre une augmentation de 20 à 30 % dans la productivité [18].

En Algérie, une expérimentation a été réalisée au Hodna (P = 224 mm) 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 5 kg de fumier de mouton par pied (soit environ 10 t / ha), de 50 unités / ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 20 unités / ha d'azote, on doit lors de l'implantation, éviter de mettre la raquette en contact avec du fumier [10,51]. Au Mexique, dans un système intensif, la production de "nopalitos" demande de grande quantité de fumier, elle varie de 100 à 200 t/ha. Alors que la quantité de l'azote (N) varie de 100 à 200 Kg/ha et la quantité du phosphore (P) varie de 80 à 100 kg/ha [53].

### **3-2-2-5/ 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 100 mm / an, on arrive à récolter 30 à 40 kg de figuier par arbre et par an. Hors en année pluvieuse (200 à 250 mm) le rendement par arbre triple [18].

En Algérie, l'expérimentation réalisée par la F.A.O. en 1974, au Hodna sur des plantations à raquette unique, recommande d'irriguer en Avril, Mai, Juin, Juillet, Août. Ceci est justifié puisque cette période coïncide avec la période, allant de la floraison au grossissement des fruits concernant les plantations en Algérie [10].

### **3-2-2-6/ 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 pratiqués par les paysans [54]. 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 [10]. Les récoltes annuelles exhaustives réduisent considérablement la production. D'autre part les raquettes de plus de trois ans ne sont plus consommables. De ce fait certains auteurs préconisent une récolte tous les deux ans, d'autres tous les trois ans. On peut donc récolter tous les deux à trois ans, selon la nature du

cheptel, et selon la rapidité de croissance du végétal [9]. 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; Juin à Décembre, du fait qu'il existe des variétés qui diffèrent par la période de fructification [18].

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 120 g et leur longueur 15 à 20 cm [53].

### **3-3/ Intérêt de l'Opuntia :**

#### **3-3-1/ Ethnobotanique :**

##### **3-3-1-1/Ethnobotanique alimentaire :**

Les fruits de l'Opuntia sont traditionnellement utilisés par les mexicains et par les indiens du nouveau Mexique, de l'Arizona, de la Californie et de l'Utah [2]. Les fruits de l'Opuntia peuvent être consommés en frais, ou bouillis dans l'eau ou séchés pour être conservés et consommés durant la période hivernale[30].

La pulpe est aussi utilisée, pour l'obtention de nombreux sous-produits. Au Mexique, on produit traditionnellement le 'queso de tuna', le 'colonche' (boisson alcoolisée), la 'melcocha' (marmelade), le 'miel de tuna' (sirop) et les 'tunas pasas'(fruits secs). Les graines obtenues à partir des fruits frais ou secs sont lavées, séchées, et rôties pour préparer les sauces traditionnelles [30,2]. Les jeunes raquettes de 10 à 15 cm de longueur sont aussi consommées, en tant que légumes appelées "Nopals". Le Mexique en produit plus de 230 000 tonnes annuellement dont 2000 à 3000 tonnes sont exportées vers le marché américain. La valeur nutritive des "Nopals" est similaire à celle de la laitue ou des épinards [36].

##### **3-3-1-2/ Ethnobotanique médicinale :**

Le cactus est utilisé pour le traitement de plusieurs maladies dont les coliques, les diarrhées, le diabète et le cholestérol... [22,36]. Des données littéraires rapportent, que certaines parties de la plante sont utilisées dans la médecine traditionnelle, comme émoullient, cicatrisant, hypocholestérolémie, agent hypoglycémiant et contre les maladies des muqueuses gastriques. En médecine traditionnelle sicilienne, l'infusion des fleurs a une action dépurative, en particulier, elle est utilisée pour son action diurétique et relaxante

pour l'appareil excrétoire rénal. Donc il est stipulé que l'infusion, peut faciliter l'expulsion des calculs rénaux, le fruit augmente aussi la fonction rénale [55].

La plante est surtout employée en Afrique du sud; ainsi les tiges, riches en mucilage, sont réduites en bouillie et servent à réaliser des cataplasmes émollients. Alors que les fleurs et les fruits sont anti-diarrhéiques ; l'action des fleurs s'explique en partie par la présence des flavonoïdes anti-spasmodiques, celle des fruits par la présence de la pectine et du tanin [56]. L'application des cladodes coupés sur les brûlures et les gonflements, est une pratique largement adoptée ; elle ressemble à l'utilisation des feuilles des autres succulents, (certaines espèces d'Aloe). Des boissons anti-diarrhéiques sont préparées d'une mixture d'eau et de jus du fruit. Alors que le thé des racines d'*Opuntia bigelovi engelm.*, agit comme diurétique [57].

### **3-3-2/ Importance écologique :**

L'utilisation du figuier de barbarie 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 est complètement inapte à recevoir des cultures; c'est par la réintroduction du figuier de barbarie que la région a été remise en valeur sans risque de dégradation environnemental. L'*Opuntia*, en association avec d'autres espèces ligneuses, ont été utilisées avec succès dans un programme de fixation des dunes en Somalie et contre l'érosion des sols dans plusieurs autres pays. Dans la région d'Ait Bâamrane au Maroc, les résultats obtenus sont également spectaculaires [18]. Le cactus inerme *Opuntia Ficus indica*, qui tolère la sécheresse et protège les sols contre l'érosion, est encore utilisé en Tunisie, en Algérie et au Maroc pour ralentir et diriger le mouvement des sables, augmenter le couvert végétal, et éviter la destruction des terrasses construites pour réduire l'effet de ruissellement [58]. Au Maroc dans la région de Rhamna, les zones de plantation de cactus ont montré une augmentation de la diversité spécifique comparativement aux zones cultivées où l'érosion hydrique et éolienne ont pris place [59]. Les plantations provoquent une remonté biologique dans les sols dégradés, par une amélioration des conditions édaphiques (ancrage racinaire, rôle des animaux fouisseurs, microclimat). L'analyse du sol sous plantation de cactus (*O. Ficus indica*, *Opuntia amyelia* et sous Olivette), a montré que sur des sols aussi semblables que possible, le cactus a considérablement enrichi le sol en matière organique et en azote (Tableau 3.1) [6].

L'enrichissement en matière organique et nitrogène, en comparant avec des sols semblables, augmente d'environ 40 à 200 % dans le sol [4].

Tableau 3.1 : Variation des propriétés granulométriques et chimiques des sols sous les plantations de cactus comparativement à celles sous Olivette [6].

|                      | <b>A</b> | <b>L</b> | <b>S. G.</b> | <b>S. F.</b> | <b>S. T. F.</b> | <b>Calcaire<br/>Tot. %</b> | <b>Azote<br/>%</b> | <b>M.O.<br/>%</b> | <b>p.H</b> |
|----------------------|----------|----------|--------------|--------------|-----------------|----------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| <b>Sous Olivette</b> | 36       | 11       | 12           | 36           | 4               | 6,5                        | 0,7                | 0.967             | 8,1        |
| <b>Sous cactus</b>   | 37       | 15       | 13           | 31           | 4               | 7,7                        | 1,56               | 1,39              | 8,4        |

La stabilité structurale des agrégats est alors améliorée, le ruissellement et l'érosion sont réduits, de plus les haies constituent des obstacles physiques contre le ruissellement, donc une prévention contre l'érosion. Dans les zones arides menacées par l'érosion éolienne, les haies de cactus constituent une méthode facile, moins chère et efficace de prévention et de contrôle de pertes des sols des sommets et d'accumulation de nouvelles dunes [4].

### **3-3-3/ Importance économique :**

Les multiples utilisations et son impact considérable sur le revenu des agriculteurs ont fait de cette plante, l'une des plus rentables économiquement. Le revenu moyen annuel par hectare est de 2000 à 3000 \$ en Italie, 2000 \$ en Palestine occupée [36]. Au Maroc, le revenu moyen annuel est de 30 000 DH (3000 dollars U.S.) [60]. Au Mexique, la production de l'Opuntia a généré approximativement des revenus de l'ordre de 50 millions de dollars U.S. /an, pendant la période de 1990 à 1998. Dont l'usage alimentaire constitue 27 million, l'usage fruitier 20 million et enfin l'usage fourrager constitue 1 million dollars U.S. [61].

La pratique de la culture intensive et moderne est la plus prépondérante dans plusieurs pays. Soit en tant que culture fourragère, ou même en tant que culture maraîchère. Cependant la production du fruit reste l'aspect le plus recherché et le plus développé [18].

### **3-3-3-1/ Production de fruits :**

En Algérie, la production de fruits ne constitue pas une activité économique qui présente un intérêt majeur, sauf dans la région de Tébessa. Par contre au Maroc, la culture du figuier de barbarie dans la région de Tiznit se trouve parfaitement intégrée dans le système d'exploitation traditionnel de la région. Cette culture constitue même le pilier de l'économie familiale [18]. Ainsi dans plusieurs douars, la céréaliculture a été délaissée au profit du figuier de barbarie, puisqu'il offre plus d'avantages [18] :

- Un rendement à l'hectare plus élevé que les autres cultures traditionnelles 9600 Qx de figuier à l'hectare contre 2 – 5 Qx / ha de blé ou d'orge.
- La récolte se fait manuellement, elle utilise la main d'œuvre familiale pendant sept mois de l'année (Juin – Décembre) ce qui épargne des dépenses au profit de l'économie familiale et crée des activités supplémentaires.
- Les fleurs de l'Opuntia constituent une source de nutrition très appréciée et sollicitée par les abeilles domestiques, ce qui engendre la possibilité de développer l'apiculture.

Le rendement en fruit varie considérablement, suivant les conditions écologiques, la rigueur de conduite de la culture (fertilisation, irrigation..etc) et la nature des clones et des cultivars [62].

Les cultivars inermes, sous une culture intensive avec fertilisation et sous les conditions méditerranéennes arides et semi-arides produisent de 10 à 30 tonnes/ha/an de fruits.

### **3-3-3-2/ Production de fourrage :**

L'intérêt fourrager des Opuntia, est certain en secteurs de fortes pentes et sur des sols pauvres ainsi que dans les zones arides et semi-arides où la pluviométrie est faible [44]. Comme plantes fourragères, elles sont répandues dans différentes parties du monde, en particulier au Mexique, au Brésil, en Italie, en Tunisie, en Afrique du sud, à Madagascar et dans une partie du sud des Etats-Unis [2].

Les espèces d'Opuntia représentent une alternative, surtout durant les périodes de sécheresse, quand les autres espèces fourragères deviennent rares. Différents modes d'intervention sont utilisés, dans le sud-est des Etats-Unis et au Mexique, le bétail est alimenté avec les raquettes coupées ou les fruits de nombreuses espèces indigènes. Pour les espèces épineuses et pour en faciliter la consommation, les épines doivent être brûlées, bien d'autres méthodes sont utilisées, comme l'immersion dans l'eau, l'utilisation de la vapeur, ou le lavage avec la soude [2].

Les raquettes sont mieux acceptées, quand elles sont distribuées fraîches, dès la récolte et si possible hachées. Les raquettes flétries ou mélangées à la paille sont moins acceptées par les bovins [51]. Pour satisfaire les besoins énergétiques journaliers, les bovins et les ovins doivent ingérer respectivement 44 à 45 et 5 à 6 Kg de cactus frais/tête/jour [63].

Les bovins peuvent consommer 25 à 35 Kg de raquettes fraîches / tête / jour [51]. Les ovins peuvent consommer de 5 à 7 kg de cactus frais / tête / jour, sans apparition de diarrhée et qu'une ration à base uniquement de cactus ne pouvait pas assurer le maintien du poids des animaux [51,64].

Une grande quantité de biomasse végétale est produite même dans les conditions extrêmes. *Opuntia ficus indica* var *inermis* peut produire de 20 à 100 tonnes de raquettes par hectare / an. Avec une pluviométrie comprise entre 150 et 400 mm / an, en l'absence de fertilisation [2].

La production des cladodes en matière fraîche, varie de [65,45] :

- 10 à 15 t/ ha en zones semi-arides sous des pluviométrie allant de 150 – 300 mm.
- 50 t/ ha sous une pluviométrie de 400 mm.
- 100 t/ ha sous une pluviométrie de 500 mm.
- 60 à 200 tonnes / ha sous une pluviométrie allant de 400 à 800 mm et en plantation cultivée et fermée.

Des études réalisées au Mexique, ont montré que la productivité de l'*Opuntia* en matière sèche varie de 12 à 16 tonnes / ha selon les régions. En irrigué, elle peut atteindre 30 tonnes / ha, cela représente un productivité de 1.37 kg / m<sup>2</sup>/an, en comparant avec d'autres espèces des zones arides où la productivité en matière sèche est de 0.71 kg / m<sup>2</sup> /an. Ce qui fait du figuier de barbarie l'espèce la plus productive des zones arides [18]. Les plantations réussies et bien gérées en Tunisie centrale, sous les isohyètes de 200 à 400 mm sont susceptibles de produire 2000 à 9000 kg de M.S., soit 1400 à 6000 UF/ha/an [7].

La valeur nutritive de l'*Opuntia* varie selon l'espèce et 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].

L'analyse chimique des jeunes et vieilles cladodes a montré que [66] :

- 1- La matière sèche chez les jeunes cladodes est basse, comparativement aux vieilles au cours de toutes les saisons.



- 2- Le pourcentage de protéine et d'azote (N) est supérieur chez les jeunes cladodes comparativement aux vieilles.
- 3- Le pourcentage de fibre chez les vieilles cladodes est supérieur comparativement aux jeunes.

L'Opuntia est un aliment incomplet et mal équilibré, mais d'autre part, il représente une source précieuse d'eau. D'une façon générale, les tissus des Opuntia ont une faible teneur en protéines et en phosphore, ils sont moyennement riches en énergie et très riche en eau (85 – 90 %) et en vitamine A (Tableau 3.2), ils sont recommandés comme complément de fourrage, surtout en été. L'analyse fourragère de certains clones inermes, sélectionnés au Mexique dans une population naturelle de l'espèce *O. stricta* a montré que le pourcentage de protéines dans les feuilles de ces clones est de 11.4%, ce qui est au delà des normes recommandées pour l'élevage des bovins [18].

Tableau 3.2 : Valeurs typiques moyennes de la composition des cladodes utilisées en alimentation animale [41].

| Composition chimique                   | Quantité    |
|--|-------------|
| Eau                                    | 85-90%      |
| Protéines brutes                       | 5-12%       |
| Digestibilité de MS in vitro           | 75 %        |
| Digestibilité des Protéines in vivo    | 72 %        |
| MS                                     | 62 %        |
| Fibres 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 (µg/100g)                 | 29          |
| Acide ascorbique (vitamine C, mg/100g) | 13%         |

De ce fait deux règles doivent être prise en considération lors de l'alimentation du bétail [67]:

1- Le cactus constitue un régime non équilibré et devrait être alimenté en association avec les produits alimentaires fibreux (paille, foin, arbustes, ...etc.) il doit également être complété avec une source appropriée et moins chère d'azote.

2 – Le cactus est riche en hydrates de carbone solubles en Ca, mais pauvre en P. Donc il est recommandé :

A – d'adopter la mélasse à la ration pour éviter de diminuer l'activité cellulosique du rumen.

B – de limiter la quantité de graines dans le régime pour la même raison.

C – de donner aux animaux des aliments fibreux (paille, foin, ...etc.) avant de donner le cactus.

D'ailleurs un supplément minéral spécial est exigé pour fournir le soufre (S) afin de maintenir un rapport d'équilibre Ca/ P.

En ce qui concerne la valeur fourragère, pratiquement il faut tenir compte des variations de la valeur alimentaire des raquettes suivant leur âge [68].

- 0, 6 UF/kg MS: raquette d'un an.

- 0, 4 UF/kg MS: raquette de 2 ans.

- 0, 2 UF/kg MS: raquette de 4 ans.

Les variations qui apparaissent, sont dues à des caractères génétiques des populations du cactus ou encore à la fertilité des sols [51,68].

### **3-3-3-3/ Autres utilisations :**

#### **3-3-3-3-1/ Apiculture :**

Les abeilles sont très attirées par les fleurs de l'Opuntia, ce qui rend possible d'intégrer l'apiculture dans le système de production, et d'ajouter une source financière supplémentaire. Au Maroc, Le rendement des ruches dans la région de Tiznit au Maroc est de 1 à 4 Kg de miel par ruche [18].

#### **3-3-3-3-2/ La production industrielle :**

Il est possible de valoriser le cactus industriellement dont on peut produire l'alcool, le savon, les colorants, les pectines et les huiles [23]. De même des produits pharmaceutiques (vitamines) et cosmétiques comme les crèmes, les champings, les assouplissant de cheveux, l'eau de cologne et d'autres produits de beauté [36].

Les graines et la pulpe du fruit contiennent un pourcentage considérable d'huile. Dont on trouve 87% chez les graines et 52,9% des lipides totaux chez la pulpe. Les acides

gras contenus dans la pulpe et la graine sont; l'acide linoléique (dominant), suivi, par l'acide palmitique et l'acide oléique. Cette propriété sert à valoriser le fruit et les graines en même temps, dans le domaine industriel [69].

Le cactus peut être utilisé pour la production d'énergie. Les cladodes constituent un bon matériel pour la production des biogaz, soit seul ou mélangé avec le fumier du bétail et des chèvres. Surtout que la productivité de cette espèce en matière sèche est considérable, elle arrive jusqu'à 10 t/ha/an dans des conditions de précipitations limitées [70].

## CHAPITRE IV

### MATÉRIEL ET MÉTHODE

#### **4-1 Matériel**

##### **4-1-1 Matériel de terrain :**

Certaines mesures doivent être effectuées sur pied. Le matériel adopté est une règle ordinaire, un Mètre ruban et un appareil photo.

##### **4-1-2 Matériel de laboratoire :**

- Une balance de précision (0,01g).
- Un pied à coulisse.

##### **4-1-3 Matériel végétal :**

Les études sur les variétés ou les écotypes d'*Opuntia ficus indica* sont manquantes en Algérie. Ceci constitue un handicap pour l'amélioration. Afin de contribuer à enrichir les informations sur ce genre en Algérie, concernant le domaine de la diversité, nous allons inventorier les espèces introduites, et étudier les traits de distinction (phénotypiques et phénologiques) entre les formes inermes et épineuses de l'espèce *Opuntia ficus indica* dans différentes régions du milieu steppique. Dans les régions de Kissa (Tébessa) et de Belaïba (M'sila) pour les formes inermes, et dans les régions de Doukkara (Tébessa), Choucha (Laghouat) et Zaâfrane (Djelfa) pour les formes épineuses. Dans la région d'El-Mesrane (Djelfa) pour les autres espèces introduites. Les observations et les mesures se font dans des parcelles, qui présentent des superficies d'un hectare, même s'il y a disponibilité des superficies supérieures à un hectare.

##### **4-1-3-1 Etude du milieu :**

##### **4-1-3-1-1/ Présentation et caractéristique du milieu steppique :**

##### **4-1-3-1-1-1/ Définitions et superficies :**

Les steppes sont des formations basses et ouvertes, caractérisées par l'absence d'arbres. Il existe plusieurs associations végétales liées à des conditions d'aridité ou de nature de sol bien particulière [71].

Les géographes, les climatologues et les biologistes spécialistes de l'Afrique du nord sont généralement d'accord pour qualifier d'arides les portions de territoire comprises

entre les isohyètes de 100 à 400 mm, bien que l'on constate de nombreuses variations dans la terminologie utilisée [72].

En Algérie la superficie des zones arides et semi-arides entre 100 et 400mm, est égale à 29 millions d'hectares, dont la superficie effectivement consacrée au pâturage (y compris les jachères) est d'environ 20 millions d'hectares [73]. Alors que la végétation steppique méditerranéenne a été réduite de 2%/an, ceci correspond à une réduction de 50% pendant une période de 35 ans [1].

#### **4-1-3-1-1-2/ Délimitation géographique et caractéristiques :**

En Algérie, la steppe constitue une vaste région, qui s'étend au sud de l'Atlas Tellien, formant un ruban de 1000km à l'ouest et au centre, réduite à moins de 150km dans l'est [71].

**1/ limite supérieure de la zone aride :** La steppe commence avec le tracé de l'isohyète 400 mm de précipitation moyenne par année.

Dans l'ouest et dans le centre, le tracé de l'isohyète suit le flanc sud de l'Atlas tellien, la steppe s'y compose de trois ensemble, s'étendant successivement au sud du Tell :

- Les hautes plaines algéro-oranaises.
- L'Atlas saharien (Monts des Ksour, Djebel Amour, Monts des Ouled Nail).
- Le piémont sud de l'Atlas saharien.

Dans l'est, par contre, l'isohyète décrit une courbe vers le sud-est, passant sur le flanc sud des monts du Hodna, et contournant l'Aurès par le sud ; l'isohyète remonte ensuite vers le nord-est, sur le flanc nord du Nementcha, et au niveau des hautes plaines de Tébessa [71].

Cette limite constitue la limite inférieure des chênes verts et kermès ; mais c'est aussi la limite inférieure de la culture commerciale des céréales, ainsi que des cultures fourragères et des pâturages semés.

La variabilité élevée de la pluviosité dans les zones arides chaudes, tend à favoriser les végétaux crassulescents ou succulents à voie de carboxydation CAM dont l'Opuntia, particulièrement lorsque l'humidité atmosphérique est relativement élevée [74].

**2/ Limite inférieure de la zone aride :** La limite sud de la steppe est celle des précipitations moyennes de 100 mm par an, là où commence le désert saharien.

La limite de l'alfa, proposée par Capot-Rey en 1959, constitue un critère objectif que l'on peut mettre en corrélation avec de nombreux autres. Il s'agit, bien entendu, de la

limite écologique de la plante et non de sa limite réelle et actuelle, car celle-ci a pu être considérablement modifiée par l'homme, notamment par les défrichements [74].

L'isohyète annuelle de 100 mm/an passe aux environs de Berriane jusque 15 km au nord de Bécharr (90 mm/an), de Beni-Ounif (108 mm/an) et Figuig (128 mm/an) [74].

#### **4-1-3-1-2/ Cadre d'étude :**

##### **4-1-3-1-2-1/ Situation géographique :**

Nos zones d'étude se localisent dans les steppes sud algéroises et sud constantinoises et englobant les zones de (Figure 4.1) :

- Kissa et Doukkara de la wilaya de Tébessa ;
- Belaiba (lieu dit Théniet El-Chara) de la wilaya de M'sila ;
- Zaâfrane et Mesrane de la wilaya de Djelfa ;
- Choucha de la wilaya de Laghouat ;

Pour les provenances inermes :

- La région de Kissa (Tébessa) appartient administrativement à la commune de Boulhaf Dyr. elle se situe sur la latitude  $35^{\circ} 34'$  nord, la longitude  $8^{\circ} 5'$  est et une altitude de 789 m. Cette commune est limitée au nord par les communes Morsot et Ain Zerga, au sud par Tébessa et Bekkaria, à l'est par El-Kouif et à l'ouest par Bir Dheheb.
- La commune de Belaiba (M'sila) se situe sur la latitude  $35^{\circ} 36'$  nord, la longitude  $05^{\circ} 17'$  est et une altitude de 585 m. Cette commune est limitée au nord par les communes de Boutaleb et Hamma, au sud par Ouled Ammar et Metkaouak, à l'est par Djezzar et à l'ouest par Magra.

Pour les provenances épineuses :

- La région de Doukkara (Tébessa) appartient administrativement à la commune de Safsaf El Ouesra. La région se situe sur la latitude  $35^{\circ} 58'$  nord, la longitude  $8^{\circ} 14'$  est et une altitude de 878 m. Cette commune est limitée au nord par les communes El Malabiod et Oum Ali, au sud par Bir El Ater, à l'est par la Tunisie et à l'ouest par El-Ogla ElMalha.
- La région de Choucha (Laghouat) appartient administrativement à la commune de Sidi Makhlof. Cette région se situe sur la latitude  $34^{\circ} 8'$  nord, la longitude  $3^{\circ} 01'$  est et une altitude de 916 m. Cette commune est limitée au nord par les communes Taâdmit, Douis et Ain Chouhada, au sud par Laghouat et El-Assafia, à l'est par Taâdmit et Deldoul à l'ouest par Tajemout.

- La commune de Zaâfrane (Djelfa) se situe sur la latitude  $34^{\circ} 54'$  nord, la longitude  $2^{\circ} 62'$  est et une altitude de 950 m. Cette commune est limitée au nord par les communes Guernini, Hassi Bahbah et Kser Chellala au sud par Charef, à l'est par Ain Maâbed et Hassi Bahbeh et à l'ouest par El Guedid.

Pour les autres espèces d'Opuntia :

-La région de Mesrane qui appartient administrativement à la commune de Ain Maâbed, elle se situe sur la latitude  $34^{\circ}, 36'$  nord, la longitude  $3^{\circ} 03'$  est, une Altitude 879 m. Cette commune est limitée au Nord par Hassi El-Euch et Hassi Bahbah, au Sud par Djelfa à l'Est par Sidi Baïzid et Dar Chioukh et à l'Ouest par Zaâfrane.

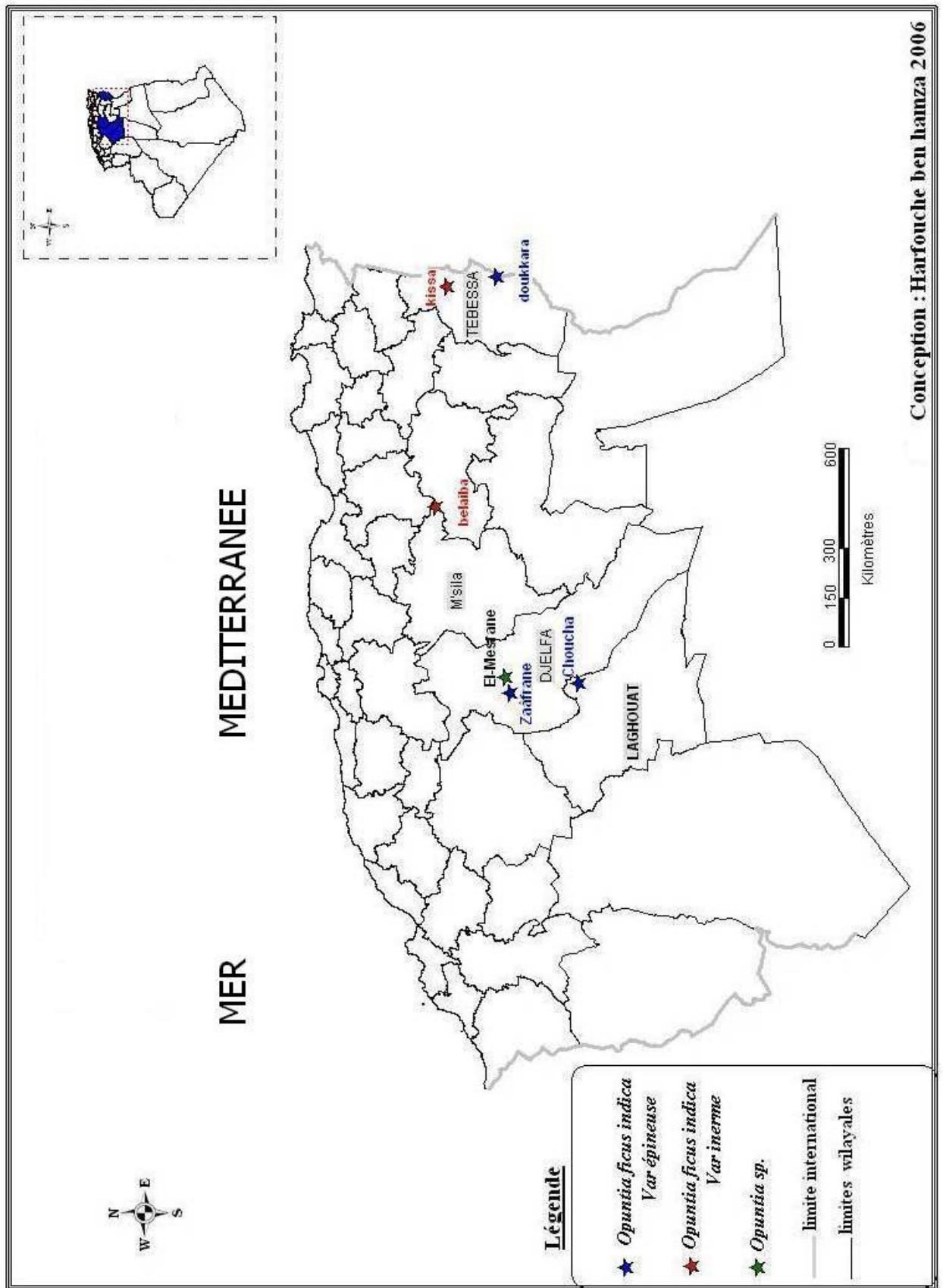


Figure 4.1 : Carte de situation des zones d'étude



#### **4-1-3-1-2-2/Cadre climatique et édaphique des stations :**

##### **4-1-3-1-2-2-1/Climat :**

##### **A/Origine des données :**

Les données utilisées sont relatives à quatre postes météorologiques, relevant de l'O.N.M., de M'sila, Djelfa, Laghouat et Tébessa. Ces dernières sont choisies comme des stations de référence, puisqu'elles sont les plus proches de nos zones d'études ; les obstacles géomorphologiques sont absents. Ce qui nous a permis de procéder à des corrections climatiques selon le gradient pluviométrique de Djebaili pour les steppes sud-algéroises. Le gradient pluviométrique de Djebaili est donc de 20 mm/100m, et le gradient thermique de Djellouli qui est pour  $M=0.8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  et  $m=0.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  [75,76].

##### **B /Précipitation :**

La forme des précipitations 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 végétale. Ainsi que la précipitation moyenne mensuelle, c'est de la répartition des pluies dont dépend la vie des végétaux [76].

Il ressort de l'analyse des données (tableau 1; Appendice I) :

- Pour ce qui est des zones de cactus inerme; la zone de Kissa a une précipitation moyenne annuelle de 421,2 mm, alors que Belaiba a une précipitation de 246,7 mm.
- Pour le cas des zones de cactus épineux ; la zone de Doukkara prend le premier rang avec une précipitation moyenne annuelle de 416,8 mm, puis la zone de Zaâfrane avec une précipitation de 239 mm, enfin la zone Choucha avec une précipitation de 184,6 mm.
- Pour le cas des autres espèces; la zone de Mesrane a une précipitation moyenne annuelle de 224,98 mm.

L'année la plus arrosée est 2003 pour les zones de Kissa, Doukkara et Belaiba, l'année 1999 pour la zone de Choucha, et l'année 1996 pour les zones de Zaâfrane et Mesrane.

La répartition des précipitations moyennes mensuelles de différentes stations d'étude (tableau 2; Appendice I), montre que le mois de Septembre est le plus pluvieux, sauf pour Zaâfrane et Mesrane, c'est le mois de Janvier, qui est le plus pluvieux, alors que le mois de Juillet constitue le mois le plus sec pour toutes les zones d'étude.

### C / Régimes saisonniers :

Pour la végétation, la répartition des pluies est plus importante que la quantité annuelle des précipitations, l'eau utile est celle qui est disponible durant le cycle de développement [77]. 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 [76].

Le type APHE est le régime pluvial des zones de Kissa, Belaiba, Doukkara et Choucha. Et le type HAPE pour les zones de Zaâfrane et Mesrane, avec l'été comme la saison la plus sèche alors que la saison la plus humide est l'automne pour les quatre premières zones et l'hiver pour Zaâfrane et Mesrane (Tableau 03; Appendice I et Figure 4.2)

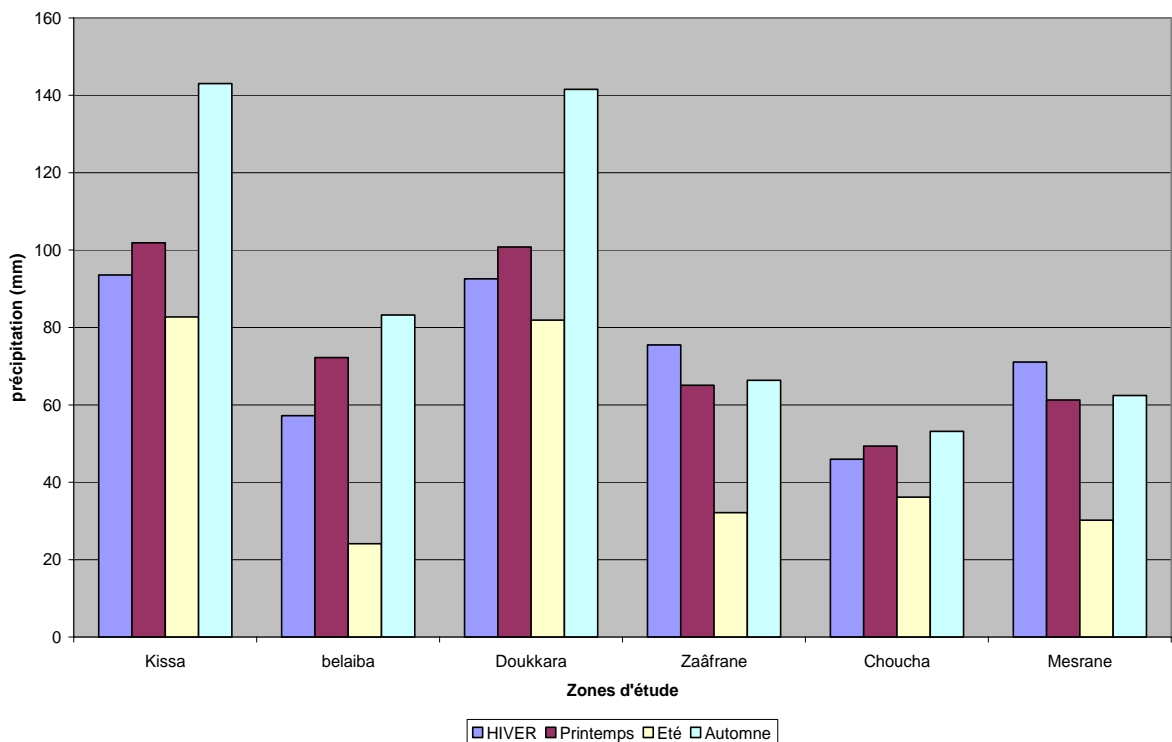


Figure 4.2 : Régime saisonnier des zones d'étude.

### D /Températures :

L'examen des données relatives à la température (Tableau4; Appendice I), nous a permis de faire des observations dont :

Les températures moyennes mensuelles marquent un minimum au mois de Janvier dans toutes les zones d'étude, avec les valeurs minima: Kissa 1,93 °C, Belaiba 3,74 °C, Doukkara 1,99°C, Choucha 2,24 °C, Zaâfrane 1,52°C et Mesrane 1,73 °C.

La moyenne des maxima du mois le plus chaud est celle du mois de Juillet pour toutes les zones d'étude, avec les valeurs maxima: Kissa 34,54 °C, Belaiba 37,34 °C, Doukkara 34,72°C, Choucha 37,70 °C, Zaâfrane 35,89°C et Mesrane 36,45 °C.

### E / Autres phénomènes :

**La gelée :** Dans le Tell, les Hauts 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 [79]. Les gelées sont fréquentes à partir du mois de Novembre, elles s'étalent au mois de Mars, durant la période allant de 1995 à 2004. La plus grande valeur a été enregistrée durant le mois de Janvier au niveau de toutes les régions, avec des valeurs moyennes relativement élevées dans les régions de Djelfa (12,5 j.); moyennes dans la région de Laghouat (9.67 j.) Tébessa (8,9 j.); et petites pour la région de M'sila (4,71 j.). En ce qui concerne le nombre de jours moyen annuel pendant la période de 1995 à 2004, en premier lieu, la région de Djelfa compte 40,7 j/an ; ensuite Tébessa avec 26.6 j/an, puis vient Laghouat et M'sila respectivement avec 18.2 et 6.2 j/an (Tableau 05; Appendice I et Figure 4.3).

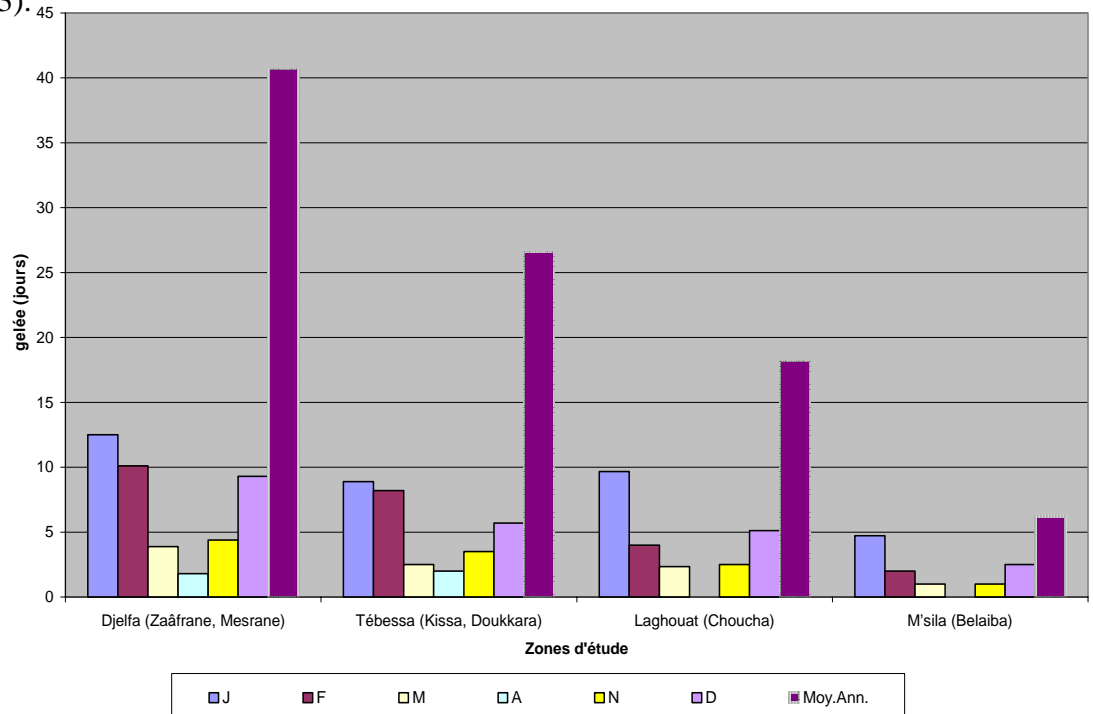


Figure 4.3 : Répartition moyenne mensuelle et annuelle du nombre de jours de la gelée des différentes zones d'étude pendant la période (1995-2004)

#### **4-1-3-1-2-2-2/Cadre bioclimatique :**

##### **A / Saison sèche :**

La saison sèche (durée et intensité) joue un rôle capital dans la distribution de la végétation [80]. D'après Bagnouls et Gaussen [80], 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, exprimée en degrés centigrades ». Cette formule permet de construire des diagrammes ombrothermiques illustrant la saison sèche des différentes zones d'étude.

Le diagramme ombrothermique (Figure 01; Appendice I) montre que :

- Pour les zones de cactus inerme; Kissa présente une saison sèche de 4 mois, cependant la zone de Belaiba (lieu dit Théniet chara) a une saison sèche de 10 mois.
- Pour les zones de cactus épineux ; vient en premier lieu Choucha (Laghouat) avec environ 11 mois, ensuite Zaâfrane (Djelfa) environ 9 mois, et enfin Doukkara environ 4 mois de saison sèche.
- Pour la zone de Mesrane, la saison sèche dure 9 mois.

##### **B /Quotient pluviothermique et climagramme :**

Les climats sont classés en fonction de deux critères : l'indice pluviothermique «  $Q_2$  » et la moyenne des minimum du mois le plus froid «  $m$  » [72].

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

Où  $P$  = pluviosité moyenne annuelle.

$M$  = moyenne des maximum du mois le plus chaud (Juillet, Août).

$m$  = moyenne des minimum du mois le plus froid (Janvier).

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

En reportant les valeurs de  $Q_2$  et de  $m$  sur le climagramme d'Emberger (Tableau 06 et Figure 02; Appendice I), nos zones d'étude sont situées :

- Pour les zones de cactus inerme ; Kissa se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride, variante à hiver frais, cependant Belaiba se situe dans l'étage bioclimatique aride moyen, variante à hiver tempéré.
- Pour les zones de cactus épineux ; Doukkara se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride, variante à hiver frais, alors que Zaâfrane prend place dans l'étage bioclimatique aride moyen, variante à hiver frais, enfin Choucha se place dans l'étage bioclimatique aride inférieur, variante à hiver frais.

- Pour la zone de Mesrane, elle se situe dans l'étage bioclimatique aride moyen, variante à hiver frais.

#### **4-1-3-1-2-2-3/ Etude du sol :**

##### **A / Relevés pédologiques :**

##### **A<sub>1</sub>/ phase de terrain :**

Les relevés pédologiques servent à caractériser le milieu édaphique, et sert en tant que support pour l'espèce étudiée. Le type d'échantillonnage adopté est l'échantillonnage subjectif : les prélèvements sont effectués dans les terrains les plus homogènes (un type de sol est dominant), et dans les champs où poussent les pieds d'Opuntia. Trois prélèvements doivent être pris pour chaque échantillon. La profondeur de prélèvement varie de 30 à 45 cm selon l'épaisseur du sol.

**A<sub>2</sub> / phase de laboratoire :** Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de pédologie, département d'agronomie à l'Université Saad Dahleb, Blida. Les échantillons ont subi certaines analyses qui puissent affecter le bon développement de l'Opuntia à savoir : La texture, la matière organique, le calcaire total et actif, le pH et la conductivité électrique.

**A<sub>2.1</sub>/La texture :** L'analyse granulométrique permet de déterminer la composition élémentaire du sol, elle se fait en deux étapes [81] :

- la première étape consiste à prélever les argiles et les limons par pipetage.
- La deuxième étape consiste à prélever les sables par siphonage.

**A<sub>2.2</sub>/ La matière organique :** Le taux de la matière organique est déterminé indirectement, en adoptant la méthode ANNE [81].

**A<sub>2.3</sub>/ Le calcaire total et actif :** Le calcaire total est déterminé par la méthode volumétrique. Si le taux de ce dernier excède 5%, on a recours au calcul du taux du calcaire actif, ce dernier constitue une partie plus ou moins importante du calcaire total, il se trouve à l'état de fines particules actives pour les végétaux et facilement solubilisés par les eaux riches en gaz carbonique. Le calcaire actif est déterminé par la méthode du dosage (Méthode Drouineau-Galet) [81].

**A<sub>2.4</sub>/ Le pH :** consiste à mesurer l'acidité actuelle (H<sub>2</sub>O) par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH-mètre [81].

**A<sub>2.5</sub>/ La conductivité électrique :** Elle renseigne sur le degré de la salinité. La mesure de la conductivité électrique s'effectue par la méthode électrométrique à l'aide d'un conductimètre [81].

**A<sub>3</sub>/ Résultats d'analyse :**

- Pour les provenances inermes, celles de Kissa (Tébessa) et Belaiba (M'sila).
  - La texture du sol est limono-sableuse pour les deux régions ; ce qui est favorable pour le développement du cactus.
  - Les deux régions sont très pauvres en matière organique, Kissa est relativement riche (0,81%) par rapport à celle de Belaiba (0,40%).
  - Les deux régions sont très calcaires; Kissa (45,76%) et Belaiba (32,91%) avec un effet chlorosant du calcaire actif (Kissa (15%), et Belaiba (11,25)).
  - Le pH des deux régions est légèrement basique (Kissa (7,95), Belaiba (7,69)).
  - La conductivité électrique des deux régions, est de 0,331 mmho/cm<sup>2</sup> pour Kissa et de 0,598 mmho/cm<sup>2</sup> pour Belaiba, ces deux valeurs montrent qu'il n'existe pas de signes de salinité (Tableau 7; Appendice I).
- Pour les provenances épineuses, celles de Doukkara, Choucha et Zaâfrane.
  - La texture du sol de Doukkara est limoneuse, sablo-limoneuse pour Zaâfrane et sableuse pour Choucha.
  - La région de Doukkara est pauvre en matière organique, alors que les deux autres régions sont très pauvres, Doukkara est relativement riche (1,20%) par rapport à Zaâfrane et Choucha (respectivement 0,36% et 0,20%).
  - Doukkara présente un sol très calcaire (38,73%), alors que Zaâfrane est moyennement calcaire (7,94%), les deux régions montrent un effet chlorosant du calcaire actif, cependant Choucha est peu calcaire (3,77% < 5%) c'est-à-dire pas d'effet du calcaire actif.
  - Les trois régions Doukkara, Choucha et Zaâfrane présentent un pH légèrement basique dont les valeurs sont respectivement (7,52, 7,53 et 7,96).
  - Les trois régions ne montrent pas un effet de salinité dont les valeurs de la conductivité électrique sont, 0,710 mmho/cm<sup>2</sup> pour Doukkara, 0,322 mmho/cm<sup>2</sup> pour Choucha et 0,416 mmho/cm<sup>2</sup> pour Zaâfrane avec (Tableau 7; Appendice I).

#### **4- 2 Méthodes :**

L'amélioration des plantes se base sur une large utilisation de la variabilité génétique au sein des communautés naturelles sauvages d'une espèce cultivée donnée. Les méthodes devant permettre le choix des bons individus, au sein de ces communautés naturelles, résidaient jusqu'à maintenant sur des méthodes telles que l'observation d'un phénotype dans un écotope donnée. Ceci est le résultant complexe de l'expression d'un et bien souvent d'une multitude de gènes [38]. La méthode de prospection adoptée est inspirée de différents travaux effectués afin de distinguer les différentes variétés, dont les travaux de Dehbi et Radouane en 2000 et Pimienta et Munos en 1995 et les critères de distinction de document des examens de D.H.S. adopté par l' U.P.O.V. de 2004. En résumé, les variétés se distinguent par la période de floraison, de fructification, du port du pied, de la forme, des dimensions, et de la couleur des cladodes; la forme, la dimension et la couleur du fruit. Le nombre d'épines par aréole, l'épine centrale (surface, port, courbure, torsion), la couleur principale des épines, le nombre de graines par gramme de fruit, la taille et la couleur de la graine, sont aussi des critères de distinction. Cependant, si les habitats de deux formes différentes, semblent légèrement différents, alors nous pouvons les qualifier comme deux écotypes [34].

Pour notre cas, nous avons essayé de balayer certaines régions steppiques où pousse cette espèce. Des visites de prospections, ont été effectuées dans ces régions, dont on cite.

- Médéa (la zone de Hammadat El Madjnouna) où toutes les plantations de cette région ont été endommagées par les gelées, suivies par une période de froid prolongée.
- M'sila, où nous avons trouvé seulement les formes inermes. Les régions visitées sont, Belaiba (lieu dit Theniat El Chara et Kef El Tair), Sidi Hadjress (Dayet El Bessbess) et Ben Srour (Oued Mellah).
- Tébéssa, Pour les formes inermes, la région visitée est Kissa à Boulhaf Dyr, cependant pour les formes épineuses : la région de Doukkara à Safsaf El Ouessra et Slislat Ben Kffif à Bir Dheb.
- Laghouat, nous avons trouvé les formes épineuses à Choucha dans la commune de Sidi Makhoulouf.
- Djelfa, les formes épineuses sont présentes à Zaâfrane, et d'autres espèces introduites dans la région d'El-Mesrane.

Après ces visites de prospection, certaines stations ont été choisies, Ces dernières montrent des âges relativement importants (entre 10 et 40 ans) et elles sont productives (production de cladodes et de fruits).

Tous les échantillons (observation, mensuration, photos des fleurs, des fruits et des cladodes etc....) servent à caractériser les provenances.

Pour la forme inerme ; les provenances de M'sila (Belaiba "Theniat El-Chara") et de Tébessa (Kissa) deux régions bioclimatiquement différentes, sont distantes d'environ 400 Km (Figure 4.1).

Pour la forme épineuse ; les provenances sont de Tébessa (Doukkara), Laghouat (Choucha) et Djelfa (Zaâfrane). Djelfa et Laghouat sont distantes de Tébessa d'environ 600 Km (Figure 4.1).

Ces provenances apportées des différentes régions, caractérisent mieux la steppe ; dont Tébessa constitue la zone par excellence de la culture de l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill..

Les trois autres régions : Djelfa, Laghouat et M'sila font partie des zones d'introduction de cette espèce par le H.C.D.S.. Nous signalons que les provenances inventoriées de M'sila et de Djelfa ne font pas partie de cette introduction.

Ainsi la description des espèces introduites dans la région d'El-Mesrane, rentre dans l'inventaire et l'évaluation de la variabilité de ce genre, dans le milieu steppique. Pour l'identification des espèces, on c'est basé sur les clés décrits de détermination décrites par Scheinvar en 1995; ainsi l'identification de l'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* a été effectuée avec l'aide de M<sup>r</sup>. Joe Marcus du centre "the Lady Bird Johnson Wildflower Center " du département de l'agriculture des Etats Unies Américaines, par courrier électronique.

#### **4-2-1/ Caractères étudiés :**

L'étude de ces provenances vise à déceler les variations entre les différentes provenances, afin de contribuer à l'évaluation de la variabilité (différentes formes d'adaptations dont les écotypes etc.....) de cette espèce dans le milieu steppique.

Les caractères qui font l'objet de l'étude sont :

1/ Les caractères qualitatifs :

- Forme et couleur des cladodes.
- Forme et couleur des épines.
- Couleur des fleurs.
- Forme et couleur des fruits.



2/ Les caractères quantitatifs :

a/ Les caractères discontinus.

-Période de floraison.

-Période de fructification.

b/ Les caractères continus :

-Dimensions des cladodes de l'année (longueur, largeur, épaisseur), le rapport largeur /longueur peut nous renseigner sur la forme de la cladode.

- Nombre d'épines par aréole.

-Longueur de l'épine la plus longue par aréole.

-Poids et dimensions du fruit (longueur, largeur, épaisseur, diamètre géométrique calculé).

-Nombre de graines par gramme de fruit.

-Taille de la graine.

#### **4-2-2/ Echantillonnage :**

Nous avons divisé les échantillons en deux; ceux destinés aux observations et ceux destinés aux mesures. On a limité les superficies des parcelles expérimentales à un hectare. Même s'il y a disponibilité des superficies supérieures à un hectare.

#### **4-2-2-1/ Observations :** Les observations effectuées concernent :

- Le port du pied
- La forme et la couleur de la cladode
- La forme et la couleur des épines
- La couleur des fleurs
- La période de floraison et de fructification

Ces observations sont faites sur des sujets qui font partie de la station et ne nécessitent pas un plan d'échantillonnage, elles sont soutenues par des photos. Le port des pieds, la forme des cladodes, des épines et des fruits que peut prendre le figuier de barbarie et les xoconostles sont décrits par l'U.P.O.V. en 2004 (Figure 4.4, 4.5, 4.6, 4.7).

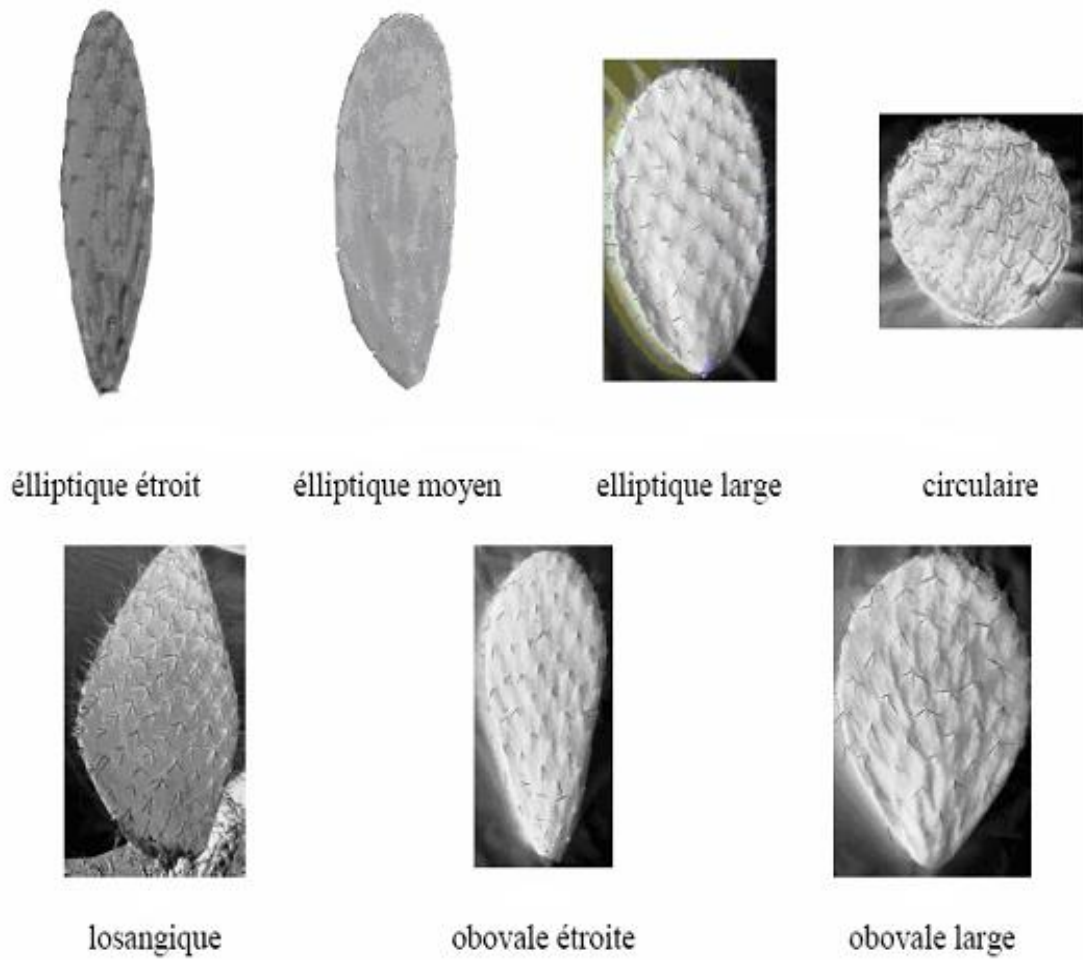


Figure 4.4 : Les différentes formes de cladodes [35].

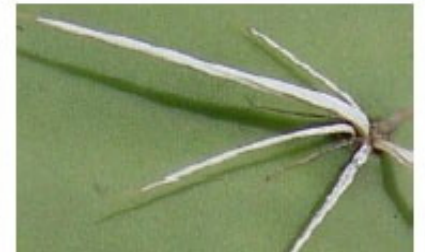
Aiguillon central : port



érigé

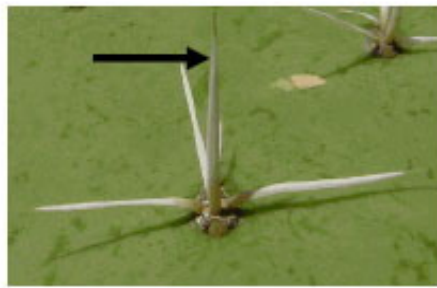


demi érigé

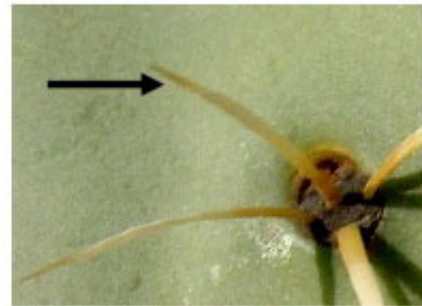


horizontal

Aiguillon central : courbure (sauf la base)



absente



présente

Aiguillon central : torsion



absente



présente

Figure 4.5 : Différent formes d'épine centrale [35].

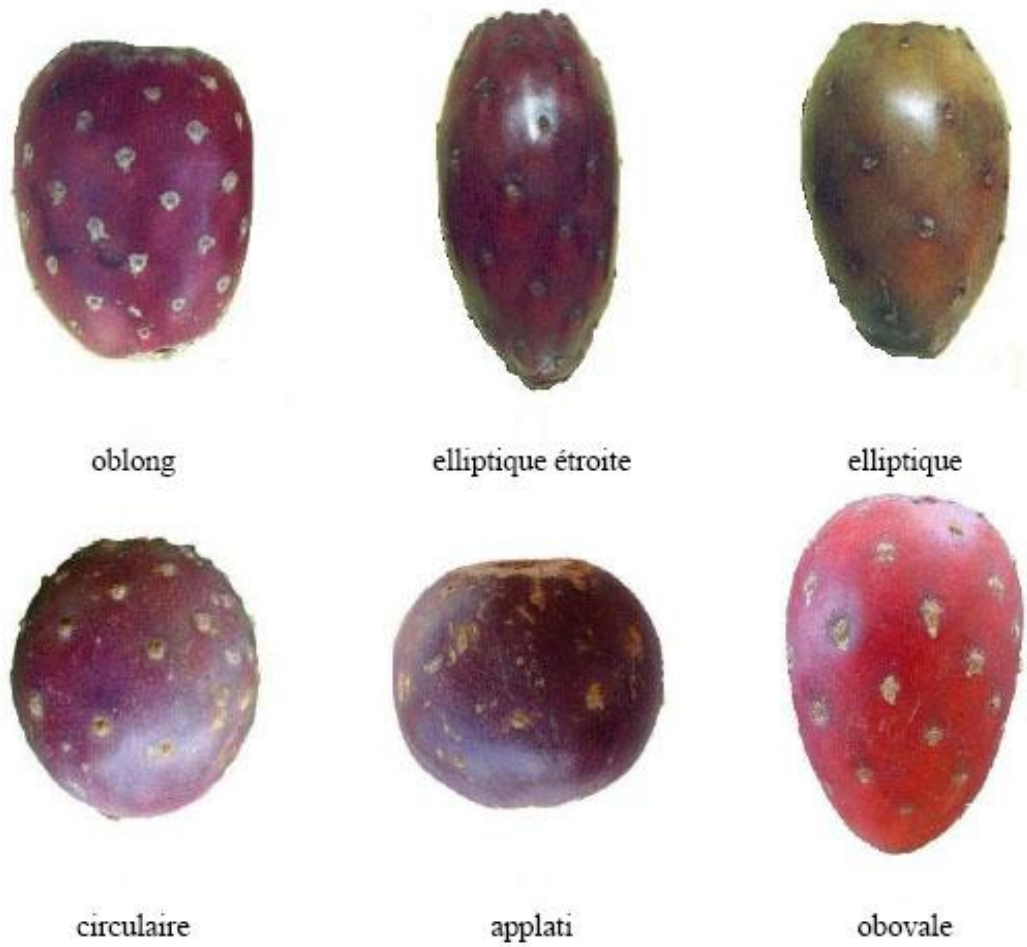


Figure 4.6: Les différentes formes de fruit de figuier de barbarie et de xoconostles [35].

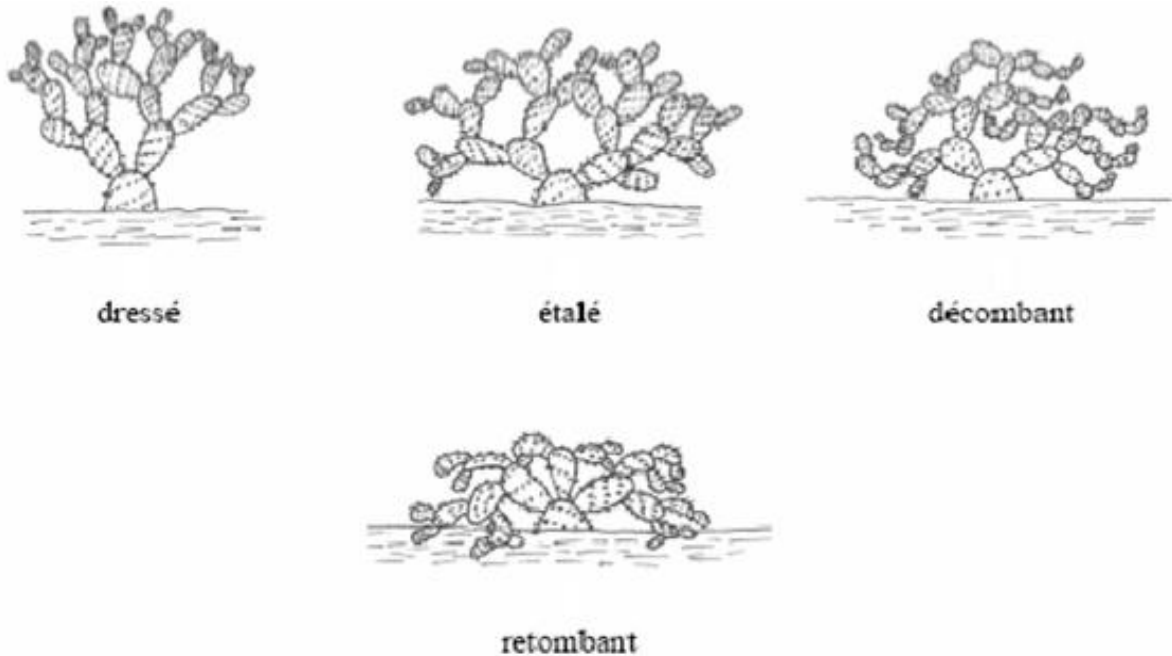


Figure 4.7 : Les différents ports de figuier de barbarie et de xoconostles [35].

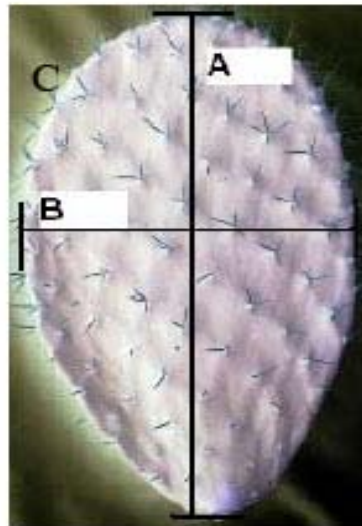
#### **4-2-2-2/ Les mensurations et les mesures :**

Ce sont des variables continues. L'analyse de ces mesures est effectuée par l'analyse de la variance, en utilisant l'A.N.O.V.A. à une seule voie (logiciel Statistica 6). Nous cherchons à étudier l'existence d'une différence (à 5 %, 1% ou 0,5%) entre ces provenances, par le biais de certains traits morphologiques (caractères). Nous savons que deux variétés différentes peuvent se distinguer seulement par un seul caractère parmi ceux mentionnés par l'U.P.O.V. en 2004. Donc notre étude consiste à qualifier comme variété ou écotype toute provenance montrant une différence significative pour un caractère. D'abord pour les formes inermes et puis pour les formes épineuses d'*Opuntia ficus indica* Mill..

**4-2-2-2-1/ Hauteur des pieds :** La hauteur des pieds (en m) est mesuré par un ruban mètre du sommet du pied jusqu'au ras du sol. Les mesures se font sur 5 pieds choisis d'une façon aléatoire. Les sujets mesurés doivent être sains c'est-à-dire qu'ils ne présentent pas des signes d'endommagement.

**4-2-2-2-2/ Cladode :**

Les cladodes concernées sont celles d'une ou de deux années, ayant acquis leur forme définitive [35]. Elles se distinguent des autres par leur position terminale sur le pied. Les cladodes des pieds des diagonales de la parcelle font l'objet de sujets mesurés. Cependant dans certains cas, du fait que les parcelles sont très denses où l'accès est impossible, cette règle n'est pas respectée, ce qui nous oblige à effectuer les mesures aux alentours des parcelles. Les mesures consistent donc à mesurer la longueur et la largeur de 30 cladodes directement sur le pied avec une règle ordinaire (Figure 4.8), alors que l'épaisseur est mesurée en utilisant un pied à coulisse.



A: Longueur, B: Largeur,  
C: Epaisseur.

Figure 4.8 : Les différentes mesures des cladodes

Les variables mesurées sont la longueur, la largeur et l'épaisseur alors que la variable calculée est le rapport largeur /longueur de la cladode qui peut, en effet, déterminer la forme de la cladode.

Le comptage du nombre d'épines par aréole, et la mesure de la longueur d'épine centrale sur 30 épines. Deux traits importants pour distinguer les différentes formes.

#### 4-2-2-2-3/Le fruit :

Le fruit doit être collecté au moment de la maturation. Le changement de la couleur de fruit est un indice de maturité [16]. Les variables mesurées sont la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids du fruit. Les mesures des dimensions sont exprimées en cm alors que le poids est exprimé en g (Figure 4.9).

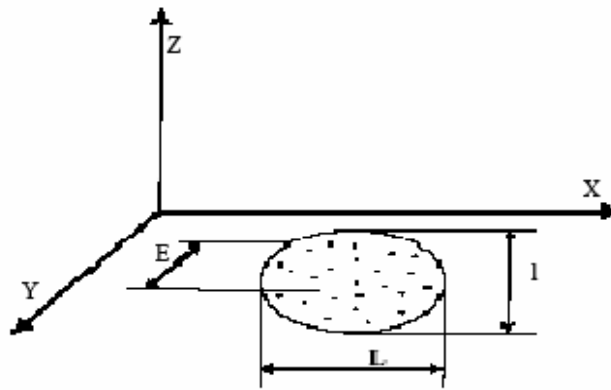


Figure 4.9 : Axes et les trois majeures dimensions du fruit.

Alors que les variables calculées sont le diamètre géométrique ( $D_g$ ) exprimé en cm, la sphéricité ( $\theta$ ) et la surface de la peau ( $S$ ) exprimée en  $\text{cm}^2$ , en utilisant les équations suivantes :

|                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| $D_g = (L \times l \times E)^{1/3}$ , | où L: longueur |
| $\theta = D_g / L$ ,                  | l: largeur     |
| $S = \pi \times D_g^2$ ,              | E: épaisseur   |

Ces équations ont été utilisées dans les travaux de Baryeh en 2001, Demir et al. en 2002, Mohsenin en 1980 et Sitkei en 1986, pour déterminer par des calculs le diamètre

géométrique, la sphéricité et la surface de la peau du fruit [83]. En effet, le diamètre géométrique, la sphéricité, nous permettent de confirmer la forme observée des fruits, par le biais des calculs. Alors que la vigueur du fruit est exprimée nettement par le calcul de la surface de la peau de ce dernier, que par les dimensions ordinaires (longueur, largeur, épaisseur) ou la sphéricité.

Le fruit est également pesé par une balance digitale avec une sensibilité de 0.01g .Le nombre de fruits affectés par ces mesures et pesés est de 20 fruits [35].

#### **4-2-2-2-4/La graine :**

L'extraction des graines est très difficile, et nécessite un travail minutieux, puisque les graines sont fortement liées à la chair du fruit. Les variables concernant les graines, sont le nombre de graines dans un gramme de fruit entier et le nombre de graines avortées par fruit, 5 fruits font l'objet de ce comptage. La quantification des graines par fruit doit être faite par le nombre de graines par gramme de fruit et non pas par le pourcentage du poids des graines par rapport au poids du fruit [35]. Dans le même sens des travaux récents, montrent que la comparaison des variétés par le biais du nombre de graines par gramme de pulpe, et non pas par gramme du fruit entier risque d'éliminer certains détails du fruit; par exemple le pourcentage des graines par rapport au poids de la pulpe et de la pelure du fruit [84]. Pour la sélection des graines normales de celles qui sont avortées, nous avons adopté les limites de dimensions de diamètre cité par Cowan et Felker [84], qui ont rapporté que les graines normales ont des dimensions supérieures à 1,7 mm, alors que les graines avortées présentent des dimensions de 1 à 1,7 mm. Le diamètre des graines (mm) est mesuré en utilisant le pied à coulisse sur 50 graines.



## CHAPITRE V

### RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### **5-1/ Les formes inermes :**

##### **5-1-1/ Résultats :**

Comme nous avons déjà mentionné, dans le matériel végétal, nous avons choisi deux provenances; l'une à Tébessa (Kissa) et l'autre à M'sila (Belaiba), pour comparer certains aspects phénotypiques et phénologiques jugés importants dans la distinction entre les variétés [35]. Ce ci par le biais des observations sur champs, celles-ci consistent en des appréciations visuelles soutenues dans la plus-part du temps par des photos et Des mensurations et mesures répétées.

##### **5-1-1-1/ Les observations :**

Nos observations montrent qu'ils existent certaines différences:

- concernant le port, il est étalé pour la provenance de Kissa, alors qu'il est décombant pour Belaiba.
- La couleur des fruits est jaune pour la provenance de Kissa, et jaune et rouge pour Belaiba.
- La fructification se produit à la fin du mois d'Août pour la provenance de Kissa et au début du d'Août pour Belaiba.

Pour les autres traits, il n'existe pas de différence, ainsi les cladodes sont elliptiques larges avec une couleur verte blanchâtre, la couleur des aréoles est marron, la couleur des fleurs est jaune. La forme des fruits est elliptique avec la présence des glochides jaunes et une chair orange. La floraison commence vers le 15 Mai (Tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Les différentes observations effectuées sur les formes inermes

|                                       | <b>Provenance Kissa</b>            | <b>Provenance Belaiba</b>          |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Le port</b>                        | étalé                              | Décombant                          |
| <b>Forme et couleur de cladode</b>    | Elliptique large, verte blanchâtre | Elliptique large, verte blanchâtre |
| <b>couleur de l'aréole</b>            | marron                             | marron                             |
| <b>Couleur de fleur</b>               | jaune                              | jaune                              |
| <b>Forme et couleur de fruit</b>      | Elliptique, jaune                  | Elliptique, jaune et rouge         |
| <b>Couleur de la chair</b>            | Orange                             | Orange                             |
| <b>Présence d'épines ou glochides</b> | Glochide jaunes                    | Glochide jaunes                    |
| <b>Début de floraison</b>             | 15 Mai                             | 15 Mai                             |
| <b>Fructification (maturation)</b>    | fin Août                           | début Août                         |

#### **5-1-1-2/ les mesures et les mensurations :**

##### **5-1-1-2-1/ La hauteur des pieds :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 3,35 m avec un minimum de 2,96 m et un maximum de 4 m pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 2,70 m avec un minimum de 1,90 m et un maximum de 3,43 m pour la provenance de Belaiba.

##### **5-1-1-2-2/ Les cladodes :**

##### **5-1-1-2-2-1/ La longueur des cladodes :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 35,71 cm avec un minimum de 30 cm et un maximum de 41 cm pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 35,76 cm avec un minimum de 30 cm et un maximum de 44 cm pour la provenance de Belaiba.

##### **5-1-1-2-2-2/ La largeur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 19,65 cm avec un minimum de 16 cm et un maximum de 25 cm pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 18,68 cm avec un minimum de 15,50 cm et un maximum de 22 cm pour la provenance de Belaiba.

#### **5-1-1-2-2-3/ L'épaisseur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) montre une différence très hautement significative. On observe une moyenne de 1,29 cm avec un minimum de 1 cm et un maximum de 1,70 cm pour la provenance de Kissa. Alors que pour la provenance de Belaiba, elle est caractérisée par une moyenne de 0,75 cm avec un minimum de 0,50 cm et un maximum de 1,20 cm.

#### **5-1-1-2-2-4/ Le rapport largeur / longueur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe un rapport moyen de 0,55 avec un minimum de 0,43 et un maximum de 0,70 pour la provenance de Kissa, et un rapport moyen de 0,52 avec un minimum de 0,41 et un maximum de 0,6 pour la provenance de Belaiba. Ce-ci explique la forme de la cladode des deux provenances qui sont semblables, c'est-à-dire elliptiques larges (Tableau 5.1).

#### **5-1-1-2-3/ Le fruit :**

##### **5-1-1-2-3-1/ La longueur du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) montre une différence très hautement significative. On observe une moyenne de 6,68 cm avec un minimum de 5,1 cm et un maximum de 8 cm pour la provenance de Kissa, cependant une moyenne de 5,86 cm avec un minimum de 4,50 cm et un maximum de 7,20 cm pour la provenance de Belaiba.

##### **5-1-1-2-3-2/ La largeur du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) montre une différence très hautement significative. On observe une moyenne de 4,43 cm avec un minimum de 3,9 cm et un maximum de 5,3 cm pour la provenance de Kissa, cependant pour la provenance de Belaiba, cette moyenne est de 4,06 cm avec un minimum de 3,4 cm et un maximum de 4,6 cm.

##### **5-1-1-2-3-3/ L'épaisseur du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 4 cm avec un minimum de 3,6 cm et un maximum de 5 cm pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 3,83 cm avec un minimum de 3,2 cm et un maximum de 4,20 cm pour la provenance de Belaiba.

#### **5-1-1-2-3-4/ Le diamètre géométrique du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) montre une différence très hautement significative. On observe une moyenne de 4,89 cm avec un minimum de 4,19 cm et un maximum de 5,62 cm pour la provenance de Kissa, cependant pour la provenance de Belaiba, cette moyenne est de 4,49 cm avec un minimum de 3,99 cm et un maximum de 5 cm.

#### **5-1-1-2-3-5/ La sphéricité :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. Le taux moyen de la sphéricité est de 0,74 avec un minimum de 0,62 et un maximum de 0,87 pour la provenance de Kissa et un taux moyen de 0,77 avec un minimum de 0,59 et un maximum de 0,89 pour la provenance de Belaiba. Nous signalons que l'augmentation de ce taux indique que la forme du fruit tend à la forme sphérique.

#### **5-1-1-2-3-6/ La surface de la peau :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) montre une différence très hautement significative. Dont on observe une moyenne de 75,70 cm<sup>2</sup> avec un minimum de 55,05 cm<sup>2</sup> et un maximum de 99,19 cm<sup>2</sup> pour la provenance de Kissa, cependant pour la provenance de Belaiba, cette moyenne est de 63,68 cm<sup>2</sup> avec un minimum de 50,05 cm<sup>2</sup> et un maximum de 78,74 cm<sup>2</sup>. Ceci montre que le fruit de Kissa est plus vigoureux que celui de Belaiba.

#### **5-1-1-2-3-7/ Le poids du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) montre une différence significative. On observe une moyenne de 67,61g avec un minimum de 43,63 g et un maximum de 111,6 g pour la provenance de Kissa, alors que pour la provenance de Belaiba, cette moyenne est de 57,61 g avec un minimum de 43,59 g et un maximum de 78,70 g.

#### **5-1-1-2-4/ Les graines :**

##### **5-1-1-2-4-1/ Le nombre de graines par gramme du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. Dont on observe une moyenne de 4,15 graines/g avec un minimum de 1,90 graines/g et un maximum de 5,057 graines/ g pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 3,88 graines/g avec un minimum de 3,43 graines/g et un maximum de 4,30 graines /g pour la provenance de Belaiba.

#### **5-1-1-2-4-2/ Le nombre de graines avortées par fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 7,60 graines avortées par fruit avec un minimum de 2 graines avortées et un maximum de 19 graines avortées pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 11,20 graines avortées avec un minimum de 2 graines avortées et un maximum de 29 graines avortées pour la provenance de Belaiba.

#### **5-1-1-2-4-3/ Le diamètre des graines :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.2) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 4,39 mm avec un minimum de 3,82 mm et un maximum de 5,18 mm pour la provenance de Kissa, et une moyenne de 4,36 mm avec un minimum de 3,7 mm et un maximum de 5 mm pour la provenance de Belaiba.

Tableau 5.2 : Les différentes mesures et mensurations des formes inermes

| critères   | Provenances (Moy.±Et (Min –Max)) |                       | Sig n. |
|--|----------------------------------|-----------------------|--------|
|  | Kissa                            | Belaiba               |        |
| <b>Hauteur des pieds (m)</b>                     | 3.35±0,44 (2,96-4)               | 2,70±0,58 (1,90-3,43) | ns     |
| <b>Longueur cladodes (cm)</b>                    | 35,71±3,55 (30-41)               | 35,76±3,60 (30-44)    | ns     |
| <b>Largeur cladodes (cm)</b>                     | 19,65±2,39 (16-25)               | 18,68±1,45 (15,5-22)  | ns     |
| <b>Epaisseur cladodes (cm)</b>                   | 1,29±0,21 (1-1,7)                | 0,75±0,14 (0,5-1,20)  | ***    |
| <b>Largeur/Longueur</b>                          | 0,55±0,06 (0,43-0,70)            | 0,52±0,05 (0,41-0,6)  | ns     |
| <b>Longueur fruits (cm)</b>                      | 6,68±0,88 (5,1-8)                | 5,86±0,55 (4,5-7,2)   | ***    |
| <b>Largeur fruits (cm)</b>                       | 4,43±0,31 (3,9-5,3)              | 4,06±0,32 (3,4-4,6)   | ***    |
| <b>Epaisseur fruits (cm)</b>                     | 4 ±0,31 (3,6-5)                  | 3,83±0,28 (3,2-4,2)   | ns     |
| <b>Diamètre géométrique fruit (cm)</b>           | 4,89±0,32 (4,19-5,62)            | 4,49±0,26 (3,99-5)    | ***    |
| <b>Sphéricité fruits</b>                         | 0,74±0,07 (0,62-0,87)            | 0,77±0,06 (0,59-0,89) | ns     |
| <b>Surface de peau de fruit (cm<sup>2</sup>)</b> | 75,7±10,02 (55,14-99,2)          | 63,68±7,56 (50-78,7)  | ***    |
| <b>Poids du fruit (g)</b>                        | 67,61±13,9 (43,6-111)            | 57,86±9,5 (43,6-78,7) | *      |
| <b>Nombre graine/g de fruit</b>                  | 4,15±1,28 (1,9-5,05)             | 3,88±0,31 (3,43-4,3)  | ns     |
| <b>Nombre graine avortée/ fru</b>                | 7,6±6,9 (2-19)                   | 11,2±10,5 (2-29)      | ns     |
| <b>Diamètre des graines (mm)</b>                 | 4,39±0,27 (3,82-5,18)            | 4,36±0,26 (3,7-5)     | ns     |

\*, \*\*, \*\*\* niveaux de significativité respectivement 5%,1%,0.5%. ns : non significatif.

### **5-1-2/ Discussion :**

Il est essentiel de présenter les caractéristiques climatiques et édaphiques et géomorphologiques des différentes régions étudiées (Tableau 5.3). Les deux régions présentent une certaine différence de point de vue climatique, Ceci peut influencer sur l'expression des caractères morphologiques.

- L'étage bioclimatique du semi aride à hiver frais pour la zone de Kissa. Cependant la région de Belaiba se situe dans l'étage bioclimatique aride moyen à hiver tempéré.
- La longueur de la saison sèche et les précipitations annuelles influent aussi sur les dimensions du fruit et de son poids. La région de Kissa reçoit 421 mm/an avec une saison sèche de 4 mois, alors que la région de Belaiba reçoit seulement 246,7 mm/an avec une saison sèche de 10 mois.
- Le nombre de jours de gelée par an, il est de 26,6 jours/an pour la région de Doukkara, cependant il est de 6,2 jours/an pour la région de Belaiba. Les gelées sont fréquentes pendant le mois de Janvier, et représentent un grave danger, surtout quand elles sont accompagnées par une période de neige plus ou moins prolongée.
- Du point de vue sol, il n'existe pas de différence entre les deux régions. En plus, les caractéristiques des deux sols ne montrent pas des contraintes pour le développement du cactus (Tableau7; Appendice I).
- La géomorphologie de la région de Kissa est un piémont alors que celle de Belaiba est un glacis. Donc la région de Kissa est plus protégée contre les gelées enregistrées dans cette zone.

Nous pouvons conclure que les deux environnements sont différents par leurs étages bioclimatiques et la durée de la saison sèche. Les dimensions et le poids du fruit semblent être influencées par la période sèche et les précipitations moyennes annuelles; les conditions climatiques de Kissa semblent plus favorables au développement du cactus par rapport à la région de Belaiba.

Donc à partir des observations visuelles et l'analyse de la variance des mesures et des mensurations des deux régions, Kissa et Belaiba, et vu que les deux milieux sont différents, nous pouvons qualifier les deux provenances comme deux écotypes inermes, puisque ils montrent des expressions différentes suivant le milieu. Les deux écotypes sont différents par certains caractères, tels que la couleur, le poids et certaines dimensions du fruit, le port des pieds et la période de fructification (Tableau 5.4). Le port décombant du cactus de Belaiba est dû probablement à la période sèche qui dure 10 mois. La période de fructification (maturation) se produit tôt pour la région de Belaiba, cependant elles sont

plus tardive pour Kissa; ceci est probablement dû à la période sèche, où la température est de plus en plus élevée, ce qui accentué le processus de maturation du fruit. L'épaisseur de la cladode est plus élevée pour Kissa que pour Belaiba, il semble être influencée par les précipitations reçues par cette zone.

Nous remarquons que les dimensions (la longueur, la largeur etc..) et le poids du fruit de Kissa sont plus importants que celles de Belaiba. Ceci est dû probablement à la différence de la pluviométrie, pendant la période de maturation du fruit (l'été). En effet, on observe que Kissa a reçue une quantité équivalente à quatre fois plus grande de celle de Belaiba, elle est de 82,74 mm pour Kissa et 24,11 mm pour Belaiba (Tableau3; Appendice I.). Cette corrélation a été signalée par Felker et al. [84], qui rapportent que les dimensions des fruits, sont plus grandes dans les environnements où l'humidité est plus importante pendant la maturation du fruit. L'écotype de Kissa montre un poids égale à celui des cultivars commerciaux mexicains "Charola" dont le poids atteints 67 g [85]. Cet écotype présente un maximum de poids de 111 g, donc il montre une aptitude à produire des fruits plus grands. Les autres paramètres calculés, permettent de confirmer la forme observée du fruit et de montrer leur vigueur. La forme elliptique du fruit de deux écotypes, est illustrée par un taux de sphéricité de 0,77 pour Belaiba et de 0,74 pour Kissa. Le fruit de Kissa est plus vigoureux relativement à celui de Belaiba, ceci est exprimé par une surface de la peau du fruit de 75,7cm<sup>2</sup> pour Kissa, alors que pour Belaiba est de 63,68 cm<sup>2</sup>. Les graines constituent une contrainte majeure pour la consommation, donc peu de graines par fruit est un critère recherché. Pour ce cas les deux écotypes contiennent environ 4 graines/g de fruit (Tableau 5.2).

Tableau 5.3 : Comparaison des caractéristiques climatiques et édaphiques de la région de Kissa et de Belaiba

|   | <b>Kissa</b>             | <b>Belaiba</b>              |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| <b>Précipitation (mm/ an)</b>                 | 421                      | 246,7                       |
| <b>Le mois le plus pluvieux (mm/ an)</b>      | Septembre (58,11)        | Septembre (35,89)           |
| <b>Le mois le moins pluvieux (mm/ an)</b>     | Juillet (16,74)          | Juillet (1,58)              |
| <b>Régime saisonnier</b>                      | APHE                     | APHE                        |
| <b>T° minimale (°C)</b>                       | Janvier (1,93)           | Janvier (3,73)              |
| <b>T°maximale (°C)</b>                        | Juillet (34,54)          | Juillet (37,34)             |
| <b>Nombre de jour de gelée (jour / an)</b>    | 26,6                     | 6,2                         |
| <b>Longueur de la saison sèche (mois/ an)</b> | 4 mois                   | 10 mois                     |
| <b>Etage bioclimatique</b>                    | Semi aride à hiver frais | Aride moyen à hiver tempéré |
| <b>La texture</b>                             | Texture limono-sableuse  | Texture limono-sableuse     |
| <b>La géomorphologie</b>                      | Piémont                  | glacis                      |

Tableau 5.4 : Récapitulatif des caractères de différence entre les deux écotypes inermes

|   | <b>Kissa</b>          | <b>Belaiba</b>        |
|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>Le port</b>                                      | étalé                 | Décombant             |
| <b>Couleur de fruit</b>                             | Jaune                 | Jaune et rouge        |
| <b>Fructification</b>                               | Fin Août              | Début Août            |
| <b>Epaisseur de la cladode (cm)</b>                 | 1,29 (1,0 - 1,70)     | 0,75 (0,50 - 1,20)    |
| <b>Longueur fruit (cm)</b>                          | 6,68 (5,1 - 8)        | 5,86 (4,5 - 7,2)      |
| <b>Largeur fruit (cm)</b>                           | 4,43 (3,9 - 5,3)      | 4,06 (3,4 - 4,6)      |
| <b>Diamètre géométrique du fruit (cm)</b>           | 4,89 (4,19 - 5,62)    | 4,49 (3,99 - 5,00)    |
| <b>Surface de la peau du fruit (cm<sup>2</sup>)</b> | 75,70 (55,14 - 99,19) | 63,68 (50,05 - 78,74) |
| <b>Poids du fruit (grammes)</b>                     | 67,61 (43,63 - 111,6) | 57,86 (43,59 - 78,70) |



## **5-2/ Les formes épineuses :**

### **5-2-1/ Résultats :**

Trois provenances sont à comparer; la provenance de Doukkara (Tébessa), la provenance de Choucha (Laghouat) et la provenance de Zaâfrane (Djelfa).

### **5-2-1-1/ les observations :**

Nos observations montrent qu'il existe des différences entre les trois provenances.

- Ainsi les cladodes ont une forme obovale étroite pour la provenance de Doukkara et obovale large pour Choucha et Zaâfrane.
- Le port de l'épine centrale est érigé pour la provenance de Doukkara et horizontale pour Choucha et Zaâfrane.
- La couleur de l'aréole est grise pour la provenance de Doukkara et marron pour Choucha et Zaâfrane.
- La forme du fruit est elliptique pour la provenance de Doukkara et circulaire pour les provenances de Choucha et Zaâfrane.
- En ce qui concerne la couleur du fruit, elle est verte à jaune et rouge (à maturité) pour Doukkara et rouge et jaune à rouge (à maturité) pour Choucha et Zaâfrane.
- La chair est de couleur orange et jaune pour Doukkara, rouge et blanche pour Zaâfrane et rouge pour Choucha.
- Nous avons relevé la présence d'une épine fine plus des glochides jaunes sur le fruit de la provenance de Doukkara. Cependant il existe des glochides brunes sur le fruit provenant de Choucha et des glochides jaunes pour Zaâfrane.
- Alors que la fructification se produit le 15 Août pour la provenance de Doukkara cependant pour Choucha et Zaâfrane, elle se produit au début du mois d'Août (Tableau 5.5).

Il reste à signaler les traits communs entre les trois provenances qui sont le port et la couleur de l'épine centrale et la période de floraison, ainsi le port est dressé, la couleur de l'épine centrale est blanche et la floraison commence le 15 Mai, pour les trois provenances.

Tableau 5.5 : Les différentes observations effectuées sur les formes épineuses

|  | <b>Provenance Doukkara</b>         | <b>Provenance Choucha</b>          | <b>Provenance Zaâfrane</b>         |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Le port</b>                                     | dressé                             | dressé                             | dressé                             |
| <b>Forme et couleur de cladode</b>                 | Obovale étroite, verte blanchâtre  | Obovale large, verte blanchâtre    | Obovale large, verte blanchâtre    |
| <b>Le port et couleur de l'épine centrale</b>      | Erigé, blanche                     | Horizontal, blanche                | Horizontal, blanche                |
| <b>Couleur d'aréole</b>                            | grise                              | marron                             | marron                             |
| <b>Couleur de fleur</b>                            | Jaune                              | Jaune puis orange                  | Jaune puis orange                  |
| <b>Forme et couleur de fruit</b>                   | Elliptique, verte à jaune et rouge | Circulaire, rouge et jaune à rouge | Circulaire, rouge et jaune à rouge |
| <b>Couleur de la chair</b>                         | Orange et jaune                    | rouge                              | Rouge et blanche                   |
| <b>Présence d'épines ou glochides sur le fruit</b> | Une épine + des glochides jaunes   | glochides bruns                    | glochides jaunes                   |
| <b>Début de floraison</b>                          | 15 Mai                             | 15 Mai.                            | 15 Mai.                            |
| <b>Fructification (maturation)</b>                 | 15 Août                            | début août                         | début août                         |

#### **5-2-1-2/ les mesures et les mensurations :**

##### **5-2-1-2-1/ La hauteur des pieds :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) ne montre pas une différence statistiquement significative. On observe une moyenne de 2,13 m avec un minimum de 1,70 m et un maximum de 3,5 m pour la provenance de Doukkara et une moyenne de 1,69 m avec un minimum de 1,40 m et un maximum de 2,15 m pour Zaâfrane et une moyenne de 1,63 m avec un minimum de 1,35 m et un maximum de 2 m pour Choucha.

##### **5-2-1-2-2 / Les cladodes :**

##### **5-2-1-2-2-1/ La longueur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre qu'il existe deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara avec une moyenne de 38,85 cm et un minimum de 32 cm et un maximum de 45 cm. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, on observe une moyenne de 28,23 cm avec un minimum de 22 cm et un maximum de 38 cm pour Choucha et une moyenne de 28,11 cm avec un minimum de 22 cm et un maximum de 33 cm pour Zaâfrane.

#### **5-2-1-2-2-2/ La largeur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara et Choucha. On observe une moyenne de 22,62 cm avec un minimum de 18 cm et un maximum de 26 cm pour la provenance de Doukkara et une moyenne de 21,95 cm avec un minimum de 18 cm et un maximum de 29 cm pour la provenance de Choucha. Le deuxième groupe est celui de Zaâfrane et Choucha, dont la moyenne de la provenance de Zaâfrane est 20,90 cm avec un minimum de 18 cm et un maximum de 29 cm.

#### **5-2-1-2-2-3/ L'épaisseur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara. On observe une moyenne de 1,26 cm avec un minimum de 1 cm et un maximum de 1,6 cm. Le deuxième groupe est celui de Zaâfrane avec une moyenne de 1 cm avec un minimum de 0,6 cm et un maximum de 1,6 cm. Le troisième groupe est celui de Choucha dont on observe une moyenne de 0,90 cm avec un minimum de 0,7 cm et un maximum de 1,6 cm.

#### **5-2-1-2-2-4/ Le rapport largeur/ longueur de la cladode :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe est celui de Choucha dont on observe un rapport moyen de 0,77 avec un minimum de 0,64 et un maximum de 0,93. Le deuxième groupe est celui de Zaâfrane avec un rapport moyen de 0,74 et un minimum de 0,65 et un maximum de 0,91. Le troisième groupe est celui de Doukkara, le rapport moyen de 0,58 avec un minimum de 0,5 et un maximum de 0,69. Ceci explique la forme obovale étroite de Doukkara et obovale large de Choucha et de Zaâfrane.

#### **5-2-1-2-2-5/ Le nombre d'épines par aréole :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) ne montre pas une différence significative. On observe une moyenne de 2,43 épines avec un minimum d'une épine et un maximum de 4 épines pour la provenance de Doukkara et une moyenne de 2,36 épines avec un minimum d'une et un maximum de 4 épines pour la provenance de Choucha, et une moyenne de 2,06 épines avec un minimum d'une épine et un maximum de 4 épines pour la provenance de Zaâfrane.

#### **5-2-1-2-2-6/ La longueur de l'épine centrale :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe est celui de Choucha, dont on observe une moyenne de 2,25 cm avec un minimum de 1,8 cm et un maximum de 2,5 cm. Le deuxième groupe est celui de Doukkara, où on observe une moyenne de 1,99 cm avec un minimum de 1,3 cm et un maximum de 2,8 cm. Le troisième groupe est celui de Zaâfrane avec une moyenne de 1,82 cm avec un minimum de 1,5 cm et un maximum de 2,3 cm.

#### **5-2-1-2-3/ Le fruit :**

##### **5-2-1-2-3-1/La longueur du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) a montrée une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, où on observe une moyenne de 8,22 cm avec un minimum de 6,8 cm et un maximum de 9,4 cm. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, dont la moyenne de la provenance de Choucha est de 4,88 cm avec un minimum de 4,3 cm et un maximum de 5,5 cm. Alors que pour la provenance de Zaâfrane la moyenne est de 4,72 cm avec un minimum de 4 cm et un maximum de 6,1 cm.

##### **5-2-1-2-3-2/ La largeur du fruit:**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) a montrée une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, on observe une moyenne de 5,34 cm avec un minimum de 5 cm et un maximum de 5,9 cm. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, dont la moyenne de la provenance de Choucha est de 4,02 cm avec un minimum de 3,6 cm et un maximum de 4,4 cm. Alors que pour la provenance de Zaâfrane la moyenne est de 3,90 cm avec un minimum de 3,3 cm et un maximum de 4,5 cm.

##### **5-2-1-2-3-3/ L'épaisseur du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, dont la moyenne est de 5,03 cm avec un minimum de 4,7 cm et un maximum de 5,3 cm. Le deuxième groupe est celui de Choucha, dont on observe une moyenne de 4,02 cm avec un minimum de 3,4 cm et un

maximum de 4,3 cm. Le troisième groupe est celui de Zaâfrane avec une moyenne de 3,66 cm avec un minimum de 3,2 cm et un maximum de 4,3 cm.

#### **5-2-1-2-3-4/ Le diamètre géométrique :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) a montrée une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, il est caractérisé par une moyenne de 6,04 cm avec un minimum de 5,68 cm et un maximum de 6,57 cm. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, dont la moyenne de la provenance de Choucha est de 4,22 cm avec un minimum de 3,81 cm et un maximum de 4,67 cm. Alors que pour la provenance de Zaâfrane la moyenne est de 4,06 cm avec un minimum de 3,64 cm et un maximum de 4,78 cm.

#### **5-2-1-2-3-5/ La sphéricité du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau2 et 3; Appendice II) montre qu'il existe deux groupes. Le premier groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, où on observe un taux moyen de 0,86 avec un minimum de 0,80 et un maximum de 0,95 pour Choucha et un taux moyen de 0,86 avec un minimum de 0,78 et un maximum de 0,94 pour la provenance de Zaâfrane. Le deuxième groupe est celui de Doukkara qui présente un taux moyen de 0,73 avec un minimum de 0,67 et un maximum de 0,83.

#### **5-2-1-2-3-6/ La surface de la peau du fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) a montrée une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, il est caractérisé par une moyenne de 114,82 cm<sup>2</sup> avec un minimum de 101,44 cm<sup>2</sup> et un maximum de 135,6 cm<sup>2</sup>. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, dont la moyenne de la provenance de Choucha est de 56,34 cm<sup>2</sup> avec un minimum de 45,72 cm<sup>2</sup> et un maximum de 68,62 cm<sup>2</sup>. Alors que pour la provenance de Zaâfrane, la moyenne est de 52,33 cm<sup>2</sup> avec un minimum de 41,8 cm<sup>2</sup> et un maximum de 71,99 cm<sup>2</sup>. Ceci montre que le fruit de Doukkara est plus vigoureux que le fruit de Choucha et Zaâfrane.

#### **5-2-1-2-3-7/ Le poids de fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) a montrée une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, il est caractérisé par une

moyenne de 89,237 g avec un minimum de 73,96 g et un maximum de 115,98 g. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, dont la moyenne de la provenance de Choucha est de 46,015 g avec un minimum de 33,94 g et un maximum de 60,84 g. Alors que pour la provenance de Zaâfrane, la moyenne est de 40,816 g avec un minimum de 28,90 g et un maximum de 61,46 g.

#### **5-2-1-2-4/ Les graines :**

##### **5-2-1-2-4-1/ Le nombre de graines par gramme de fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara dont sa moyenne est de 2,77 graines/g avec un minimum de 2,49 graines/g et un maximum de 3,20 graines/g. Le deuxième groupe est celui de Zaâfrane, avec une moyenne de 1,93 graines/g avec un minimum de 1,76 graines/g et un maximum de 2,17 graines/g. Le troisième groupe est celui de Choucha, dont on observe une moyenne d'une graine/g avec un minimum de 0 graines/g et un maximum de 2 graines/g.

##### **5-2-1-2-4-2/Le nombre de graines avortées par fruit :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) a montrée une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de deux groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara, il est caractérisé par une moyenne de 6,4 graines avec un minimum de 5 graines et un maximum de 9 graines. Le deuxième groupe est celui de Choucha et Zaâfrane, dont la provenance de Choucha est caractérisée par une moyenne d'une graine, avec un minimum de 0 graines et un maximum de 2 graines. Alors que pour la provenance de Zaâfrane, la moyenne est de 0,6 graines avec un minimum de 0 graines et un maximum d'une graine.

##### **5-2-1-2-4-3/Le diamètre des graines :**

L'analyse de la variance (Tableau 5.6) montre une différence très hautement significative. Le test de Newman-Keuls (Tableau 2 et 3; Appendice II) montre l'existence de trois groupes. Le premier groupe est celui de Doukkara dont la moyenne est de 4,566 mm avec un minimum de 3,08 mm et un maximum de 5,24 mm. Le deuxième groupe est celui de Choucha, dont on observe une moyenne de 4,117 mm avec un minimum de 3,20 mm et un maximum de 4,90 mm. Le troisième groupe est celui de Zaâfrane, avec une moyenne de 3,94 mm avec un minimum de 3,4 mm et un maximum de 4,6 mm.

Tableau 5.6 : Les différentes mesures et mensurations des formes épineuses

| critères  | Provenances                         |                                    |                                    | Sign. |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------|
|   | Doukkara                            | Choucha                            | Zaâfrane                           |       |
| <b>Hauteur des pieds (m)</b>                        | 2,13±0,76 (1,7-3,5)                 | 1,63±0,29 (1,35-2)                 | 1,69±0,29 (1,4-2,15)               | ns    |
| <b>Longueur cladodes (cm)</b>                       | 38,85±3,36 <sup>a</sup> (32-45)     | 28,33±3,49 <sup>b</sup> (22-38)    | 28,11±2,73 <sup>b</sup> (22-33)    | ***   |
| <b>Largeur cladodes (cm)</b>                        | 22,62±2,06 <sup>a</sup> (18-26)     | 21,95±2,79 <sup>ab</sup> (18-29)   | 20,9±1,83 <sup>b</sup> (18-24)     | *     |
| <b>Épaisseur cladodes (cm)</b>                      | 1,26±0,16 <sup>a</sup> (1-1,6)      | 0,9±0,14 <sup>c</sup> (0,7-1,2)    | 1 ±0,24 <sup>b</sup> (0,6-1,6)     | ***   |
| <b>Largeur/Longueur</b>                             | 0,58±0,04 <sup>c</sup> (0,5-0,69)   | 0,77±0,06 <sup>a</sup> (0,6-0,93)  | 0,74±0,06 <sup>b</sup> (0,65-0,91) | ***   |
| <b>Nombre épine /aréole</b>                         | 2,43±0,72 (1 -4)                    | 2,36±0,76 (1 -4)                   | 2,06±0,63 (1 -3)                   | ns    |
| <b>Longueur épine centrale (cm)</b>                 | 1,99±0,36 <sup>b</sup> (1,3-2,8)    | 2,25±0,16 <sup>a</sup> (1,8-2,5)   | 1,82±0,21 <sup>c</sup> (1,5-2,3)   | ***   |
| <b>Longueur fruits (cm)</b>                         | 8,22±0,61 <sup>a</sup> (6,8-9,4)    | 4,88±0,34 <sup>b</sup> (4,3-5,5)   | 4,72±0,55 <sup>b</sup> (4 -6,1)    | ***   |
| <b>Largeur fruits (cm)</b>                          | 5,34±0,25 <sup>a</sup> (5 -5,9)     | 4,02±0,24 <sup>b</sup> (3,6-4,4)   | 3,9±0,31 <sup>b</sup> (3,3-4,5)    | ***   |
| <b>Épaisseur fruits (cm)</b>                        | 5,03±0,18 <sup>a</sup> (4,7-5,3)    | 3,86±0,24 <sup>b</sup> (3,4-4,3)   | 3,66±0,27 <sup>c</sup> (3,2-4,3)   | ***   |
| <b>Diamètre géom. fruit (cm)</b>                    | 6,04±0,23 <sup>a</sup> (5,7-6,6)    | 4,22±0,23 <sup>b</sup> (3,81-4,67) | 4,06±0,33 <sup>b</sup> (3,64-4,78) | ***   |
| <b>Sphéricité fruits</b>                            | 0,73±0,04 <sup>b</sup> (0,67-0,83)  | 0,86±0,03 <sup>a</sup> (0,8-0,95)  | 0,86±0,05 <sup>a</sup> (0,78-0,94) | ***   |
| <b>Surface de la peau de fruit (cm<sup>2</sup>)</b> | 114,8±9,09 <sup>a</sup> (101-135,6) | 56,34±6,3 <sup>b</sup> (46-68,6)   | 52,33±8,48 <sup>b</sup> (41,8-72)  | ***   |
| <b>Poids du fruit (g)</b>                           | 89,23±11,27 <sup>a</sup> (74-115,9) | 46,01±7,34 <sup>b</sup> (34-60,8)  | 40,8±9,17 <sup>b</sup> (29-61,46)  | ***   |
| <b>Nombre graine/g de fruit</b>                     | 2,77±0,28 <sup>a</sup> (2,5-3,2)    | 1,28±0,12 <sup>c</sup> (1,15-1,47) | 1,93±0,15 <sup>b</sup> (1,76-2,17) | ***   |
| <b>Nombre graine avortée/ fruit</b>                 | 6,4±1,67 <sup>a</sup> (5-9)         | 1 ±0,7 <sup>b</sup> (0 - 2)        | 0,6±0,54 <sup>b</sup> (0- 1)       | ***   |
| <b>Diamètre des graines (mm)</b>                    | 4,56±0,43 <sup>a</sup> (3,08-5,2)   | 4,11±0,29 <sup>b</sup> (3,4-4,6)   | 3,94±0,25 <sup>c</sup> (3,4-4,6)   | ***   |

\*, \*\*, \*\*\* niveaux de significativité respectivement significatif (5%), hautement significatif (1%), très hautement significatif (0.5%). ns : non significatif.

<sup>a,b,c</sup> Lettres indiquant les groupes homogènes.

### **5-2-2/ Discussion :**

Les trois régions montrent des différences climatiques.

- L'étage bioclimatique qui caractérise la région de Doukkara est le semi-aride à variante hiver frais, alors que la région de Zaâfrane se situe dans l'étage bioclimatique aride moyen à variante hivers frais et la région de Choucha se situe dans l'étage bioclimatique aride inférieur à variante hivers frais (Tableau 5.7).

- En ce qui concerne la longueur de la saison sèche et la précipitation moyenne annuelle, la région de Doukkara reçoit 416,8 mm/an et présente une période sèche de 4 mois, alors que la région de Zaâfrane reçoit 239 mm et présente une période sèche de 9 mois /an, la région de Choucha reçoit seulement 184,6 mm/an et présente une période sèche de 11mois (Tableau 5.7).

- Le nombre moyen de jours de gelée varie de 40,7 jours pour Zaâfrane, 26,6 jours pour la région de Doukkara et 18,2 jours/an pour la région de Choucha.

- Le type de sol et ses caractéristiques ne constituent pas une contrainte majeure, puisque toutes les régions présentent des sols convenables pour le bon développement de l'Opuntia (Tableau7; Appendice I).

- La géomorphologie des régions d'études, Doukkara se localise sur un piémont, Choucha se localise sur une terrasse d'oued, alors que pour Zaâfrane, elle se localise à l'extrémité d'une ville. Donc les régions de Doukkara se trouvent protéger contre les gelées, Zaâfrane est moins protégé, cependant la région de Choucha se trouve exposée à la gelée.

Donc nous pouvons conclure que les trois régions, sont différentes par leurs étages bioclimatiques, la période sèche et les précipitations moyennes annuelles. Nous signalons que les conditions climatiques de Doukkara sont plus favorables pour le développement de l'Opuntia, que les conditions des deux autres régions du point de vue précipitation annuelle moyenne.

A partir des observations visuelles et l'analyse de la variance des mesures et des mensurations des trois régions Doukkara, Choucha et Zaâfrane, et vue les conditions climatiques différentes des trois milieux, nous constatons que ces régions sont différentes. Les régions de Choucha et Zaâfrane sont légèrement différentes, dont Choucha présente un étage bioclimatique aride inférieur, avec 11 mois de période sèche. Cependant Zaâfrane présente un étage bioclimatique aride moyen avec une période sèche de 9 mois. De ce fait nous pouvons qualifier les trois provenances comme trois écotypes épineux, puisqu'ils présentent des expressions différentes suivant le milieu (Tableau 5.8).



L'écotype de Doukkara diffère des deux autres écotypes par presque tous les critères étudiés. Alors que pour les écotypes de Choucha et de Zaâfrane, ils ne diffèrent que par quelques critères; entre autre la couleur de la chair, la présence des glochides et de leur couleur, la largeur et l'épaisseur des cladodes, le rapport de la largeur /la longueur des cladodes, la longueur de l'épine centrale, l'épaisseur du fruit, le nombre de graines par gramme de fruit et le diamètre des graines (Tableau5.8).

Le changement de la couleur des fleurs pour les écotypes de Choucha et de Zaâfrane, du jaune à l'orange (Figure 5.5, 5.5). Peut être expliqué par la fécondation de la fleur, la fleur de cactus change de couleur après la fécondation [16]. La période de fructification (maturation) se produit tard pour l'écotype de Doukkara comparativement aux deux autres régions, ceci pourrait être dû à la longueur de la saison sèche, où la température est de plus en plus élevée, ce qui accentue le processus de maturation du fruit. Les dimensions des cladodes (la longueur, la largeur et l'épaisseur) de Doukkara sont plus grandes que celles de Choucha et de Zaâfrane, elles semblent être influencées par les précipitations reçues par cette zone, qui sont relativement plus importantes. Le rapport de la largeur/ la longueur est d'environ 1/2 pour Doukkara et d'environ 2/3 pour Choucha et Zaâfrane. Ceci explique nettement la forme obovale étroite des cladodes de Doukkara et la forme obovale large de deux autres écotypes.

Nous remarquons que les dimensions (la longueur, la largeur et l'épaisseur) et le poids du fruit, des écotypes de Doukkara, Choucha et Zaâfrane, montrent respectivement un gradient décroissant. Ceci semble être dû à la différence de pluviométrie pendant la période de maturation du fruit qui est l'été, ainsi Doukkara reçoit 81,88mm, Choucha 36,13 mm et Zaâfrane 32,12 mm (Appendice 1, Tableau3). En comparant le poids de l'écotype de Doukkara (89,23g) avec des cultivars commerciaux mexicains nous remarquons qu'il est plus important que ceux des cultivars 'Cardona' (83 g) et 'Charola' (67g) [85]. En même temps cet écotpe montre un maximum de poids de 115 g, de ce fait, il montre une grande aptitude à produire des fruits plus grands, s'il reçoit une fertilisation et une irrigation suffisante surtout en période de maturation du fruit. Les autres paramètres calculés, permettent la bonne caractérisation du fruit. La forme circulaire de Choucha et de Zaâfrane est illustrée par un taux de sphéricité de 0,86, alors que la forme elliptique de Doukkara est illustrée par un taux de 0,73. Le fruit de Doukkara est vigoureux par rapport à celui des deux autres, ceci est exprimé par une surface de la peau du fruit de 114,82cm<sup>2</sup> pour Doukkara, alors que pour Choucha et Zaâfrane, elle est de 56,34 cm<sup>2</sup> et 52,33 cm<sup>2</sup> respectivement. Les graines constituent une contrainte majeure pour la consommation,

donc peu de graines par fruit est un critère recherché. Ce qui est le cas de l'écotype de Choucha avec environ 1 graine/g de fruit (Tableau 5.8).

Tableau 5.7 : Comparaison des caractéristiques climatiques et édaphiques des régions de Doukkara, Choucha et Zaâfrane.

|  | Doukkara                 | Choucha                       | Zaâfrane                  |
|--|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Précipitation (mm/ an)</b>                | 416,8                    | 184,6                         | 239                       |
| <b>Le mois le plus pluvieux (mm/ an)</b>     | Septembre(57,50)         | Septembre(27,25)              | Janvier(31,45)            |
| <b>Le mois le moins pluvieux (mm/an)</b>     | Juillet (16,56)          | Juillet (4,26)                | Juillet (3,02)            |
| <b>Régime saisonnier</b>                     | APHE                     | APHE                          | HAPE                      |
| <b>T° minimale (°C)</b>                      | 1,99                     | 2,23                          | 1,52                      |
| <b>T°maximale (°C)</b>                       | 34,72                    | 37,70                         | 35,89                     |
| <b>Nombre de jour de gelée (jour/ an)</b>    | 26,6                     | 18,2                          | 40,7                      |
| <b>Longueur de la saison sèche (mois/an)</b> | 04                       | 11                            | 09                        |
| <b>Etage bioclimatique</b>                   | Semi-aride à hiver frais | Aride inférieur à hiver frais | Aride moyen à hiver frais |
| <b>La texture</b>                            | Limoneuse                | Sableuse                      | Sablo-limoneuse           |
| <b>La géomorphologie</b>                     | Piémont                  | Terrasse d'oued               | Extrémité ville           |

Tableau 5.8 : Récapitulatif des caractères de différence entre les trois écotypes épineux

|  | <b>Doukkara</b>                           | <b>Choucha</b>                     | <b>Zaâfrane</b>                    |
|--|---|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Forme cladode</b>                       | Obovale étroite                           | Obovale large                      | Obovale large                      |
| <b>Le port épine centrale</b>              | Erigé                                     | Horizontale                        | Horizontale                        |
| <b>Couleur aréole</b>                      | grise                                     | marron                             | marron                             |
| <b>Couleur fleur</b>                       | Jaune                                     | Jaune puis orange                  | Jaune puis orange                  |
| <b>Forme et couleur fruit</b>              | Elliptique, verte à Jaune et rouge        | Circulaire, rouge et jaune à rouge | Circulaire, rouge et jaune à rouge |
| <b>Couleur de la chair fruit</b>           | Orange et jaune                           | Rouge                              | Rouge et blanche                   |
| <b>Présence épines, glochides fruit</b>    | Une épines fine plus des glochides jaunes | Glochides bruns                    | Glochides jaunes                   |
| <b>Début floraison</b>                     | 15 Mai                                    | 15 Mai                             | 15 Mai                             |
| <b>Fructification (maturité)</b>           | 15 Août                                   | Début Août                         | Début Août                         |
| <b>Longueur cladode (cm)</b>               | 38,85 (32 - 45)                           | 28,23 (22 -38)                     | 28,11 (22 -33)                     |
| <b>Largeur cladode (cm)</b>                | 22,62 (18- 26)                            | 21,95 (18 -29)                     | 20,90 (18 -24)                     |
| <b>Epaisseur cladode (cm)</b>              | 1,26 (1 -1,6)                             | 0,90 (0,70 -1,2)                   | 1 (0,6 -1,6)                       |
| <b>Largeur /Longueur cladode</b>           | 0,58 (0,5 -0,69)                          | 0,77 (0,64 -0,93)                  | 0,74 (0,65 -0,91)                  |
| <b>Longueur épine centrale (cm)</b>        | 1,99 (1,3 -2,8)                           | 2,25 (1,8 -2,5)                    | 1,82 (1,5 -2,3)                    |
| <b>Longueur fruit (cm)</b>                 | 8,22 (6,8 - 9,4)                          | 4,88 (4,3 -5,5)                    | 4,72 (4,0 - 6,1)                   |
| <b>largeur fruit (cm)</b>                  | 5,34 (5 - 5,9)                            | 4,02 (3,6 - 4,4)                   | 3,90 (3,3 - 4,5)                   |
| <b>Epaisseur fruit (cm)</b>                | 5,03 (4,7 - 5,3)                          | 3,86 (3,4 - 4,3)                   | 3,66 (3,2 - 4,3)                   |
| <b>Diamètre géométrique fruit (cm)</b>     | 6,04 (5,68 -6,75)                         | 4,22 (3,64 -4,78)                  | 4,06 (3,64 - 4,78)                 |
| <b>Sphéricité</b>                          | 0,73 (0,67 - 0,83)                        | 0,86 (0,80 - 0,95)                 | 0,86 (0,78 -0,94)                  |
| <b>Surface peau fruit (cm<sup>2</sup>)</b> | 114,82 (101,44 -135,6)                    | 56,34 (45,72 -68,62)               | 52,33 (41,80 -71,99)               |
| <b>Poids fruit (g)</b>                     | 89,23 (73,96 -115,98)                     | 46,01 (33,94 - 60,84)              | 40,81 (28,90 -61,46)               |
| <b>Nombre graine/g de fruit</b>            | 2,77 (2,49 - 3,2)                         | 1,28 (1,15 - 1,47)                 | 1,93 (1,76 -2,17)                  |
| <b>Nombre graine avortée/ fruit</b>        | 6,40 (5 - 9)                              | 1 (0 - 2)                          | 0,60 (0 -1)                        |
| <b>Diamètre des graines mm)</b>            | 4,56 (3,08 - 5,24)                        | 4,11 (3,20 - 4,90)                 | 3,94 (3,40 - 4,60)                 |

### **5-3/ Caractéristiques des espèces et des écotypes :**

A travers notre étude, dans certaines régions steppiques nous avons trouvé qu'ils existent des différences morphologiques concernant les caractéristiques des cladodes, des fleurs, des fruits et des graines pour les deux formes inerme et épineuse d'*Opuntia ficus indica* Mill., ce qui nous amène à qualifier ces provenances comme des écotypes, vue que les environnements diffèrent. En même temps on a inventorié certaines espèces introduites dans la zone d'El-Mesrane qui ont révélé une importance dans l'étape de post-fixation des dunes, comme elles ont montré une résistance aux températures basses.

#### **5-3-1/ L'espèce *Opuntia ficus indica* Mill.**

##### **5-3-1-1/ Formes inermes**

##### **5-3-1-1-1/ Ecotype Kissa :**

Age de plantation 15 ans

##### **a- morphologie :**

**1- hauteur moyenne des pieds :** 3,35 m (Figure 5.1 a)

**2- le port :** étalé (Figure 5.1a)

**3- cladode :**

- **forme :** elliptique large
- **couleur :** verte blanchâtre (Figure 5.1c)
- **absence d'épines**
- **absence des glochides**
- **dimensions des cladodes âgées d'une année :**
  - longueur moyenne : 35,71cm
  - largeur moyenne : 19,65 cm
  - épaisseur moyenne : 1,29 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 0,55.

**4-fleur :**

- **couleur :** Jaune (Figure 5.1 b).
- **période de floraison :** à partir du 15 Mai.

**5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) :** fin Août
- **Forme et couleur :** elliptique et jaune (Figure 5.1 c)
- **présence d'épines ou glochides :** pas d'épines mais de petite glochides jaunes.

- **chair** : orange
- **mesuration du fruit** :
  - poids moyen : 67,61 g
  - longueur moyenne : 6,68 cm
  - largeur moyenne : 4,43 cm
  - épaisseur moyenne : 4 cm
  - diamètre géométrique moyen : 4,89 cm
  - sphéricité moyenne du fruit : 0,74

#### 6- graine :

- **nombre moyen de graines par gramme** : 4 graines/g
- **nombre moyen de graines avortées par fruit** : 8 graines/fruit
- **diamètre moyen des graines** : 4,39 mm

#### b- Ethnobotanique :

1- **alimentaire** : le fruit est consommé par l'homme en frais et en confiture.

2- **pharmaceutique** : la poudre de la fleur ajoutée à l'eau, est utilisée pour traiter le problème des calculs rénaux.

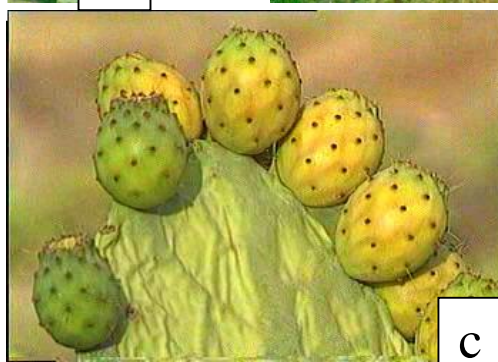


a

Repère: Poteau d'électricité.



b



c

Figure 5.1 : Ecotype de Kissa

### **5-3-1-1-2/ Ecotype de Belaiba :**

Age de plantation 15 ans

#### **a- morphologie :**

**1- hauteur moyenne des pieds : 2,70 m (Figure 5.2 a)**

**2- le port : décombant (Figure 5.2 a)**

#### **3- cladode :**

- **forme : elliptique large**
- **couleur : verte blanchâtre (Figure 5.2 b)**
- **absence d'épines**
- **absence des glochides**
- **dimensions des cladodes d'une année :**
  - longueur moyenne : 35,76 cm
  - largeur moyenne : 18,68 cm
  - épaisseur moyenne : 0,75 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 0,52.

#### **4-fleur :**

- **couleur : jaune (Figure 5.2 b)**
- **période de floraison : à partir du 15 Mai**

#### **5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) : début août**
- **Forme et couleur : elliptique et jaune et rouge (Figure 5.2 c)**
- **présence d'épines ou glochides : glochides jaunes**
- **chair : orange**
- **mensuration du fruit :**
  - poids moyen : 57,86 g
  - longueur moyenne : 5,86 cm
  - largeur moyenne : 4,06 cm
  - épaisseur moyenne : 3,83 cm
  - diamètre géométrique : 4,49 cm
  - sphéricité du fruit : 0,77

#### **6- graine :**

- **nombre moyen de graines par gramme : 4 graines/g**

- nombre moyen de graines avortées par fruit : 11 graines/fruit
- diamètre moyen des graines : 4,36 mm

**b- Ethnobotanique :**

**1- alimentaire :** le fruit est consommé par l'homme en frais.

**2- pharmaceutique :** le décocté des pétales a des propriétés diurétiques. Consommé en grande quantité, provoque la constipation.



Repère: Ruban mètre marque 1,30 m

a



b



c

Figure 5.2 : Ecotype de Belaiba

### **5-3-1-2/ Formes épineuses**

#### **5-3-1-2-1/ Ecotype Doukkara :**

Age de plantation; plus de 40 ans.

#### **a- morphologie :**

**1- hauteur moyenne des pieds : 2,13 m**

**2- le port : dressé (Figure 5.3 a)**

#### **3- cladode :**

- **forme :** Obovale étroite
- **couleur :** verte blanchâtre (Figure 5.3 b)
- **présence d'épines :** épines blanches sveltes. (Figure 5.3 b)
- **Le port de l'épine :** érigé.
- **Nombre moyen d'épines par aréole :** 2 à 3 épines par aréole.
- **Longueur moyenne d'épine centrale :** 1,99 cm
- **Couleur d'aréole :** grise.
- **présence de glochides :** seulement pour les jeunes cladodes, de couleur jaune brunâtre.
- **dimensions des cladodes âgées d'une année :**
  - longueur moyenne : 38.85 cm
  - largeur moyenne : 22.62 cm
  - épaisseur moyenne : 1.26 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 0,58.

#### **4-fleur :**

- **couleur :** jaune (Figure 5.3 b)
- **période de floraison :** à partir du 15 Mai.

#### **5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) :** à partir de 15 août.
- **Forme et couleur :** Elliptique, verte à jaune et rouge à maturité (Figure 5.3 c).
- **présence d'épines ou glochides :** une épine fine plus des glochides jaunes.
- **chair :** orange et jaune.
- **mesuration du fruit :**
  - poids moyen : 89,23 g
  - longueur moyenne : 8,22 cm



- largeur moyenne : 5,34 cm
- épaisseur moyenne : 5,03 cm
- diamètre géométrique moyen : 6,04 cm
- sphéricité moyenne du fruit : 0,73

**6- graine :**

- nombre moyen de graines par gramme : 03 graines/gramme.
- Nombre moyen de graines avortées par fruit : 6 graines/fruit
- diamètre moyen des graines : 4,56 mm

**b- Ethnobotanique :**

**1- alimentaire :** le fruit est consommé par l'homme, en frais.

**2- pharmaceutique :** la poudre de la fleur ajoutée à l'eau, est utilisée pour traiter le problème des calculs rénaux.

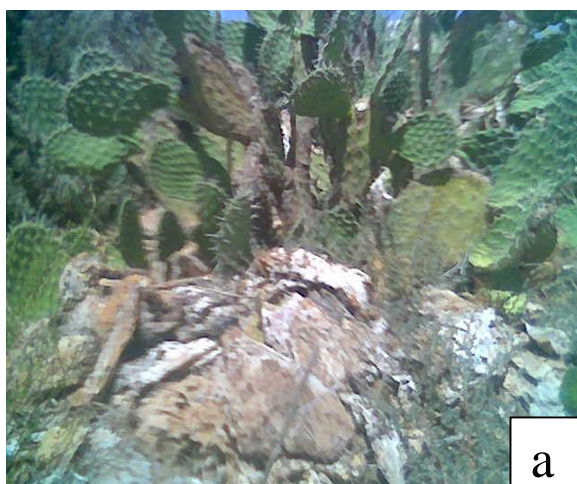


Figure 5.3 : Ecotype de Doukkara

**5-3-1-2-2/ Ecotype Choucha :**

Age de plantation 10 ans.

**a- morphologie :****1- hauteur moyenne des pieds :** 1,63 m (Figure 5.4 a)**2- le port :** dressé (Figure 5.4 a).**3- cladode :**

- **forme :** Obovale large.
- **couleur :** verte blanchâtre.
- **présence d'épines :** blanches, large à la base, de plus en plus fine vers le sommet.
- **Le port de l'épine :** horizontale.
- **Nombre moyen d'épines par aréole :** 2 à 3 épines par aréole.
- **Longueur moyenne d'épine centrale :** 2,25 cm.
- **Couleur d'aréole :** marron.
- **présence de glochides :** pas de glochides.
- **dimensions des cladodes âgées d'une année :**
  - longueur moyenne : 28.23 cm
  - largeur moyenne : 22,00 cm
  - épaisseur moyenne : 0,9 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 0,77.

**4-fleur :**

- **couleur :** jaune puis orange (Figure 5.4 b).
- **période de floraison :** à partir du 15 Mai.

**5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) :** début d'Août.
- **Forme et couleur :** circulaire, rouge et jaune à maturité rouge (Figure 5.4 c).
- **présence d'épines ou glochides :** pas d'épines mais des glochides brunes
- **chair :** rouge.
- **mensuration du fruit :**
  - poids moyen : 46,01 g.
  - longueur moyenne : 4,88 cm
  - largeur moyenne : 4,02 cm

- épaisseur moyenne : 3,86 cm
- diamètre géométrique moyen : 4,22 cm
- sphéricité moyenne du fruit : 0,86

**6- graine :**

- nombre moyen de graines par gramme de fruit : 1 graine/gramme de fruit
- nombre moyen de graines avortées par fruit : 1 graine/fruit
- diamètre moyen des graines : 4,11 mm

**b- Ethnobotanique :**

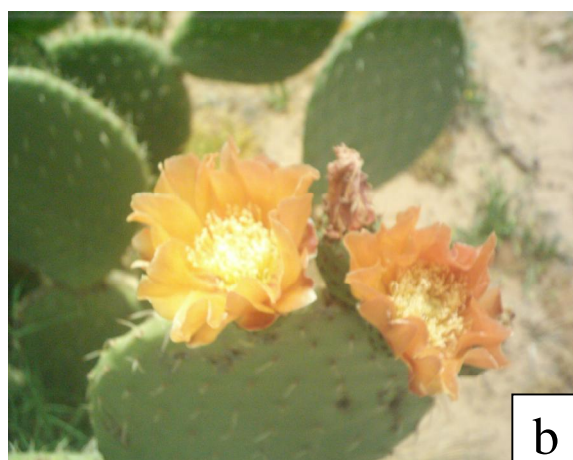
**1- alimentaire :** le fruit est consommé par l'homme.

**2- pharmaceutique :** l'utilisation de cette plante dans la médecine traditionnelle pour cette région est méconnue.



Repère: ing. H. B., 1,80 m

**a**



**b**



**c**

Figure 5.4 : Ecotype de Choucha

### 5-3-1-2-3/ Ecotype Zaâfrane :

Age de plantation 40 ans.

#### **a- morphologie :**

**1- hauteur moyenne des pieds :** 1,69 m (Figure 5.5 a)

**2- le port :** dressé (Figure 5.5 a).

#### **3- cladode :**

- **forme :** Obovale large.
- **couleur :** verte (Figure 5.5 b)
- **présence d'épines :** blanches, sveltes.
- **Le port de l'épine :** horizontale.
- **Nombre moyen d'épines par aréole :** 2 à 3 épines par aréole.
- **Longueur moyenne d'épine centrale :** 1,82 cm.
- **Couleur d'aréole :** marron.
- **présence de glochides :** pas de glochides.
- **dimensions des cladodes âgées d'une année :**
  - longueur moyenne : 28,11 cm
  - largeur moyenne : 20,90 cm
  - épaisseur moyenne : 1,00 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 0,74.

#### **4-fleur :**

- **couleur :** jaune puis orange (Figure 5.5 b).
- **période de floraison :** à partir du 15 Mai.

#### **5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) :** début d'Août.
- **Forme et couleur :** circulaire, rouge et jaune (Figure 5.5 c).
- **présence d'épines ou glochides :** pas d'épines mais des glochides jaune
- **chair :** blanche et rouge.
- **mensuration du fruit :**
  - poids moyen : 40,81 g.
  - longueur moyenne : 4,72 cm
  - largeur moyenne : 3,90 cm
  - épaisseur moyenne : 3,66 cm
  - diamètre géométrique moyen : 4,06 cm

-sphéricité moyenne du fruit : 0,86

**6- graine :**

- nombre moyen de graines par gramme de fruit : 2 graines /gramme de fruit.
- Nombre moyen de graines avortées par fruit : 1 graine/fruit
- diamètre de graines : 3,94 mm

**b- Ethnobotanique :**

**1- alimentaire :** le fruit est consommé par l'homme.

**2- pharmaceutique :** la confiture de fruit, guérit la toux.



Repère: Paysan de Zââfrane, 1,63 m

**a**



**b**



**c**

Figure 5.5 : Ecotype de Zaâfrane

### 5-3-2-/ L'espèce *Opuntia robusta* var. *robusta*:

Age de plantation environ 20 ans.

#### **a- morphologie :**

**1- hauteur moyenne des pieds : 1,06 m.**

**2- le port : dressé (Figure 5.6 a).**

#### **3- cladode :**

- **forme : circulaire (Figure 5.6 a)**
- **couleur : verte glauque (Figure 5.6 a)**
- **présence d'épines : épines blanches (Figure 5.6 b)**
- **Le port de l'épine : érigé.**
- **Nombre moyen d'épines par aréole : 03 épines par aréole.**
- **Longueur moyenne d'épine centrale : 2,47 cm.**
- **présence de glochides : pas de glochides**
- **dimensions des cladodes âgées d'une année :**
  - longueur moyenne : 27,85 cm
  - largeur moyenne : 28,28 cm
  - épaisseur moyenne : 0,98 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 1,02.

#### **4-fleur :**

- **couleur : Jaune (Figure 5.6 b).**
- **période de floraison : à partir du 15 Mai.**

#### **5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) : Fin Août.**
- **Forme et couleur : aplati, violet (Figure 5.6 c).**
- **présence d'épines ou glochides : une épine très fine, plus des glochides jaunes.**
- **chair : rouge et violet.**
- **mensuration du fruit :**
  - poids moyen : 97,05 g.
  - longueur moyenne : 5,1 cm.
  - largeur moyenne : 5,45 cm.
  - épaisseur moyenne : 4,32 cm.
  - diamètre géométrique moyen : 5,69 cm

-sphéricité moyenne du fruit : 0,96

**6- graine :**

- nombre de graines par gramme : 2 à 3 graines /gramme de fruit.
- diamètre moyen de graines : 3,95 mm

**b- Ethnobotanique :**

**1- alimentaire :** habituellement non consommé.

**2- pharmaceutique :** Puisque c'est une espèce introduite récemment, leur utilisation est méconnue.

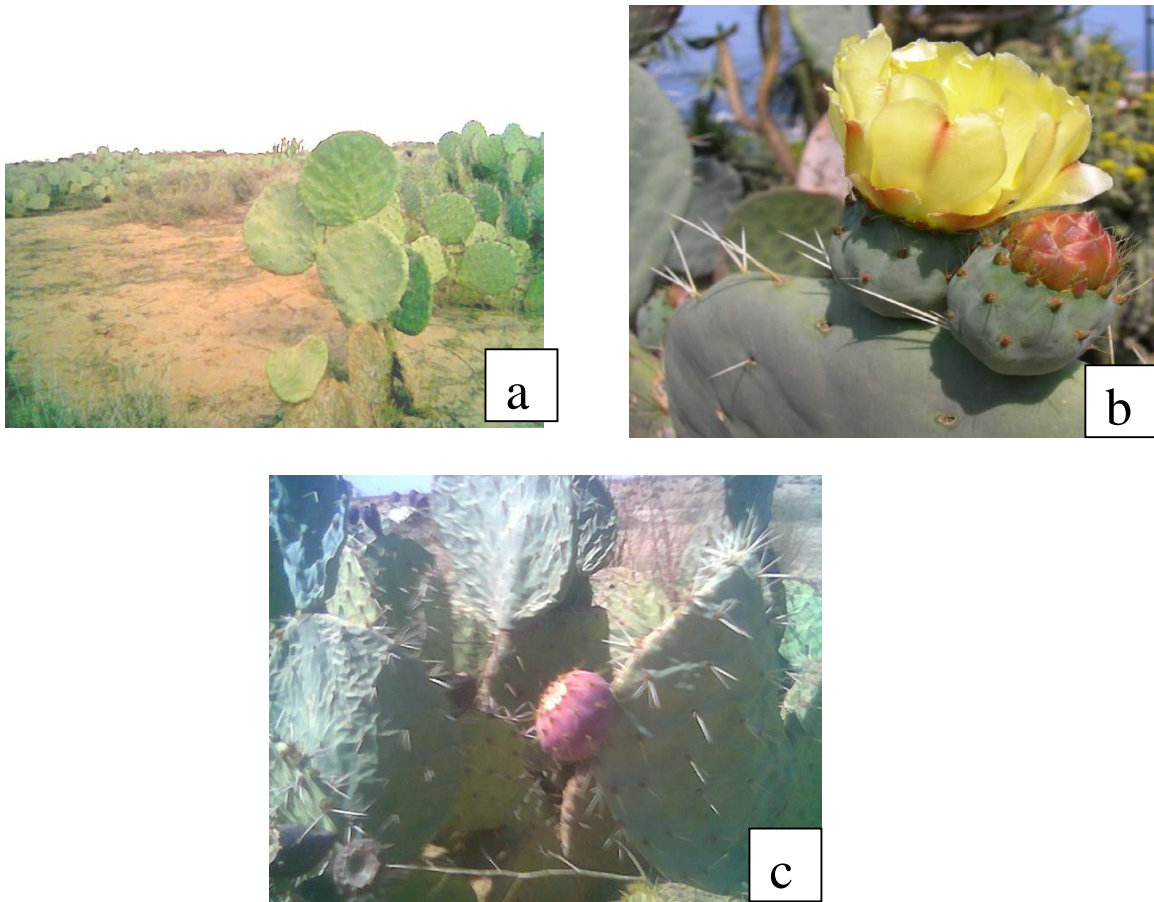


Figure 5.6 : L'espèce *Opuntia robusta* var. *robusta*.

### 5-3-3/ L'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* :

Age de plantation environ 20 ans.

#### **a- morphologie :**

**1- hauteur moyenne des pieds :** 1,74 m (Figure 5.7 a)

**2- le port :** dressé (Figure 5.7 a).

#### **3- cladode :**

- **forme :** losangique, forme d'une langue (Figure 5.7 a)
- **couleur :** verte claire.
- **présence d'épines :** épines de couleur rouge et jaune.
- **Nombre moyen d'épines par aréole :** 2 épines par aréole.
- **Le port de l'épine :** érigé.
- **Longueur moyenne d'épine centrale :** 2,69 cm
- **présence de glochides :** pas de glochides.
- **dimensions des cladodes âgées d'une année :**
  - longueur moyenne : 42,85 cm
  - largeur moyenne : 14,61cm
  - épaisseur moyenne : 0,95 cm
  - rapport moyen largeur/longueur : 0,35.

#### **4-fleur :**

- **couleur :** Jaune (Figure 5.7 b).
- **période de floraison :** début Juin.

#### **5-fruit :**

- **période de fructification (maturation) :** fin Septembre.
- **Forme et couleur :** elliptique, rouge (Figure 5.7 c).
- **présence d'épines ou des glochides :** des glochides jaunes.
- **chair :** rouge.
- **mensuration du fruit :**
  - poids moyen : 14,78 g.
  - longueur moyenne : 4,39 cm
  - largeur moyenne : 2,59 cm
  - épaisseur moyenne : 2,46 cm
  - diamètre géométrique moyen : 3,03 cm
  - sphéricité moyenne du fruit : 0,69.



**6- graine :**

- **nombre de graines par gramme de fruit :** 7 à 8 graines /gramme de fruit.
- **Diamètre moyen de graines :** 4,01 mm.

**b- Ethnobotanique :**

**1- alimentaire :** habituellement non consommé.

**2- pharmaceutique :** Puisque c'est une espèce récemment introduite, leur utilisation médicinale n'est pas connue.



Repère: N.S. Agent INRF, 1,82 m



Figure 5.7 : L'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis*.

#### **5-4/ Identification des atouts d'amélioration :**

L'amélioration des plantes comme l'a défini Gallais est "l'ensemble des processus, qui, à partir d'un groupe d'individus (populations, écotypes) n'ayant pas certains caractères au niveau recherché, permet d'obtenir un autre groupe d'individus- la variété- apportant un progrès" vis-à-vis des besoins de la race humaine[38]. Généralement un grand fruit sans épines contenant un nombre de graines faible, est très apprécié par le consommateur. Des cladodes inermes ou qui présentent peu d'épines par aréole sont recherchées. La résistance aux aléas climatiques, surtout les températures basses qui constitue la contrainte majeure pour le bon développement de cette espèce dans le milieu steppique. Cette contrainte a limité la distribution de cette espèce dans ce milieu. Donc la recherche des écotypes, variétés et espèces résistantes aux froids est fort recommandée pour permettre l'installation des plantations d'intérêt fruitier, fourrager ou écologique. Nous avons étudié ainsi les caractères d'intérêt des différents écotypes et espèces inventoriés dans nos régions d'étude.

#### **5-4-1/ Le fruit :**

L'objectif le plus important est de produire des variétés avec peu de graines. En même temps, des fruits avec des dimensions importantes [84]. Le poids de certains écotypes est plus élevé que certains cultivars commerciaux mexicains. En effet l'écotype épineux de Doukkara a un poids moyen de 89,23 g avec un maximum observé de 115 g (Tableau 5.8), alors que certains cultivars mexicains montraient des poids inférieurs; dont Cardona avec 83 g et Charola 67 g [85]. En même temps l'écotype inerme de Kissa présente un poids moyen de 67 g avec un maximum observé de 111 g (Tableau 5.4). Ce poids moyen est égal au poids du cultivar mexicain Charola. Ces deux écotypes montrent une aptitude de produire des fruits plus grands, surtout qu'ils sont produits dans des conditions sans irrigation et sans fertilisation.

En ce qui concerne le nombre de graines par fruit, qui est exprimé par le nombre de graines par gramme de fruit, nous pouvons trouver des écotypes intéressants. D'une part ceux qui présentent un nombre faible de graines, comme l'écotype épineux de Choucha (1 graine par gramme du fruit entier) et de Zaâfrane (2 graines par gramme du fruit entier). D'autre part les écotypes qui présentent un nombre élevé de graines avortées par fruit, ont l'aptitude de donner des fruits avec un nombre élevé de graines avortées, l'écotype de Belaiba avec 11 graines par fruit en fait partie (Tableau 5.8). Un nombre élevé de graines avortées rendre les fruits mieux appréciés par les consommateurs, puisque les dimensions des graines avortées sont faibles allant de 1 à 1,7 mm.

Pour les autres espèces d'El-Mesrane, l'espèce d'*Opuntia robusta* var. *robusta* donne des fruits avec un poids de 97 g et 2 à 3 graines par gramme de fruit entier. Cette espèce a un intérêt économique, vue qu'elle possède des fruit vigoureux. Quant à L'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis*, elle ne présente pas un intérêt fruitiers vue qu'elle produit des fruit relativement chétifs (14,78 g).

#### **5-4-2/ Les cladodes :**

Certains travaux récents montrent l'existence d'une corrélation positive entre la longueur moyenne maximale d'une part et la matière sèche et la surface des deux faces d'une cladode d'autre part d'*Opuntia ellisiana* et d'*Opuntia ficus indica* [40]. De ce fait nous pouvons adopté la longueur de la cladode comme un caractère déterminant la production fourragère, puisqu'il affect la surface de la cladode et la matière sèche.

Donc nous pouvons citer les écotypes inermes de Kissa avec une longueur maximale 35,71 cm et de Belaiba avec 38,76 cm. L'écotype épineux de Doukkara donne une longueur de 38,85 cm. Ces écotypes présentent un intérêt, puisqu'ils montrent une superficie supérieure des cladodes, d'après cette relation de longueur de cladode. Alors que l'écotype de Belaiba, présente un intérêt pour la production fourragère, mais son fruit n'est pas intéressant du point de vue dimensions, relativement aux autres écotypes inventoriés, qui présentent un intérêt fourrager et fruitier.

Les cladodes épineuses constituent un obstacle majeur pour l'utilisation de l'*Opuntia* en tant que fourrage. Donc c'est les cladodes inermes qui représentent la forme la plus adéquate pour l'utilisation fourragère. L'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* présente seulement 2 épines par aréole, caractère intéressant du fait, qu'elle possède peu d'épines par aréole relativement aux écotypes d'*Opuntia ficus indica*.

#### **5-4-3/ La résistance au froid :**

La limite thermique d'*Opuntia ficus indica* se situe à l'isotherme de  $m=3^{\circ}\text{C}$  qui constitue la limite thermique absolue. Ainsi les zones à hiver tempéré sont favorables au développement de l'espèce [74]. Alors que la limite inférieure où le développement est possible est  $m=1,5$  à  $2^{\circ}\text{C}$  [4]. Donc nous pouvons considérer comme résistant au froids, tous les écotypes qui se développent sans endommagement dans des milieux caractérisés par des  $m \leq 1,5^{\circ}\text{C}$  ( $m$  est la moyenne des températures minimales du mois le plus froids « Janvier »). Ce caractère doit être combiné avec la durée moyenne d'exposition au gel pendant l'année, et avec la forme géomorphologique de l'endroit où pousse cet écotype.

Certaines formes géomorphologiques protègent la plante contre les vents froids, ce qui nous mène à suggérer que dans les conditions arides, l'écotype épineux de Zaâfrane montre une certaine résistance. Vu que  $m = 1,52^{\circ}\text{C}$  combinée avec une durée moyenne d'exposition au gel de 40 jours/an, en même temps cet écotype n'est pas protégé contre les vents froids par aucune forme géomorphologique ; même s'il trouve à proximité d'une ville. L'écotype épineux de Choucha pousse dans des conditions à hivers frais, combiné avec une durée moyenne d'exposition au gel d'environ 19 jours/an et sans protection géomorphologique; nous pouvons considérer qu'il est légèrement résistant à la gelée. Alors que dans les conditions semi arides, les deux écotypes inermes de Kissa et épineux de Doukkara ont résisté à des durées de gel de plus de 26 jours /an, vu que les formes géomorphologiques sont favorables à leur protection. Nous constatons alors qu'ils ont été protégés par ces formes contre les vents froids et leur développement dans ces conditions ne s'explique pas par une résistance aux gelées, puisque nous avons observé qu'ils existent des plantations qui ont été détruites à Doukkara, wilaya de Tébessa (Figure 5.3 a) pour la période 2004 - 2005.

Les espèces d'*Opuntia robusta* var. *robusta* et *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* semblent être résistantes puisqu'elles ont réussi à survivre dans des conditions à hivers frais dans la zone d'El-Mesrane. Des données concernant la résistance de ces deux espèces ont déjà été signalées. Ainsi, les essais de plantations d'*Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* à Ain Oussera, avaient donné de bons résultats, puisque l'espèce présentait un bon aspect, et avait résisté à la gelée qui a duré entre 40 et 60 jours, pendant les années: 1965, 1966 et 1968. En outre quelques taches ont été observées à la base des épines, ainsi que la formation de nouvelles cladodes au mois de Mars. Cependant *Opuntia robusta* var. *robusta* semble être résistante, avec quelques cladodes attaquées par les champignons [9].

Pour le reboisement expérimental de Benhar (Djelfa), l'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* semble être résistante, alors que l'espèce *Opuntia robusta* montre un aspect flétri avec une attaque par des champignons à la base des épines.

D'autres observations sur des espèces et cultivars fruitiers et fourragers sont faites par Le Houérou en 1967-1969 [4]. dans la station de recherche de la zone de Taâdmit (Djelfa). Cette zone se trouve légèrement hors de la zone de distribution normale d'*Opuntia* ( $P=237$  mm et  $m= 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Ces observations ont montré que l'*Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* est insensible aux gelées, cependant, pour les trois clones d'*Opuntia robusta* (Chico, Monterrey et robusta) sont légèrement endommagées par les gelées.

### **5-5/ Perspectives d'amélioration :**

Avant de tracer les perspectives d'amélioration, l'identification des ressources phytogénétiques est très utile. Les caractères morphologiques et physiologiques, bien que soumis à l'influence des facteurs du milieu, fournissent des informations utiles pour décrire et identifier le matériel biologique [43]. L'amélioration des plantes se base sur une large utilisation de la variabilité génétique au sein des communautés naturelles sauvages d'une espèce cultivée donnée. L'observation d'un phénotype dans un écotope donnée, devant permettre le choix des bons individus, au sein de ces communautés naturelles. Ceci est le résultat complexe de l'expression d'un et bien souvent d'une multitude de gènes [38].

Concernant notre expérimentation, nous pensons que nous avons contribué à évaluer morphologiquement la variabilité de deux formes d'*Opuntia ficus indica* Mill., épineuse et inerme. On a trouvé qu'il existe une variabilité à tous les niveaux : cladode, fruit, épine et graine.

Les résultats obtenus ont révélé l'existence d'une très grande variabilité entre les écotypes, dans leur milieu naturel, aussi bien au niveau des fruits qu'au niveau des raquettes :

- Le port des pieds des écotypes inermes varie également du port décombant pour Belaiba au port étalé pour Kissa.
- La forme des cladodes des écotypes épineux varie de la forme obovale large pour Zaâfrane et Choucha à la forme obovale étroite pour Doukkara.
- La couleur des aréoles varie de la couleur grise pour Doukkara à la couleur marron pour Choucha et Zaâfrane.
- Les écotypes épineux présentent des épines avec des ports qui varient de l'horizontale pour Choucha et Zaâfrane à l'érigée pour Doukkara.
- La longueur de l'épine centrale varie de 2,25 cm pour Choucha à 1,99 cm pour Doukkara et 1,82 cm pour Zaâfrane.
- La couleur des fleurs, vire du jaune vers l'orange pour les écotypes épineux de Choucha et Zaâfrane, ceci s'expliquerait probablement comme une réponse à la sécheresse dans les deux régions.
- En effet le poids des fruits des écotypes inermes varie de 57 g pour Belaiba à 67 g pour Kissa, alors que pour les écotypes épineux le poids varie de 40 g pour Zaâfrane, 46 g pour Choucha à 89 g pour Doukkara.

- Egalement la forme et la couleur des fruits des écotypes épineux, varient de la forme circulaire à coloration rouge et jaune pour Zaâfrane et Choucha, à la forme elliptique à coloration jaune et rouge pour Doukkara.
- Le nombre de graines par gramme de fruit entier, varie d'environ 3 graines/g pour Doukkara, 2 graines/g pour Zaâfrane et 1 graine/g pour Choucha.
- Le diamètre des graines d'écotypes épineux varie de 4,56 mm pour Doukkara à 4,11 mm pour Choucha et 3,94 mm pour Zaâfrane.
- Ainsi, la variation au niveau des dimensions des cladodes et des fruits pour les écotypes inermes et épineux explique nettement la variation des formes de ces deux organes.

Les espèces introduites; *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* et *Opuntia robusta* var. *robusta*, comme post-fixation des dunes, ont réussi à se développer convenablement dans des conditions caractérisées par des périodes considérables de gel. Ceci montre leur résistance au froid. Cette résistance constitue un des caractères recherchés pour l'amélioration de ce genre, qui est habituellement sensible au froid, leur exploitation est indispensable dans les régions froides.

De ce fait, nous constatons, qu'il existe une grande variabilité génétique au sein des zones arides et semi arides en Algérie, pour ce genre. Cette variabilité peut être exploitée par un programme d'amélioration, qui nécessite de définir des objectifs, traçant un itinéraire convenable. Les objectifs les plus importants sont : La résistance au froid, l'absence des épines, la production de la plante (fruits gros, peu de graines etc..), contenu élevé en protéine et tolérance aux maladies et parasites [37,84]. Cependant le choix des idéotypes adaptés à chaque situation et le type de culture, seraient la première préoccupation. Ce choix différera selon les utilisations : l'alimentation du bétail, la lutte contre la désertification, la fixation des dunes, l'alimentation humaine en produits frais ou transformés, l'industrialisation etc [36]. Donc, la classification des objectifs prioritaires selon l'utilisation est une étape primordiale, pour bien orienter les tâches d'amélioration. Cette classification se fera selon :

- Utilisation écologique (fixation des dunes, lutte contre la désertification et l'érosion etc...); seulement la résistance aux contraintes édapho-climatiques, telles la salinité et les gelés, sont exigées en premier rang d'importance. Mais ceci n'empêche pas d'avoir des variétés avec un bon rendement fourrager et fruitier en deuxième rang d'importance.
- Utilisation fourragère (aliment du bétail): Les clones et variétés sélectionnées spécialement comme fourrage du bétail; ont pour caractéristique principale l'index de

surface des cladodes. Alors que la résistance au froid et l'absence des épines sont des critères importants [84]. La production de fruit passe en deuxième position de l'importance.

- Utilisation fruitière : les objectifs se concentrent sur des variétés avec des fruits inermes, gros, avec peu ou sans graines. Ceux là sont les critères les plus désirés, cependant la production fourragère n'est pas exigée, mais elle est avantageuse.

Pour les régions arides et semi-arides;

- la première opportunité est l'utilisation de l'*Opuntia* comme un moyen de lutte anti-érosion et contre la désertification (rôle écologique), vu la fragilité des écosystèmes de ces zones. Actuellement, ces milieux subissent une dégradation intensive, accentuée par l'action mal raisonnée de l'homme (labours anarchiques, surpâturage etc...). Donc la nécessité de planter l'*Opuntia* est évoquée, puisque elle n'est pas exigeante en matière de sol, et peut s'installer sur des terres incultes inaptes à la culture. Sa tolérance aux conditions rigoureuses de sécheresse, grâce à son système de photosynthèse appelé C.A.M., qui empêche la déperdition de l'eau à travers les stomates.

- La deuxième opportunité est la production fourragère, du fait que le mode de vie dans ces régions est basé essentiellement sur l'élevage.

- La troisième opportunité est la production fruitière, pour diversifier la production et créer des activités supplémentaires.

Dans les régions arides et semi-arides de l'Algérie, la contrainte majeure de dispersion de l'*Opuntia* est la gelée. Alors, la démarche à suivre lors de l'élaboration d'un programme d'amélioration, doit se concentrer sur ce point. Pour notre cas, l'écotype de Choucha semble être résistant au froid ainsi que celui de Zaâfrane. Une hybridation avec les autres écotypes qui présentent un intérêt fourrager, fruitier ou écologique, constitue probablement une voie facile de créer une adaptation aux conditions de froid dans ces régions, et permet une large distribution de ce genre. En effet, on peut effectuer des hybridations d'*Opuntia ficus indica* avec *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis*, cette dernière a montré une résistance aux froids dans les conditions arides et semi-arides. *Opuntia ellisiana* est l'espèce la plus résistante au froid [40], malheureusement son hybridation avec *Opuntia ficus indica* n'a pas donnée des hybrides fertiles. Alors que des hybrides fertiles ont été obtenus par le biais de l'hybridation entre *Opuntia lindheimerii* 1250, originaire du Texas et différents types d'*Opuntia ficus indica* [84].

En plus des fruits contenant peu de graines, augmentent l'acceptabilité de ces fruits par les consommateurs. L'hybridation des écotypes de Choucha ou de Zaâfrane, qui contiennent un nombre de graines par gramme de fruit moindre par rapport aux autres écotypes, avec d'autres écotypes (épineux ou inermes), pourrait probablement diminuer le nombre de graines dans les fruits.

En ce qui concerne la présence des épines, seulement, les formes inermes ont été introduites en Afrique de sud depuis 250 ans, cependant ces formes sont revenues à leur forme épineuse après 200 ans de leur introduction. Ce phénomène rapporté par Zimmerman et Moran [37], suggère l'existence des gènes récessifs associés avec la présence d'épines. Les gènes dominants semblent être associés avec l'absence des épines. Ceci nous incite à effectuer des hybridations entre des écotypes inermes sensibles aux froids (Belaiba ou Kissa), avec des espèces ou écotypes épineux résistants au froid (écotype de Choucha ou Zaâfrane ou l'espèce *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis*), puisque l'épineux est récessif d'après Zimmerman et Moran [37], Ce qui laisse prévoir des formes inermes résistantes aux froids.

Les biotechnologies peuvent servir l'amélioration en bénéficiant de temps considérable. Dont l'utilisation des marqueurs moléculaires permettra de cataloguer rapidement la variabilité non plus seulement en fonction d'éléments phénotypiques mais également en fonction d'éléments génotypiques (caractéristiques génomiques) objectifs dont on cite le RFLP et le RAPD. Ainsi, les techniques qui peuvent directement manipuler les génotypes sont la culture in vitro et la transgénèse.



## CONCLUSION

Le cactus est une plante rustique, très résistant à la sécheresse, peut pousser facilement. Cette plante nécessite un regain d'intérêt particulier dans le but de rentabiliser les zones steppiques où d'autres espèces cultivées végéteraient moins facilement. La culture de cette espèce, peut à court ou à moyen terme limiter les effets de sécheresse dans les zones steppiques. L'amélioration des plantes se base sur une large utilisation de la variabilité génétique au sein des communautés naturelles sauvages d'une espèce cultivée donnée. L'observation d'un phénotype dans un écotope donnée, devant permettre le choix des bons individus, au sein de ces communautés naturelles. Cette contribution à l'étude d'*Opuntia* dans le milieu steppique a révélée l'existence d'une très grande variabilité au sein de deux formes de l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill, épineuse et inerme. Les écotypes inventoriés montrent une variabilité à tous les niveaux : cladode, fruit, épine et graine.

- Le port des pieds des écotypes inermes varie également du port décombant pour Belaiba au port étalé pour Kissa.
- La forme des cladodes des écotypes épineux varie de la forme obovale large pour Zaâfrane et Choucha à la forme obovale étroite pour Doukkara.
- La couleur des aréoles varie de la couleur grise pour Doukkara à la couleur marron pour Choucha et Zaâfrane.
- Les écotypes épineux présentent des épines avec des ports qui varient de l'horizontale pour Choucha et Zaâfrane à l'érigée pour Doukkara.
- La longueur de l'épine centrale varie de 2,25 cm pour Choucha à 1,99 cm pour Doukkara et 1,82 cm pour Zaâfrane.
- La couleur des fleurs, vire du jaune vers l'orange pour les écotypes épineux de Choucha et Zaâfrane, ceci s'expliquerait probablement comme une réponse à la sécheresse dans les deux régions.
- En effet le poids des fruits des écotypes inermes varie de 57 g pour Belaiba à 67 g pour Kissa, alors que pour les écotypes épineux le poids varie de 40 g pour Zaâfrane, 46 g pour Choucha à 89 g pour Doukkara.
- Egalement la forme et la couleur des fruits des écotypes épineux, varient de la forme circulaire à coloration rouge et jaune pour Zaâfrane et Choucha, à la forme elliptique à coloration jaune et rouge pour Doukkara.

- Le nombre de graines par gramme de fruit entier, varie d'environ 3 graines/g pour Doukkara, 2 graines/g pour Zaâfrane et 1 graine/g pour Choucha.
- Le diamètre des graines des écotypes épineux varie de 4,56 mm pour Doukkara à 4,11 mm pour Choucha et 3,94 mm pour Zaâfrane.
- Ainsi, la variation au niveau des dimensions des cladodes et des fruits pour les écotypes inermes et épineux explique nettement la variation des formes de ces deux organes.

En effet, cinq écotypes ont été distingués pour les deux formes épineuses et inermes de l'espèce *Opuntia ficus indica* Mill..Les espèces introduites, dont *Opuntia engelmannii* var. *linguiformis* et *Opuntia robusta* var. *robusta*. Elles ont été introduites dans un but de post-fixation des dunes. Le développement de ces deux espèces dans des conditions caractérisées par des périodes de gel, montre leur résistance au froid. Cette résistance constitue un caractère recherché pour l'amélioration de ce genre, qui est habituellement sensible au froid, leur exploitation est indispensable dans les régions froides.

Cette variabilité constitue une base d'amélioration. Alors que l'amélioration de ce genre repose sur l'adoption d'une stratégie qui exploite la variabilité existante dans les buts :

- De surmonter les contraintes édophoclimatiques du milieu steppique, à savoir les gelées, la salinité...etc.
- D'augmenter la production fourragère et fruitière.
- D'améliorer le niveau d'acceptabilité du fruit par les consommateurs à savoir fruits inermes avec peu de graine...etc.

Cette stratégie, doit prendre en considération le domaine d'importance de cette culture dans le milieu steppique. Pour ce dernier la première préoccupation est l'utilisation écologique ; entre autre la lutte contre la désertification, l'érosion et la fixation des dunes. Puis en deuxième lieu, l'utilisation fourragère comme aliment de complément en périodes de disette. En troisième lieu c'est l'utilisation fruitière pour diversifier et créer des activités supplémentaires.

Pour la région steppique la contrainte majeur qui limite la dispersion de ce genre, est la gelée. L'écotype de Choucha semble être résistant au froid ainsi que celui de Zaâfrane. Une hybridation avec les autres écotypes qui présentent un intérêt fourrager, fruitier ou écologique, constitue probablement une voie facile pour créer une adaptation aux conditions de froid dans ces régions, et permet une large distribution de ce genre. En effet, on peut effectuer des hybridations d'*Opuntia ficus indica* avec *Opuntia engelmannii*

*var. linguiformis*, cette dernière a montré une résistance aux froids dans les conditions arides et semi-arides. Ainsi que l'hybridation entre *Opuntia lindheimerii* 1250, originaire du Texas et différents types d'*Opuntia ficus indica*, a donné des hybrides fertiles comparativement avec celle d'*Opuntia ellisiana*, qui n'a pas donné des hybrides fertiles.

En plus les fruits contenant peu de graines augmentent leur acceptabilité par les consommateurs. L'hybridation des écotypes de Choucha ou de Zaâfrane, qui contiennent un nombre de graines par gramme de fruit moindre par rapport aux autres écotypes, avec d'autres écotypes (épineux ou inermes), pourrait probablement diminuer le nombre de graines dans les fruits.

En ce qui concerne la présence des épines, des hybridations entre des écotypes inermes sensibles aux froids (Belaiba ou Kissa), avec des espèces ou écotypes épineux résistants au froid (écotype de Choucha ou Zaâfrane ou l'espèce *Opuntia engelmannii var. linguiformis*), ce qui laisse prévoir des formes inermes résistantes aux froids.

L'utilisation des marqueurs phénotypique, constitue une étape d'explorer la variabilité nécessaire pour apporter les améliorations recherchées. Néanmoins, l'utilisation des outils moléculaires permettra de cataloguer rapidement la variabilité non plus seulement en fonction d'éléments phénotypiques mais également en fonction d'éléments génotypiques (caractéristiques génomiques) objectifs dont on cite le RFLP et le RAPD. Les biotechnologies peuvent servir l'amélioration en bénéficiant d'un temps considérable. Les techniques qui peuvent directement manipuler les génotypes sont la culture in vitro et la transgénèse.

En fin la valorisation de l'*Opuntia* dans le domaine industriel (champoing, produits pharmaceutiques ...etc.), peut jouer un grand rôle dans la dispersion de ce genre et contribuer à augmenter son intérêt dans le milieu steppique.

## RÉFÉRENCES

1. **Le Houérou, H.N.**, “Restoration and rehabilitation of arid and semiarid Mediterranean ecosystems in North Africa and West Asia: A review”, *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14, (2000), 03-14.
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 (SMAP), Université des études de Sassari, groupe de la recherche sur la désertification (Italie), (Fev. 2004), 112p.
3. **Yousfi, S.**, “Les cactées, *Opuntia ficus indica* rapport bibliographique sur les opuntias et Bilan de quelques études en Algérie”, INRA, Algérie, (Octobre 2000), 17 p.
4. **Le Houérou, H.N.**, “The role of cacti (*Opuntia spp.*) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin”, *Journal of arid environments*, 33, (1996), 135-159.
5. **Casas, A. et Barbera, G.**, “Mesoamerican domestication and diffusion in: **Nobel, P.S. (ed.)**, *Cacti biology and uses*”, University of California, (2002), 143-162.
6. **Kadik, B.**, “Les plantations semi forestières pastorales”, *Revue INRA*, (Nov. 1974), Alger, 83-92.
7. **Le Houérou, H.N. et Pontanier, R.**, “Les plantations sylvo-pastorales dans la zone aride de Tunisie”, Unesco, (1987), 84p.
8. **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.
9. **Khouri, M.S.**, “Opuntias, bilan écologique en Algérie”, INRA et CAREF, (Janv. 1970), 59p.
10. **F.A.O.**, “ Etudes des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles 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.

11. **Le Houérou, H.N.**, “La régénération des steppes algériennes, rapport de mission de consultation et d'évaluation”, (Nov. 1985), Algérie, 45p.
12. **Rebman, J.P. et Pinkava, D.J.**, “Opuntia cacti of North America- An overview”, Journal Florida Entomologist 84(4), (December 2001), 474-483.
13. **Fournier, P.**, “Les cactées et les plantes grasses”, ed. 2<sup>ème</sup> édition, PAUL LECHEVALIER, Paris, 1954, 305p +Atlas 108p.
14. **Scheinvar, L.**, “Taxonomy of utilized Opuntias 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.
15. **Taylor, J.**, “Plantes tolérantes la sécheresse”, édition la Maison Rustique, Paris, ed. n° 0693, (1994), 192p.
16. **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 production paper 132, Rome (Italy), (1995), 28-35.
17. **Dubrovsky, G.J. et North, B.G.**, “Root structure and function in: **Nobel, P.S. (ed.)**, Cacti biology and uses”, University of California, (2002), 41-56.
18. **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>.
19. **Malanine M.E., Dufresne A., Dupeyre D. Mahrouz M., Vuong R. et Vignon M. R.**, “Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus indica*, Cellulose extraction and characterisation”, Carbohydrate Polymers, 51, (2003), 77–83.<http://www.elsevier.com/locate/carbpol>.
20. **Habibi, Y.**, “Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique” thèse de doctorat en chimie organique de l'université Joseph Fourier et de l'université Cadi Ayyad, (Mai 2004), 237 p.
21. **Evêque, V.D.**, “ optimisation of tissues cultures for Opuntias”, thesis, University of Texas, (Mai, 1995), <http://www.Lawrence.edu/Fast/magnov/Valthesis.html>.

22. **Mazliak, P., Côme, D., Durand, B., Jacques, R., Penon, P., et Roland, J.-Cl.**, “ Croissance et développement, Physiologie végétale II”, Hermann édition, Paris (France),(1982), 465p.
23. **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](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings_1996/V3-416.html).
24. **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., plant production and production paper 132, Rome(Italy), (1995), 49-58.
25. **Reyes-Agüero, R.J.A., Aguirre, R.J.R. et Banuet, V.A.**, “Reproductive biology of Opuntia: A review”, journal of arid environments, 64, (2006), 549-585.
26. **Inglese, P.**,“Orchard planting and management 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), 78-91.
27. **Sáenz-Hernández, C.**,“Food manufacture and by-products 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), 137-143.
28. **Cantwell, M.**, “Post-harvest management of fruits and vegetable stems 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), 120-136.
29. **Nobel, P.S.**, “Ecophysiology of *Opuntia ficus indica* 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), 13-20.
30. **Nobel, P.S.**, “Environmental 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., plant production and production paper 132, Rome (Italy), (1995), 36-49.
31. **Pimienta B.E. et Munoz, U.A.**, “Domestication of Opuntia and cultivated varieties 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), 58-63.
- 32. 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.
- 33. UPOV**, “Introduction générale à l’examen de la distinction, de l’homogénéité et de la stabilité et à l’harmonisation des descriptions des obtentions végétales”, TG/1/3, Genève, (Avril 2002), 27p.
- 34. Bardat, J.**, “L’espèce : histoire d’une notion fondamentale”, courrier de l’environnement de l’INRA, N°21, (Janvier, 1994), France. [www.INRA.Fr/produits/depenv/bardat10.html](http://www.INRA.Fr/produits/depenv/bardat10.html).
- 35. 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) ,31p.
- 36. Boujghagh, M. et Chajia, L.**, “le cactus : outil de gestion de la sécheresse dans le sud marocain”, terre et vie, N° :52,44, Rabat (Maroc), (Novembre / Décembre 2001) ,7p. <http://www.Terre-et-vie.ov.h.org/cactus.pdf>.
- 37. Mondragón, J.C. et Pérez, G.S.**, “Germplasm resources and breeding opuntia for fodder production 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), 21-28.
- 38. Adam, A.F., et Dron, M.**, “Les outils moléculaires et leurs applications à l’amélioration des plantes in: **Chlyah, H., et Demarly, y., (eds.)**, le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l’inventaire des gènes?”, Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris (France), (1993), 23-46. <http://www.bibliotheque.refer.org/livre28/12802.pdf>.
- 39. 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.
- 40. Guevara, J.C., Silva Colmer, J.H., Juárez, M.C. et Estevez, O.R.**, “*Opuntia ellisiana*: Cold hardiness, above-ground biomass production and nutritional quality

in the Mendoza plain, Argentina”, J.PACD,(2003),55-64.  
<http://www.j.pacd.org/V5/p55-64.pdf>.

41. **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.
42. **Felker, P.**, “Utilisation of *Opuntia* for forage in the United States of America 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), (2001),51-56.
43. **Abdelkafi, A. et Marrakchi, M.**, “les ressources phytogénétiques fourragères et pastorales : de l'érosion à la conservation in : **Sulas L. (ed.)**, légumes pour culture fourragère, pâturage et autres usages en région méditerranéenne”, Zaragoza: CIHEAM. IAMZ, 32 ref.(cahiers option Med. ; 445), 10 Meeting of the Mediterranean Sub-Network of the F.A.O.-CIHEAM inter regional cooperative research and developpement Net-work on pastures and Fodder crops, Sassari(Italy), (April 2000),15-27.
44. **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.
45. **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 (cahiers option maditerraneene, 4.13), first meeting of the CIHEAM cooperative working group on underutilized fruit crops in the mediterranean region, Zarragoza (Spain), (1995), 47-62.
46. **Ouadah, Y.**, “Contribution à l'étude des principales espèces d'intérêt fourrager des régions semi-arides et arides d'Algérie. Application à quelques espèces ”, mémoire d'ingénieur d'agronomie, INA, El Harrach, Alger, (1982) ,67p.
47. **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.



48. **Granata, 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.
49. **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.
50. **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>.
51. **F.A.O.**, “Techniques de développement pastorale”, Vol.3, plantation d’arbustes fourragers, projets F.A.O. RAB.84.025,(1989),171p.
52. **EL Hamrouni, A. et Sarson, M.**, “Méthode de plantation du cactus inerme”, projet FAO Tun. 71/540, B.P.2- Ariana-Tunisie (1971) ,17p.
53. **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.
54. **Lopèz, G.J.J., Fuentes R.J.M. et Rodriguez, 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.
55. **Galati, E.M., Tripodo, M.M., Trovato, A., Miceli, N., Mouforte, M.T.**, “Biological effect of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactacea) Waste matter, Note I: diuretic activity”, Journal of Ethnopharmacology 79, (2002), 17-21. <http://www.elsevier.com/locate/jethpharm>.
56. **Bézanger-Beauquesne, L., Pinkas, M., Torck, M. et Trotin, F.**, “Plantes médicinales des régions tempérées”, ed. Maloine, S.A., Paris, (1980), 439p.
57. **Hoffmann, W.**, “Ethnobotany 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), 12-19.

- 58. I.F.A.D.**, “*Opuntia spp.*: An efficient tool to combat desertification”, technical advisory division, I.F.A.D., Rome (Italy), (2000). [http. // www.iav.ac.ma/pntta/02-35](http://www.iav.ac.ma/pntta/02-35).
- 59. Mazhar, M., Arif, A., Chriyâa, A., El Mzouri, L. et Derkaoul, M.**, “Cactus protects soil and livestock in Rhamna région”, *Acta Hort. (ISHS)* 581, (2001), 329-332.[http://.www.acta hort.org/books/581/581 38.htm](http://www.acta hort.org/books/581/581 38.htm).
- 60. Arba, M., Cherif, B.M. et Mokhtari, M.**, “The cactus pear (*Opuntia spp.*) in Morocco: Main species and cultivar characterisation”, *Acta Hort. (ISHS)* 581, (2002), 103-109.<http://.www.actahort.org/books/581/581 7.htm>.
- 61. Soberon, J., Golubov, J., et Sarukhán, J.**, “The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae)”, *Florida Entomologist* 84 (4), (December 2001), 486-492.
- 62. Le Houérou, H.N.**, “Cacti (*Opuntia spp.*) as a fodder crop for marginal lands in the Mediterranean Basin in: **Nefzaoui, A. et Inglese, P. (eds.)**, Proceeding of the fourth international Congress on cactus pear and cochineal”, *Acta Hort. 581, ISHS*, (August 2002), 46p.
- 63. De Kock, G.**, “The use of *Opuntia* as fodder source in arid areas of Southern Africa 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), 101-107.
- 64. Nefzaoui, A.**, “Nutritive value of spineless cactus (*Opuntia ficus indica* var.*inermis*) and *Atriplex (Atriplex numularia)* based diets for sheep in: **Gintzburger, G., Bounedjma, M. et Nefzaoui, A.**, *Fodder shrub development in arid and semi-arid zones*”, vol. II, proceedings of the workshop on native and exotic fodder shrubs in arids and semi-arids zones 27 Oct.-2 Nov. 1996, Hammamet (Tunisia), ICARDA, (2001), 518-523.
- 65. Greco, J.**, “L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie”, Alger (Algérie), (1966), 393p.
- 66. Curek, M. et Ozen, N.**, “Feed and feeding value of cactus and cactus silage”, *FAO international technical cooperation network on cactus, Cactusnet News Letter*, issue n° 06, (June 2002), 10-11.
- 67. Nefzaoui, A. et Ben Salem H.**, “Strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region 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), 73-90.
- 68. Bourbouze, A., et Donadieu, R.**, “L'élevage sur parcours en régions méditerranéennes”, CIHEAM/IAM, Montpellier, 1987, 104 p.
- 69. Ramadan, M.F. et Mörsel, J.T.**, “Oil cactus pear (*Opuntia ficus indica L.*)”, Food Chemistry 82, (2003), 339-345.<http://www.elsevier.com/locate/foodchem>.
- 70. Garcia de Cortázar, G.V. et Varnero, M.M.T.**, “Energy production 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), 186-192.
- 71. Boukli, H.B.**, “Gestion des nappes alfatières” O.P.U., Alger, (2002), 60p.
- 72. Le Houérou, H.N.**, “Problèmes et Potentialités des terres arides de l'Afrique du nord in : L'aménagement des zones arides”, CIHEAM (Option Méd., n°26), Paris (France), (1975a), 17-35.
- 73. Le Houérou, H.N.**, “La situation pastorale dans le nord de l'Afrique, état d'avancement des données et des travaux in : Le développement des zones arides” C.I.H.E.A.M. (Option Méd., n°28), Paris (France), (1975b), 17-20.
- 74. Le Houérou, H.N.**, “Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique, diversité biologique, développement durable et désertification” C.I.H.E.A.M. (Option Méd., Série B, n°10), Paris (France), (1995), 396p.
- 75. Djbaili, S.**, “Steppe algérienne phytosociologie et écologie”, édition O.P.U., Alger, (1984), 177p.
- 76. Djellouli, H.T.Y.**, “Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud Oranais, wilaya de Saida comportements des espèces vis-à-vis des éléments du climat”, thèse de doctorat de 3eme cycle en science biologique, option écologie végétale, Université des Science et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, (1981), 178p.
- 77. Halimi, H.**, “L'Atlas blidéen, climat et étage de végétation”, O.P.U., Alger, (1980), 523p.
- 78. Seltzer, P.**, “Le climat d'Algérie”, tav. Institut météorologique du globe, Université d'Alger, (1946), 219p.
- 79. Estienne, P. et Godard, A.**, “ Climatologie”, ed. 5<sup>eme</sup> édition, Armand Colin collection U., Paris, (1970), 367 p.

80. **Kaâbeche, M.**, “Les groupements 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), 104p.
81. **Dewis, J., et Freitas, F.**, “ Méthodes d'analyse physique et chimique des sols et des eaux ”, Bulletin pédologique de la F.A.O. N° 10, Rome,(1984), 280 p.
82. **Dehbi, Z. et Radouane, A.**, “ Le figuier de barbarie à Ait Baâmrane, Atouts et perspectives de développement”, II<sup>ème</sup> journée Nat. Cult. Cact. DPA El Kelaâ, (Mai 2000), 2-5.
83. **Kabas, O., Ozmerzi, A. et Akinci, I.**, “ Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.) grown wild in Turkey”, Journal of food engineering 73, (2006), 198-202.[http:// www.elsevier.com/locate/J.foodeng](http://www.elsevier.com/locate/J.foodeng).
84. **Felker, P. et Inglese, P.**,“Short-terme and long-term research Needs For *Opuntia ficus indica* (L.)Mill. Utilisation in Arid Areas”, J.PACD, (November 2003), 131-151.[http://.www.j.pacd.org/V5 P131-151 pdf](http://www.j.pacd.org/V5 P131-151 pdf).
85. **Mondragón, J.C. et Pérez, G.S.**, “Native cultivars of cactus pear in Mexico in: **Janick J. (ed.)**, progress in new crops”, ASHS press, Arlington, V.A., (1996), 446-450.
86. **Habib, F.**, “ Impact de la fixation des dunes sur l’évolution de la végétation spontanée, cas d’EL-Mesrane (Djelfa).Mémoire d’ingénieur en agronomie pastorale”, C.U.D. Ziane Achour. Djelfa, (2002), 94p.

## APPENDICES

### Appendice I : L'étude du milieu

**Tableau n° 01 : Répartition des précipitations moyennes annuelles (mm) de différentes stations et les valeurs corrigées des zones d'étude**

| Stations<br>Années | Tébessa *         | Kissa             | Doukka-<br>ra       | M'sila *          | Belaiba             | Lagho-<br>uat *   | Choucha             | Djelfa *          | Zaâfr-<br>ane     | Mesrane              |
|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>1995</b>        | 408               | 424               | 419,6               | 143               | 171,8               | 120               | 150,8               | 256               | 210               | 195,98               |
| <b>1996</b>        | 348               | 364               | 359,6               | 238               | 266,8               | 182               | 212,8               | <b><u>439</u></b> | <b><u>393</u></b> | <b><u>378,98</u></b> |
| <b>1997</b>        | 379               | 395               | 390,6               | 317               | 345,8               | 238               | 268,8               | 392               | 346               | 331,98               |
| <b>1998</b>        | 338               | 354               | 349,6               | 213               | 241,8               | 64                | 94,8                | 169               | 123               | 108,98               |
| <b>1999</b>        | 433               | 449               | 444,6               | 282               | 310,8               | <b><u>252</u></b> | <b><u>282,8</u></b> | 304               | 258               | 243,98               |
| <b>2000</b>        | 337               | 353               | 348,6               | 122               | 150,8               | 94                | 124,8               | 164               | 118               | 103,98               |
| <b>2001</b>        | 216               | 232               | 227,6               | 157               | 185,8               | 94                | 124,8               | 237               | 191               | 176,98               |
| <b>2002</b>        | 441               | 457               | 452,6               | 105               | 133,8               | 103               | 133,8               | 214               | 168               | 153,98               |
| <b>2003</b>        | <b><u>611</u></b> | <b><u>627</u></b> | <b><u>622,6</u></b> | <b><u>348</u></b> | <b><u>376,8</u></b> | 161               | 191,8               | 294               | 248               | 233,98               |
| <b>2004</b>        | 541               | 557               | 552,6               | 254               | 282,8               | 230               | 260,8               | 381               | 335               | 320,98               |
| <b>Moy.</b>        | <b>405,2</b>      | <b>421,2</b>      | <b>416,8</b>        | <b>217,9</b>      | <b>246,7</b>        | <b>153,8</b>      | <b>184,6</b>        | <b>285</b>        | <b>239</b>        | <b>224,98</b>        |

\* : Source O.N.M. (2005)

**Tableau n° 02 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles de différentes stations et les valeurs corrigées des zones d'étude (1995-2004).**

| Mois<br>Stations | J            | F     | M     | A     | M     | J     | Jt           | A     | S            | O     | N     | D     | Cumul.        |
|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|-------|-------|---------------|
| Tébessa*         | 32,9         | 18    | 30,3  | 33,1  | 34,6  | 32,8  | <u>16,1</u>  | 30,7  | <u>55,9</u>  | 37,4  | 44,3  | 39,1  | <b>405,2</b>  |
| Kissa            | 34,20        | 18,71 | 31,50 | 34,41 | 35,97 | 34,09 | <u>16,74</u> | 31,91 | <u>58,11</u> | 38,88 | 46,05 | 40,64 | <b>421,2</b>  |
| Doukkara         | 33,84        | 18,52 | 31,17 | 34,05 | 35,59 | 33,74 | <u>16,56</u> | 31,58 | <u>57,50</u> | 38,47 | 45,57 | 40,22 | <b>416,8</b>  |
| M'sila*          | 27,7         | 8,8   | 14,8  | 21,3  | 27,7  | 9,3   | <u>1,4</u>   | 10,6  | <u>31,7</u>  | 22,9  | 18,9  | 22,8  | <b>217,9</b>  |
| Belaiba          | 31,36        | 9,96  | 16,76 | 24,12 | 31,36 | 10,53 | <u>1,58</u>  | 12,00 | <u>35,89</u> | 25,93 | 21,40 | 25,81 | <b>246,7</b>  |
| Laghouat*        | 15,75        | 4,25  | 13    | 18,2  | 9,9   | 12,8  | <u>3,55</u>  | 13,75 | <u>22,7</u>  | 15,5  | 6,1   | 18,3  | <b>153,8</b>  |
| Choucha          | 18,90        | 5,10  | 15,60 | 21,84 | 11,88 | 15,36 | <u>4,26</u>  | 16,50 | <u>27,25</u> | 18,60 | 7,32  | 21,96 | <b>184,6</b>  |
| Djelfa*          | <u>37,5</u>  | 20,5  | 18,5  | 30,2  | 28,9  | 11,3  | <u>3,6</u>   | 23,4  | 34,6         | 20,8  | 23,7  | 32    | <b>285</b>    |
| Zaâfrane         | <u>31,45</u> | 17,20 | 15,51 | 25,33 | 24,24 | 9,48  | <u>3,02</u>  | 19,62 | 29,02        | 17,44 | 19,88 | 26,84 | <b>239</b>    |
| Mesrane          | <u>29,60</u> | 16,18 | 14,60 | 23,84 | 22,81 | 8,92  | <u>2,84</u>  | 18,47 | 27,31        | 16,42 | 18,71 | 25,26 | <b>224,98</b> |

\* : Source O.N.M. (2005)

**Tableau n° 03 : Régimes saisonniers des zones d'étude.**

|                 | Hiver | Printemps | Eté   | Automne | Type |
|-----------------|-------|-----------|-------|---------|------|
| <b>Kissa</b>    | 93,55 | 101,87    | 82,74 | 143,03  | APHE |
| <b>belaiba</b>  | 57,17 | 72,23     | 24,11 | 83,21   | APHE |
| <b>Doukkara</b> | 92,58 | 100,80    | 81,88 | 141,54  | APHE |
| <b>Zaâfrane</b> | 75,47 | 65,07     | 32,12 | 66,33   | HAPE |
| <b>Choucha</b>  | 45,97 | 49,33     | 36,13 | 53,17   | APHE |
| <b>Mesrane</b>  | 71,05 | 61,26     | 30,23 | 62,44   | HAPE |

**Tableau n° 04 : Répartition des valeurs de température moyennes dans les stations météorologiques de référence et les valeurs corrigées des zones d'étude (1995-2004)**

|                      | T°C | J            | F            | M            | A            | M            | J            | Jt           | A            | S            | O            | N            | D            |
|----------------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tébessa*             | M   | 12,17        | 13,85        | 17,19        | 20,24        | 26,19        | 31,7         | <b>35,18</b> | 34,31        | 28,44        | 23,85        | 16,78        | 13,13        |
|                      | m   | <b>2,17</b>  | 2,57         | 5,22         | 7,53         | 12,49        | 16,39        | 19,24        | 19,35        | 15,92        | 12,32        | 6,81         | 3,51         |
|                      | T   | <b>7,17</b>  | <b>8,21</b>  | <b>11,20</b> | <b>13,88</b> | <b>19,34</b> | <b>24,04</b> | <b>27,21</b> | <b>26,83</b> | <b>22,18</b> | <b>18,08</b> | <b>11,79</b> | <b>8,32</b>  |
| Kissa                | M   | 11,53        | 13,21        | 16,55        | 19,6         | 25,55        | 31,06        | <b>34,54</b> | 33,67        | 27,8         | 23,21        | 16,14        | 12,49        |
|                      | m   | <b>1,93</b>  | 2,33         | 4,98         | 7,29         | 12,25        | 16,15        | 19           | 19,11        | 15,68        | 12,08        | 6,57         | 3,27         |
|                      | T   | <b>6,73</b>  | <b>7,77</b>  | <b>10,76</b> | <b>13,44</b> | <b>18,9</b>  | <b>23,60</b> | <b>26,77</b> | <b>26,39</b> | <b>21,74</b> | <b>17,64</b> | <b>11,35</b> | <b>7,88</b>  |
| Doukkar <sup>a</sup> | M   | 11,70        | 13,38        | 16,72        | 19,77        | 25,72        | 31,23        | <b>34,72</b> | 33,84        | 27,97        | 23,38        | 16,31        | 12,66        |
|                      | m   | <b>1,996</b> | 2,396        | 5,046        | 7,356        | 12,31        | 16,21        | 19,06        | 19,17        | 15,74        | 12,14        | 6,636        | 3,336        |
|                      | T   | <b>6,851</b> | <b>7,891</b> | <b>10,88</b> | <b>13,56</b> | <b>19,02</b> | <b>23,72</b> | <b>26,89</b> | <b>26,51</b> | <b>21,86</b> | <b>17,76</b> | <b>11,47</b> | <b>8,001</b> |
| M'sila*              | M   | 13,84        | 16,64        | 19,82        | 23,33        | 28,7         | 35           | <b>38,5</b>  | 37,96        | 31,49        | 26,21        | 18,8         | 14,63        |
|                      | m   | <b>4,17</b>  | 4,72         | 7,59         | 11,01        | 16,25        | 20,54        | 24,99        | 24,42        | 19,16        | 14,4         | 8,41         | 5,18         |
|                      | T   | <b>9,005</b> | <b>10,68</b> | <b>13,70</b> | <b>17,17</b> | <b>22,47</b> | <b>27,77</b> | <b>31,74</b> | <b>31,19</b> | <b>25,32</b> | <b>20,30</b> | <b>13,60</b> | <b>9,90</b>  |
| Belaiba              | M   | 12,68        | 15,48        | 18,66        | 22,17        | 27,54        | 33,84        | <b>37,34</b> | 36,80        | 30,33        | 25,05        | 17,64        | 13,47        |
|                      | m   | <b>3,738</b> | 4,288        | 7,158        | 10,57        | 15,81        | 20,10        | 24,55        | 23,98        | 18,72        | 13,96        | 7,97         | 4,74         |
|                      | T   | 8,213        | 9,888        | 12,91        | 16,37        | 21,68        | 26,97        | 30,95        | 30,39        | 24,53        | 19,51        | 12,81        | 9,11         |
| Laghouat*            | M   | 14,57        | 17,13        | 20,98        | 24,05        | 29,2         | 35,26        | <b>38,94</b> | 38,04        | 32,5         | 26,43        | 19,37        | 15,44        |
|                      | m   | <b>2,7</b>   | 3,47         | 6,73         | 9,74         | 15,06        | 20,1         | 23,48        | 22,47        | 18,15        | 13,48        | 6,53         | 3,8          |
|                      | T   | <b>8,635</b> | <b>10,3</b>  | <b>13,85</b> | <b>16,89</b> | <b>22,13</b> | <b>27,68</b> | <b>31,21</b> | <b>30,25</b> | <b>25,32</b> | <b>19,95</b> | <b>12,95</b> | <b>9,62</b>  |
| Choucha              | M   | 13,33        | 15,89        | 19,74        | 22,81        | 27,96        | 34,02        | <b>37,70</b> | 36,80        | 31,26        | 25,19        | 18,13        | 14,20        |
|                      | m   | <b>2,238</b> | 3,008        | 6,268        | 9,278        | 14,59        | 19,63        | 23,01        | 22,00        | 17,68        | 13,01        | 6,068        | 3,338        |
|                      | T   | 7,788        | 9,453        | 13,00        | 16,04        | 21,28        | 26,83        | 30,36        | 29,40        | 24,47        | 19,10        | 12,10        | 8,77         |
| Djelfa*              | M   | 9,75         | 12,31        | 15,79        | 18,45        | 23,61        | 30,27        | <b>34,05</b> | 33           | 26,96        | 21,7         | 14,27        | 10,62        |
|                      | m   | <b>0,83</b>  | 1,14         | 3,47         | 5,75         | 10,4         | 15,37        | 18,7         | 18,32        | 13,76        | 18,3         | 4,37         | 1,74         |
|                      | T   | <b>5,29</b>  | <b>6,725</b> | <b>9,63</b>  | <b>12,1</b>  | <b>17,00</b> | <b>22,82</b> | <b>26,37</b> | <b>25,66</b> | <b>20,36</b> | <b>20</b>    | <b>9,32</b>  | <b>6,18</b>  |
| Zaâfrane             | M   | 11,59        | 14,15        | 17,63        | 20,29        | 25,45        | 32,11        | <b>35,89</b> | 34,84        | 28,8         | 23,54        | 16,11        | 12,46        |
|                      | m   | <b>1,52</b>  | 1,83         | 4,16         | 6,44         | 11,09        | 16,06        | 19,39        | 19,01        | 14,45        | 18,99        | 5,06         | 2,43         |
|                      | T   | 6,555        | 7,99         | 10,89        | 13,36        | 18,27        | 24,08        | 27,64        | 26,92        | 21,62        | 21,26        | 10,58        | 7,445        |
| Mesrane              | M   | 12,15        | 14,71        | 18,19        | 20,85        | 26,01        | 32,67        | <b>36,45</b> | 35,40        | 29,36        | 24,10        | 16,67        | 13,02        |
|                      | m   | <b>1,733</b> | 2,043        | 4,373        | 6,653        | 11,30        | 16,27        | 19,60        | 19,22        | 14,66        | 19,20        | 5,273        | 2,643        |
|                      | T   | 6,94         | 8,38         | 11,28        | 13,75        | 18,66        | 24,47        | 28,03        | 27,31        | 22,01        | 21,65        | 10,97        | 7,83         |

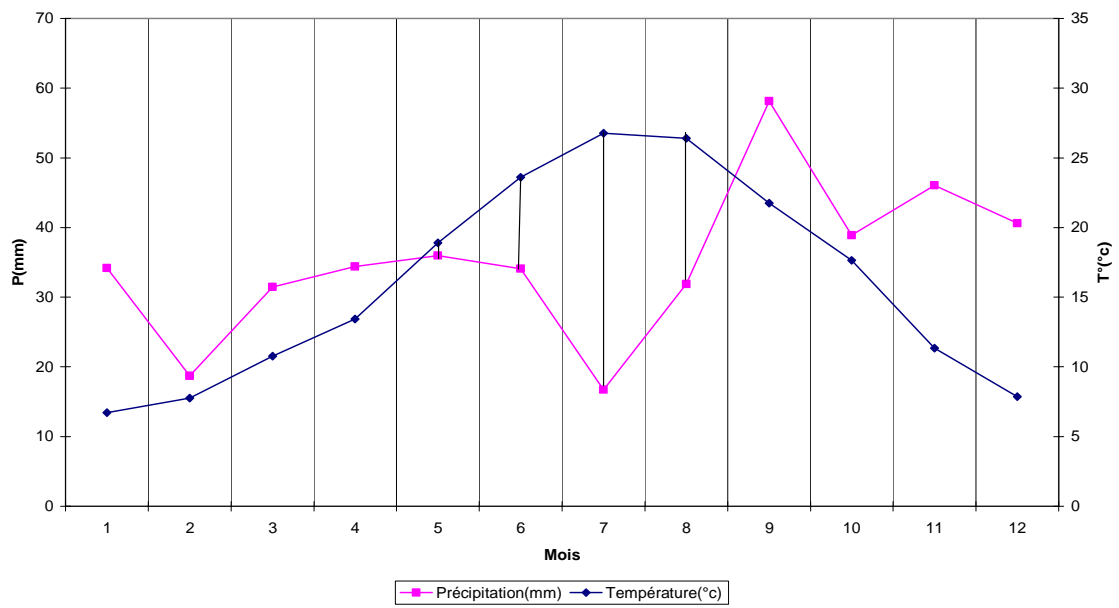
\* : Source O.N.M. (2005)

**Tableau n° 05 : Répartition des valeurs mensuelles moyennes des nombre de jours de gelées dans les stations météorologiques de référence pour la période (1995-2004)**

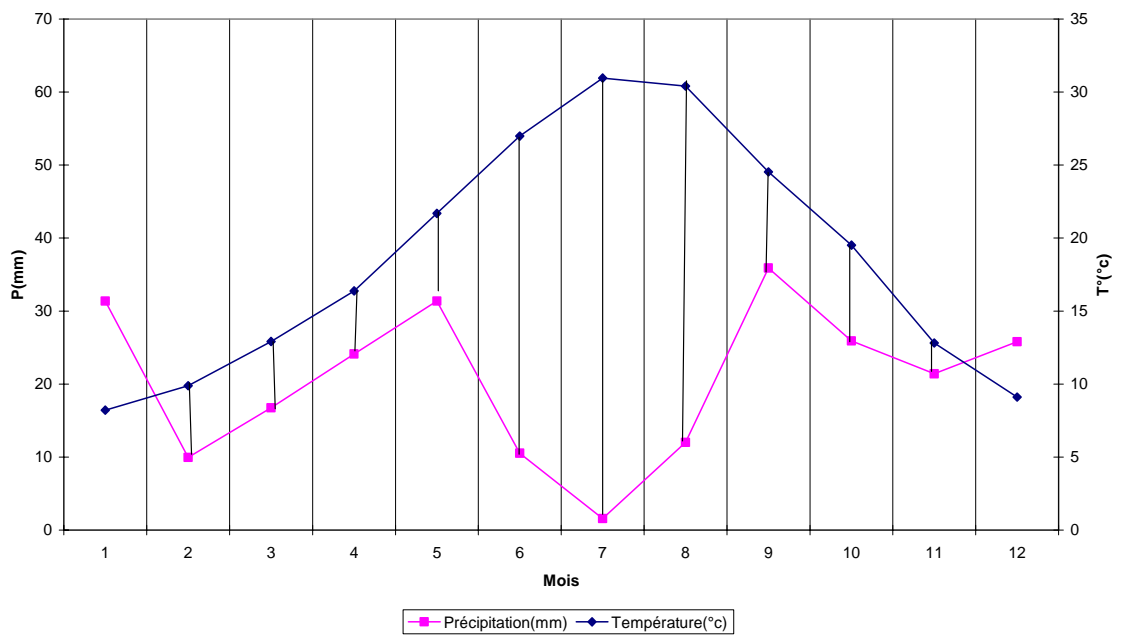
| Mois / Zones                      | J                  | F    | M    | A   | M | J | Jt | A | S | O | N   | D    | Cumul.      |
|-----------------------------------|--------------------|------|------|-----|---|---|----|---|---|---|-----|------|-------------|
| <b>Tébessa (Kissa, Doukkara)</b>  | <b><u>8,9</u></b>  | 8,2  | 2,5  | 2   |   |   |    |   |   |   | 3,5 | 5,7  | <b>26,6</b> |
| <b>M'sila (Belaiba)</b>           | <b><u>4,71</u></b> | 2    | 1    | 0   |   |   |    |   |   |   | 1   | 2,5  | <b>6,2</b>  |
| <b>Laghouat (Choucha)</b>         | <b><u>9,67</u></b> | 4    | 2,33 | 0   |   |   |    |   |   |   | 2,5 | 5,11 | <b>18,2</b> |
| <b>Djelfa (Zaâfrane, Mesrane)</b> | <b><u>12,5</u></b> | 10,1 | 3,89 | 1,8 |   |   |    |   |   |   | 4,4 | 9,3  | <b>40,7</b> |



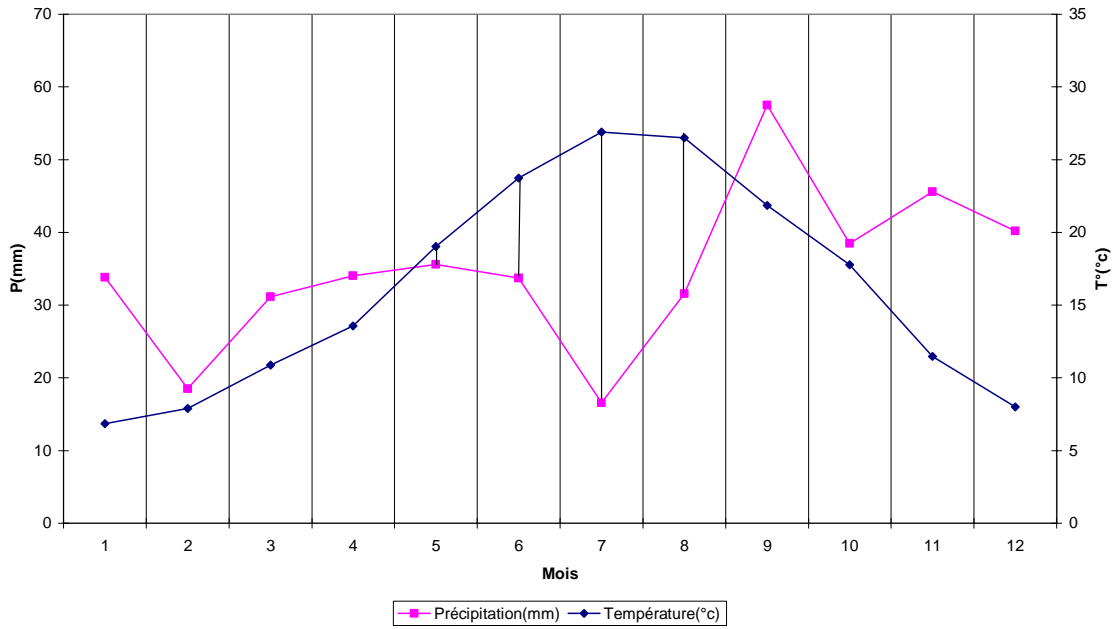
### Kissa Tébessa



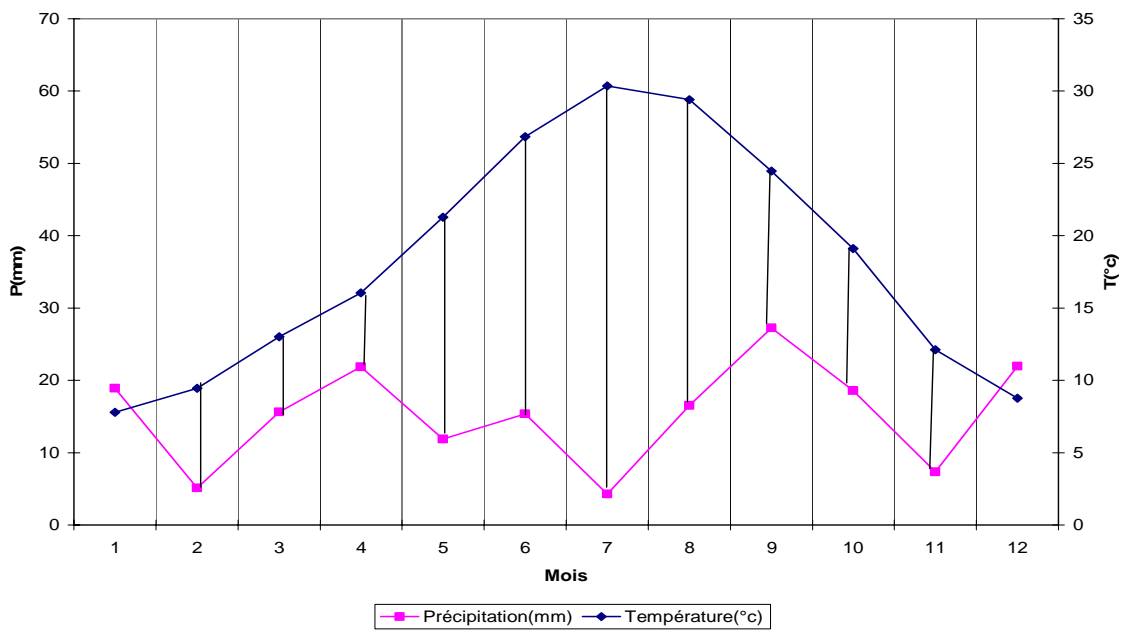
### Belaiba M'sila



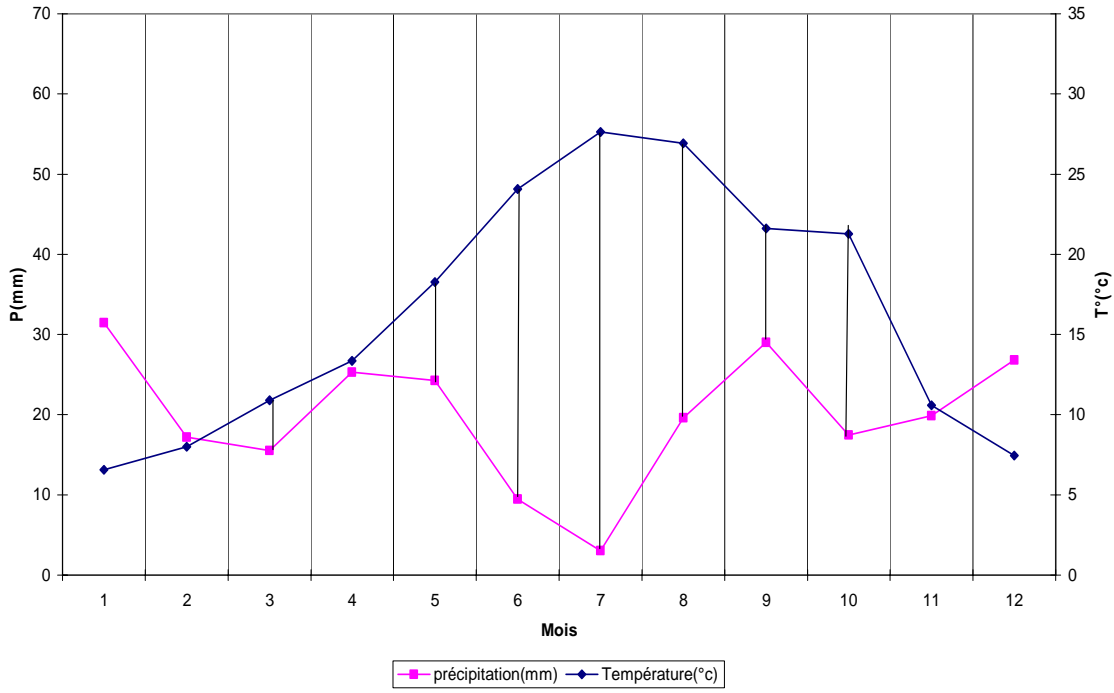
### Doukkara Tébessa



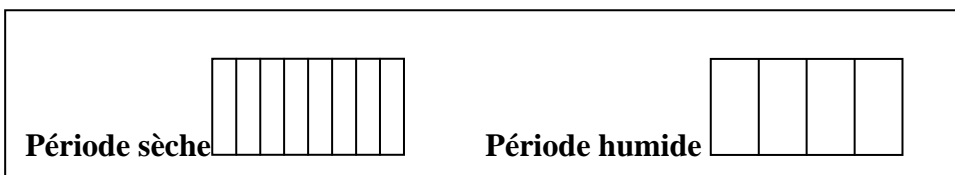
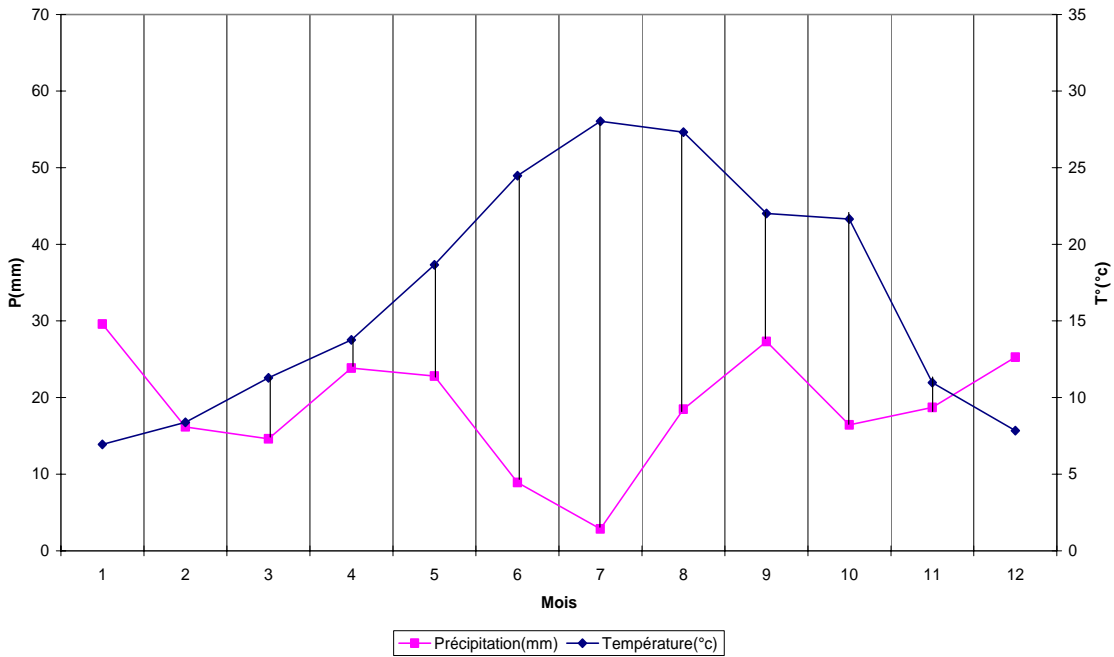
### Choucha Laghouat



Zaafrane djelfa



El-Mesrane Djelfa



**Fig.01-Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de différentes zones d'étude.**

**Tableau n° 06 : Quotient pluviothermique et étage bioclimatique des zones d'étude**

| <b>Stations</b>   | <b>m (°C)</b> | <b>Q<sub>2</sub></b> | <b>Bioclimat</b> | <b>Variante à</b> |
|-------------------|---------------|----------------------|------------------|-------------------|
| <b>Tébessa</b>    | 2,17          | 42,08                | Semi-aride       | Hiver frais       |
| <b>Kissa</b>      | 1,93          | 44,35                | Semi-aride       | Hiver frais       |
| <b>Doukkara</b>   | 2,00          | 43,72                | Semi-aride       | Hiver frais       |
| <b>M'sila</b>     | 4,17          | 21,56                | Aride moyen      | Hiver tempéré     |
| <b>Belaiba</b>    | 3,74          | 25,00                | Aride moyen      | Hiver tempéré     |
| <b>Laghouat</b>   | 2,7           | 14,44                | Aride inférieur  | Hiver frais       |
| <b>Choucha</b>    | 2,24          | 17,76                | Aride inférieur  | Hiver frais       |
| <b>Djelfa</b>     | 0,83          | 29,53                | Semi-aride       | Hiver frais       |
| <b>Zaâfrane</b>   | 1.52          | 23,84                | Aride moyen      | Hiver frais       |
| <b>El-Mesrane</b> | 1,73          | 22,18                | Aride moyen      | Hiver frais       |

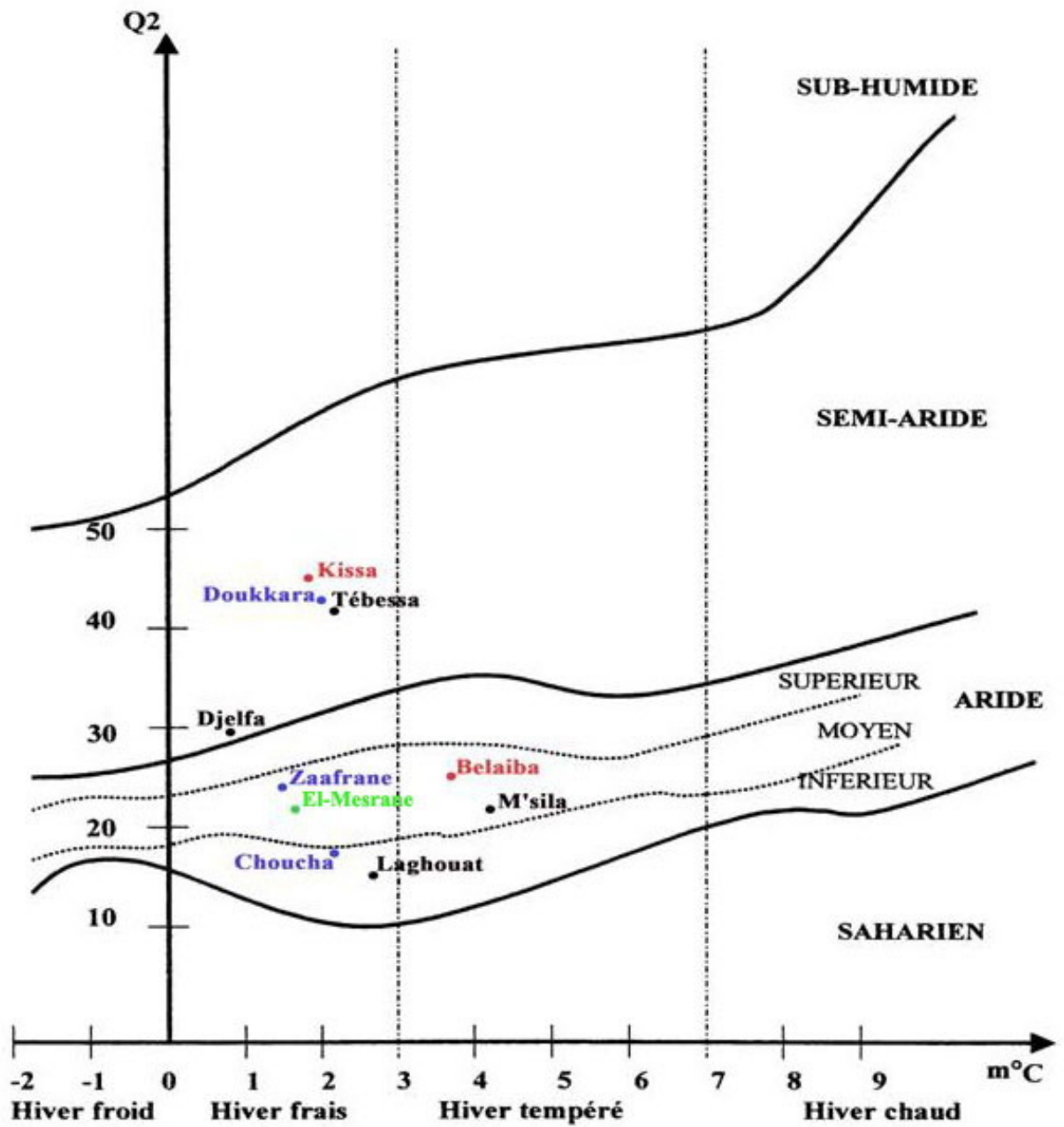


Figure n° 02 : Climagramme pluviothermique d'Emberger des zones d'étude

**Tab. n° 07 : Résultats d'analyse du sol de différents zones d'étude.**

|                 | <b>Texture</b>  | <b>M.O.<br/>(%)</b> | <b>CaCo<sub>3</sub><br/>Totale (%)</b> | <b>CaCo<sub>3</sub><br/>Actif (%)</b> | <b>pH</b> | <b>C.E.<br/>Mmho/cm<sup>2</sup></b> |
|-----------------|-----------------|---------------------|--|---------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| <b>Kissa</b>    | Limono-sableuse | 0.81                | 45,76                                  | 15                                    | 7,95      | 0,33                                |
| <b>Belaiba</b>  | Limono-sableuse | 0.40                | 32,91                                  | 11,25                                 | 7,69      | 0,60                                |
| <b>Doukkara</b> | Limoneuse       | 1,16                | 38,73                                  | 11                                    | 7,52      | 0,71                                |
| <b>Choucha</b>  | Sableuse (sand) | 0,20                | 3,77                                   | --                                    | 7,53      | 0,32                                |
| <b>Zaâfrane</b> | Sablo-limoneuse | 0.36                | 7,94                                   | 9,75                                  | 7,96      | 0,42                                |
| <b>Mesrane*</b> | Sableuse*       | 0,31*               | 2,34*                                  | --                                    | 8,55*     | 0,346*                              |

\* Habib, (2000).

## Appendice II : Analyse de la variance

**Tableau n° 01 : L'analyse de la variance de différentes mesures et mensurations des formes inermes**

| Analyse de la Variance (Effets significatifs marqués à $p < ,05000$ ) |          |        |          |          |        |          |          |          |
|---|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|
|   | SC ef.   | dl ef. | MC ef.   | SC er.   | dl er. | MC er.   | F        | p        |
| <b>long</b>   | 0,03750  | 1      | 0,03750  | 743,2083 | 58     | 12,81394 | 0,0029   | 0,957044 |
| <b>larg</b>   | 14,01667 | 1      | 14,01667 | 227,8167 | 58     | 3,92787  | 3,5685   | 0,063888 |
| <b>épais</b>  | 4,42817  | 1      | 4,42817  | 1,9643   | 58     | 0,03387  | 130,7485 | 0,000000 |
| <b>larg/long</b>  | 0,01086  | 1      | 0,01086  | 0,2248   | 58     | 0,00388  | 2,8015   | 0,099563 |
| <b>long fru</b>   | 6,642    | 1      | 6,642    | 20,838   | 38     | 0,5484   | 12,11304 | 0,001274 |
| <b>larg fru</b>   | 1,406    | 1      | 1,406    | 3,954    | 38     | 0,1040   | 13,51650 | 0,000728 |
| <b>épai fru</b>   | 0,272    | 1      | 0,272    | 3,365    | 38     | 0,0886   | 3,07399  | 0,087619 |
| <b>dia geo</b>  | 1,634    | 1      | 1,634    | 3,413    | 38     | 0,0898   | 18,19755 | 0,000127 |
| <b>sphéricité</b>   | 0,009    | 1      | 0,009    | 0,163    | 38     | 0,0043   | 2,01718  | 0,163681 |
| <b>surface peau</b>   | 1446,630 | 1      | 1446,630 | 2996,240 | 38     | 78,8484  | 18,34698 | 0,000121 |
| <b>poids fru</b>  | 950,040  | 1      | 950,040  | 5394,386 | 38     | 141,9575 | 6,69242  | 0,013635 |
| <b>nbr graine/fruit</b>   | 0,19028  | 1      | 0,19028  | 6,9507   | 8      | 0,86884  | 0,219011 | 0,652280 |
| <b>nbr gri avor/ fruit</b>  | 32,40000 | 1      | 32,40000 | 636,0000 | 8      | 79,50000 | 0,407547 | 0,541057 |
| <b>hauteur pied</b>   | 1,04329  | 1      | 1,04329  | 2,1448   | 8      | 0,26810  | 3,891421 | 0,083996 |
| <b>diamètre graine</b>  | 0,03168  | 1      | 0,03168  | 7,1531   | 98     | 0,07299  | 0,434084 | 0,511537 |

La couleur rouge indique la significativité

**Tableau n° 02 : L'analyse de la variance de différentes mesures et mensurations des formes épineuses**

| Analyse de la Variance (Effets significatifs marqués à p < ,05000) |          |        |          |          |        |          |          |          |
|--|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|
|  | SC ef.   | dl ef. | MC ef.   | SC er.   | dl er. | MC er.   | F        | p        |
| <b>long</b>  | 2279,317 | 2      | 1139,658 | 898,7833 | 87     | 10,33084 | 110,3161 | 0,000000 |
| <b>larg</b>  | 45,258   | 2      | 22,629   | 448,0087 | 87     | 5,14952  | 4,3943   | 0,015203 |
| <b>épaiss</b>  | 2,140    | 2      | 1,070    | 3,0791   | 87     | 0,03539  | 30,2338  | 0,000000 |
| <b>larg/long</b>   | 0,659    | 2      | 0,329    | 0,3068   | 87     | 0,00353  | 93,4099  | 0,000000 |
| <b>nbr ep/areo</b>   | 2,288889 | 2      | 1,144444 | 44,20000 | 87     | 0,508046 | 2,25264  | 0,111219 |
| <b>l ep cent</b>   | 2,860222 | 2      | 1,430111 | 5,98967  | 87     | 0,068847 | 20,77239 | 0,000000 |
| <b>long fru</b>  | 156,45   | 2      | 78,23    | 15,255   | 57     | 0,26763  | 292,2905 | 0,000000 |
| <b>larg fru</b>  | 25,43    | 2      | 12,72    | 4,309    | 57     | 0,07561  | 168,1916 | 0,000000 |
| <b>épai fru</b>  | 21,97    | 2      | 10,99    | 3,199    | 57     | 0,05612  | 195,7344 | 0,000000 |
| <b>dia geo</b>   | 48,05    | 2      | 24,02    | 4,257    | 57     | 0,07468  | 321,7172 | 0,000000 |
| <b>sphéricité</b>  | 0,22     | 2      | 0,11     | 0,096    | 57     | 0,00169  | 66,2819  | 0,000000 |
| <b>surface peau</b>  | 48943,19 | 2      | 24471,59 | 3814,601 | 57     | 66,92283 | 365,6689 | 0,000000 |
| <b>poids fru</b>   | 28265,09 | 2      | 14132,55 | 5037,647 | 57     | 88,37977 | 159,9070 | 0,000000 |
| <b>nbr graine/fruit</b>  | 5,62     | 2      | 2,81     | 0,473    | 12     | 0,03940  | 71,2779  | 0,000000 |
| <b>nbr gri avor/ fruit</b>   | 104,93   | 2      | 52,47    | 14,400   | 12     | 1,20000  | 43,7222  | 0,000003 |
| <b>hauteur pied</b>  | 0,85345  | 2      | 0,426727 | 3,06752  | 12     | 0,255627 | 1,66934  | 0,229277 |
| <b>diametre graine</b>   | 10,27015 | 2      | 5,135075 | 16,56965 | 147    | 0,112719 | 45,55655 | 0,000000 |

La couleur rouge indique la significativité



**Tableau n° 03 : Test Newman-Keuls, différences significatives marquées à p<0,05 des formes épineuse**

| caractère                                  | Prov.    | Choucha  | Zaâfrane | 1 <sup>ère</sup> étape | 2 <sup>ème</sup> étape |
|--|----------|----------|----------|------------------------|------------------------|
| <b>Hauteur pieds (m)</b>                   | Doukkara | 0,290334 | 0,139704 | 0,697174               | 0,855437               |
|  | Choucha  |          | 1,000000 |                        |                        |
| <b>Longueur cladodes (cm)</b>              | Doukkara | 0,000114 | 0,000107 | 1,649174               | 1,994618               |
|  | Choucha  |          | 0,888608 |                        |                        |
| <b>Longueur cladodes (cm)</b>              | Doukkara | 0,253714 | 0,011646 | 1,164346               | 1,408236               |
|  | Choucha  |          | 0,076700 |                        |                        |
| <b>Epaisseur cladodes (cm)</b>             | Doukkara | 0,000107 | 0,000114 | 0,096527               | 0,116746               |
|  | Choucha  |          | 0,046090 |                        |                        |
| <b>Largeur/Longueur</b>                    | Doukkara | 0,000107 | 0,000114 | 0,030470               | 0,036853               |
|  | Choucha  |          | 0,035093 |                        |                        |
| <b>Nombre épine /aréole</b>                | Doukkara | 0,718181 | 0,120244 | 0,365721               | 0,442327               |
|  | Choucha  |          | 0,106813 |                        |                        |
| <b>Longueur épine centrale (cm)</b>        | Doukkara | 0,000304 | 0,014053 | 0,134630               | 0,162830               |
|  | Choucha  |          | 0,000107 |                        |                        |
| <b>Longueur fruits (cm)</b>                | Doukkara | 0,000111 | 0,000119 | 0,327445               | 0,396688               |
|  | Choucha  |          | 0,317546 |                        |                        |
| <b>Largeur fruits (cm)</b>                 | Doukkara | 0,000111 | 0,000119 | 0,174039               | 0,210842               |
|  | Choucha  |          | 0,191353 |                        |                        |
| <b>Epaisseur fruits (cm)</b>               | Doukkara | 0,000111 | 0,000119 | 0,149947               | 0,181656               |
|  | Choucha  |          | 0,011874 |                        |                        |
| <b>Diamètre géom. fruit (cm)</b>           | Doukkara | 0,000111 | 0,000119 | 0,172967               | 0,209544               |
|  | Choucha  |          | 0,068451 |                        |                        |
| <b>Sphéricité fruits</b>                   | Doukkara | 0,000119 | 0,000111 | 0,026008               | 0,031508               |
|  | Choucha  |          | 0,913204 |                        |                        |
| <b>Surface peau fruit (cm<sup>2</sup>)</b> | Doukkara | 0,000111 | 0,000119 | 5,177934               | 6,272894               |
|  | Choucha  |          | 0,126503 |                        |                        |
| <b>Poids du fruit (g)</b>                  | Doukkara | 0,000111 | 0,000119 | 5,950395               | 7,208705               |
|  | Choucha  |          | 0,085837 |                        |                        |
| <b>Nombre graine/g de fruit</b>            | Doukkara | 0,000190 | 0,000187 | 0,273713               | 0,335848               |
|  | Choucha  |          | 0,000364 |                        |                        |
| <b>Nombre graine avortée/ fru</b>          | Doukkara | 0,000174 | 0,000193 | 1,510527               | 1,853427               |
|  | Choucha  |          | 0,574532 |                        |                        |
| <b>diamètre graine</b>                     | Doukkara | 0,000009 | 0,000022 | 0,131605               | 0,158708               |
|  | Choucha  |          | 0,010981 |                        |                        |

La couleur rouge indique la significativité

**Tab. n° 04 : Les groupes homogènes des différentes formes épineuse**

| <b>Critères</b>   | <b>Doukkara</b>    | <b>Choucha</b>      | <b>Zaâfrane</b>    |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Hauteur<br/>pieds (m)</b>                            | 2,13               | 1,63                | 1,69               |
| <b>Longueur<br/>cladodes (cm)</b>                       | 38,85 <sup>a</sup> | 28,33 <sup>b</sup>  | 28,11 <sup>b</sup> |
| <b>Largeur<br/>cladodes (cm)</b>                        | 22,62 <sup>a</sup> | 21,95 <sup>ab</sup> | 20,9 <sup>b</sup>  |
| <b>Epaisseur<br/>cladodes (cm)</b>                      | 1,26 <sup>a</sup>  | 0,9 <sup>c</sup>    | 1 <sup>b</sup>     |
| <b>Largeur/Longueur</b>                                 | 0,58 <sup>c</sup>  | 0,77 <sup>a</sup>   | 0,74 <sup>b</sup>  |
| <b>Nombre<br/>épine /aréole</b>                         | 2,43               | 2,36                | 2,06               |
| <b>Longueur épine<br/>centrale (cm)</b>                 | 1,99 <sup>b</sup>  | 2,25 <sup>a</sup>   | 1,82 <sup>c</sup>  |
| <b>Longueur fruits (cm)</b>                             | 8,22 <sup>a</sup>  | 4,88 <sup>b</sup>   | 4,72 <sup>b</sup>  |
| <b>Largeur<br/>fruits (cm)</b>                          | 5,34 <sup>a</sup>  | 4,02 <sup>b</sup>   | 3,9 <sup>b</sup>   |
| <b>Epaisseur<br/>fruits (cm)</b>                        | 5,03 <sup>a</sup>  | 3,86 <sup>b</sup>   | 3,66 <sup>c</sup>  |
| <b>Diamètre géom.<br/>fruit (cm)</b>                    | 6,04 <sup>a</sup>  | 4,22 <sup>b</sup>   | 4,06 <sup>b</sup>  |
| <b>Sphéricité fruits</b>                                | 0,73 <sup>b</sup>  | 0,86 <sup>a</sup>   | 0,86 <sup>a</sup>  |
| <b>Surface de<br/>la peau de fruit (cm<sup>2</sup>)</b> | 114,8 <sup>a</sup> | 56,34 <sup>b</sup>  | 52,33 <sup>b</sup> |
| <b>Poids du fruit (g)</b>                               | 89,23 <sup>a</sup> | 46,01 <sup>b</sup>  | 40,8 <sup>b</sup>  |
| <b>Nombre graine/g<br/>de fruit</b>                     | 2,77 <sup>a</sup>  | 1,28 <sup>c</sup>   | 1,93 <sup>b</sup>  |
| <b>Nombre graine<br/>avortée/ fru</b>                   | 6,4 <sup>a</sup>   | 1 <sup>b</sup>      | 0,6 <sup>b</sup>   |
| <b>Diamètre<br/>des graines (mm)</b>                    | 4,56 <sup>a</sup>  | 4,11 <sup>b</sup>   | 3,94 <sup>c</sup>  |

<sup>a,b,c</sup> Lettres indiquant les groupes homogènes.