

GUIDE DE BONNES PRATIQUES DE PLANTATION ET DE CONDUITE TECHNIQUE DU CACTUS EN CULTURE PLUVIALE DANS LES ZONES ARIDES



**GUIDE DE BONNES PRATIQUES DE PLANTATION
ET DE CONDUITE TECHNIQUE DU CACTUS EN CULTURE
PLUVIALE DANS LES ZONES ARIDES**

Mai 2015

Ce manuel a été préparé dans le cadre du « Projet d'Accès aux Marchés pour les Produits Agroalimentaires et du Terroir (PAMPAT) », mis en œuvre au Maroc par l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI), sur un financement du Secrétariat d'Etat à l'Economie Suisse (SECO).

Copyright© 2015 Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI)

Ce document a été préparé par le Service d'appui au secteur privé et à la promotion des investissements et de la technologie de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) sur la base du travail réalisé par Mohamed BOUJGHAGH, Chef du Service de Recherche et Développement à l'INRA d'Agadir et Ebe MUSCHIALI, experte ONUDI, sous la direction de Fabio RUSSO, spécialiste principal du développement industriel à l'ONUDI.

Ce document n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle de la part des services d'édition des Nations Unies. Les appellations et les documents cités dans la présente publication ne reflètent à aucun égard une opinion du secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel concernant le statut juridique d'un pays, d'un territoire, d'une ville, d'une zone, ou de ses autorités, ou concernant le tracé de frontières ou limites. Les opinions, chiffres et estimations figurant dans le présent document sont de la responsabilité des auteurs et ne doivent pas nécessairement être considérés comme étant ceux de l'ONUDI ou comme impliquant son approbation. Les appellations "pays développé" ou "pays en développement" sont employées à des fins statistiques et n'expriment pas nécessairement une opinion quant au stade de développement de tel pays ou de telle zone. La mention d'une entreprise ou d'une marque commerciale ne signifie pas que celle-ci ait l'aval de l'ONUDI.



SOMMAIRE

Avant propos.....	6
Guide de bonnes pratiques de plantation et de conduite technique du cactus en culture pluviale dans les zones arides.....	8
I. Introduction.....	9
II. Exigences pédoclimatiques de la culture du cactus.....	10
1. Adaptation aux différents types de sol.....	11
2. Adaptation aux hautes et basses températures.....	12
III. Techniques de plantations du cactus dans les zones arides.....	14
1. Plantations des terrains plats.....	15
a. Terrains plats non inondables.....	15
b. Terrains plats fortement inondables.....	17
2. Plantations des terrains en pente.....	21
a. Plantations des terrains en pente douce.....	21
b. Plantations des terrains en pente modérée.....	24
c. Plantations des versants en pente raide.....	24
3. Plantations pour traitement des rigoles et ravines.....	26
IV. Choix du matériel végétal du cactus et techniques de multiplication.....	28
1. Espèces et «variétés» de cactus existantes au Maroc.....	29
2. Choix du matériel végétal à utiliser en plantation.....	30
a. Production de fruits.....	31
b. Réhabilitation des parcours.....	32
c. Protection des versants contre l'érosion.....	33



4. Techniques de multiplication de plants de cactus	33
a. Multiplication végétative.....	34
b. Multiplication par semis de graines	35
c. Culture in vitro.....	37
V. Modalités de plantation du cactus dans les zones arides.....	38
1. Méthodes de plantation	39
2. Densité de plantation	42
3. Orientation des lignes de plantation.....	44
4. Modes de plantation.....	44
5. Position des plants et profondeur d'enfouissement	45
6. Date de plantation	47
VI. Conduite technique des plantations du cactus.....	48
1. Entretien des plantations	49
a. Le hersage et le discage	50
b. Le binage manuel.....	50
c. Le désherbage chimique.....	50
2 Taille des plants et période de réalisation.....	51
a. Taille des plants.....	51
b. Période de réalisation	54
VII. Fertilisation et irrigation du cactus	56
1. Fertilisation du cactus.....	57
a. Fertilisation pour la production de fruits	58
b. Fertilisation pour la production de cladodes.....	59
2. Irrigation du cactus.....	60
VIII. Amélioration de la production et la qualité des fruits.....	62
1. Eclaircissage des fruits.....	63



a. Fertilité des cladodes et compétition entre les bourgeons.....	63
b. Eclaircissage des fruits	64
2. Obtention de fruits «sans» graines.....	66
3. Réduction de l’alternance	66
4. Techniques de pré-récolte pour préserver la qualité en post-récolte	67
IX. Floraison et fructification du cactus en hors saison	68
1. La technique «Scozzolatura».....	69
2. Floraison automnale induite par l’azote	74
X. Méthodes de récolte et de conservation des fruits en post-récolte	76
1. Stades de développement et de maturité des fruits	77
a. Stade de développement	77
b. Stade de maturité des fruits	78
2. Récolte et problèmes de post-récolte	78
a. Récolte des fruits.....	78
b. Problèmes de post-récolte	81
XI. Méthodes de préservation de la qualité des fruits en post-récolte	82
1. Problèmes de conservation et de stockage des fruits.....	83
2. Techniques de stockage des figues de Barbarie.....	84
a. Méthodes de stockage traditionnel	84
b. Stockage des fruits à basses températures.....	84
c. Traitement des fruits par la chaleur	85
d. Films d’emballage et enrobages.....	86
e. Traitements des fruits par le calcium.....	86
f. Conservation en atmosphère contrôlée	87
Références bibliographiques.....	88

Avant propos

Les zones arides, voire semi-arides, sont caractérisées par des déficits hydriques chroniques et des sécheresses répétitives. Les précipitations faibles et aléatoires à régime spasmodique ne provoquent qu'une très forte érosion des sols. Ces zones, représentant plus de 65% de la superficie nationale, sont désormais fortement touchées par ce phénomène qui ne cesse de faire perdre du terrain.

L'absence drastique du couvert végétal a des effets directs sur l'intensification des pertes en sol par l'érosion hydrique lors de fortes précipitations. Plusieurs millions de tonnes de terre s'en vont dans la mer chaque année. Ceci entraîne une baisse de la production agricole due à l'enlèvement de la couche arable par les eaux de ruissellement, le débordement des rivières, des inondations, des glissements de terrain, des épidémies et des pertes même en vies humaines lors des saisons pluvieuses.

Le cactus, de part ses caractéristiques d'adaptation aux conditions climatiques difficiles et les revenus qu'il peut générer au profit des populations des régions arides, pourrait constituer un levier pour promouvoir un développement durable au niveau de ces zones. En effet, cette plante miracle a permis la mise en valeur des terres marginales et zones arides et semi-arides, où d'autres espèces cultivées végétaient difficilement. Son adaptation à différents climats et sols lui permet de répondre efficacement lorsqu'elle est utilisée dans la lutte contre l'érosion, la conservation, la restauration, la valorisation des sols et la régénération des espèces naturelles.

Dans le cadre de la nouvelle stratégie «Plan Maroc Vert», et dans le cadre de la mise en valeur des zones arides, la culture du cactus constitue l'une des principales options prioritaires dégagées par le Plan Agricole Régional de nombreuses régions arides et semi-arides marocaines, où des centaines de milliers d'hectares sont identifiés pour la plantation dans un avenir très proche. Afin d'atteindre les objectifs escomptés par un tel programme, il est nécessaire d'investir sur la réussite des nouvelles plantations identifiées et également d'avoir une vision très claire sur les voies de valorisation des produits issus du cactus pour différentes finalités.

Dans ce contexte, le choix des sites, ainsi que les méthodes adaptées à ce genre de situation pour la plantation du cactus, sont des facteurs d'une importance capitale pour la réussite de cette culture dans les zones arides. L'absence d'un guide technique sur les méthodes de plantations et de conduite technique constitue un réel frein au développement de cette culture essentielle dans les zones arides.

Ce document, conçu comme un manuel technique simple et pratique, est consacré aux méthodes et à la conduite technique de plantation du cactus dans les zones arides, souvent marginalisées et considérées comme incultes. Ces méthodes ont été spécifiées selon les objectifs visés par chaque plantation et ont été même réajustées pour être mieux adaptées à chaque site d'implantation, notamment à l'environnement pédoclimatique et à la situation géomorphologique et topographique. Une part importante du guide a été accordée aux mesures d'accompagnement nécessaires à la réalisation des plantations et indispensables à la lutte contre l'érosion pour préserver l'environnement et sauvegarder les populations menacées par la sécheresse et la désertification (techniques de collecte des eaux pluviales, aménagements antiérosifs, etc.).

Les méthodes de conduite technique de la culture et de l'amélioration de la productivité, ainsi que la qualité de la production (fruits et cladodes du produits) sont aussi amplement détaillées au niveau du guide, de même que l'obtention d'une floraison automnale, du décalage de la période de floraison et de la maturité des fruits. Enfin, une dernière partie a été consacrée à la physiologie de formation des fruits et aux méthodes de conservation pour préserver leur qualité et prolonger leur durée de vie durant et après le stockage.



GUIDE DE BONNES PRATIQUES DE PLANTATION
ET DE CONDUITE TECHNIQUE DU CACTUS EN CULTURE
PLUVIALE DANS LES ZONES ARIDES

I. Introduction

I. Introduction

Les régions arides, voire désormais semi-arides, sont caractérisées par des déficits hydriques dus aux régimes pluviométriques très faibles (50 à 300mm/an) et irréguliers. Les pluies, généralement orageuses, violentes et torrentielles, tombent en de courtes périodes de l'année. Par leur forte agressivité, ces pluies ne provoquent qu'une érosion continue des terrains. Aussi, dans ces zones chaudes, les pertes en eau par évapotranspiration sont souvent élevées (>1500 mm/an).

Dans de tels environnements, où les conditions climatiques sont difficiles et contraignantes, toute tentative de valorisation par une culture telle que le cactus doit passer non seulement par un choix judicieux des cultivars mieux acclimatés, mais aussi par l'adoption de techniques culturales appropriées et mieux adaptées, notamment celles limitant le ruissellement des eaux pluviales et donc les pertes en sol et en éléments minéraux et organiques dues à l'érosion hydrique. En effet, la nécessité de conserver le sol, de collecter, de stocker et de valoriser les eaux pluviales, sont des mesures indispensables pour garantir la réussite des plantations et assurer leur durabilité voire leur pérennité.

Dans le passé, certains agriculteurs des zones arides ont développé et adopté des stratégies de lutte très efficaces contre l'érosion notamment : des cultures en terrasses, la construction de murets, l'édification de cordons pierreux, etc. Ces techniques, considérées à tort comme archaïques, représentent des mesures très efficaces pour lutter contre l'érosion et pratiquer une agriculture de subsistance. Aussi, en plus des méthodes de lutte contre l'érosion hydrique, l'installation de clôtures et de haies vives ou inertes (comme brise vent) permet non seulement de contrôler le passage des troupeaux dans les plantations, mais aussi de minimiser l'érosion éolienne. Cet ensemble de techniques ancestrales et de dispositifs, convenablement aménagés et régulièrement entretenus, améliorent les conditions de la production agricole et permettent d'exploiter les terres sur une longue période.

Cependant, aujourd'hui, la culture du cactus n'est conduite que d'une façon traditionnelle et ne bénéficie d'aucune attention, ni soin de la part des agriculteurs. Elle demeure ainsi tributaire des aléas climatiques et fournit par conséquent, des rendements en fruits inférieurs aux normes escomptées, aussi bien en quantité qu'en qualité.

Le but de ce guide technique est de traiter d'une manière simple et pratique les techniques de plantation et de conduite technique du cactus, très particulières aux zones arides. Ces techniques seront en effet plus souvent associées à des aménagements antiérosifs, l'érosion - surtout hydrique - constituant une des contraintes majeures limitant la production agricole en zones arides.



II. Exigences pédoclimatiques de la culture du cactus



II. Exigences pédoclimatiques de la culture du cactus

1. Adaptation aux différents types de sol

Le cactus peut être cultivé dans divers types de sol ayant différents pH. Il peut supporter aussi bien les sols acides que les sols calcaires, voire salins, à moins de ne pas dépasser 70 moles de NaCl/m³ (Inglese, 1995). Si les sols très perméables, légers, sablonneux limoneux, sableux et même caillouteux ayant un faible taux d'argile (moins de 20%) lui conviennent parfaitement, le cactus redoute toute fois les sols lourds, mal drainés (sols hydromorphes) et les terres battantes. Selon Barbera et al. (1993), les espèces du genre *Opuntia* et le Figuier de Barbarie en particulier, s'adaptent aux terrains sablonneux aux sols à empattage moyen, pauvres en substances organiques et de faibles épaisseurs (Walali, 1997). Toutefois pour la constitution de vergers cactus en culture intensive, les sols profonds (60 à 70cm) lui conviennent parfaitement. Dans ce cas Wessels (1988), cité par Inglese, (1995), a proposé des teneurs du sol élevées en calcium (Ca) et en potassium (K) pour produire des fruits de bonne qualité.

Caractérisé par un système racinaire superficiel, le cactus peut se contenter d'un sol peu profond (5 à 20cm de profondeur). En effet, ses racines superficielles lui facilitent l'absorption de la moindre précipitation. Quand le sol est profond, quelques rares racines descendent plus profondément, mais avec une fonction limitée à la fixation du plant. Se concentrant dans les 5 à 30 premiers centimètres du sol, réparti en réseau tout autour de la plante dans un rayon de 5 à 10m, les racines sont robustes et capables de coloniser de façon efficace les milieux les plus difficiles, voire les interstices et les fissures des roches (Planche 1). De ce fait, le cactus peut même être planté sur un terrain complètement rocailleux. Cette capacité de coloniser des milieux de faible fertilité est améliorée par la possibilité d'accueillir dans les racines des micro-organismes symbiotes. Llovera et al. (1995) ont montré, en effet, que les racines de plusieurs espèces d'*Opuntia* sont colonisées par des mycorhizes. Dans cette association de symbiose, les champignons mycorhiziens aident la plante à obtenir des éléments minéraux présents dans le sol (principalement le phosphore et l'azote) tout en la protégeant d'attaques



Planche 1 : Photos de plants de cactus et de l'euphorbe poussant dans les interstices des roches

d'autres organismes pathogènes. Ces capacités d'adaptation ont permis à l'espèce *Opuntia ficus indica* de coloniser les sols stériles des pentes de l'Etna en Italie, induisant à la longue la formation d'un terreau favorable au développement de cultures plus rentables (Bonifacio, 1961; Barbera et al. 1993).

En comparaison avec d'autres végétaux ayant le même âge de plantation (60 ans), le cactus fabrique relativement vite, un horizon humifère qui crée un complexe organique et minéral suffisamment épais pour donner naissance à un sol dynamique. Ce dynamisme se traduit par une activité microbienne intense, une mélanisation rapide de la matière organique, libérée surtout par les racines traçantes qui mettent en jeu l'action des acides humiques et acides fulviques, suffisamment agressifs pour la dislocation de la roche mère. Ces acides accélèrent l'altération chimique de la roche et approfondissent ainsi le sol de 15 à 30cm. Par conséquent, le cactus peut être considéré comme pionnier de la fabrication des sols dans les zones arides. L'évolution des sols par la transformation des racines et des cladodes en substance organique conduit à une plus grande disponibilité en éléments nutritifs et à une pullulation des micro-organismes et, par conséquent, à une amélioration de la structure du sol et du bilan hydrique (Monjauze et Le Houèrou, 1965).

2. Adaptation aux hautes et basses températures

La plupart des espèces craignent le froid humide (minimum absolu supérieur à -10°C) car il favorise une pourriture d'origine bactérienne contre laquelle la seule méthode de lutte consiste à supprimer les pieds et les cladodes atteints. Certaines espèces adaptées en région méditerranéenne arriveraient à résister à des températures de -5 et -10°C ; Il s'agit d'*Opuntia ficus indica*, *Opuntia dillenii* et *Opuntia compressa* vr. *Helvetica*. La limite thermique où se développe le cactus au Maroc n'excède généralement pas les 1000m d'altitude (Walali, 1997). Au Mexique, nous le trouvons sur des sites situés à 1800-2200m d'altitude avec une pluviosité annuelle de 400-500 mm et une température annuelle moyenne de $16-18^{\circ}\text{C}$ (Kenny, 1997).

Au Maroc, excepté les zones sahariennes, nous retrouvons le Figuier de Barbarie un peu partout, dans les régions côtières depuis Sidi Ifni jusqu'à Tanger, mais aussi dans presque toutes les zones continentales. Cependant, les meilleures plantations sont situées dans les régions côtières qui subissent l'influence océanique et où la température annuelle moyenne est de 18°C et les minima des mois les plus froids ne descendent que rarement en deçà de 5°C . En effet, l'influence maritime confère, sur cette bande côtière, de plus de 10Km de largeur, un climat doux, humide et clément aussi bien en hiver qu'en été. Bien que la pluviosité dans les régions sud ne dépasse que rarement les 100mm (29,8mm seulement en 1992), les rendements en fruits sont plus élevés dans cette bande, la plante bénéficiant tout au long de l'année du brouillard nocturne et matinal.

Malgré le climat qui devient de plus en plus continental au fur et à mesure que nous nous éloignons de cette bande (maxima absolus peuvent dépasser 48°C en été et les minima absolus les descendre jusqu'à -2°C en hiver selon les localités), le figuier de Barbarie y végète parfaitement. Le froid hivernal paraît limiter l'extension du cactus, mais l'existence de quelques plantations aux alentours des villes d'Ifrane, d'Azrou et d'Imouzer, entre autres, semble indiquer des différences de tolérance entre génotypes. La présence de plants de cactus à Ouarzazate, Errachidia, Rich, Midelt, Oujda, Taourirte, etc. confirme la résistance de certains clones à la sécheresse et aux fortes chaleurs.

Si les températures très élevées constituent le facteur limitant la dissémination géographique des espèces végétales, les cactacées en général et les espèces du genre *Opuntia* en particulier, arrivent à supporter les valeurs les plus extrêmes. Le figuier de Barbarie peut survivre à de fortes chaleurs pendant une semaine, il peut même supporter sans dommages l'effet d'une température de 60°C durant une heure (Nobel, 1988).

Le succès écologique et agronomique des espèces du genre *Opuntia*, à l'instar des autres cactacées, réside dans leurs différentes capacités d'adaptation, notamment leur aptitude à conserver l'eau dans le parenchyme aquifère des cladodes et à assimiler l'anhydride carbonique durant la nuit (Nobel, 1988; 1995). Elles sont ainsi en mesure de tolérer de longues périodes de déficit hydrique, tout en garantissant une activité photosynthétique à travers la turgescence maintenue dans leur tissu (Nilsen et al, 1990; Nobel, 1995). En effet, grâce à la capacité photosynthétique des cladodes, *O. ficus indica*, est en mesure de stocker le carbone jusqu'à trois mois après la descente en dessous de 5% de la capacité hydrique du sol. De ce fait, les plantes sont en mesure d'emmagasiner les énergies qui les supporteront dans leur croissance jusqu'à la disponibilité de nouvelles ressources hydriques (Mulas et al. 2004).



III. Techniques de plantations du cactus dans les zones arides



III. Techniques de plantations du cactus dans les zones arides

Les techniques de plantation du cactus dans les zones arides revêtent une importance primordiale pour la réalisation et la réussite des plantations. Elles assurent leur croissance et leur développement au stade jeune, ainsi que leur productivité et qualité de production au stade adulte. Dans les zones où les précipitations sont rares, l'eau est le facteur le plus limitant au développement des plantes. La nécessité de collecter, stocker et valoriser au maximum les eaux des pluies apparaît ainsi plus évidente.

Les techniques de plantation du cactus sont nombreuses et diffèrent d'une région à l'autre selon la topographie et le relief des terrains, l'exposition des versants, etc. Ces techniques doivent permettre non seulement d'assurer un bon développement des plants mais également contrôler efficacement l'érosion.

1. Plantations des terrains plats

a. Terrains plats non inondables

Les terrains plats non inondables, souvent non cultivés mais utilisés comme parcours, présentent un sol très compact - essentiellement en raison des passages d'animaux à la recherche de nourriture - et pauvre en matières organiques, ce qui empêcherait l'eau de s'infiltrer facilement en profondeur.

Un tel sol doit être travaillé en profondeur (40 à 60cm), au moins aux emplacements des lignes de plantation, et enrichi en matière organique, du moins dans les parties réservées aux plants. Cette technique est essentielle pour doter le terrain d'un bon drainage et d'une bonne structure interne. Elle doit également être mise en place juste avant la plantation (début automne), si possible dans une période où les vents sont moins fréquents, afin d'éviter ou minimiser les pertes de sol par érosion éolienne. Deux à trois passages - très serrés - par une charrue seront nécessaires pour ameublir le sol. Une telle couche meuble favorisera une meilleure aération du sol et un bon contact avec le plant, qui assureraient un bon développement de son système racinaire, nécessaire à son démarrage rapide. Elle permettra aussi de faciliter la confection des sillons en cuvettes de 20 à 30cm de profondeur et de 80 à 100cm de largeur, de manière à collecter le maximum des eaux pluviales (Figure 1).

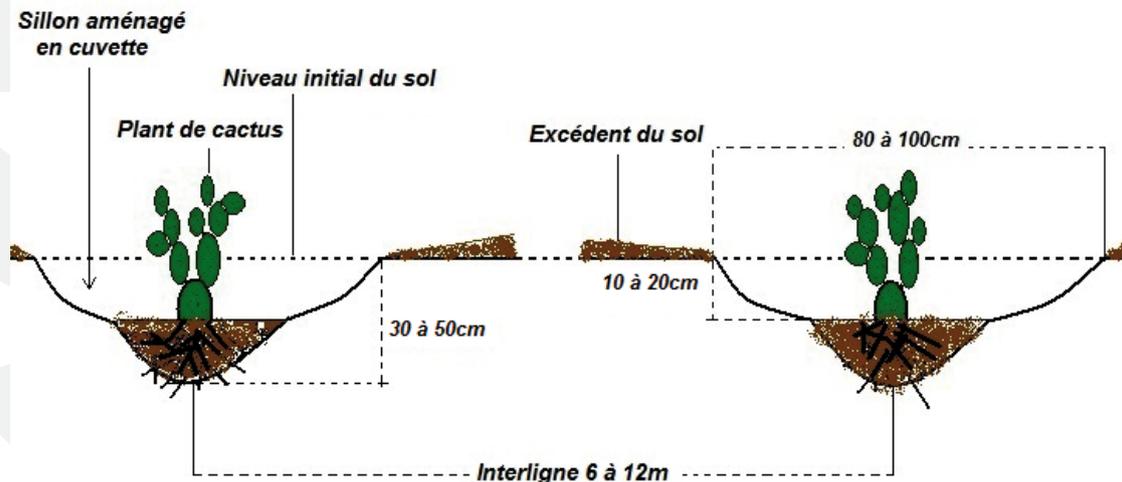


Figure 1 : Coupe transversale de sillons aménagés en cuvettes dans le cas d'un terrain plat non inondable

Les excédents du sol retirés des cuvettes seront déversés dans les interlignes et profilés de manière à créer une légère pente vers les cuvettes et capter ainsi le maximum d'eau à la moindre précipitation (en recréant le modèle de plantation en pente présenté dans la figure 1).

Les sillons aménagés en cuvettes seront espacés de 6 à 8m comme interlignes et les niches de plantation (emplacements des plants) seront distantes de 1 à 3m sur chaque ligne. Si une culture annuelle intercalée entre les lignes (de préférence une légumineuse) est envisagée, il serait préférable d'adopter des interlignes supérieures ou égales à 12m. Dans chaque emplacement nous procéderons, si possible, à des apports de matières organiques, dont l'origine importe peu (3 à 4kg de fumier par plant), et une fertilisation minérale N-P-K si nécessaire.

Dans les régions arides, notamment dans les zones continentales où les canicules estivales sont fréquentes et souvent de longue durée, plus de 90% de fruits produits sont endommagés par les fortes chaleurs. Il serait ainsi plus judicieux de réaliser les plantations, non pas par une bouture composée d'un unique cladode par emplacement, mais par 3 à 4 cladodes simples disposés en triangle ou en carré de 30 à 50cm de côté, de façon à avoir des plants à l'âge adulte en forme de vase ouvert. Ces agglomérations de plants seront espacées de 2 à 3m sur la ligne et de 6 à 12m entre les lignes. La planche 2 illustre un exemple schématique (échelle non respectée) d'une plantation de cactus effectuée en utilisant 4 cladodes disposés en carrés de 45cm de côté par emplacement. Chaque agglomération de 4 plants est disposée à 2m de distance sur la ligne avec un espacement de 6m entre les lignes.

Cette méthode de plantation n'exclut pas la première (un cladode par emplacement) mais serait très utile pour minimiser l'effet néfaste des fortes températures estivales (plus de 48°C) sur les fruits, l'ombrage créé mutuellement entre les plants ainsi agglomérés pouvant épargner un grand nombre d'entre eux. Dans ce cas un travail profond du sol, un apport d'une fertilisation minérale et/ou organique (fumier, compost) dans les emplacements réservés aux plants et l'aménagement de grandes cuvettes pour accumuler et stocker le maximum des eaux pluviales sont nécessaires pour subvenir aux besoins de chaque agglomération de plants. Les essais mis en place sur le terrain ont montré que ces associations de 3 à 4 plants espacés de cactus dans un même emplacement, ou leur plantation juxtaposée en lignes continues, sont plus favorables au développement des plants que lorsqu'ils sont plantés individuellement (Boujghagh non publié).

Nous avons souvent été amenés à parler de compétition et d'effet de compétition lorsqu'un groupe d'individus est à la recherche des mêmes ressources d'un milieu commun. L'une des conséquences les plus remarquables et les plus visibles de ce phénomène de compétition coïncide avec des préjudices économiques au niveau des peuplements agronomiques. Cependant, dans de nombreux cas, elle n'entraîne pas d'effets notables et peut même aboutir à l'amélioration des rendements dans certains mélanges (Chalbi, 1972). Le cas du cactus est, a priori, un bon exemple de compétition positive. La vigueur des plants agglomérés près des habitations est toujours remarquable, par rapport aux plants isolés individuellement et ce dans une même localité présentant les mêmes ressources.

b. Terrains plats fortement inondables

Dans les régions arides, de nombreux terrains plats, périodiquement inondés lors de fortes précipitations, peuvent être exploités par des plantations de cactus très fortement productives. Ces terrains, constitués par les alluvions charriées par les eaux de ruissellement, présentent généralement des sols profonds très riches en nutriments

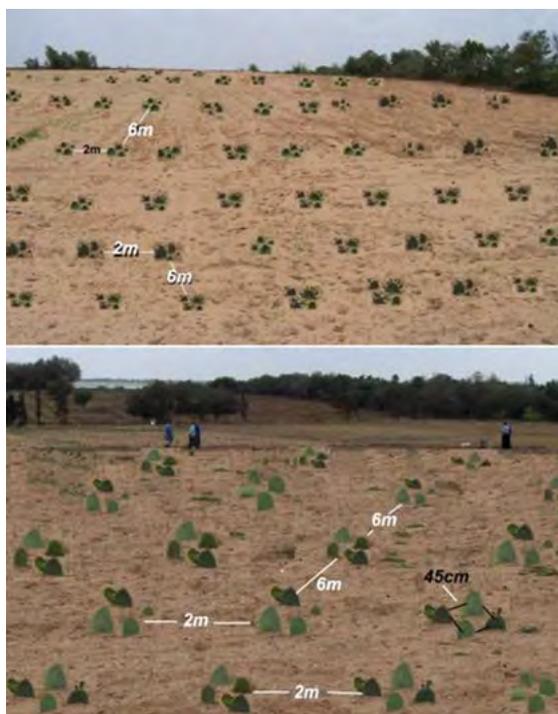


Planche 2 : Représentation schématique de plantations de cactus réalisées en plantant en carrés quatre cladodes par emplacement

où la plantation du cactus assurerait des fruits d'un grand calibre et des cladodes à utiliser comme fourrage ou légumes (jeunes cladodes). Cependant, la plantation n'est fiable que si le sol est convenablement préparé, surtout dans les parcelles fortement inondables. Dans ce cas précis, les techniques de préparation du sol doivent avoir un double objectif :

- le premier est d'évacuer les excès d'eau pour éviter l'asphyxie des plants ;
- le deuxième est d'avoir un bon lit de plantation.

Dans le cas des terrains où la stagnation des eaux en surface dure plus longtemps, il faut d'abord creuser des drains d'évacuation des excès d'eau pour éviter l'anéantissement des plantations par asphyxie racinaire. Ces drains seront exécutés essentiellement aux endroits où les eaux s'attardent à se dessécher et seront confectionnés de manière à acheminer les excès d'eau en dehors de la parcelle destinée à la plantation (Planche 3). Le travail du sol n'est à exécuter qu'une fois le terrain asséché.

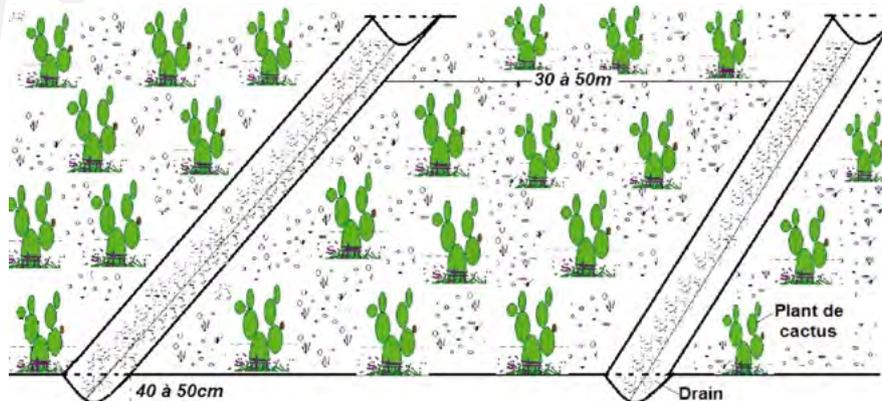


Planche 3 : Représentation schématique des drains d'évacuation des excès d'eau dans le cas d'une plantation de cactus réalisée dans une parcelle fortement inondable

Une fois le terrain asséché, le sol doit être travaillé en profondeur (40 à 60cm) - de préférence sur la totalité de la parcelle - pour ameublir le sol et permettre son aération. Un sol bien préparé présente des conditions nécessaires à une bonne reprise des plants, également indispensable pour réaliser facilement des billons comme lit de plantation sans mottes.

Pour réaliser un bon lit de plantation - surtout en sol lourds - deux points essentiels sont à prendre en considération :

- Attendre que le sol soit suffisamment ressuyé pour faciliter les travaux ;
- Employer des outils appropriés pour obtenir un sol finement ameubli, par exemple à travers les herbes avec réglage de profondeur, ou les vibro-culteurs.

Une fois le sol ameubli nous procéderons aussitôt que possible au traçage de sillons et à la confection de billons juxtaposés (Figure 2), si possible avec une billonneuse pour faciliter ces opérations.

Dans le cas d'un terrain moyennement inondable nous ne pourrions nous contenter de confectionner un unique sillon surélevé par un billon (Figure 3).

Les sillons sont destinés à capter l'eau

et à la stocker près des plants pour l'aider à pousser et à mieux végéter. Ils peuvent aussi servir - parfois même sans drains d'évacuation - à drainer les excès d'eaux pour éviter leur stagnation.

Les billons permettent de surélever l'emplacement des plants au-dessus du niveau du sol, de façon à éviter l'asphyxie des racines lors de la saturation en eau ou lors d'inondations. Cependant, en présence de sols lourds, il est préférable de procéder à la préparation du lit de plantation le jour même de la plantation pour qu'il puisse garder le maximum de son humidité. Lors de la plantation, il est aussi très important de ne pas trop tasser le sol à côté des plants pour éviter de gêner le développement des racines en profondeur. Afin de contrôler les mauvaises herbes et limiter l'évaporation, un paillage en plastique noir correctement appliqué sur les billons sera appliqué.

Pour une **culture fruitière**, la plantation se fera sur les billons distants de 6 à 8m comme interlignes, en se contentant de planter un seul plant par emplacement espacé de 1 à 3m. Dans le cas d'un paillage plastique, l'utilisation de petits cladodes ou de portions découpées sur les plus grands (la moitié, voire ¼ de cladode) permettra d'éviter les grandes déchirures du plastique aux emplacements des plants. Ces cladodes seront prélevés sur des génotypes de cactus choisis pour leur bonne productivité en fruits et leur meilleure qualité organoleptique. Sans paillage il va falloir lutter contre les adventices, très envahissants dans ce genre de situation. Pour éviter leur forte concurrence

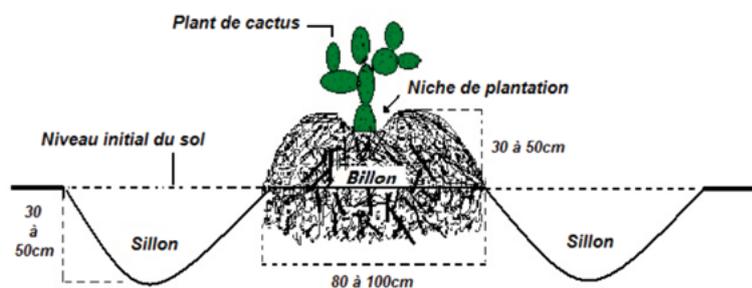


Figure 2 : Coupe transversale d'un double sillon surélevé par billon aménagé dans le cas d'un sol fortement inondable

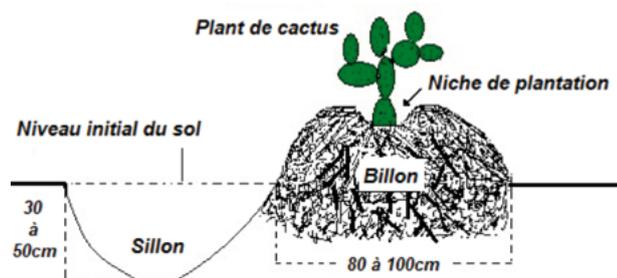


Figure 3 : Coupe transversale d'un sillon et d'un billon aménagé pour la plantation de cactus dans le cas d'un sol peu inondable

avec les jeunes plants, au moins un binage par an sera nécessaire au niveau des lignes de plantations, et permettra aussi de briser la croûte de battance et restituer au sol sa capacité d'infiltration.

Pour une **culture fourragère**, la plantation se fera dans les terrains plats inondables en appliquant de fortes densités. Ces terrains appelés «Graras» dans les provinces sahariennes et «Faid» dans d'autres régions arides du Royaume, sont des dépressions fermées situées dans les lits d'anciens oueds périodiquement inondés lors de fortes crues. Ils résultent aussi des dépressions - souvent en forme de lacs - qui se créent naturellement au sein des terrains en plateaux délimités par des collines ou montagnes. Dans ces dépressions, au fond peu perméables, s'accumulent les particules de terre arable ramenées par les eaux de ruissellement des pluies lors de fortes averses. Dans leur parage, les sols sont généralement squelettiques et présentent une texture grossière mais, dans ces dépressions, les sols sont profonds et de texture moyenne à fine (limoneux-sablo, limoneux-argileuse, voire argileuse).

Les «Graras» (zones fortement inondables), dans les régions sahariennes, ont une importance très particulière, car seuls espaces cultivés en zone pluviale. Lors d'une campagne moyenne (80 à 120mm), la superficie cultivée en céréales (blé et orge essentiellement) assure un rendement moyen de 8qx/ha. Lors d'une année pluvieuse (150 à 180mm) ces superficies sont souvent doublées mais n'enregistrent qu'un rendement moyen ne dépassant guère les 12qx/ha.

Les zones «Faid» peuvent être aisément décelées en zones arides dans les plaines inondables et sont aussi fréquentes - de façon éparse - au sein de vastes clairières décimées dans la forêt d'arganier (Essaouira, Taroudant, Agadir, Tiznit). Dans ces clairières en bas fonds inondables, la culture céréalière communément pratiquée est à peine rentable.

Ces emplacements faiblement exploités peuvent être considérés comme des sites à fort potentiel de production de cactus fourragers conduite à forte densité. Dans ce cas, les distances de plantation seront plus étroites, par exemple :

- 0,4m entre les plants sur la ligne et 0,4m entre les lignes, soit une densité de 62.500 plants/ha,
- ou 0,5m x 0,5m soit une densité de 40.000 plants/ha.

Dans ce cas, la très forte compétitivité entre les plants réduit considérablement leur activité reproductive, prolonge leur phase juvénile pour générer d'innombrables cladodes, principal objectif dans la production de fourrage. Les fortes densités d'implantation consistent à maximaliser la production de la biomasse en laissant à chaque plante un minimum de terre à exploiter (Planche 4).



Planche 3 : Plantation de cactus à forte densité
40 cm entre lignes et 40 cm entre les plants

Dans ce type de plantation, un rendement de 100 à 400T de cladodes/ha/an est attendu. Un apport de matières organiques (fumier, compost, etc.) et/ou d'éléments fertilisants - tels que les engrais azotés - améliorerait de façon considérable, non seulement le rendement de la biomasse, mais également la qualité du fourrage produit (richesse des cladodes en protéines).

Cette biomasse produite en culture biologique pourrait être utilisée pour la préparation de filets de jeunes cladodes destinés à la consommation humaine ou à la fabrication de farine (poudre de cladodes), etc.

2. Plantations des terrains en pente

Pour les plantations réalisées sur des terrains en pente (versants d'une montagne ou d'une colline) les méthodes de plantation diffèrent selon le degré d'inclinaison des terrains et surtout de l'exposition des versants à implanter.

Dans ce cadre, trois cas de figures peuvent se présenter :

1. Parcelles en pente faible à modérée (pente inférieure à 20%)
2. Parcelles à forte dénivellation (pente comprise entre 20 et 30%)
3. Parcelles en pente raide (supérieure à 30%).

a. Plantations des terrains en pente douce

Dans les endroits à pente douce, nous nous contenterons de confectionner des petites «banquettes» constituées d'ados ou diguettes en terre et de sillons profonds pour recevoir les plants (Figure 4).

Les ados sont construits parallèlement aux courbes de niveau, généralement en début de saison des pluies, lorsque le sol est suffisamment ameubli. Le passage d'une charrue à traction animale ou d'un tracteur peut faciliter ce travail. L'ados en terre permet la concentration des eaux de ruissellement

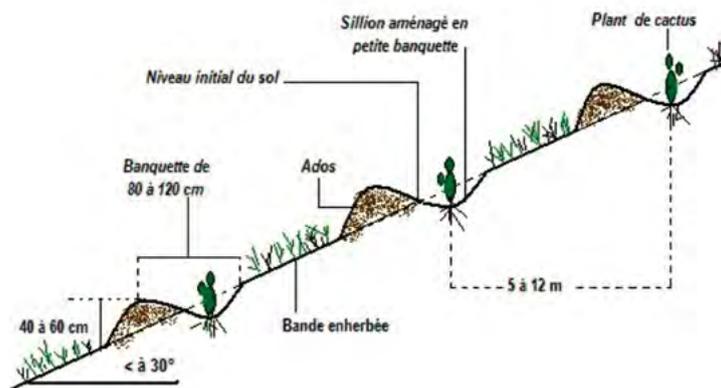


Figure 4 : Coupe transversale de sillons et de diguettes aménagés en pente douce

dans les sillons qui seront construits sur toute leur longueur en érigeant des cloisons tous les 3 à 6m pour éviter le débordement des eaux en excès qui détruirait inévitablement les diguettes aux endroits les plus sensibles.

Les cloisons seront confectionnées, non seulement pour capter le maximum d'eau au sein de chaque planche, mais aussi de manière à faciliter le passage du surplus d'eau entre elles comme des vases communicants et ainsi éviter tout débordement. Aux extrémités de chaque sillon, il faudra édifier des déversoirs en pierres ou des fascines de branches pour mieux gérer les écoulements en cas de fortes pluies.

Dans les endroits où les sillons ne peuvent pas être travaillés (couche de sol mince) nous nous contenterons de confectionner des trous de plantation et de grandes cuvettes en demi-lune où en «V» très ouverts autour de chaque plant (Figure 5 et 6).

Ces cuvettes seront réalisées parallèlement aux courbes de niveau et raffinées de façon à recueillir le maximum d'eau d'écoulement et permettre à l'excès d'eau de passer par l'un des bords pour éviter leur destruction. Si des pierres ou des cailloux existent au niveau de la parcelle, ils seront déposés tout autour des cuvettes pour permettre leur renforcement.

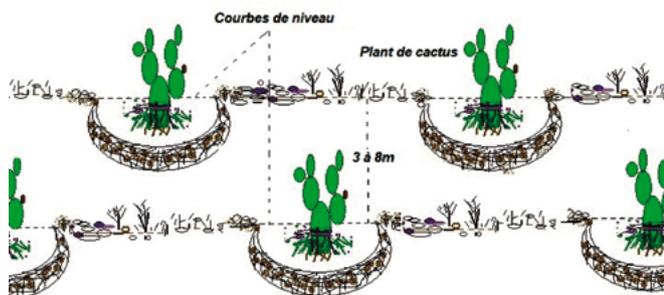


Figure 5 : Impluviums en demi-lune aménagés parallèlement aux courbes de niveau

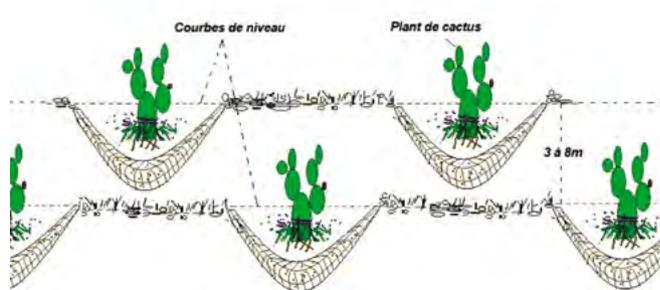


Figure 5 : Impluviums en forme de "V" aménagés parallèlement aux courbes de niveau

La plantation sera réalisée de préférence par 3 à 4 cladodes disposés en triangle ou en carré de 30 à 50cm de côté par emplacement dans les sillons ou les trous de plantation. Les plants en agglomération seront distants de 2m sur des lignes de plantation espacées de 5 à 12m. Le désherbage sera limité aux emplacements des plants pour éviter la compétition des mauvaises herbes, des bandes enherbées étant fortement préconisées entre les lignes (Figure 4) pour ralentir le ruissellement et contrôler l'érosion. Une partie de cette herbe pourra même être fauchée et enfiée autour des plants comme engrais vert et leur chaume comme mulch pailleux pour minimiser l'évaporation de l'eau du sol.

Dans les endroits trop «rocaillieux», la technique des cordons pierreux et des murettes en pierres (Figure 7) sera la meilleure solution, non seulement pour limiter l'érosion mais aussi pour réaliser et réussir les plantations de cactus. Cette technique est amplement justifiée si des blocs de pierres et de cailloux se trouvent en abondance au sein même des parcelles destinées aux plantations.

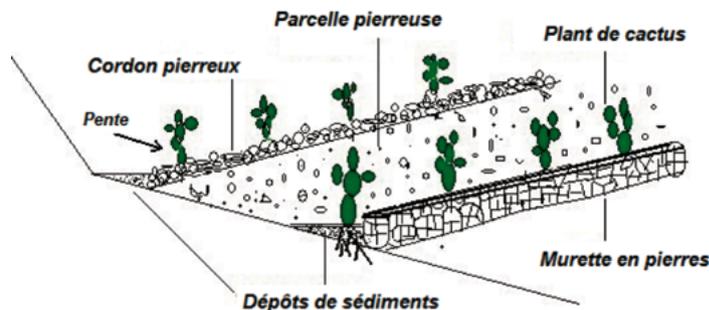


Figure 7 : Plantation de cactus le long d'un cordon pierreux et d'une murette aménagés sur terrain pierreux en pente douce

Les cordons pierreux sont composés d'un agencement de deux à trois niveaux de blocs de pierres et de cailloux disposés parallèlement aux courbes de niveau.

Les murettes sont des petits murs construits en pierres sèches selon les courbes de niveau. L'espacement entre deux cordons ou deux murettes diminue lorsque la pente de la parcelle augmente. Les murettes sont des structures plus adaptées aux pentes faibles et moyennes (inférieures à 30%) et sont beaucoup plus stables que les cordons de pierres. Cependant, pour durer plus longtemps, leur construction demande une conception plus élaborée faisant appel à la «maçonnerie». Ces structures qui permettent de débarrasser les parcelles de pierres handicapant leur valorisation, auront de multiples rôles à jouer, à savoir :

- Le ralentissement des eaux de ruissellement aux alentours des cordons pierreux et des murettes, limitant l'érosion et favorisant l'infiltration ;
- L'accumulation de sédiments constitués de sable, de particules plus fines et de matière organique (débris de végétaux, déjections d'animaux, etc.). Cette sédimentation sera beaucoup plus importante en amont ;
- La formation de terrasses si les murettes sont assez hautes, du fait de l'érosion hydrique et mécanique (travaux du sol) ;
- La réduction de la vitesse des vents, si les murettes sont édifiées perpendiculairement aux vents dominants en constituant ainsi un emplacement idoine pour les jeunes plants de cactus surtout du côté plus abrité.

La plantation de cactus sera réalisée le long des cordons pierreux et des murettes par des cladodes simples espacés de 0,5 à 1m au sommet de la pente et de 1 à 2m dans sa partie basale. Celle-ci sera effectuée en priorité, en amont des édifices, mais, si possible, des plants seront aussi plantés du côté, en aval des murets, pour renforcer davantage le dispositif.

b. Plantations des terrains en pente modérée

Dans les endroits à pente modérée, il serait préférable d'aménager des terrasses parallèlement aux courbes de niveau. Si des blocs rocheux se trouvent à proximité de la parcelle à aménager, les murets de soutènement des terrasses seront édifiés en pierres. Dans les zones où les pierres ne sont pas disponibles, nous nous contenterons de construire des bourrelets de terre, correctement tassés et légèrement surélevés à leur bord, pour éviter les débordements des eaux d'écoulement (Figure 8).

Les terrasses, accrochées au versant, doivent s'adapter à sa pente. En effet, lorsque la pente augmente, les terrasses rétrécissent, tandis que le mur en pierre ou le talus (bourrelet de terre) de soutènement prend de la hauteur.

La plantation des terrasses sera réalisée de préférence par trois à quatre cladodes simples par emplacement, disposées triangles ou en carrés de 30 à 50cm de côté. La distance entre plants ainsi agglomérés peut varier de 1 à 3m en fonction de la largeur des terrasses. Pour mieux stabiliser les berges des terrasses étroites, la distance de 1m entre plants est fortement préconisée. Les sillons de plantation ou des trous de plantation seront aménagés en planches, en sillons profonds ou en grandes cuvettes, de manière à capter le maximum des eaux de ruissellement près des plants. Pour éviter les stagnations ou les débordements des eaux, des déversoirs en pierres ou des fascines de branches disposées aux extrémités de chaque terrasse permettent de mieux gérer les écoulements des eaux excédentaires en cas de fortes pluies. Ces eaux peuvent ainsi être évacuées vers les exutoires naturels, à aménager correctement pour éviter qu'ils ne se transforment pas en ravines voire, à la longue, en ravins.

c. Plantations des versants en pente raide

Dans les endroits à très forte dénivellation, nous procéderons à des aménagements de sillons profonds (50 à 80cm) perpendiculairement au gradient pente (Figure 9).

Ces sillons seront très serrés entre eux (avec des espacements inférieurs à 3m) pour lutter efficacement contre l'érosion.

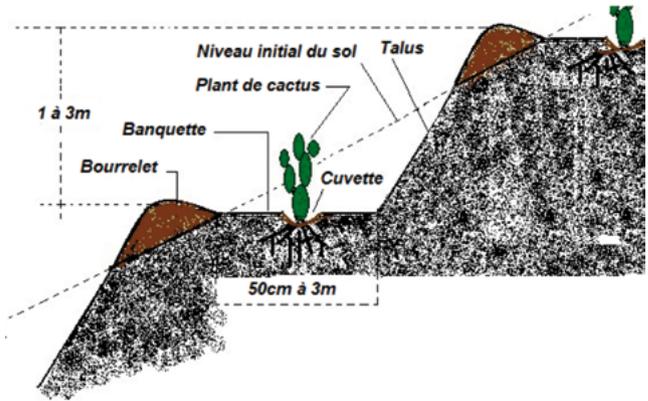


Figure 8 : Plantation du cactus en terrasses aménagées sur terrain en pente modérée

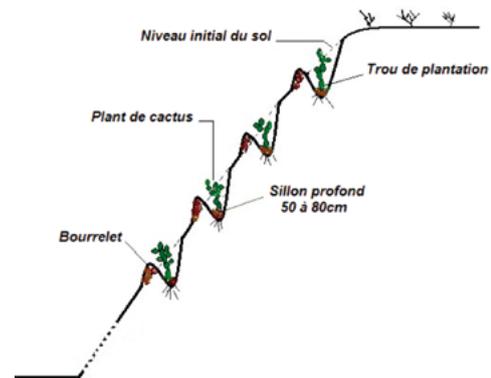


Figure 9 : Plantation de cactus réalisée au fond de sillons profonds et/ou de trous de plantation aménagés sur un versant en pente raide

Selon l'épaisseur et la nature du sol, ces sillons peuvent être continus, discontinus ou limités à de simples trous de plantation pour recevoir les plants. Le but de ces aménagements sont les mêmes que ceux des zones à pente faible, à savoir ralentir le ruissellement, favoriser l'infiltration de l'eau et évacuer les eaux excédentaires. Ce dernier point est particulièrement important en pente raide, du fait de la vitesse du ruissellement lors de la moindre précipitation. Dans ce cadre, la plantation se fera par des plants composés de cladodes simples espacés de 0,5 à 1m sur la ligne de plantation ou par des plants composés de trois à quatre cladodes chacun espacés, selon la quantité du matériel végétal disponible, de 1 à 1,5m. D'innombrables flancs de collines et de montagnes des zones arides, même trop accidentés, surtout ceux exposés vers le nord, pourraient être exploités, non seulement pour lutter contre l'érosion hydrique, mais aussi comme des sites à fort potentiel de production. Le microclimat créé dans ces emplacements - contrairement aux flancs opposés - est très favorable au développement du cactus. Dans ces endroits plus abrités, même sans irrigation, les plants résisteront mieux à la sécheresse car ils bénéficieront au maximum de la moindre précipitation ou rosées matinales.

Au sud ouest marocain, plus précisément dans la bande côtière de la frange de l'océan atlantique, les plantations de cactus sont possibles dans tous les versants quelle que soit leur exposition. En effet dans ces emplacements, où les températures sont relativement douces et plus clémentes pendant presque toute l'année, les plantations de cactus, surtout celles réalisées en automne, peuvent réussir sans apport d'irrigation.

Par contre dans les zones continentales il faudra privilégier les versants exposés au nord, car ce sont les seuls endroits où nous pouvons espérer réussir les plantations de cactus sans irrigation, à moins de ne pas dépasser les 1200m d'altitude. Il faudra enfin éviter, du moins lors des premiers essais de ce genre de plantation, de faire des essais au niveau des versants exposés au sud, car les échecs possibles dissuaderaient les agriculteurs d'accepter la réalisation d'autres plantations.

Il est à préciser que dans les zones arides, sans apport d'eau, seuls les versants abrités contre l'ardeur du soleil sont les endroits où nous pouvons espérer réussir la plantation de jeunes cladodes. Quant aux autres versants, la plantation pourra être effectuée seulement après avoir construit des points d'eau à leur proximité pour faciliter l'arrosage des plants au stade jeune. Dans ce cas, il faut construire des points de collecte des eaux pluviales au niveau des dépressions pour faciliter la formation de petits étangs, construire des citernes souterraines, de petits bassins le long de certains ravins à faible courant et/ou des petits barrages.

Pour faciliter les arrosages des jeunes plants, **l'aménagement des «points d'eau»** représente des infrastructures de base essentielles et prioritaires à réaliser parallèlement voire même avant de se lancer dans les opérations de plantations. Selon l'emplacement - et surtout du budget alloué aux plantations de cactus - la construction de petits barrages collinaires en béton, de digues en pierre renforcées par la terre, des étangs d'orage dans certaines

dépressions, des citernes souterraines, etc. peuvent suffire à stocker l'eau pour une longue période de l'année. Les petits ouvrages peuvent être construits au sein même d'une plantation, mais les emplacements des grands ouvrages doivent être choisis à proximité, de manière à servir facilement le maximum de plantations. Un grand nombre de ces «points d'eau» servira non seulement aux irrigations des jeunes plantations, mais jouera aussi un rôle majeur dans l'alimentation en eau des populations avoisinantes, l'abreuvement de leur cheptel et de la faune autochtone sauvage et pourra même constituer un lieu de repos des oiseaux migrateurs.

3. Plantations pour traitement des rigoles et ravines

Les zones arides - voire semi-arides - sont très affectées par l'érosion hydrique. Les versants de montagnes et les flancs de collines sont sillonnés de rigoles de ravines et de larges ravins. Les terrains plats ne sont pas également épargnés par ce phénomène.

La formation de rigoles (griffes d'érosion presque linéaires) et de ravines (rigoles profondes de plus de 50cm) - schématisée dans la figure 10 - est un indicateur d'un dysfonctionnement du système de production.

Les agriculteurs tentent souvent de reboucher les rigoles par le travail du sol, mais ils ne s'attaquent que très rarement aux problèmes posés par les ravines. Celles-ci peuvent, en effet, atteindre plus d'un mètre de profondeur, quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres de largeur et s'étendre sur des centaines de mètres. L'eau de ruissellement accumulée dans ces ravines se déverse dans des chenaux ou torrents qui sont des cours d'eau à régime spasmodique et torrentiel. Ces derniers provoquent souvent, lors de fortes pluies, des dégâts sur les voies de communications (routes, pistes, sentiers, etc.). Le traitement de ces grosses ravines ou torrents, juste en amont des pistes ou des sentiers qu'ils traversent, aboutit souvent à des échecs. Les ouvrages en pierres et même en gabions sont facilement emportés lors d'une forte crue. Le traitement de telles ravines doit se raisonner par rapport à l'ensemble du réseau de rigoles et de ravineaux qui l'alimente, et il est souvent nécessaire de procéder par étape en aménageant la partie amont du bassin versant.

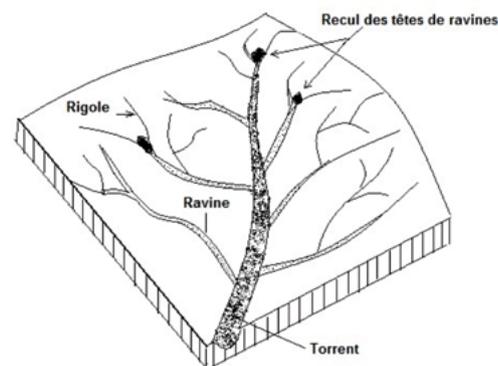


Figure 10 : Schéma de rigoles et ravines alimentant un cours d'eau torrentiel

Les rigoles et ravines constituent des niches écologiquement favorables au bon développement de plants de cactus au sein desquelles un fort potentiel de production en fruits et en cladodes sera assuré. Ces «niches écologiques» restent très peu exploitées, même si elles sillonnent les parcelles cultivées, les jachères, les parcours et sont même fréquentes

au sein des jeunes plantations de cactus. Des restes de plants de cactus considérables sont délaissés en tas dans des parcelles plantées, alors qu'ils devraient être exploités pour planter les rigoles, les ravines et les endroits des parcelles accidentés. Le microclimat créé dans les labyrinthes de telles ravines constitue en fait un environnement favorable à la croissance des plants de cactus. Sans aucun apport d'eau supplémentaire, ces plants bénéficieront au maximum des eaux de ruissellement accumulées et acheminées le long des chenaux et ravines lors de la moindre précipitation. Les sédiments accumulés près des plants à chaque précipitation sont très riches en nutriments, ce qui contribuerait à leur bon développement.

Des plants de cactus plantés convenablement le long des rigoles et des ravines, voire même au sein des entrailles de ravins, permettront non seulement de protéger les sites d'implantation contre l'érosion hydrique, mais aussi de constituer des biotopes favorables au développement de la faune (refuge du gibier, nidification des oiseaux) et de la flore (repousses de nombreuses graines d'espèces d'herbes et d'arbustes menacés par l'extinction).

Pour ce faire, afin de ralentir les eaux de ruissellement pour lutter contre l'érosion hydrique, des plantations de plants de cactus en agglomérations (3 à 4 cladodes/ emplacement) seraient effectuées, d'une manière éparse tout au long des ravines et chenaux sillonnant les terrains déjà plantés ou ceux destinés à la plantation. Les restes de plants de cactus qui jonchent souvent l'intérieur des plantations fraîchement plantées faciliteront ces opérations. Le traitement des rigoles, des ravines, voire des ravins, serait d'une importance primordiale dans les zones arides car leur plantation par le cactus permettrait non seulement de lutter contre l'érosion mais contribuerait aussi à la constitution des «oasis linéaires en miniature» (Figure 11).

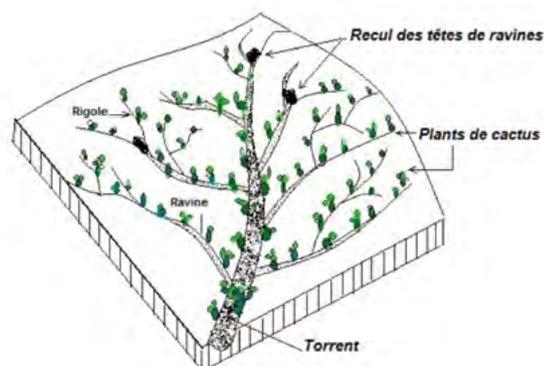


Figure 11 : Schéma de ravins de ravines et des griffes d'érosion végétalisés par des plants de cactus (échelle non respectée)



IV. Choix du matériel végétal et techniques de multiplication



IV. Choix du matériel végétal et techniques de multiplication

1. Espèces et «variétés» de cactus existantes au Maroc

Le cactus *Opuntia ficus indica* est la principale espèce produisant des fruits comestibles au Maroc, appelée figues de Barbarie (Anonyme, 1998). Plusieurs cultivars existent et se distinguent par la forme des fruits, la couleur de la fleur, la couleur de la pulpe du fruit, les périodes de floraison et les caractéristiques organoleptiques des fruits.

Quant à la diversité spécifique du cactus marocain le genre *Opuntia* les plus largement répandues au Maroc, nous citerons : *Opuntia ficus indica*, *Opuntia dillenii*, *Opuntia vulgaris* et *Opuntia compressa* (Walali, 1997). Arba et al., (2000) et Arba et al., (2002) ont aussi cité 3 espèces produisant des fruits comestibles à savoir : *Opuntia ficus indica*, ou le vrai figuier de Barbarie, surtout cultivé dans le sud, *Opuntia megacantha*, présente dans la plupart des régions, et *Opuntia Schumannii*, aux alentours de la ville d'Essaouira. Cependant, Boujghagh, (2011a) a pu démontrer, lors de nombreuses prospections effectuées dans différentes régions du Royaume pour la collecte de génotype de cactus, que les accessions collectées au Maroc découlent non pas de 3 ou 4 espèces du genre *Opuntia* selon les auteurs précités, mais de 7 espèces, morphologiquement très différentes les unes des autres.

En effet, au Sud du Royaume, deux espèces, *Opuntia ficus indica* (L.) (Mill) et *Opuntia megacantha* Salm-Dyck, sont les seules rencontrées. Dans la région d'Aït Baamrane (Province de Sidi Ifni) et dans certaines localités à Guelmim, l'existence de trois cultivars est souvent citée : deux cultivars inermes d'*Opuntia ficus indica* ; «Aïssa» (précoce) et «Moussa» (tardive) et un cultivar épineux d'*Opuntia mégalantha* dénommé «Achfri» car très épineux.

Au Nord-Ouest du pays, sept espèces ont été identifiées; *Opuntia ficus indica* (L.) (Mill), *Opuntia megacantha*, Salm-Dyck *Opuntia dillenii*, *Opuntia Schumannii* Weber, *Opuntia robusta* Wendl, *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill et *Opuntia microdasys*. Cette dernière espèce ne présente pas un réel intérêt agronomique pour la production de fruits mais elle peut, du fait de sa croissance et son développement très rapides, être utilisée dans la lutte contre l'érosion.

L'espèce *Opuntia robusta* Wendl, constituée d'énormes cladodes ronds, très épais, de couleur vert bleuté, plus ou moins hérissés d'aiguillons acérés, produit des fruits de très grosses tailles et d'un gros calibre (250g en moyenne). Cette espèce peut présenter un réel intérêt agronomique non seulement pour la production de fruits, mais aussi comme fourrage. *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller, de Oued Laou près de la ville de Chefchaouen, est formée de cladodes très épais, épineux et très allongés (37cm de longueur) et minces (14cm de largeur). Ces fruits sont remarquablement très allongés par rapport aux fruits des autres espèces. Ils présentent la particularité de se détacher des cladodes mères à maturité, mais ce phénomène n'est prononcé que dans les conditions environnementales de Foum El Oued, à Laâyoune, dont le sol est salin.

Au centre du pays, notamment à Rhaman, deux espèces du genre *Opuntia* ont été identifiées ; *Opuntia mégacantha*, et *Opuntia ficus indica*. La première, épineuse - dénommée localement ; Derbana, Elharcha ou Beldia - est utilisée exclusivement pour les clôtures, mais elle est également très recherchée pour ses cladodes utilisés comme fourrage et surtout pour la qualité organoleptique de ses fruits. La seconde, inerme - dénommée; Mels, ou Roumia - existe sous deux variantes; l'une, plus abondante, présente des fruits jaune orangé et l'autre, beaucoup plus rare, présente des fruits rouges (Aâkria). Cette dernière est également recherchée pour la qualité de ses fruits et surtout, d'après les agriculteurs, pour son aptitude à la conservation, ce qui n'est pas toujours vrai.

Dans la région du Rif, les cultivars; «Dellahia « et «El Bayda» à chair blanche; et «El Akria» à chair rouge, variantes d'*Opuntia ficus indica*, sont très appréciés par la couleur de la chair de leurs fruits et par leur qualité organoleptiques.

Il existe également des cultivars réputés par la qualité de leurs fruits dans d'autres régions de production du cactus telles que la région du grand Casablanca, notamment par la variété Haddaouia à Ouled Hadou, la région des Doukkala, Marrakech, El Kelaâ, Oued Zem, Beni Mellal, etc. Ces clones ont été souvent identifiés, nommés et multipliés par les agriculteurs eux-mêmes.

L'espèce épineuse prédomine dans les plantations traditionnelles. Cependant, il n'est pas rare de constater quelques anciennes petites plantations de l'espèce inerme entourée par l'espèce épineuse pour les protéger contre les prédateurs..

2. Choix du matériel végétal à utiliser en plantation

Dans un contexte où nous ne cherchons pas à réaliser des vergers cactus en culture intensive, le choix du matériel végétal à planter doit être bien justifié par son adaptation au milieu de culture, d'une part, et par ses performances et la qualité de sa production, d'autre part. En effet, si en culture intensive nous pouvons nous passer de l'adaptation des variétés à leur milieu de culture en leur fournissant une bonne fertilisation, des irrigations adéquates et un bon entretien en culture pluviale, l'eau et la fertilité du sol peuvent devenir des

facteurs limitants. De ce fait, ce sont surtout les méthodes de plantation préalablement proposées et largement discutées pour chaque site qu'il faut absolument respecter, celles-ci l'emportant par rapport au choix du matériel végétal lui-même.

Il est d'ailleurs, du moins pour le moment, très difficile de se prononcer sur l'utilisation d'une variété plutôt qu'une autre, aucun essai comparatif incluant plusieurs variétés n'ayant été mené, jusqu'à présent, sur le cactus. Aussi, dans le cas des plantations de cactus en culture extensive dans des environnements arides, l'emplacement d'une plantation de cactus en un site donné détermine le plus souvent le but visé par celle-ci avant même son implantation. Pour cela, l'interprétation sur le choix du matériel végétal à utiliser devra se faire selon les objectifs escomptés par les différents types de plantation à réaliser à savoir : la production de fruits, la réhabilitation des parcours pour la production de fourrage et de fruits ou la protection des versants contre l'érosion, incluant par endroit des niches écologiques (ravines et ravins, etc.).

a. Production de fruits

Si le but de la plantation vise essentiellement la production de fruits, une sélection de plants très sévère sur le matériel végétal local très acclimaté suffirait à garantir un bon rendement en fruits, d'une qualité largement acceptable. Il est cependant préférable de procéder à la sélection sur des variantes de l'espèce inerme (*Opuntia ficus indica*) afin de faciliter la récolte des fruits et d'éviter leurs blessures causées inévitablement lors de leur manipulation sur leur congénère épineuse (*Opuntia mégacantha*), ces blessures réduisant considérablement la durée de conservation en post-récolte des fruits.

Le prélèvement de cladodes qui serviront de plants doit être fait sur des plantes mères préalablement identifiées pour leur productivité en fruits élevée et leur faible alternance de la production. Les fruits doivent avoir un bon calibre (poids supérieur à 120g) et une bonne qualité organoleptique : très sucrés (Brix supérieur à 15), possédant plus de chair avec moins de graines, ayant une bonne aptitude à la conservation et présentant une bonne saveur et flaveur.

Dans ce cas, il est important aussi de connaître l'évolution du marché pour pouvoir évaluer le type de fruit préféré par le consommateur, afin de faciliter sa commercialisation. Une variété ne devrait normalement intéresser le producteur que si elle possède :

- les caractéristiques recherchées par le consommateur et correspondant au goût des acheteurs finaux (consommateur local ou étranger si l'exportation est visée)
- la qualité demandée par le marché qualité (fruits ayant une bonne aptitude à la conservation et au transport)

- des caractéristiques lui permettant de se positionner sur le marché (variétés aptes à une bonne floraison automnale, aptes au décalage de la période de floraison et de la maturité des fruits par la technique «Scozzolatura», etc.).
- Une bonne adaptation à l'environnement de son nouveau milieu d'implantation (sol et climat), couplée avec une certaine résistance aux maladies et aux ravageurs, ainsi que
- Des rendements en fruits élevés, réguliers (faible alternance) et homogènes.

Il est vrai que nous ne disposons pas pour le moment d'une telle variété homogène, dans le sens génétique du terme, mais de populations composées d'une multitude de plants très hétérogènes. Nous pouvons en effet remarquer que les anciennes plantations du cactus inerme, voire épineux, dans toutes les régions marocaines, sont constituées de plusieurs types de plants, le plus souvent morphologiquement similaires - au point de vue port des plants et forme des cladodes - mais très différents les uns des autres dans la forme («ronde», oblongue, longue, etc.) et le calibre (50 à 160g) des fruits qu'ils portent.

Cette différence est encore plus frappante quand nous nous intéressons à la couleur de la chair des fruits car elle est soit jaune claire, vert clair, orange, rouge ou même blanche, etc. Ils forment ainsi une population composée de plusieurs individus très hétérogènes mais très adaptés et acclimatés aux conditions arides où ils sont cultivés et exploités. C'est au sein de ces populations que nous pouvons prélever les meilleurs plants sur des plantes ayant les caractéristiques désirées. Mais contrairement à ce qui se fait habituellement pour réaliser de nouvelles plantations (coupe des plants en vrac sur des anciennes plantations), le choix des plants doit se faire sur les meilleurs plants de cactus pris individuellement pour constituer des clones homogènes. Le matériel végétal à utiliser sera prélevé en prenant soin de marquer chaque fois tout les cladodes issus d'un même pied mère. Il est très important de planter séparément l'ensemble des plants prélevés sur chaque pied en lignes séparées et étiquetées, ceci étant la seule et unique façon de les distinguer et de les comparer au stade adulte pour pouvoir à la longue, réellement parler de variété. Il est aussi impératif de choisir des plants (cladodes) vigoureux, turgescents (gorgées d'eau) et sains (indemnes de symptômes de maladies) pour éviter la transmission et la dissémination des maladies.

b. Réhabilitation des parcours

Si le but de la plantation est la réhabilitation des parcours pour l'utilisation des cladodes comme **fourrage**, le choix de la variété passera au second plan. Le cactus (notamment *Opuntia ficus indica* et *Opuntia mégacantha*) étant assez répandu dans cette région depuis plusieurs siècles, l'utilisation du matériel végétal local, déjà acclimaté, suffirait à garantir un bon développement végétatif et une meilleure productivité. Cependant, il est préférable de choisir les variantes de l'espèce inerme (*Opuntia ficus indica*) afin d'éviter l'opération d'élimination des épines, indispensable avant de les donner aux animaux.

Si le but de la plantation est la réhabilitation des parcours pour l'utilisation des cladodes pour une **production mixte fruits et cladodes**, il est important de prendre en compte, au moment du choix des plants à dupliquer, la productivité élevée - ou du moins équilibrée - des plants mère en fruits et en cladodes (faible alternance), le calibre de leur fruit (poids supérieur à 100g) et leur bonne qualité organoleptique (fruits sucrés dont le Brix est supérieur à 12, teneur en chair élevée, bonne conservation après récolte, etc.).

Dans ce genre de plantation, nous pouvons même tolérer l'hétérogénéité des plants utilisés en plantant des populations composées de différents types de plants pour garantir une meilleure production, aussi bien en cladodes qu'en fruits.

c. Protection des versants contre l'érosion

Si le but de la plantation est la protection des versants de montagnes ou des flancs de collines contre l'érosion, l'utilisation des populations de cactus locales répondra parfaitement à un tel besoin. Il est cependant important de noter que les populations inermes sont à préconiser pour les versants exposés vers le nord et les populations épineuses pour les versants opposés.

Contrairement aux plantations destinées à la réhabilitation des parcours, où nous pouvons tolérer l'hétérogénéité des plants utilisés à la plantation, il faudra plutôt opter pour des populations de plants très hétérogènes dans ce genre de situation. Mais il est aussi important de choisir des plants composés, de préférence, de plusieurs cladodes, vigoureux et avant tout très turgescents (gorgés d'eau) pour la réussite des plantations.

4. Techniques de multiplication de plants de cactus

La qualité et le type de plants sont d'une importance primordiale pour la préparation du matériel végétal destiné à la plantation. Les espèces du genre *Opuntia* se propagent par multiplication asexuée, effectuée par bouturage - ou sexuée - à travers les semis de graines. Dans les plantations traditionnelles, la multiplication se produit facilement suite à la chute des cladodes, naturellement sous leur propre poids, ou par les restes de cladodes délaissés après le passage des animaux. Nous pouvons aussi observer des plants de cactus pousser dans des endroits inaccessibles : falaises, sommet de montagnes. Ces plants ne peuvent provenir que de graines déposées par des déjections d'oiseaux. En cas d'insuffisance de matériel végétal à multiplier, nous pouvons recourir à la culture in vitro.

a. Multiplication végétative

Les cladodes sont le moyen le plus commun de multiplication des espèces du genre *Opuntia*. Même les cladodes de moins de 15 cm peuvent régénérer des tiges et des racines. Les aréoles des fruits peuvent aussi être à l'origine de nouveaux plants, car elles sont capables de générer des tiges nouvelles, des fleurs et des racines.

La bouture du Figuier de Barbarie est formée par un cladode de deux ans avec deux ou trois cladodes d'un an (Barbera, 1991 cité par Mulas et al, 2004).



Plant composé d'un cladode mère âgé de 2 ans portant quatre cladodes filles d'un an

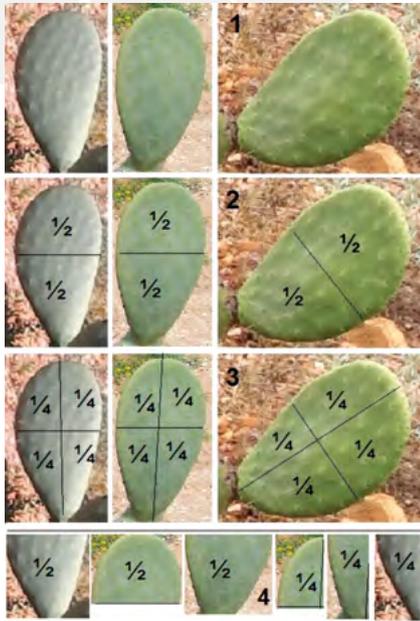


Planche 5 : Boutures de cactus à utiliser comme plants

- (1) Cladodes simples
- (2) Les cladodes à découper en moitié
- (3) Les cladodes à découper en quatre
- (4) Portions de cladodes $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{4}$

Cette technique de multiplication est simple, rapide, économique et permet d'obtenir des plantes uniformes et identiques à la plante mère, ce qui est particulièrement utile quand on souhaite maintenir les caractères favorables (Pimienta, 1990 cité par Mulas et al, 2004). La multiplication est également possible en utilisant des rejets de racine ou les fleurs écloses. En effet, chez ces dernières, les aréoles du réceptacle - qui est un thalle modifié - ont la capacité d'émettre des racines et des pousses végétatives (Pimienta, 1990 cité par Mulas et al, 2004).

Les boutures peuvent aussi être préparées en utilisant de simples cladodes ou même de portions de cladodes (la moitié d'un cladode, le $\frac{1}{4}$, etc.) ce qui permet une économie de matériel de propagation (Planche 5). Nous pouvons en effet planter des boutures de différentes dimensions, avec un nombre limité d'aréoles présentes à la surface du cladode. Barbera et al (1993) ont comparé à deux époques d'implantation - l'automne et le printemps - différents types de bouture qui présentaient de 1 à 3 aréoles et aux dimensions variables atteignant jusqu'à $\frac{1}{4}$ de cladode. L'utilisation des boutures de $\frac{1}{4}$ de cladode implantés au printemps permet de réduire le temps de séjour des plants en pépinière. Les boutures plus petites permettent d'obtenir un grand nombre de plants, avec un minimum de matériel végétal, mais il faut plus de temps et soins pour les préparer en pépinière (Planche 6).

Traditionnellement, le figuier de Barbarie est multiplié végétativement par bouturage de cladodes, en laissant sécher au préalable les sélections pour se cicatriser pendant une à deux semaines. Il est conseillé de conserver ces cladodes dans un endroit ombragé et aéré pour stimuler la cicatrisation de la zone coupée. Pour constituer une plantation homogène, il est nécessaire de prélever les cladodes sur le même pied mère.

L'extension du cactus repose essentiellement sur la multiplication végétative, méthode préférée par les agriculteurs pour sa simplicité. Mais ce mode est désavantagé par le risque éminent de la propagation des maladies et l'absence d'une certification génétique des plants. Sachant que la multiplication par semis de graines est limitée aux programmes de sélection, et à la multiplication des espèces ornementales et ceux en voie de disparition, un développement d'avenir des cultures du cactus nécessite des pépinières agréées fournissant des plants sains (Graham, 1987 cité par Mondragon et al, 1995).



Planche 6 : Portions de cladodes élevées en pépinière dans des vases remplis de tourbe

b. Multiplication par semis de graines

La multiplication des Opuntias par les graines est moins courante par rapport à d'autres espèces arborescentes. Les graines sont revêtues d'une tête recouverte d'une couche très dure qui constitue le faux arille issu du funicule qui enveloppe l'ovule et qui se lignifie à maturation de la graine. Cette couche protectrice ralentit l'imbibition et retarde la germination qui peut durer de 4 à 5 jours à 4 à 5 mois (Mulas et al, 2004). La présence de la lumière et d'une température optimale de 25-30°C assurent une bonne germination (Gallo et al, 1989 cités par Mulas et al, 2004). Nous pouvons aussi accélérer la germination et augmenter le pourcentage de graines germées par la scarification mécanique ou chimique. La première, en agissant directement sur la protection du funicule, a donné de bons résultats, alors que la scarification chimique, avec une solution d'acide chlorhydrique à 20% pendant 24 heures, s'est révélée compromettante pour la germination (Beltran et Rogelio, 1981 cités Mulas et al, 2004).

Seules les graines saines et renfermant au moins un embryon viable sont sélectionnées. Les graines avortées ne sont pas retenues. La moyenne des graines normales et anormales est indépendante du nombre de graines mais plutôt de l'espèce et des conditions environnementales (Barbera et al, 1994a et 1994b). La germination des graines, bien qu'issues du même fruit, est très irrégulière. Les feuilles cotylédonaire peuvent apparaître généralement la

quatrième semaine après semis (Sanchez, 1992 cité par Mondragon et al, 1995). Mais nous pouvons accélérer la levée de la dormance par des traitements tels que la scarification mécanique, le trempage dans l'eau chaude à 80°C ou dans une solution d'acide sulfurique diluée, ou dans la gibbérelline (GA3). Les graines peuvent être stockées pour de longues durées. Cependant, Muratalla et al, (1990) cités par Mondragon et al, (1995) ont signalé que le pouvoir germinatif des graines emmagasinées durant 9 ans diminue de 50%.

La technique que nous adoptons pour obtenir des plants à partir des graines est présentée dans la planche 7. Les graines sont semées dans des plateaux en plastique alvéolés de 77 trous remplis de tourbe au 4/5 de leur capacité. Les graines sont déposées - une par alvéole - au milieu de chaque trou. Après l'ensemencement nous remplissons les plateaux en épandant le même substrat, finement tamisé, tout en veillant à maintenir la couche superficielle suffisamment humide jusqu'à la levée pour ainsi permettre aux cotylédons de se libérer facilement des enveloppes des graines. Les plateaux ainsi semés sont placés sous une serre. Une fois que les plants obtenus ont atteint le stade 2^{ème} cladode, nous les transplantons dans des sacs en plastique d'une capacité de 2kg (Planche 7).

La multiplication asexuée à travers les graines présente cependant plusieurs inconvénients : la germination est lente, car elle traverse d'abord une phase de latence ; les plantules ne sont pas uniformes du point de vue génétique et phénotypique; et elles traversent une phase juvénile très longue (Escobar et al, 1986 ; Pimienta, 1990 cité par Mulas et al, 2004). Nous pouvons aussi observer, lors de la multiplication par les graines, la formation de plusieurs embryons (polyembryonie). L'un d'eux, généralement d'origine sexuelle, dérive de la fécondation du sac embryonnaire, les autres, apomictiques, dérivent de cellules du même sac embryonnaire ou des tissus du nucelle (Pimienta, 1990 cités par Mulas et al, 2004).

Cette technique n'est cependant intéressante que dans des programmes de sélection. En effet, du fait que les parents soient hétérozygotes, la ségrégation des caractères se produit dès la génération F1. Chaque plante hybride F1 constitue une source potentielle pour un nouveau clone plus performant.



Planche 7 : semis de graines de cactus dans des plateaux alvéolés remplis de tourbe et transplantation des plants dans des sacs en plastique

c. Culture in vitro

En cas d'insuffisance de matériel végétal à multiplier, nous pouvons recourir à la micro multiplication en utilisant les bourgeons axillaires comme explants. Traités avec des solutions de benzyladénine, cela permet, en partant d'un seul cladode, d'obtenir des milliers de plants. Escobar et al, (1986) ont développé une méthode très efficace de micropropagation des espèces du genre *Opuntia*, qui permet de produire à partir d'un seul cladode de 5cm, 25000 plants en 100 jours, seulement en utilisant des concentrations différentes en benzyle adénine appliquées sur les parties portant des bourgeons différenciés. La technique de propagation par culture des tissus est largement pratiquée pour la production de plants de cactus (Villalobos, 1995), car elle permet d'obtenir des plants sains et génétiquement homogènes.



V. Modalités de plantation du cactus
dans les zones arides

V. Modalités de plantation du cactus dans les zones arides

Les modalités de plantation sont d'une importance primordiale pour la réussite de la culture du cactus dans les zones arides où les précipitations sont faibles et où les disponibilités en eau sont limitées. Elles englobent : les différentes méthodes de plantation, les densités de plantation, l'orientation des lignes de plantation, le nombre de plants par emplacement et la profondeur de leur enfouissement et, enfin, la date de plantation.

1. Méthodes de plantation

Les plantations de cactus peuvent être réalisées en lignes espacées de 40cm à plus de 12m selon le type de la plantation. Les plants sont déposés sur chaque ligne, soit côte à côte (lignes continues) soit en respectant des intervalles réguliers, pouvant varier de 40cm à plus de 4m.

Le choix du type de plantation dépend de la superficie des parcelles à planter et le relief topographique du terrain (exposition, degré de la pente) et surtout du type de culture (cactus fruitier, cactus fourrager, lutte contre l'érosion, ou réhabilitation des parcours). Les plus faibles écartements (fortes densités) seront pratiqués pour les cultures destinées à la production de cladodes et les grands écartements pour la production de fruits. La planche 8 montre un exemple de plantation de cactus réalisée en adoptant un écartement de 2m entre les plants sur les lignes espacées de 5m.

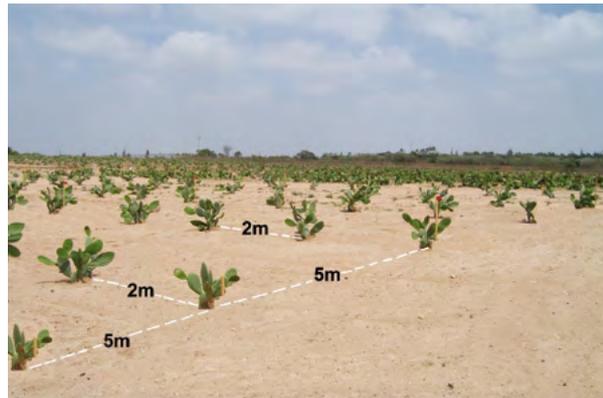


Planche 8 : Plantation de cactus en lignes espacées de 5m avec un écartement de 2m entre plant sur la ligne

La plantation peut aussi être effectuée en ligne, en disposant les plants en carré, en carré légèrement aplati ou en triangle (de 30 à 50cm de côté) dans chaque emplacement sur la ligne (Planche 9) pour engendrer un arbre en forme de vase ouvert ou en forme d'arbuste à l'âge adulte. Dans ce cas, les interlignes supérieures à 6m et des

distances de 2,5 à 3m entre les agglomérations de plants doivent être pratiquées pour faciliter le passage lors des récoltes.

Si le but de la plantation est la production de fourrage, la forte densité, telle que décrite dans le chapitre précédent, est recommandée. En effet, la grande compétitivité engendrée entre les plantes, réduit l'activité reproductive, prolonge la phase juvénile et génère d'innombrables nouveaux cladodes en un minimum de temps. Les hautes densités d'implantation consistent à maximiser la production de la biomasse au détriment de la fructification.

La limite de ce système est cependant l'ombrage qu'il crée entre les plantes durant les différents stades de croissance (Mulas et al, 2004). En effet, le faible éclairage rend les cladodes plus minces, plus frêles et l'architecture de la plante plus ombragée, est moins apte à capter les radiations solaires.

Pour la production maraîchère (nopals) ou fourragère, la plantation de deux cladodes juxtaposés en lignes jumelées (Planche 10), espacées de 40 à 50cm entre plants, et 1 à 1,5m entre les emplacements, ou de trois à quatre cladodes disposés en triangle ou en carré, espacés de 30 à 40cm entre plants et 1 à 1,5m entre les emplacements, pour faciliter les passages entre les rangs, permet une croissance rapide et une production élevée de nouveaux cladodes.



Planche 10 : Plantation de cactus effectuée en lignes jumelées à raison de 1 x 1 x 5; soit 1m entre les lignes jumelées, 1m entre plants sur la ligne et 5m d'espacement entre deux lignes jumelées

Au Mexique, de nombreuses études ont été réalisées sur les fortes densités de plantation du cactus pour la production de fourrages pour le bétail, ou de nopals comme légume. Les charges nécessaires à la plantation de telles cultures à fortes densités (40.000 à 80.000 plants/ha) sont très importantes et s'élèvent à 1000\$US/ha. En outre, les mauvaises herbes, qui représentent souvent un problème majeur, doivent être éliminées manuellement plusieurs fois, ce qui contribue à l'augmentation des charges de ce type de culture.

La densité de 40.000 plant/ha est fortement recommandée pour les plantations dont les coupes se feront une fois tous les deux ans et la densité de 20.000 plants/ha pour les fréquences de coupes de plus de 3 ans (Santos et al., 1998 cités par Cordeiro et al.,1995). Il est même conseillé de pratiquer les deux densités au sein d'une même exploitation, de façon à

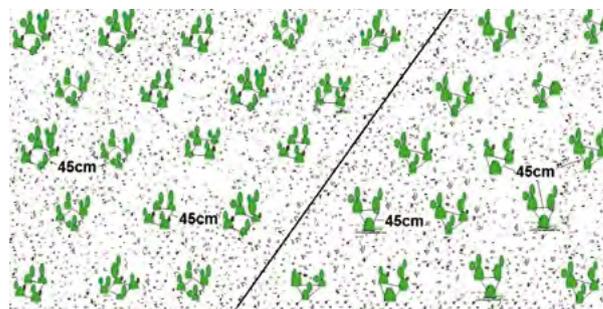


Planche 9 : Représentation schématique de plantations de cactus réalisées en disposant les plants en carrés et en triangle de 45 cm de côté

pratiquer les coupes biannuelles sur les plantations à forte densité et laisser intact les faibles densités pour croître et constituer un stock de fourrage disponible sur pied pour les périodes de sécheresses.

Pour ce genre de plantation, Albuquerque et Rao (1997), cités par Cordeiro et al, (1995), préconisent des densités de 10.000 plants/ha à planter en lignes jumelées de 3 x 1 x 0,5m, soit 1m entre les lignes jumelées, 0,5m entre plants sur la ligne et 3m entre deux lignes jumelées. Au Mexique, les plantations typiques, conçues pour la production de fourrage, sont constituées de rangs compacts, 80cm entre les lignes et 40cm entre plants, soit une densité d'environ 40.000 plantes/ha dont la hauteur des plants ne dépasse pas 1,50m. Au Brésil, la même densité de 40.000 plantes/ha est pratiquée, mais avec des écartements de 1m x 25cm. Dans certaines plantations moins denses on applique des espacements de 2m entre les rangs et 1m sur le rang. Deux ans après l'implantation, sont obtenues dans le premier cas, des productions de 246 t/ha et, dans le second (densité inférieure), une production de 100 t/ha (Mulas et al, 2004). Dans une parcelle de cactus plantés à forte densité (40cm x 40cm et 50cm x 50cm) à Skhour Rhamna au Maroc (Planche 11), un rendement en cladode a été estimé à 95 t/ha/an pour la densité de 40cm x 40cm et à 60 t/ha/an pour la densité de 50cm x 50cm.



Planche 11 : Parcelles de cactus plantées à fortes densités à Skhour Rhamna 40cm x 40cm à droite et 50cm x 50cm à gauche

Si on vise en même temps la lutte contre la dégradation et l'érosion du sol, la plantation peut être réalisée suivant la nature et l'inclinaison du terrain. Différents cas de figure pourront se présenter :

1. Dans les plaines en parcelles plates, principalement dans les dépressions, où les eaux de pluie sont recueillies et leurs alluvions et détritiques sont accumulés, l'implantation sera réalisée en creusant des trous de plantation ;
2. Dans les terrains en pente, on plantera en lignes, le long des courbes de niveau, plus ou moins rapprochées suivant le degré de la pente, en disposant les boutures, distantes de 0,5 à 1m, dans des tranchées de 30 à 50cm de profondeur.
3. Des lignes ou des bandes de deux ou trois voire quatre rangs juxtaposés seront espacées en moyenne de 2 à 8m, selon le degré d'inclinaison et l'exposition.
4. Les plus fortes densités seront adaptées aux versants exposés au Nord et les plus faibles densités aux versants opposés. En effet en cas de terrain en pente orienté vers le Nord, l'ensoleillement sera diminué sensiblement. Mais en limitant l'évaporation la végétation, y sera plus luxuriante et inversement.

2. Densité de plantation

Les distances de plantation les plus pratiquées pour la culture du cactus varient de 40cm à 6m, voire 8m entre les lignes, et 40cm à 4m sur la ligne, soit une densité de 416 à 62500 plants/ha (Tableau 1).

Tableau 1: Nombre de plants à l'hectare en fonction des interlignes (I) et des distances entre plants sur la ligne (i).

I (m)	Distances entre plants sur la ligne (i) en mètre											
	0,40	0,45	0,50	1	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
0,40	62500											
0,45	55555	49382										
0,50	50000	44444	40000									
1,0	25000	22222	20000	10000								
1,5	16666	14814	13333	6666	3333							
2,0	12500	11111	10000	5000	2500	2000						
2,5	10000	8888	8000	4000	2000	1600	1333					
3,0	8333	7407	6666	3333	1666	1333	1111	952				
3,5	7142	6349	5714	2857	1428	1142	952	816	714			
4,0	6250	5555	5000	2500	1250	1000	833	714	625	555		
4,5	5555	4938	4444	2222	1111	888	740	634	555	494	444	
5,0	5000	4444	4000	2000	1000	800	666	571	500	444	400	
6,0	4166	3703	3333	1666	833	666	555	476	416	370	333	
6,5	3846	3419	3077	1538	769	615	513	439	384	342	308	

(Source: Boujghagh, 2011b)

Elles peuvent être choisies en fonction du mode de culture (pluviale ou irriguée) du type de culture (plantation pour la production de fruits, cultures fourragères ou cultures de nopals pour la consommation humaine, lutte contre l'érosion, etc.). Les fortes densités sont utilisées essentiellement pour la culture fourragère et la production de nopals pour la consommation humaine, alors que les faibles densités sont pratiquées pour réaliser des vergers pour la production de fruits.

Pour faciliter les calculs des densités de plantation, le tableau 1 donne quelques peuplements à l'hectare en fonction des distances entre les lignes (interlignes) et entre les plants sur la ligne.

Pour les distances de plantation qui ne figurent pas sur ce tableau, nous appliquerons la formule: $P = 10000 / (I \times i)$. Où P = Peuplement en nombre de plants/ha, I = Interlignes en mètre et i = Distance entre plants sur la ligne en mètre.

La culture du cactus peut aussi être pratiquée en **lignes jumelées**. Dans ce cas, les distances de plantation varieront de 0,45m à 1m entre deux lignes jumelées, 3m à 6m (voire 8m) entre les lignes jumelées, et 1m à 4m entre plants sur les lignes. Le tableau 2 donne quelques peuplements à l’hectare en lignes jumelées.

Tableau 2 : Nombre de plants à l’hectare (en lignes jumelées) en fonction des distances entre deux lignes jumelées (I) entre les lignes jumelées (J) et entre les plants sur la ligne (i).

Distances entre les lignes jumelées (J) et entre plants sur la ligne (i) en mètre												
I (m)	J = 0,50m				J = 0,60m				J = 1m			
	i= 1m	i= 2m	i= 3m	i= 4m	i= 1m	i= 2m	i= 3m	i= 4m	i= 1m	i= 2m	i= 3m	i= 4m
2,50	6666	3333			6451	3225			5714	2857		
3,00	5714	2857	1904		5555	2777	1851		5000	2500	1666	
3,50	5000	2500	1666		4878	2438	1626		4444	2222	1481	
4,00	4444	2222	1481	1111	4347	2173	1449	1086	4000	2000	1333	1000
4,50	4000	2000	1333	1000	3921	1960	1307	980	3636	1818	1212	909
5,00	3636	1818	1212	909	3571	1785	1190	892	3333	1666	1111	833
5,50	3333	1666	1111	833	3278	1639	1092	819	3076	1538	1025	769
6,00	3076	1538	1025	769	3030	1515	1010	757	2857	1428	952	714

(Source: Boujghagh, 2011b)

Pour les distances de plantation qui ne figurent pas sur ce tableau nous appliquerons la formule suivante:

$$P = [2 / ((I + J) \times i)] \times 10.000$$

Avec P = Peuplement en nombre de plants/ha.

I = Distance entre deux lignes jumelées en mètre.

J = Distance entre les lignes jumelées en mètre.

i = Distance entre plants sur la ligne en mètre.

3. Orientation des lignes de plantation

Une bonne orientation des lignes de plantation est essentielle pour le cactus, surtout pour réaliser des vergers destinés à la production de fruits. Celle-ci est généralement choisie de façon à ce que les plants interceptent le maximum de lumière. Il est habituellement conseillé, pour atteindre ce but, de planter la plupart des vergers arboricoles dans le sens Nord-Sud.

Sous les conditions marocaines, il semble - selon (Boujghagh 2011b) - que les lignes de plantation doivent, de préférence, être orientées dans le sens Est-Ouest, si la topographie du terrain le permet, et les faces des cladodes dans le sens Nord-Sud très légèrement inclinées vers le Nord pour une plantation réalisée durant les saisons où les températures sont clémentes (automne et printemps). Si nous optons par contre pour une plantation estivale, les faces des cladodes doivent être orientées vers le sens contraire (Est-Ouest) et plantées verticalement, de façon à éviter ou minimiser leur exposition au fort rayonnement solaire qui pourrait endommager un grand nombre de plants, surtout après un été caniculaire (Boujghagh, 2011b).

Dans une orientation Nord-Sud, il a été remarqué que les plants, à la recherche de la lumière, ont tendance à se développer en occupant l'espace réservé aux interlignes. Au bout d'une année, les nouveaux cladodes émis envahissent déjà plus d'un mètre de part et d'autre. Au bout de 3 à 4 ans il ne reste plus, comme espacement entre les lignes (passage), que la moitié des interlignes de 6m adoptées à la plantation (Boujghagh, 2011b).

4. Modes de plantation

L'utilisation de cladodes simples (plants simples) ou de cladodes mères composés d'au moins deux à trois cladodes filles (plants composés), est la technique la plus pratiquée pour la plantation du cactus.

La reprise des plants composés de plusieurs cladodes est certes assurée et les plants peuvent même entrer en production plus rapidement que les plants simples, mais leur utilisation n'est possible que pour réaliser des plantations sur de petites superficies. Ces types de plants sont en effet très difficiles à obtenir en grandes quantités, et même si on parvient à se les procurer, ils sont très délicats à manier et à transporter. Pour réaliser les plantations de cactus sur de grandes superficies, l'utilisation de cladodes simples, ou leurs portions ($\frac{1}{2}$ voire $\frac{1}{4}$ dans certains cas) découpées sur les plus grands cladodes, serait jusqu'à présent l'unique solution. Quant aux portions plus petites de cladodes qui nécessitent d'être élevées en pépinière on devra attendre la création des multiplicateurs agréés.

L'âge des cladodes utilisés comme plants est très important. Les cladodes âgés d'un an au minimum donnent de meilleurs résultats que les cladodes plus jeunes (Singh et al. 2003). Cependant l'utilisation de cladodes âgés de plus de 2 ans serait de préférence à éviter. Pour les plants composés, c'est surtout l'âge des cladodes filles qu'ils portent qui ne doit pas dépasser 1 à 2 ans.

Dans tous les cas, les plants les plus appropriés aux différents types de plantations ne doivent pas être physiologiquement vieux, ni flétris. Ils doivent être turgescents (gorgés d'eau au maximum), raison pour laquelle il est fortement conseillé d'apporter une bonne irrigation aux plants sur lesquelles on devra prélever les cladodes qui serviront à réaliser les plantations en automne (au cas où les premières précipitations automnales seraient tardives ou insuffisantes).

Il est aussi plus important de laisser les cladodes sécher à l'ombre durant 1 à 4 semaines pour cicatriser les parties coupées et éviter les pourritures qui se produisent presque instantanément lors de leur plantation encore fraîche. Il faudra aussi manier les plants avec beaucoup de précaution pour éviter d'endommager les aréoles. Si on opte pour la plantation de cladodes fraîchement coupés, il est conseillé de les traiter préalablement par une solution de Methridathion à 0,4ml/litre d'eau ou d'Oxychloride de cuivre - à raison de 1mg/l - pour stériliser les plants et éviter leur pourrissement (Inglese, 1995).

5. Position des plants et profondeur d'enfouissement

Les cladodes utilisés comme plants peuvent être placés dans leur emplacement de préférence verticalement ou très légèrement inclinés quand c'est nécessaire pour intercepter de la lumière solaire.

Pour les **plants en position verticale**, il est absolument nécessaire d'enterrer la totalité (ou au moins plus des $\frac{2}{3}$) des cladodes mères, dans le cas d'un plant composé de plusieurs cladodes, pour leur permettre une meilleure implantation et leur éviter d'être renversés ou complètement arrachés par les vents (Planche 12). Dans le cas d'un seul cladode, on se contentera de l'enterrer au $\frac{1}{4}$ voire jusqu'à la moitié de sa longueur si celle-ci est petite à moyenne. Par contre les grands cladodes doivent être profondément enfouis dans le sol au $\frac{2}{3}$ de leur longueur (Planche 12), mais pas plus, pour permettre

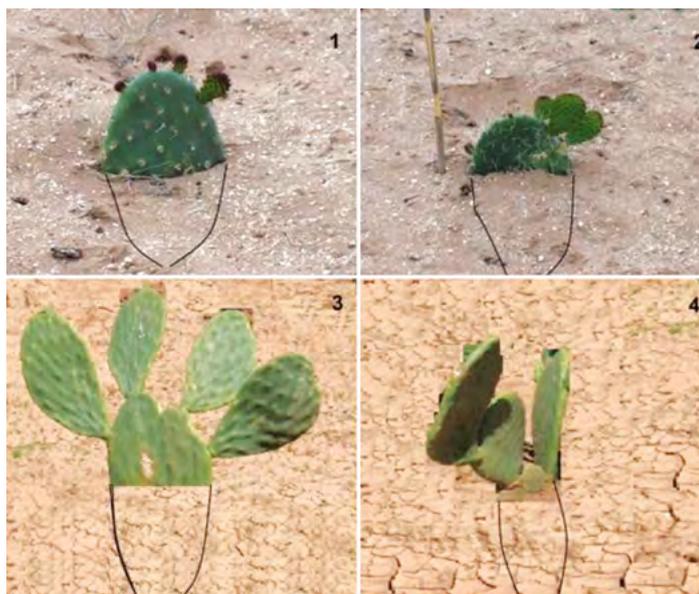


Planche 12 : Plants de cactus plantés en position verticale

- (1) Cladode enfoui dans le sol à moitié de sa longueur
- (2) Grand cladode enfoui au $\frac{2}{3}$ de sa longueur
- (3) Plant composé; cladode mère enterré au $\frac{2}{3}$ de sa longueur
- (4) Plant composé; cladode mère enterré presque complètement dans le sol

à la partie aérienne restante de subvenir aux besoins du plant en matières photosynthétiques. Dans le cas contraire ces grands cladodes, trop secoués et malmenés par les vents, auront du mal à se développer. Leur apparence sera trompeuse car les plants seront certes verdoyants, mais les repousses ne s'alimenteront en réalité qu'au détriment des réserves de leur cladodes mères dont les racines sont souvent endommagées. Dans le cas de l'utilisation des portions de $\frac{1}{2}$ cladode - surtout celles coupées dans le sens de la longueur - il faut enfuir plus des $\frac{2}{3}$ de leur longueur afin d'éviter les torsions de plants se produisant en raison de la forte charge en poids de leurs propres repousses.

Pour les **plants en position inclinée** nous pouvons planter un seul cladode incliné de 30° en enterrant $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ de sa base. Cette technique peut être pratiquée surtout dans le cas de sols généralement peu profonds. En effet, les plants émettent rapidement un système racinaire important mais ne développent pas une tige basale solide, tendant ainsi à former un système végétatif rampant. Les plants peuvent même aussi être nettement aplatis contre le sol mais maintenus par une pierre dans leur emplacement. Il est à noter que cette dernière technique ne sera pratiquée que dans le cas de sols rocaillieux destinés surtout à lutter contre l'érosion pour la protection des bassins versants.

Pour les **plants posés à plat**, les cladodes sont déposés face au sol, mais maintenus plaqués par une pierre, mais cette méthode ne peut être pratiquée que dans des endroits où le sol est très peu profond ou rocaillieux. Il est très utile de mettre dessus une pierre ou, si possible, une motte de terre pour assurer un bon contact avec le sol et éviter ainsi que le vent ne les soulève (Planche 13). L'avantage de cette technique consiste dans sa simplicité et dans le fait qu'elle ne nécessite pas de beaucoup de main d'œuvre pour la réalisation des trous ou des tranchées. De très grandes superficies peuvent être plantées en un minimum de temps. L'émission de nouveaux cladodes se produira tout autour du cladode mère, ce qui engendrera des plants en forme d'arbustes qui stopperont l'érosion éolienne. Au bout d'une année de plantation, des amas de terre, de sable et autres débris végétaux, se formeront autour du plant ce qui favorisera son développement. La disposition des cladodes agglomérés en triangle ou en carré, espacés de 40 à 60cm, est plus efficace dans ce genre de situation. Au bout de deux ans, en fonction de la quantité de terre et des débris de végétaux stoppés, les plants paraîtront chaque année de plus en plus enterrés et surélevés.



Planche 13 : Plantation de cladodes à plat dans le cas d'un sol peu profond

6. Date de plantation

En **culture pluviale**, la date de plantation du cactus doit coïncider avec l'arrivée des premières précipitations automnales pour s'enraciner et émettre les premiers bourgeons végétatifs. Dans ce cas, les plants pourront même bénéficier de la totalité des précipitations annuelles (hivernale et printanière). Un repos végétatif des plants en hiver sera éminent mais ils reprendront vite leur croissance et leur développement au printemps. Un grand nombre de plants émettront même des bourgeons floraux, mais il est fortement conseillé de les supprimer aussitôt après leur apparition pour stimuler l'émission de nouvelles repousses et former en premier lieu la partie végétative (Boujghagh, 2011b).

Les cladodes qui serviront de plants seront coupés et déposés dans un endroit sec et aéré pour sécher pendant au moins une semaine. Ils ne seront ainsi coupés et préparés qu'au moment de la plantation, pour être aussitôt plantés. Les premières pluies automnales suffiront aux plants à émettre suffisamment de racines et de jeunes cladodes. Les années pluvieuses, le nombre de cladodes formés en une saison peut atteindre 15 à 30 cladodes selon le clone utilisé. Si l'année est "sèche", le nombre de cladodes émis - quoique faible (3 à 5) selon la quantité de pluie reçue - est suffisant pour emmagasiner suffisamment d'eau et pouvoir résister aux chaleurs estivales sans irrigations si les emplacements des plants ont été correctement aménagés (sillons, impluviums en demi-lune ou en "V", des cuvettes profondes, etc.).

En comparant le comportement de boutures plantées en automne, en hiver et au printemps dans les conditions de la Sardaigne, Mulas et al., 1992 cités par Mulas et al, 2004, ont montré que, contrairement aux boutures plantées en hiver, les boutures plantées en automne présentent un faible pourcentage d'échec, des racines plus nombreuses et plus lourdes par bouture. Cependant, le nombre de pousses par bouture est supérieur pour l'implantation printanière tandis que le nombre de fruits est meilleur à l'implantation hivernale. En tenant compte des températures et de la pluviosité des différentes périodes de l'année, ils concluent que l'automne est la meilleure période pour l'implantation du figuier de Barbarie dans les conditions méditerranéennes.

En **culture irriguée**, il semble que toutes les périodes sont propices à la plantation, surtout dans les zones côtières où les températures hivernales et estivales sont clémentes. Cependant, dans les régions continentales, il faut éviter les mois les plus froids (décembre et janvier) et les mois les plus chauds (juillet et août) qui stresseraient les jeunes plants et causeraient les pourritures des plants. Si la plantation est effectuée durant une saison sèche et sans aucun apport d'eau, l'émission de racines sera pratiquement nulle. Les cladodes utilisés comme plant perdent l'eau qu'ils contiennent et flétrissent petit à petit. Certains jeunes cladodes - voire de jeunes fruits - peuvent même apparaître et croître convenablement, donnant l'impression d'une plantation réussie. En réalité, ces bourgeons ne se développent qu'au détriment des réserves prélevées dans leur cladodes mère, ce qui contribue davantage à leur affaiblissement.



VI. Conduite technique des plantations du cactus



VI. Conduite technique des plantations de cactus

1. Entretien des plantations

Les mauvaises herbes posent un grand problème aux plantations de cactus - surtout les deux premières années après la plantation - car contrairement aux apparences, la plante présente encore à ce stade énormément de faiblesses. En effet, en entrant en compétition avec les jeunes plants pour l'eau, les éléments minéraux et surtout la lumière, les mauvaises herbes en entravant leur croissance, peuvent anéantir toute une plantation. Certaines herbes, notamment les crucifères, peuvent dépasser la hauteur des jeunes plants au point de les priver complètement de la lumière nécessaire à leur croissance et à leur développement (Planche 14).

Pour réussir une plantation de cactus dans les zones arides, il est essentiel de réserver aux plants l'intégralité des ressources dont ils ont besoin pour croître et se développer. Le maintien des mauvaises herbes à proximité des jeunes plants provoque le ralentissement de leur croissance, ce qui conduit à la longue à leur anéantissement. Dans les conditions arides, les graines de nombreuses espèces d'adventices commencent à germer dès les premières précipitations. Elles peuvent ainsi croître considérablement en fonction des quantités d'eau reçues durant les périodes qui suivent, jusqu'à atteindre leur taille maximale au printemps.



Planche 14 : Plantations de cactus envahies par les mauvaises herbes

Aussi, il est impératif de procéder à l'élimination ou à la réduction de cette couverture végétale très compétitive, surtout au voisinage des plants. La masse d'herbe enlevée peut être utilisée, non seulement comme engrais vert, mais aussi comme "mulch" pour minimiser l'évaporation de l'eau du sol vers l'atmosphère pour le mettre au profit des plants. Au stade adulte, les adventices causent non seulement une baisse des rendements en fruits, mais aussi une dépréciation de leur qualité, surtout leur calibre et leur teneur en sucre, voire leur saveur. Les stratégies d'intervention à adopter pour contrôler les mauvaises herbes visent toutes un contrôle efficace, mais à réaliser au moindre coût. Il existe plusieurs solutions pour y parvenir ; le hersage et le covercavage, le binage manuel, le désherbage chimique etc.

a. Le hersage et le discage

Ils consistent à désherber mécaniquement les interlignes de plantation des parcelles planes. Ils sont très rapides et peu coûteux, mais ils ne sont pas à conseiller pour les jeunes plantations car ils concentrent l'action des mauvaises herbes dans les lignes de plantation.

b. Le binage manuel

Il est possible mais cette opération, qui doit être renouvelée de nombreuses fois, est très coûteuse. Cette technique, qui peut éventuellement convenir à des parcelles de petites surfaces, doit être exécutée superficiellement de manière à éviter d'endommager les racines superficielles des plants de cactus.

Les binages, les discages et les hersages ont aussi pour but de travailler le sol pour son aération. Selon Inglese, (1995) ces opérations, réalisées au mois d'avril, seraient meilleures car effectuées à un moment où les plants auraient développés leurs systèmes racinaire et végétatif au maximum et où la compétition des mauvaises herbes est à son optimum. Cependant, les adventices coupés à leur base doivent être utilisés pour couvrir le sol près des plants et les interlignes afin de maintenir son humidité et empêcher de nouvelles repousses.

c. Le désherbage chimique

C'est une méthode de lutte extrêmement efficace et peu coûteuse, mais elle suppose cependant une certaine compétence pour le choix des produits adaptés à la culture du cactus à protéger et aux espèces à détruire, le dosage des produits, le calcul des quantités de liquide ou de granulés à épandre, les dates du traitement, etc. Par ailleurs, comme tous les produits phytosanitaires, les herbicides répondent à une législation et sont homologués pour une utilisation et une catégorie d'usage très stricte. Nous constatons ainsi que la lutte chimique est de plus en plus

mal considérée par le public et que, face aux risques de pollution et du danger pour la santé, l'arsenal des matières actives disponibles se réduit progressivement. Le contexte actuel de la certification encourage progressivement à s'orienter vers des stratégies intégrées de gestion de la végétation qui impliquent non seulement des méthodes efficaces techniquement, mais qui soient compatibles avec des considérations d'ordre social (Wagner, 1994).

2. Taille des plants et période de réalisation

a. Taille des plants

Le cactus, à l'instar de la plupart des arbres fruitiers conduits de façons traditionnelles au Maroc, est un arbre qui peut atteindre des tailles considérables en hauteur dans certaines conditions et en largueur comme un arbuste dans d'autres conditions. Pour les agriculteurs, il faut le laisser se développer à son aise et la "taille" devrait se limiter au prélèvement de cladodes pour l'alimentation de leur bétail surtout en périodes de sécheresses. Cette pratique se fait le plus souvent sur les variantes de cactus épineux, mais à contrecœur lorsqu'il s'agit de meilleures variantes inermes.

La taille du cactus consiste à limiter le développement des plantes, à rajeunir les touffes, à favoriser la croissance, à équilibrer la forme, à alléger la ramure et à stimuler la floraison. Elle sert aussi à assainir et nettoyer les plantes pour créer une silhouette et charpente solide. En favorisant la floraison, la taille des plants permet non seulement d'obtenir une bonne fructification, mais aussi de diminuer son alternance surtout sur des variétés présentant amplement ce phénomène.

La taille est en fait un éclaircissage qui consiste à supprimer les cladodes qui s'enchevêtrent à l'intérieur du plant et ceux qui se développent horizontalement ou qui pendent vers le sol. Elle permet non seulement d'éviter l'encombrement de la frondaison (bonne interception de la lumière en minimisant l'ombrage), mais aussi de diminuer les risques d'infestation par les maladies et les parasites (cochenilles). Elle facilite ainsi les traitements phytosanitaires, la pratique d'autres éclaircissages et la récolte des fruits. De ce fait, il faut maintenir la plante à une hauteur qui n'excède pas les 2 à 2,5m.

L'objectif principal de la taille des jeunes plants est de les doter d'une forte charpente. Au fur et à mesure du développement de l'arbre, la taille devient le moyen de maintenir cette charpente en préservant la forme, l'apparence et la santé de l'arbre.

L'une des grandes règles régissant la taille est de dégager le centre des plants pour permettre à la lumière d'y pénétrer et à l'air d'y circuler. Une taille correcte doit être faite sur un nœud, à l'endroit où les cladodes s'attachent l'un à l'autre. Il convient donc de tailler au niveau d'un nœud dirigé vers l'intérieur ou vers l'extérieur de la plante et de supprimer toutes les branches faibles et se croisant au milieu de la ramure. La taille permet non seulement de remettre les plants en forme, mais aussi d'augmenter la ramification en provoquant l'apparition de nouveaux cladodes en améliorant la floraison.

Les objectifs de la taille changent en fonction de l'âge de la plantation. Nous pouvons distinguer ainsi 3 types de taille : la taille de formation, la taille d'éclaircissement et la taille de rajeunissement.

- Taille de formation

Ce type de taille vise la formation de la charpente de l'arbre et le développement de la couronne. Elle se pratique à partir de la deuxième à la cinquième année de plantation, dès que les plants commencent à fructifier. L'objectif principal est de permettre une meilleure exposition des cladodes aux rayons solaires, de faciliter les opérations culturales (traitements phytosanitaires, taille, élimination d'excès de fruits ou leur éclaircissage, récoltes...) et la production de nouveaux cladodes fructifères.

La taille de formation consiste à orienter la croissance de jeunes plants de façon à avoir la forme de l'arbre souhaitée (forme de vase ouvert, d'arbre ou d'arbuste, etc.). Pour ce faire, il est nécessaire d'enlever les jeunes cladodes émis durant la première année, à la base du cladode mère et ceux qui pendent vers le bas ou qui poussent horizontalement. Pour obtenir des arbres en forme de vases ouverts, il ne faut pas laisser plus de deux cladodes au sommet du cladode mère. Les plants orientés en forme d'arbuste ne possèdent pas de tige principale mais tendent à grossir en volume et à produire énormément de cladodes "fertiles" répartis dans la partie extérieure dans un angle de 25 à 30°. Il est aussi conseillé d'éliminer, durant les premiers stades de développement

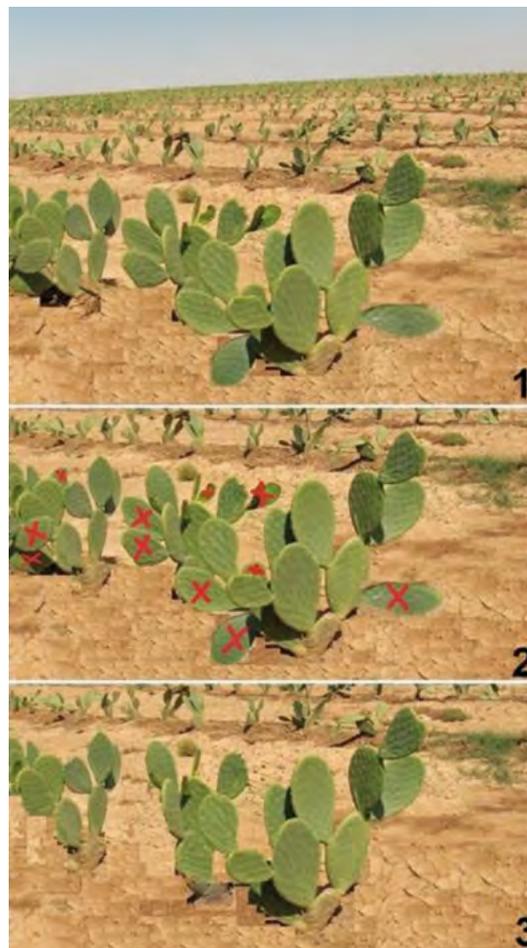


Planche 15 : Taille de formation

(1) Plantation âgée de deux ans

(2) Cladodes à supprimer

(3) Plants ayant subi la taille de formation

du jeune plant, les cladodes et les fruits non sains pour éviter leur compétition (Inglese, 1995). Une taille réussie consiste le plus souvent à maintenir « la jupe de l'arbre » suffisamment surélevée par rapport au niveau du sol (Planche 15).

- Taille d'éclaircissement

La taille d'éclaircissage consiste en un dégagement sélectif des branches entières ou de simples cladodes pour augmenter la pénétration de la lumière et la bonne circulation de l'air à travers la ramure de l'arbre. Cependant, il ne faut pas dégager plus d'un quart de la ramure en une seule fois pour éviter un stress trop important et la production excessive de nouveaux cladodes. S'il est nécessaire de pratiquer une taille plus importante, il faudra l'étaler sur au moins deux années. Cette taille est indispensable pour obtenir une couronne bien structurée, facilitant le passage de l'air et de la lumière. Son but est de faire exposer un grand nombre de cladodes aux rayons solaires pour favoriser la croissance et la fructification. En effet, contrairement aux cladodes exposés au soleil très fertiles, les cladodes de la partie intérieure du plant, souvent ombrés, sont très peu productifs.

Pour ce faire, il faut tout d'abord tailler les branches qui poussent vers l'intérieur de la couronne et penser ensuite à éclaircir les branches verticales, concurrentes et latérales, ainsi que les branchages faibles et trop serrés. Généralement, la grande superficie des cladodes ainsi que leur épaisseur exigent une taille sévère pour assurer une bonne répartition de la lumière à l'intérieur du plant. En outre, les cladodes cachés au milieu de la masse végétative du plant et les cladodes effleurant le sol - très vulnérables aux attaques d'insectes ou de maladies - seront traités difficilement.

La taille d'éclaircissement s'avère ainsi nécessaire, non seulement pour faciliter les opérations culturales, mais aussi pour améliorer la qualité des fruits. En effet, la plus grande partie de la production de fruits se fait sur les cladodes périphériques âgés d'un an. Cette production dépend de la quantité de matière sèche accumulée lors de la photosynthèse. Du fait que l'assimilation du CO₂ accumulée dépende de la lumière du jour, l'exposition des cladodes aux rayons solaires augmente leur productivité de façon remarquable (Inglese, 1995). La compétition entre les cladodes entrave leur développement. En règle générale, il ne faut pas laisser plus de deux cladodes sur le cladode mère pour augmenter leur croissance et minimiser les effets du vent. Si les plants sont mieux exposés au soleil, 80 à 90% de leur cladodes portent des fruits la deuxième année après la plantation (Inglese, 1995).

Des cladodes âgés de deux ans peuvent parfois fructifier, mais leur contribution est très limitée surtout lorsque la technique de la Scozzolatura est pratiquée. Il faut ainsi enlever les cladodes, âgés de deux ans, ayant fructifié l'année précédente mais n'ayant pas émis de nouveaux cladodes l'année suivante.

- Taille de rajeunissement

Les plants âgés de 25 à 30 ans montrent généralement une forte diminution de la fructification et l'émission de nouveaux cladodes (Planche 16). Dans ce cas, la taille de rajeunissement est souvent pratiquée comme méthode alternative à l'élimination de toute la plantation.

La taille de rajeunissement consiste à rajeunir la plantation en effectuant une coupe très sévère en éliminant tous les cladodes jeunes jusqu'à atteindre ceux âgés de 4 à 5 ans (Mulas et D'hallewin, 1992). Pour ce faire, nous rabattons les rameaux latéraux jusqu'à la branche latérale inférieure et nous raccourcissons la branche centrale de telle sorte que l'ensemble forme différents triangles et que la branche centrale conserve la position dominante.

Généralement, les plants ainsi taillés au bon moment commencent à émettre de nouveaux bourgeons un mois après (Planche 16) mais ne refructifient que 1 à 2 ans plus tard selon l'intensité de la taille pratiquée. Les effets de la taille peuvent être atténués en fertilisant les plants par l'urée à raison de 60 kg/ha (Inglese, 1995).

b. Période de réalisation

Comme toute méthode de traitement ou d'intervention technique sur les arbres, la taille du cactus ne doit pas être confiée à une personne non expérimentée. Elle doit être entreprise, non seulement de manière à favoriser le développement des plants, mais aussi à contribuer à leur meilleure santé. En effet, il arrive le plus souvent que le résultat obtenu soit à l'inverse de celui escompté, car pratiquer une taille signifie causer des blessures à la plante, qui souffre d'un stress auquel elle doit réagir.

Ainsi, si cette taille est pratiquée de façon non conforme (comme c'est souvent le cas pour les arbres fruitiers) et à une mauvaise période, de sérieux problèmes peuvent en découler, surtout lorsqu'on cherche à donner une forme artificielle à l'arbre en voulant réduire anormalement sa taille.

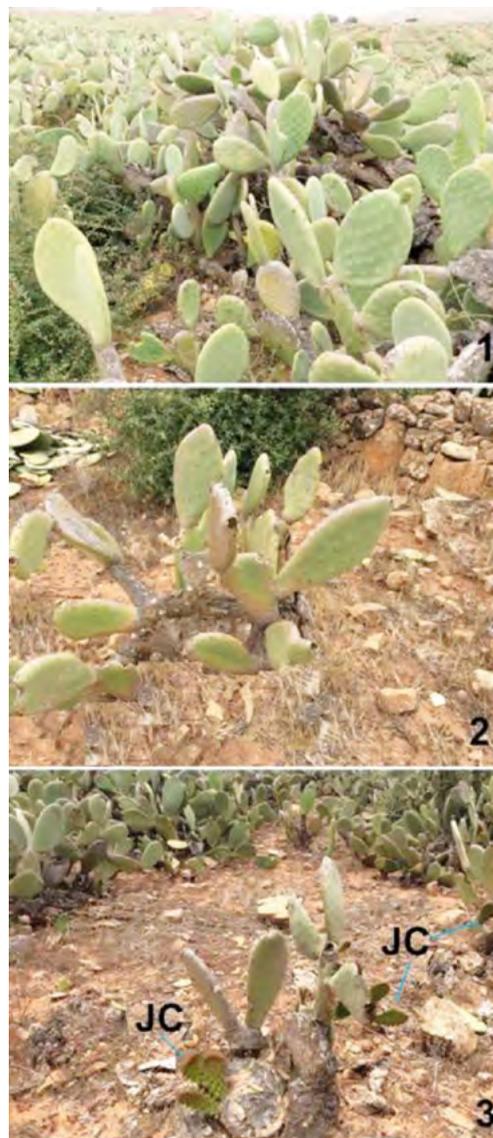


Planche 16 : Taille de rajeunissement

- (1) Plantation âgée de 45 ans devenue improductive
- (2) Plant taille rajeunissement
- (3) Emission de jeunes cladodes (JC) sur plant taillé

La taille du cactus ne doit pas être pratiquée durant la saison des pluies ou durant les périodes froides pour éviter le pourrissement des cladodes. Elle sera effectuée à la fin de l'automne et jusqu'au début de l'hiver, mais pas plus tard car il faut que la cicatrisation soit complète lors de la remontée de la sève au printemps.

Dans cette période de l'année, les températures seront suffisamment élevées pour faciliter la cicatrisation des blessures. Cependant, si la taille vise l'éclaircissage des cladodes et des fruits émis au cours de la même année, elle sera effectuée au printemps et au début de l'été en éliminant les cladodes non fructifères et les fruits en surcharges sur chaque cladode pour éviter leur compétition.

Par ailleurs, au moment de la taille, certaines maladies peuvent être véhiculées par les outils. Pour éviter des contaminations, il est recommandé de désinfecter avec de l'eau de javel les outils utilisés après chaque ligne opérée, voire même, si possible, après chaque plant traité.



VII. Fertilisation et irrigation du cactus



VII. Fertilisation et irrigation du cactus

La croissance et le développement du cactus, à l'instar de toutes les plantes, nécessitent de la lumière, de l'eau, du carbone, de l'oxygène et des éléments minéraux. L'air fournit l'oxygène et le gaz carbonique, source de carbone, que la plante fixe grâce à la photosynthèse. Tous les éléments nutritifs que la plante utilise proviennent du sol, de l'air ou de l'eau. Le sol peut mettre à la disposition des cultures plusieurs éléments nutritifs, mais il est souvent nécessaire de procéder à des apports supplémentaires sous forme d'engrais minéraux, de fumier et autres sources organiques pour satisfaire leurs besoins et éviter les carences.

La productivité agricole d'un sol est fortement liée à sa fertilité, définie comme étant sa capacité à fournir aux plantes les éléments nutritifs nécessaires en quantités exigées et équilibrées pour favoriser leur développement en présence d'autres facteurs essentiels, tels que l'eau, l'air, la lumière et la température.

1. Fertilisation du cactus

Les plantations de cactus présentent généralement une productivité très faible en raison des conditions environnementales dans lesquelles elles se développent ; sols pauvres en matières organiques et en éléments fertilisants, faibles précipitations, etc. Ces facteurs, fortement limitants, ne leur permettent pas d'exprimer pleinement leurs potentialités génétiques. Il y a une très grande différence lorsque nous comparons les cultures de cactus, qui ne reçoivent aucun apport d'éléments fertilisants, avec les plantations luxuriantes des arrières cours des habitations rurales, qui bénéficient d'apports en fumier, en cendre, en ordures ménagères et en eaux usées des habitations.

L'objectif essentiel de la fertilisation est de maintenir ou améliorer le pouvoir nutritionnel du sol en vue de satisfaire les besoins de la culture pour atteindre les rendements les plus élevés possibles avec une meilleure qualité des produits, tout en préservant l'environnement dans des conditions économiquement acceptables. Afin d'éviter l'appauvrissement du sol, il est nécessaire de compenser les éléments nutritifs prélevés par la récolte précédente. Une fertilité optimale favorise l'obtention de bons rendements tout en maximisant la rentabilité de la culture. Elle contribue aussi à maintenir l'équilibre de la fertilité et à éviter l'apparition de différents problèmes cultureux ; les carences ou la croissance excessive des mauvaises herbes. Fertiliser sans excès permet aussi de réduire les risques de contamination des eaux par les éléments nutritifs, notamment l'azote et le phosphore.

La fertilisation ne s'avère profitable que si elle est justifiée par des données sur la fertilité du sol et sur l'apport en éléments fertilisants (fumier, résidus de cultures et autres sources de matière organique). Sur les sols très pauvres, nous avons parfois avantage à remettre dans le sol autant - et même plus - d'azote, de phosphore et de potassium que ce qui est enlevé par la récolte précédente. Inversement, toute fertilisation des sols déjà très fertiles, ou ayant bénéficié auparavant d'un apport important de fumier, n'entraînera aucun profit additionnel et pourra même nuire à la culture et à l'environnement.

Les analyses des sols constituent ainsi le meilleur moyen pour déterminer les quantités précises de phosphore, de potassium, de magnésium, ou d'oligo-éléments, nécessaires à la culture. Elles permettent aussi de prendre en compte la variabilité existante entre les différents types de sols quant à leur capacité à satisfaire les besoins de la plante en éléments fertilisants pour éviter des déficits ou des surplus.

La fertilisation du cactus doit aussi tenir compte du système de production et du type de production : irriguée ou en bour (culture pluviale), production de fruits, production de "nopals" pour la consommation humaine, ou de cladodes pour l'alimentation animale. En effet, les apports azotés, par exemple, seraient inférieurs pour une culture fruitière à celle destinée à la production de nopals ou de cladodes utilisés en fourrage (Valdez-Cepeda et al, 2002 cités par Murillo-Amador et al., 2005).

Les expérimentations réalisées dans différents pays sur la fertilisation du cactus ont montré que les apports en éléments fertilisants induisent une augmentation remarquable des rendements en fruits et en cladodes.

a. Fertilisation pour la production de fruits

Généralement, les doses de fertilisation, N-P-K appliquées dans les plantations du figuier de Barbarie sont très différentes les unes des autres:

- 160-0-0 (Nobel et al. 1987);
- 20-0-0 et 40-0-0 (Mondragón et Pimienta, 1990 cités par Murillo-Amador et al. 2005) ;
- 30-0-0, 60-0-0, 120-0-0, et 60-20-35 (Nerd et Mizrahi, 1992 cités par Murillo-Amador et al. 2005);
- 224-0-0 et 224-112-00 (González et Everitt, 1990 cités par Murillo-Amador et al. 2005), et
- 80-40-40 (Aguilar, 1999 cité par Murillo-Amador et al. 2005).

Monjauze et Le Houérou (1965) ont noté une nette augmentation de la productivité du figuier de Barbarie - de 27,2% et 24,6% - liée respectivement à des apports de fumier et des éléments fertilisants NPK à raison de 20 kg/ha pour

chaque élément. Ils préconisent ainsi des apports de 20 à 30t/ha de fumier organique, 100kg de phosphore et 20kg d'azote par hectare avant la plantation suivis de 50 à 100kg d'azote et 50kg de phosphore par hectare durant les trois premières années de la plantation. Nerd et al. (1993) ont montré que sous une fertigation N P K permanente, de jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* atteignent, au bout de deux ans et demi, une hauteur de 1,8m et produisent 18 tonnes/ha de fruits.

Au Chili, il est recommandé d'apporter (au moment de la plantation) dans l'emplacement de chaque plant : 10kg de matière organique/plant, 250g de sulfate d'ammonium, 200g de superphosphate et 100g de sulfate de potassium. Lorsque les plants entrent en production, au bout de deux ans, ils sont fertilisés par 15kg de fumier/plant, 350g d'azote, 300g de superphosphate et 200g de sulfate de potassium/plant (Inglese, 1995). Mondragon et Pimienta (1990), cités par Inglese, (1995), recommandent des apports moins importants de matière organique (6 kg/plant) pour les plants âgés d'un an. Lorsque la plantation sera plus âgée ils préconisent d'ajouter, de mai à juin, en pleine floraison : 150g de sulfate d'ammonium, 100g de superphosphate et 100g de sulfate de potassium par plant. Ces mêmes auteurs conseillent aussi d'apporter 6 tonnes/ha de fumier de volailles ou 9 tonnes/ha de fumier de bovins, 60kg d'azote/ha, 20kg de P₂O₅ / ha et 20kg de K₂O/ha. Pour les plantations âgées de plus de 20 ans, Inglese (1995) conseille d'apporter 1kg d'azote/plant.

En Italie, des apports de 50kg d'azote, 80kg de potassium et 100kg de phosphore par hectare sont effectués, de novembre à février, suivis de deux apports d'azote (60kg/ha) au moment du développement des fruits. L'urée est la source d'azote à employer durant l'hiver, alors que le nitrate de potassium, le nitrate d'ammonium ou le sulfate d'ammonium sont à utiliser durant la fructification (Inglese, 1995).

b. Fertilisation pour la production de cladodes

Des apports d'éléments fertilisants pour la production de jeunes cladodes - notamment les applications importantes d'azote (160kg/ha) - favorisent leur nombre d'apparition chez le cactus (Mulas et al. 2004). La fertilisation azotée conduit non seulement à une augmentation de la production en cladodes, mais aussi à une augmentation de leur teneur en protéines. Des doses croissantes - de 67, 124 et 135kg d'azote/ha - favorisent une augmentation du niveau protéique, respectivement de 3,1 - 4,2 et 4,4 points de pourcentage (Gonzales, 1989 et Mulas et al. 2004). Gathaara et al. (1989), cités par Inglese (1995), ont montré que la fertilisation azotée et phosphorique est très bénéfique pour l'amélioration de la productivité de jeunes plants de l'espèce *O. englemanni*. Cependant, des apports plus importants en azote entraînent une croissance accrue, une réduction de la fertilité des cladodes, un retard de la maturité des fruits.

Des résultats positifs, suite à des apports d'azote ont été démontrés en ce qui concerne le nombre de nouveaux cladodes et de nouveaux bourgeons floraux, le nombre de boutons floraux apparus en saison et en hors saison, et la matière sèche totale. Cependant, il faut quand même faire très attention à l'égard de la fertilisation azotée, les espèces du genre opuntia ayant la particularité d'absorber et d'accumuler facilement des nitrates dans leurs cladodes, ce qui peut les rendre toxiques pour les personnes et les animaux qui les consomment (Valdez-Cepeda et Blanco-Macías, 2002 cités par Murillo-Amador et al. 2005).

2. Irrigation du cactus

En raison de sa résistance à la sécheresse et son efficience d'utilisation de l'eau, la culture du cactus est généralement pratiquée dans les régions arides et semiarides sans irrigation. *Opuntia ficus indica* est l'une des espèces, hautement productive, cultivée dans ces régions pour ses fruits comestibles et ses cladodes utilisés comme fourrage et légumes. Le figuier de Barbarie est en effet considéré parmi les espèces les plus résistantes à la sécheresse et les plus efficaces dans l'utilisation de l'eau, et plusieurs experts ont souligné que ces plants peuvent survivre dans des zones où les précipitations annuelles n'excèdent pas 200mm.

Cependant, des rendements économiquement intéressants ne sont obtenus qu'en pratiquant des apports importants d'eau (Acevedo et al. 1983 ; Nerd et al. 1989). En effet, des essais ont montré que des apports d'eau, même très minimes, améliorent significativement les rendements et la qualité des fruits. En étudiant l'effet de l'irrigation sur quatre cultivars de cactus *Opuntia ficus indica* - en plantation de 2.5m x 5m - Mulas et al. (1997) ont montré que le rendement en fruits des plants irrigués était deux fois plus élevé que celui des plants non irrigués. Cette supériorité est due surtout au nombre plus élevé de fruits produits par cladode sous irrigation car le poids moyen du fruit n'a pas été influencé dans les deux cas. L'augmentation de l'épaisseur de l'écorce du fruit des plants irrigués a réduit le pourcentage de jus. Cependant, en comparaison aux plants non irrigués, le poids des graines était plus élevé mais la teneur en sucre réducteur dans la pulpe et le poids sec de la peau étaient généralement inférieurs dans les fruits prélevés sur des plants irrigués.

Dans les régions aux étés secs et chauds, la culture de cactus est conduite de manière intensive sous irrigation et fertilisation pour la production de fruits, surtout en Italie et au Chili (Inglese, 1995). L'irrigation influe positivement sur la fertilité des cladodes, la croissance et le développement des fruits et leur qualité.

Dans les zones arides, où les disponibilités en eau sont limitées et souvent très rares pour procéder à l'irrigation, surtout lorsqu'il s'agit des plantations de cactus, les techniques de collecte des eaux pluviales amplement présentées, schématisées et discutées précédemment, sont largement suffisantes pour garantir non seulement le bon développement des plants de cactus mais aussi pour assurer des rendements en fruits et en cladodes qui seront, durant les années à pluviométrie faible à moyenne, au moins le double voire même le triple de ceux obtenus jusqu'à présent. En effet, à chaque précipitation de 10mm, les impluviums correctement aménagés seront en mesure de collecter près des plants de cactus une quantité d'eau qui dépasserait les 50 à 60mm. Nous pouvons ainsi imaginer aisément la quantité d'eau dont bénéficiera une culture de cactus correctement plantée lors d'une précipitation annuelle de 50 à 100mm.

Si une seule irrigation est possible, nous conseillons aux agriculteurs de l'apporter au moment de l'émission des bourgeons floraux car, dans ce cas, le résultat sera stupéfiant et les fruits obtenus seront, contre toute attente, de gros calibres, charnus, juteux et très sucrés.



VIII. Amélioration de la production
et la qualité des fruits

VIII. Amélioration de la production et la qualité des fruits

Les plantations de cactus sont conduites d'une façon traditionnelle et ne bénéficient généralement d'aucune attention de la part des agriculteurs. De ce fait, ces plantations n'ont montré jusqu'à présent qu'une productivité en fruits très faible, une production très limitée dans le temps (juillet-août) et souvent de mauvaise qualité (fruits de petits calibres, peu sucrés, peu savoureux, riches en graines, temps de conservation très court, etc.).

En appliquant certaines techniques agronomiques nous pourrions facilement améliorer, non seulement les rendements en fruits produits, mais aussi leur qualité dans de nombreuses situations.

Parmi ces techniques nous pouvons citer : l'éclaircissage des fruits, les méthodes de récoltes et le choix du bon stade de maturité pour la cueillette, les méthodes à adopter en pré-récolte pour préserver la qualité des fruits en post-récolte, l'obtention des fruits présentant moins de graines, la réduction de l'alternance, l'induction de la floraison automnale, le décalage de la floraison et la maturité des fruits au-delà de leur période habituelle, etc.

Cependant, le choix des sites (zones d'implantation des plants) et le choix des meilleures plantations, plus aptes à répondre efficacement à de tels traitements, sont d'une importance primordiale dans les zones arides.

1. Eclaircissage des fruits

a. Fertilité des cladodes et compétition entre les bourgeons

La floraison apparaît habituellement sur les cladodes périphériques et terminaux âgés d'un an. Les bourgeons floraux et les jeunes cladodes apparaissent principalement sur les bords supérieurs des cladodes mères, formés au printemps de l'année précédente. Cependant, en effectuant l'ablation des bourgeons floraux émis au printemps, Nerd et Mizrahi (1993) ont constaté l'apparition de nouveaux fruits, aussi bien sur les cladodes âgés d'un an que sur ceux émis la même année. D'après Inglese et al. (1994a), contrairement aux cladodes ombragés, non fertiles, ce sont généralement les cladodes les mieux exposés aux rayons solaires qui portent à leur extrémité le plus grand nombre de boutons floraux et qui évolueront tous en fruits.

Au cours de leur formation, les fruits n'assurent - notamment par leur écorce - que 8 à 10% de leurs besoins en éléments photosynthétiques, le reste provenant des cladodes mères. Cependant, un cladode d'une surface moyenne de 0,1m² ne peut assurer que les besoins de 5 fruits au maximum (Ingleses et al. 1994a). Si un cladode porte 10 à 15 fruits, leurs besoins en éléments photosynthétiques sont "pompés" des cladodes inférieurs.

Au stade formation de la chair du fruit et l'accumulation des hydrates de carbone, qui précèdent la maturité du fruit (Barbera et al. 1992), les cladodes de rangs inférieurs contribuent à 40% dans l'augmentation du poids sec journalier du fruit pour les cladodes portant 10 fruits et à 55% pour les cladodes portant 15 fruits (Inglese et al. 1994a).

Du fait que tous les bourgeons floraux évoluent en fruits, leur rendement dépendra du nombre de cladodes fertiles et du nombre moyen de fruits par cladode (Pimienta, 1990 cité par Nerd et Mizrahi, 1995).

Cependant, le poids des fruits du cactus, *Opuntia ficus indica* (L.) Miller, est influencé par leur charge sur les cladodes, leur teneur en grains et par les facteurs environnementaux (Nerd et Mizrahi, 1997). La croissance moyenne et le volume des fruits diminuent en fonction de leur nombre sur les cladodes surtout quand celui-ci dépasse 6 à 8 fruits (Inglese et al. 1994a). Ainsi et afin d'obtenir des fruits dotés d'un calibre meilleur et homogène, leur éclaircissage sur les cladodes mères s'avère indispensable.

b. Eclaircissage des fruits

L'éclaircissage consiste en la suppression d'un certain nombre de bourgeons floraux et de jeunes fruits, afin d'ajuster la charge de fruits au potentiel productif de l'arbre pour éviter ou minimiser la compétition qui se produit entre les fruits durant leur période de croissance et de développement. En effet, non seulement leur croissance, mais aussi leur volume, diminueront considérablement en fonction de leur nombre sur les cladodes mères, surtout quand celle-ci dépasse 6 à 8 fruits/cladode. Wessels (1988) et Brutsch (1992) cités par Inglese (1995) ont préconisé de ne laisser croître sur chaque cladode pas plus de 9 à 12 bourgeons afin d'obtenir des fruits de gros calibre à la récolte. Inglese et al, (1995) ont montré que les fruits de calibre exportable (120g) peuvent être obtenus en ne laissant que 6 fruits/cladode. Selon Inglese et al. (1994b) les cladodes portant plus de 10 fruits présentent une maturité tardive et hétérogène, ce qui rend leur récolte moins efficace.

La technique communément pratiquée consiste à supprimer le surplus de fruits en ne laissant approximativement que 8 à 10 fruits par cladode (Planche 17). Les études de l'effet de cette technique sur le poids du fruit ont

démonstré que le poids sec du fruit des cladodes qui possèdent de 10 à 15 fruits était respectivement 16 à 25% plus bas que celui des cladodes portant 5 fruits (Inglese et al. 1994a). L'éclaircissage, en ne laissant que 5 fruits par cladode, permet ainsi l'obtention de fruits de meilleure qualité, d'un calibre, gros constant et uniforme.

La période propice pour effectuer l'éclaircissage des fruits s'étale de deux semaines avant la floraison à deux semaines après la nouaison (Inglese, 1995). L'éclaircissage de l'excès de fruits au stade floraison, ou au début du stade de leur développement, permet d'obtenir des fruits plus gros (Wessels, 1988, Pimienta, 1990, cités par Nerd et Mizrahi, 1997, Barbera et al., 1992). Cependant, l'éclaircissage précoce demande plus de temps du fait que les boutons floraux, encore trop petits, sont souvent difficiles à différencier des jeunes cladodes et à manipuler. En revanche, l'éclaircissage tardif, effectué 3 à 4 semaines après la nouaison, est peu efficace (Inglese et al. 1995).

Boujghagh et Bouharroud (2015), en testant la Scozzolatura à différents stades de floraison, ont noté une supériorité très hautement significative du poids moyen (144g) et de la teneur en sucre (16°Brix) des fruits réapparus après leur ablation à un stade plus tardif (fin floraison après la chute de 50% des corolles) par rapport, non seulement aux fruits de saison, mais aussi aux fruits réapparus après leur ablation aux stades précoces (125g et 14°Brix en moyenne). Dans ce cas les fruits et les jeunes cladodes réapparus étaient significativement inférieurs en nombre par rapport aux autres stades d'ablation. Ceci semble indiquer que la Scozzolatura effectuée à un tel stade permet de rétablir un équilibre dans la réapparition des bourgeons (cladodes et fruits) et en limitant la compétition entre eux, d'obtenir des fruits plus gros, plus pesants et plus sucrés.



Planche 17 : Eclaircissage des fruits

- (1) Cladodes surchargés en fruits au stade grossissement
- (2) Fruits (x) qui auraient dus être supprimés au bon stade
- (3) Stade début floraison propice à l'éclaircissement
- (x) Bourgeons à supprimer

2. Obtention de fruits "sans" graines

Les graines dans les fruits du cactus (espèces du genre *Opuntia*) sont petites, dures et nombreuses. Leur nombre, dans l'espèce *Opuntia ficus indica*, varie de 50 à 300 grains/fruit (Barbera et al., 1991, Weiss et al., 1993 et Barbera et al., 1994b) et leur présence rend souvent la consommation des figues de Barbarie moins appréciée, surtout par des personnes non habituées.

Plusieurs études ont été réalisées au Chili pour produire artificiellement des fruits sans graines (Diaz et al., 1977, Diaz et Gil, 1978 et Gil et Espinoza, 1980 cités par Nerd et Mizrahi, 1997). Ces chercheurs ont démontré que les fleurs castrées ne produisent pas de fruits, mais les fleurs traitées par la gibbérelline (GA3) engendrent des fruits de tailles normales renfermant des graines avortées. La technique employée consiste à pulvériser cette substance à une concentration de 500ppm sur des fleurs au moment de leur épanouissement ou à une concentration de 100ppm appliquée à trois stades différents ; à l'anthèse (ouverture des fleurs), à 22j et à 42 jours après la première pulvérisation.

Dans ce cas également les fruits obtenus sont de taille normale mais contiennent un grand nombre de graines avortées. En comparaison aux fleurs non traitées les fruits formés après ces traitements, plus tardifs à maturité, sont relativement plus longs, présentent un péricarpe plus épais, renferment moins de chair mais sont moins sucrés. Des fruits de taille normale, avec un nombre important de graines vides, ont été aussi obtenus en pulvérisant la gibbérelline sur des bourgeons floraux intacts. Ces résultats indiquent que cette hormone inhibe le développement des graines mais induit la croissance des fruits (Nerd et Mizrahi, 1997).

Barbera et al., (1993) ont signalé que les traitement des plants par la Gibbérelline (GA3), durant la période de 3 jours après l'ablation des bourgeons - fleurs et jeunes cladodes apparus au printemps (Scozzolatura) - entraîne l'arrêt complet de la réapparition d'une nouvelle floraison. Cependant, l'application de cette hormone durant 6 à 12 jours après l'ablation donne des fruits renfermant moins de graines et présentant une élongation plus marquée de leur partie basale.

3. Réduction de l'alternance

Jusqu'à présent nous considérons encore naturelle une production faible et accrue des figues de Barbarie, car ce phénomène est dû aux aléas climatiques. Selon un grand nombre d'agriculteurs une forte production en fruit est même obtenue en périodes de sécheresses mais ils n'ont jamais soupçonné une alternance de la fructification.

L'alternance de la productivité des plants de cactus a été rapportée par plusieurs auteurs (Brutsch, 1979 cité par Inglese, 1995; Barbera et al., 1991) mais l'explication de ce phénomène demeure encore méconnaissable (Barbera et al., 1991). Il n'est pas encore clair si ce phénomène est dû aux mauvaises pratiques culturales pratiquées, aux variétés utilisées, à

l'âge des plants, aux compétitions qui interfèrent entre la croissance et le développement des jeunes fruits et cladodes apparus ou à l'éclosion des bourgeons eux mêmes. Il a été démontré que la variété italienne "Rosa" alterne beaucoup plus que la variété "Gialla" (Inglese, 1995).

La taille de formation est souvent pratiquée annuellement sur le cactus *Opuntia ficus indica* dans le but de réguler la hauteur et la forme des plants et réduire la densité des cladodes à l'intérieur de chaque plante. Pratiquée en été cette technique consiste surtout à réduire le nombre de jeunes cladodes qui peuvent entrer en compétition avec les fruits au cours de leur développement et minimiser l'alternance biennale de la fructification des plants.

4. Techniques de pré-récolte pour préserver la qualité en post-récolte

Généralement le succès de l'opération de conservation des fruits pour une "longue" période en post-récolte commence en pré-récolte, autrement dit, au niveau des plantations. La qualité commerciale des fruits dépend non seulement de leur degré de maturité et des précautions prises au moment de leur récolte mais aussi, dans une large mesure, de la variété utilisée et des techniques culturales pratiquées.

Les techniques culturales pratiquées pour préserver la qualité des fruits en post-récolte, très peu étudiées particulièrement sur les figues de Barbarie, sont à notre connaissance à peine connues. Une fertilisation surtout azotée raisonnée, le choix de la bonne variété et la date de récolte sont désormais parmi les facteurs déterminants à prendre en compte pour la préservation de leur qualité en post-récolte. Le stockage à basses températures (10°C et 80% d'HR durant 4 semaines suivi de 7j à 20°C) permet de maintenir la fermeté des fruits, de réduire la déshydratation et les pourritures des fruits récoltés sur des plants faiblement fertilisés. Par contre, les niveaux élevés d'azote réduisent la fermeté des fruits et favorisent leur dépérissement.



IX. Floraison et fructification du cactus
en hors saison



IX. Floraison et fructification du cactus en hors saison

La floraison et la fructification du cactus, *Opuntia ficus indica* (L.) Miller, se produisent habituellement une seule fois en une seule vague par an. La floraison a lieu au printemps et la maturité des fruits durant l'été. Le flux de bourgeons (floraux et jeunes cladodes) est étalé sur une période de plusieurs semaines, voire plusieurs mois, généralement de mars à juin. Le plant peut ainsi porter en même temps des bourgeons floraux, des fleurs, de jeunes cladodes et parfois même des fruits mûrs (Nerd et al., 1989 et Wessels et Swart 1990).

La maturité des fruits se produit durant les mois de juillet et août. De ce fait, les prix des figues de Barbarie subissent de très fortes fluctuations et chutent même considérablement lors du pique de production.

Deux techniques peuvent être pratiquées pour palier à ce problème. La première consiste à induire, par une source d'azote, une seconde floraison durant l'automne pour avoir des fruits mûrs au printemps, et la seconde consiste à décaler la période de floraison en supprimant les bourgeons émis au printemps pour avoir une maturité des fruits en automne. Cette technique, pratiquée à grande échelle en Italie, est appelée "Scozzolatura". Celle-ci peut même être pratiquée deux fois successives (=double "Scozzolatura").

1. La technique "Scozzolatura"

En éliminant, entre mi-mai et mi-juin, selon les années, tous les bourgeons floraux et les jeunes cladodes émis au printemps, une seconde vague de floraison réapparaît 30 à 40 jours après leur ablation (Barbera et al., 1991, Brutsch et Scott, 1991 et Nerd et Mizrahi, 1994).

En pratiquant cette technique, connue sous le nom «Scozzolatura» (Coppoler, 1827 cité par Barbera et al., 1991), les fruits obtenus en hors saison (septembre à décembre), particulièrement plus gros et savoureux et renfermant moins de grains et plus de chair, sont de meilleure qualité que les fruits produits en été à partir de la deuxième décade du mois d'août (Barbera et Inglesse, 1993 et Mulas, 1997). Dans les conditions du Sud-Ouest marocain, les fruits obtenus en hors saison par la Scozzolatura, en mûrissant en d'octobre à fin novembre, auraient une valeur commerciale largement supérieure aux fruits de saison (Boujghagh et Bouharroud, 2015).

Cependant, le choix de la variété apte à reflleurir (Barbera et al., 1991 et Boujghagh et Taoufiq, 2007) et le moment propice pour effectuer les ablations (Barbera et al., 1991, Brutsch et Scott, 1991 et Boujghagh et Bouharroud, 2015) sont d'une importance primordiale.

La période d'élimination des repousses printanières (fleurs et jeunes cladodes) influe beaucoup sur le taux de fleurs réapparues, le développement des fruits et l'époque de leur maturité (Barbura et al., 1991, Brutsch et Scott, 1991). Le stade pleine floraison est la période la plus propice pour pratiquer les ablations de bourgeons avec succès, en induisant des taux de réapparition de nouveaux bourgeons acceptables. Selon Boujghagh et Bouharroud (2015) cette période propice est prolongée jusqu'à fin floraison (aucune fleur encore ouverte) mais avant la chute des corolles (Planche 17). Au-delà de ce stade, surtout après la chute des corolles, leur prélèvement réduit ce taux de 50 à 70%. Leur ablation avant l'ouverture des fleurs raccourcit la durée du développement des fruits et provoque une précocité de leur maturité ; de 15 à 20 jours par rapport au prélèvement effectué en pleine floraison et 30 à 40 jours par rapport au prélèvement effectué au stade fin floraison.



Planche 18 : Stades de floraison propices à l'exécution de la scozzolatura de (1) Pleine floraison 50% de fleurs ouvertes à (2) Fin floraison aucune fleur ouverte mais avant chute des corolles. Soit une période d'environ un mois

En éliminant 100% de fleurs, 10 jours et 20 jours après l'anthèse, et 50% seulement, 10 jours après l'anthèse, Ochoa et al. (2009) ont montré que seule leur suppression en totalité permet de retarder la refloraison et la maturité et engendrer des rendements en fruits largement supérieurs. Portolano (1962), cité par Nerd et Mizrahi, (1994), Barbera et al., (1991) et Brutsch et Scott, (1991) ont aussi montré que la "Scozzolatura" effectuée tardivement (stades fin floraison et début grossissement des fruits) réduit significativement la réapparition de nouveaux fruits. Quant à l'effet de cette technique sur la production de nouveaux cladodes, il a été observé que leur nombre diminue de 10 à 40% par rapport au nombre émis normalement au printemps (Inglese, 1995).

L'indice de "refloraison" est défini par le rapport : nombre de fleurs de la deuxième floraison sur le nombre de fleurs de la première floraison, qui varie de 0,7 à 1 si l'élimination est effectuée avant le stade floraison, et de 0,3 à 0,5 si l'élimination est pratiquée après le stade floraison. Les faibles indices sont enregistrés dans les régions froides et sèches. Si les températures sont inférieures à 14°C, les fruits émis seront plus gros mais spongieux et présenteront une écorce épaisse facilement fissurable et une chair moins sucrée et de mauvaise coloration. Ces fruits ne mûrissent parfois qu'au printemps suivant (Inglese, 1995).

La fructification hors saison dépend des conditions environnementales. Dans les sols légers à faible rétention en eau, il est nécessaire de pratiquer une irrigation juste après l'ablation des fruits et des jeunes cladodes pour mieux induire une nouvelle floraison.

La floraison hors saison, induite par la technique "Scozzolatura", est fortement liée à l'abondance de la floraison printanière. En comparaison avec les cladodes moins fertiles, ce sont généralement les cladodes portant de 6 à 13 fleurs durant la période printanière qui contribuent le plus à la production hors saison en redonnant plus de fleurs. Plusieurs études ont montré que la seconde vague de floraison induite par la Scozzolatura est liée positivement à la floraison printanière. En effet, plus le nombre de bourgeons floraux émis au printemps est élevé, plus leur nombre de réapparition après leur ablation est important. Barbera et al, (1991) ont affirmé que le nombre de boutons floraux réapparus par cladode est lié positivement au nombre de fruits supprimés. Cependant, si cette technique est pratiquée tardivement - au-delà du stade fin floraison jusqu'au stade grossissement des fruits - le nombre de fleurs réapparues est négativement affecté (Barbera et al., 1991 et Bruschi et al., 1991).

Il a aussi été démontré que le taux de reffloraison est lié positivement au nombre de jeunes cladodes retirés. Quoique l'élimination de ces jeunes pousses soit moins importante que l'élimination des bourgeons floraux eux même (Inglese et al., 1994), il ne faut cependant pas laisser plus de 25% de jeunes cladodes pour maximiser la reffloraison et éviter le phénomène d'alternance. Il ne faut pas également pratiquer cette technique sur des plantations âgées de moins de 3 à 4 ans (Inglese, 1995).

Pour déceler le moment propice à l'exécution de la Scozzolatura, sous les conditions environnementales du Sud-Ouest marocain, Boujghagh et Bouharroud (2015) ont procédé à la suppression de "bourgeons" sur un clone de cactus inerme à quatre stades de floraison distincts ; S1= début floraison (1% de fleurs ouvertes), S2= pleine floraison (50% de fleurs ouvertes), S3= fin floraison avant la chute des corolles (50% de pétales secs et 1% de fleur encore ouvertes) et S4= fin floraison après la chute de 50% des corolles (Planche 19).



Planche 19 : Stades testés pour exécuter la Scozzolatura

S_1 = début floraison 1% de fleurs ouvertes

S_2 = pleine floraison 50% de fleurs ouvertes

S_3 = fin floraison avant chute des corolles (C) 50% de pétales secs et 1% de fleur encore ouvertes

S_4 = fin floraison après chute de 50% des corolles (C)

Cette étude a montré que l'ablation de la totalité des bourgeons floraux, fleurs, jeunes fruits et jeunes cladodes émis au printemps permet d'obtenir une seconde floraison chez le cactus quel que soit le stade de leur ablation. Cependant, la phase "fin floraison", étalée de l'épanouissement des dernières fleurs jusqu'au dessèchement et la chute de 5 à 10% des corolles, constitue la meilleure période d'ablation capable d'induire une nouvelle floraison à son optimum. Cette phase a été déterminée comme phase de tolérance de la plante où la suppression des "bourgeons" peut induire la réapparition d'un nombre de fruits supérieur ou égal au nombre supprimé, en dehors de laquelle leur élimination aurait un effet dépressif sur la plante.

Il a été aussi démontré (Figure 12) que la suppression des bourgeons aux stades précités - S1, S2, S3 et S4 - a retardé la refleuraison de 25j, 62j, 94j et 115 jours respectivement, et la maturité des fruits de 25j, 43j, 64j et 81 jours par rapport à la floraison habituelle printanière et à la maturité des fruits de saison (juillet-août). La maturité des fruits des traitements soumis à la Scozzolatura a commencé 31 jours, 17 jours et une journée avant la fin de la maturité des fruits de saison, respectivement pour les trois premiers stades mais n'a débuté que 10 jours après pour le dernier stade (Figure 12).

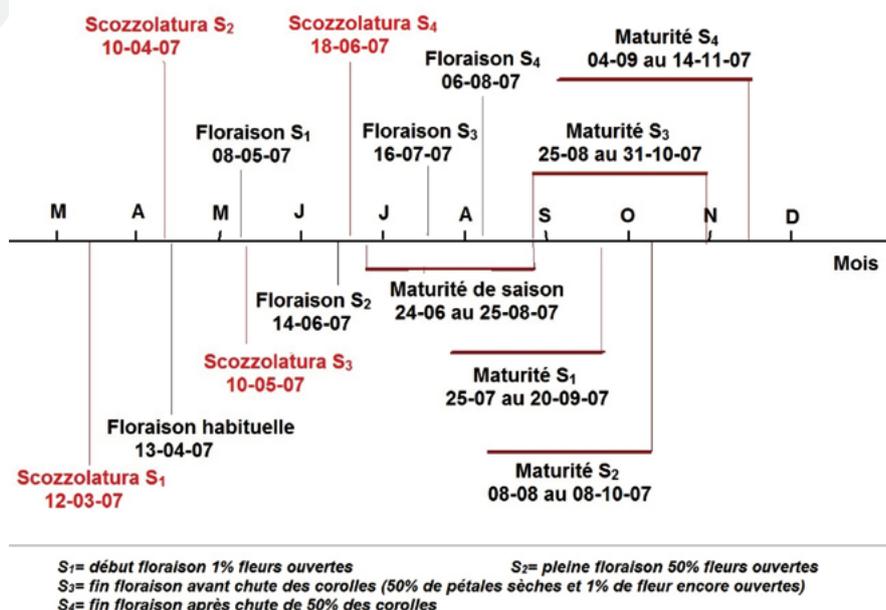


Figure 12 : Dates d'ablation des bourgeons, dates de floraison et périodes de maturité des fruits des plants de cactus soumis à la Scozzolatura aux stades S₁, S₂, S₃ et S₄ comparés aux plants témoins non "Scozzolaturés"

L'ablation de jeunes fruits et cladodes aux deux derniers stades a permis d'obtenir des fruits en hors saison, autrement dit, en prolongeant la période de leur récolte de 2 à 2,5 mois (fin août à mi-novembre) au-delà de leur saison habituelle (juillet-août). Si la taille, le goût très sucré et la faible teneur en graines demeurent les caractéristiques organoleptiques les plus recherchées par les consommateurs de figues de Barbarie, cette technique (Scozzolatura), effectuée aux deux derniers stades, a permis d'obtenir (Tableau 3) des fruits beaucoup plus gros (144g) et très sucrés (°Brix 16) par rapport aux fruits de saison (125g et Brix 13,5).

La suppression de bourgeons au 3^{ème} stade (fin floraison à 50% de pétales secs avant la chute des corolles) a enregistré le rendement en fruits le plus élevé (38T/ha). Ce rendement est identique statistiquement au témoin (34T/ha), mais il est significativement supérieur aux trois autres traitements (Tableau 3), soit 3 fois la valeur enregistrée par le 1^{er} stade (13T/ha) et 1,5 fois celle du 2^{ème} et 4^{ème} stade (25T/ha). Ces résultats permettent ainsi de considérer le 3^{ème} stade (fin floraison à 50% de pétales secs avant la chute des corolles) comme stade ultime favorable à l'exécution de la technique "Scozzolatura" sous les conditions environnementales du Sud-Ouest marocain. Mais sur le plan économique, le 4^{ème} stade (fin floraison après la chute de 50% des corolles) peut s'avérer aussi meilleur, malgré le rendement relativement faible qu'il a enregistré par rapport au témoin. En effet, ce type de fruits, très sucrés avec moins de graines et dont la maturité n'a débuté que 10 jours après la récolte estivale, pourrait pleinement profiter de ces qualités et se vendre beaucoup plus cher.

Tableau 3: Nombre de Fruits Récoltés par plant (NFR), Poids du Fruit (PF en g), Nombre de Grains par Fruit (NGF), Teneur en sucre (Brix), Rendement en fruits (Rdt en T/ha) mesurés sur le clone de cactus soumis à la Scozzolatura aux stades de floraison; S1, S2, S3 et S4 comparés au témoin S0.

Traitements	NFR	PF	NGF	Brix	Rdt
S ₀	282,33a	125,40b	304,38a	13,54bc	33,92a
S ₁	117,33c	117,31c	257,15b	11,86c	13,23c
S ₂	211,33b	123,37bc	222,39c	14,49ab	25,11b
S ₃	314,67a	126,29b	221,35c	15,50a	38,13a
S ₄	180,33b	144,09a	186,36d	16,07a	25,04b
F	46,06	24,01	25,12	8,42	35,32
P	< 0,0001	0,013	< 0,0001	0,003	< 0,0001
Signification	***	***	***	***	***

- *** = Différences très hautement significatives au seuil de probabilité $\alpha = 0,1\%$

- Les chiffres suivis d'une même lettre ne sont pas différents entre eux au seuil de probabilité $\alpha = 0,5\%$ Selon la méthode LSD de Fisher.

2. Floraison automnale induite par l'azote

En apportant, juste après la récolte des fruits estivaux, une fertilisation azotée par le biais de la fertigation, à travers 100mm d'eau et 120kg d'azote/ha, une seconde floraison réapparaît en automne sur les cladodes de la même année (Nerd et al., 1991, 1993, Inglese, 1995 et Nerd et Mizrahi, 1995).

La maturité des fruits se produit surtout au printemps et peut même s'étaler selon les années jusqu'au mois de mai et juin. Bien que leur rendement soit très faible (20 à 30% de la production estivale), ces fruits hors saison, très appréciés, ont une valeur commerciale largement supérieure. Cependant, cette technique n'est possible que dans les régions où les températures hivernales sont suffisamment élevées, pour permettre aux plants de fleurir et développer des fruits, soit une température moyenne mensuelle de 15°C (Inglese, 1995).

La floraison automnale du cactus (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) a été constatée dans plusieurs régions du Maroc (Boujghagh, 2011a). Au sein de la palmeraie de Skoura (Ouarzazate), à Massa le long de l'Oued Massa au Nord-Ouest de Tiznit, et à Dou Targua à Tiznit, de nombreux agriculteurs possèdent de petites parcelles en arrière cours de leur maison plantées en cactus inermes. Les plants sont souvent disposés le long d'une haie autour de parcelles irriguées cultivées en cultures maraîchères (carotte, navet, courge, tomate, fève, etc.) intercalées avec des cultures céréalières (orge, blé ou maïs) ou fourragères (luzerne). Dans ces régions, certains plants de cactus fleurissent en automne (octobre-novembre). Selon les agriculteurs, leurs variétés fleurissent et fructifient parfois presque toute l'année et assurent deux productions ; la première, récoltée en juillet et août à la suite d'une floraison très abondante en mars, et la seconde, échelonnée de février à mai, suite à une floraison peu abondante en octobre et novembre.

Ce phénomène est à la base de l'extension des plantations par échange de plants entre voisins. Cependant, il a été remarqué qu'il ne s'agissait pas d'une variété dans le sens génétique du terme, mais d'une floraison induite purement et simplement par l'azote. En effet, il a été constaté que seuls les plants qui se trouvent dans des parcelles où la luzerne est cultivée portaient des fruits en hors saison et que leur nombre augmentait significativement en fonction de l'âge de la luzernière (Boujghagh non publié).

Une étude réalisée par Boujghagh et Taoufik (2007) sur 20 génotypes de cactus marocains (*Opuntia ficus indica* (L) Miller) de différents âges (7,5 - 6,5 - 5,5 et 1,2 ans en 5 génotypes pour chaque âge) fertilisés et irrigués au mois de septembre par une dose totale de 40 unités d'azote/ha, appliquée en fertigation fractionnée sur 4 irrigations, par goûte à goûte, espacées de 5 jours, a montré une réponse très nette de certains génotypes quant à leur aptitude à émettre une seconde floraison en hors saison. Les génotypes âgés d'un an ont répondu significativement mieux que les plus âgés (plus de 5 ans). Au sein de chaque classe d'âge ; certains génotypes ont enregistré des valeurs significativement supérieures à leurs congénères, ce qui suggère un effet génotype. Le nombre moyen de fruits par plant est relativement faible, mais ils sont de meilleure qualité.

En effet, bien que leur écorce soit plus épaisse et leur coloration moins marquée, ils sont plus lourds, renferment moins de graines et sont plus sucrés. En outre, leur maturité tardive et échelonnée en hors saison (mars à fin mai) ainsi que leur saveur, ces fruits sont très appréciés (Boujghagh et Taoufik, 2007). Nerd et al., (1991) ont aussi remarqué que les fruits produits au printemps, suite à une floraison automnale, sont plus lourds que ceux obtenus en été à cause de leur épaisse écorce. Nerd et Mizrahi, (1997) ont suggéré que les basses températures hivernales et l'humidité, en stimulant la croissance de l'écorce, sont à la base de son épaissement.

Selon Boujghagh et Taoufik (2007), il paraît que la faible réponse des cultivars plus âgés, quant à leur aptitude à émettre une seconde floraison automnale, est due à la faible quantité d'azote appliquée (40U/ha). Il est nécessaire de tester des doses d'azote plus élevées, sous différentes formes, sur des plantations plus âgées (60, 80, 100 voire 120U/ha en fonction de leur âge croissant). Il est aussi intéressant de tester l'interaction des autres éléments P et K. Il semble que le phosphore et le potassium n'ont aucun effet sur l'émission de ces bourgeons floraux (Nerd et al., 1993). Cependant, dans une expérience réalisée dans des conditions de sécheresse, Nerd et al., (1991) ont montré une réponse positive des bourgeons floraux avec la fertilisation de N, de P, et de K.



X. Méthodes de récolte et de conservation
des fruits en post-récolte

X. Méthodes de récolte et de conservation des fruits en post-récolte

1. Stades de développement et de maturité des fruits

a. Stade de développement

La durée du stade de développement du fruit dépend de la variété, des conditions environnementales et de la saison de leur apparition (fruits de saison ou de hors saison). Elle peut durer ainsi de 70 à 150 jours.

Les mesures de la taille et du poids de la chair des fruits en fonction du temps sur des cultivars de cactus *Opuntia ficus indica* israéliens et italiens (en Sicile) ont montré une double courbe de croissance sigmoïdale formée de trois phases distinctes :

- la phase I, où la croissance est rapide, commence peu après l'anthèse (épanouissement des fleurs) ;
- la phase II où la croissance est arrêtée ;
- la phase III qui rejaillit après le début du changement de la couleur de l'écorce et dure plusieurs jours (Barbera et al., 1992, Weiss et al., 1993).

Chez des fruits développés au cours de la saison chaude, la période complète de leur croissance dure 80 à 90 jours et les trois phases ont approximativement la même durée. Cependant, ces durées dépendent des cultivars :

- Le gain en poids frais et sec est prononcé pour l'écorce des fruits à la phase I ;
- pour les grains à la phase II ;
- pour la chair à la fin de la phase II et durant la phase III.

Les fruits hors saison, développés en période hivernale, ont une durée de développement beaucoup plus longue que les fruits estivaux.

La concentration des sucres et le volume de la chair des fruits augmentent d'une façon rapide durant une période allant de 8 à 9 semaines après la nouaison. Durant cette période, l'écorce reste verte mais la chair commence à exhiber la couleur caractéristique de la variété. La matière solide totale soluble (MSTS) augmente rapidement dès

que la chair du fruit commence à se développer (40 à 50 jours après la nouaison). Au moment du virement de la couleur du fruit la MSTS représente déjà 85 à 90% de sa valeur à maturité complète. Lorsque l'écorce atteint la mi-couleur à maturité, la MSTS varie de 12 à 15% selon les variétés. C'est à ce stade de récolte que les fruits sont de meilleure qualité, aussi bien pour la consommation en frais que pour le stockage. La teneur en sucre dans les fruits récoltés, au-delà de ce stade à fin maturité, est légèrement supérieure, mais leur stockage n'est plus possible surtout qu'à ce degré de maturité avancée, leur manipulation est plus difficile et délicate.

b. Stade de maturité des fruits

De nombreux changements chimiques et physiques, associés à la maturité des fruits de cactus *Opuntia ficus indica*, ont lieu durant le stade de la croissance de leur chair. En effet, la quantité des différents constituants comme la matière sèche, les fibres, les pectines, les acides triturbables, les cendres, la matière grasse et protéique diminuent peu avant la maturité (70 jours après floraison) alors que les quantités totales de la matière solide et des sucres solubles augmentent durant cette phase.

Les sucres continuent leur accumulation durant la maturité (85 à 100 jours après floraison). La fermeté des fruits diminue jusqu'à la maturité pour devenir stable, puis chuter à nouveau au stade pleine maturité. La couleur de l'écorce commence à changer 70 jours après la floraison, et la pleine maturité des fruits est atteinte 85 à 100 jours après ce stade. Pour de nombreux cultivars, la couleur de l'écorce est souvent similaire à celle de la chair où la pigmentation commence en premier. Plusieurs indices ont été proposés pour déterminer le moment de la maturité propice à la récolte des fruits. Les indices communément utilisés sont le virement de la couleur de l'écorce des fruits, du vert à la couleur caractéristique de la variété, l'aplatissement de la cavité florale et la teneur en sucre. En effet, dans plusieurs cultivars, un Brix de 12 à 13 indique la maturité des fruits (Barbera et al., 1992; Weiss et al., 1993). Aux derniers stades de maturité, lorsque la couleur de l'écorce est pleinement développée, les fruits deviennent mous et sont moins aptes aux manutentions et à la conservation et certains consommateurs les considèrent donc non appétissants.

2. Récolte et problèmes de post-récolte

a. Récolte des fruits

La récolte des figues de Barbarie est une opération très importante pour préserver leur qualité durant le stockage et la commercialisation. Elle doit être effectuée très délicatement et avec beaucoup de soin pour éviter les pourritures des fruits qui peuvent survenir aussitôt après leur récolte. Les figues de Barbarie, très sensibles aux outils utilisés pour la récolte, et surtout à leur propre glochides (minuscules épines), requièrent des précautions particulières lors de leur récolte et leur manutention.

Les fruits sont portés par les cladodes mères, ce qui permet, par un léger fléchissement ou une légère torsion, de les récolter facilement (Planche 21). Cependant, l'expérience du cueilleur, le type de variétés et le stade de maturité sont des facteurs déterminants permettant d'éviter de causer des dommages et des blessures, non seulement sur les fruits, mais aussi particulièrement à leur base d'insertion sur les cladodes. Contrairement aux fruits oblongs, les fruits ovoïdes et légèrement aplatis sont des formes faciles à manier et à récolter sans endommagement. La méthode rotative, faisant pivoter le fruit sur lui-même, avec un minimum de pression possible, permet une récolte facile sans endommager sa partie basale (Planche 21).

Mais cette technique rotative des fruits est surtout plus facile et pratique sur les fruits en début de maturité. Pour les fruits trop mûrs, il est généralement conseillé de couper minutieusement le fruit à l'endroit de soudure muni d'une légère portion de la raquette mère (Planche 22). L'utilisation d'un couteau très aiguisé est la meilleure solution.

Traditionnellement, la récolte des fruits s'effectue manuellement en se protégeant les mains contre les glochides par un torchon, un morceau de tissu ou de carton, ou une touffe d'herbe verte ou sèche. Les fruits hors de portée de main sont récoltés en utilisant un bâton, le plus souvent un roseau de 3 à 4m de

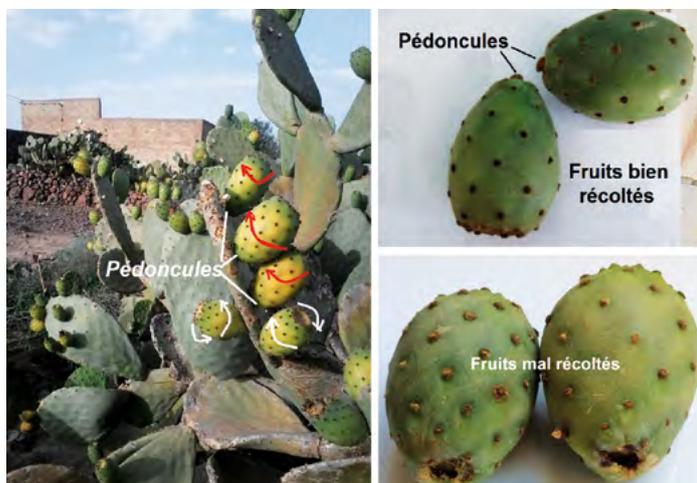


Planche 21 : Méthode de récolte "rotative"
Faire pivoter le fruit sur lui même sans le presser

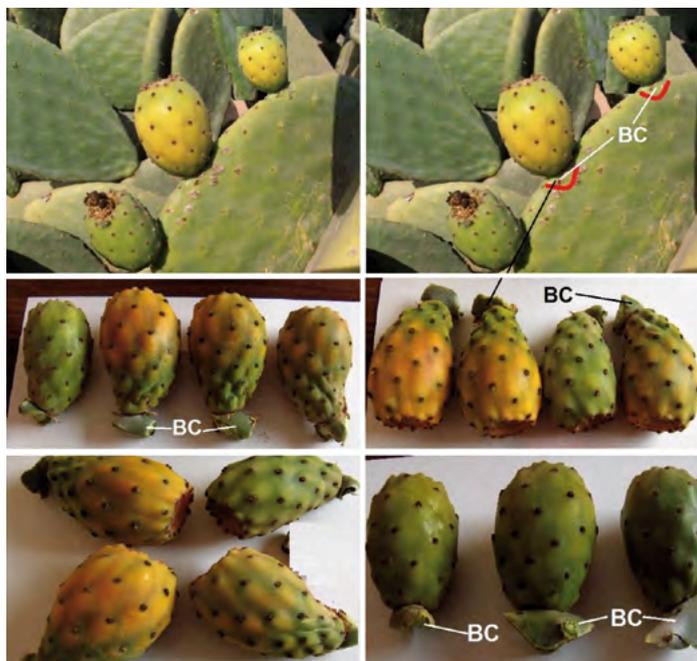


Planche 22 : Récolte des fruits munis d'un bout de cladode (BC)

long aménagé à son extrémité en crochet à 3 ou 4 pointes non aiguisées ou entourées d'un fil pour éviter les blessures des fruits. Cet outil, correctement préparé, est utilisé pour la récolte durant plusieurs campagnes. En effet, une fois la récolte terminée, un bon outil est souvent accroché horizontalement contre un mur jusqu'à la prochaine récolte. Il est souvent choisi par les cueilleurs en fonction de sa maniabilité et surtout son aptitude à éviter les blessures sur les fruits.

Dans la région de Sidi Ifni, la récolte des figues de Barbarie se fait manuellement. Les fruits récoltés sont souvent malmenés, pressés et souvent très endommagés à l'endroit de soudure, surtout ceux qui ont dépassé le stade de maturité.

A leur triage et leur emballage à l'unité de conditionnement, une part importante de la production, qui peut excéder parfois 60%, passe souvent dans les écarts de triage. En comparant deux méthodes de récolte, à la main et au couteau, dans la région de Sidi Ifni, Boujghagh et al., (2014) ont pu montrer que malgré l'agilité et la rapidité du cueilleur à la main, les fruits hors calibre et les écarts de triage sont plus importants (50% de la quantité des fruits récoltés). Par contre, ces rejets ne représentent que 26% dans le cas des fruits récoltés au couteau, soit un gain de 50% de la production.

Une fois récoltés, les fruits sont mis en tas pour les débarrasser de leurs glochides, en les frottant avec une branche d'arbre ou d'arbuste à feuillage tendre, ou avec une touffe d'herbe, etc.

Pour les fruits destinés à une longue conservation, il faut éviter de provoquer, au cours de cette opération, des blessures sur le péricarpe protecteur de la chair du fruit. De meilleurs résultats sont obtenus sur un sol fin sablonneux ou limoneux, que sur un sol rugueux et caillouteux. Mais pour une meilleure efficacité, il est préférable de déposer les fruits sur une couche d'herbe ou de paille et de les frotter légèrement avec un balai ou une brosse à poils fins et souples. D'autres techniques plus modernes, faisant appel à des machines à brosses tournantes ou vibrantes munies d'aspirateurs, sont utilisées. Quelques entreprises marocaines ont déjà commencé à fabriquer ce genre de machines, mais leur utilisation est encore au stade expérimental.

Pour une manipulation des fruits destinés à la commercialisation, et surtout à l'exportation, le stade de leur maturité au moment de la récolte est d'une importance primordiale pour la préservation de leur qualité pour une longue période. Les fruits sont ainsi récoltés en se basant sur le changement de la couleur de leur écorce (notamment son virement), leur taille et leur grosseur et l'aplatissement de leur cavité florale ou réceptacle. Selon Parish et Felker (1997), le diamètre du réceptacle est beaucoup plus important que son degré d'enfoncement pour déterminer la maturité des fruits, au même titre que leur teneur en sucre.

Les fruits récoltés sont entreposés pendant un à deux jours dans un endroit obscur et aéré ou ventilé, afin de permettre le dessèchement des portions des cladodes. Ces portions, une fois desséchées, se détacheront facilement durant le triage et l'emballage des fruits.

Les fruits sont ensuite nettoyés, triés, calibrés, enrobés et emballés. Les meilleurs fruits peuvent même être enveloppés séparément, voire individuellement, pour une meilleure présentation. Par ailleurs, leur enrobage, représentant une technologie simple, respectueuse de l'environnement et relativement peu onéreuse, peut améliorer leur durée de vie si de bonnes températures sont appliquées lors du stockage et de l'expédition.

b. Problèmes de post-récolte

Le degré de détérioration d'un produit, tel que les fruits après leur récolte, est généralement proportionnel au degré de sa respiration.

La figue de Barbarie est un fruit non climactérique ayant un très faible niveau de respiration (20ml de CO₂ kg⁻¹.h⁻¹) et de production d'éthylène (0,2µl de C₂H₄ kg⁻¹.h⁻¹). Ses valeurs sont similaires à celles des oranges qui ont à la même température un niveau de respiration de 15ml de CO₂ kg⁻¹.h⁻¹ et une production d'éthylène de 0,1µl de C₂H₄ kg⁻¹.h⁻¹ (Rodriguez, 2002).

Des études effectuées sur la respiration et la production de l'éthylène de fruits d'autres espèces de cactus - notamment *O. robusta* et *O. amyclaea* - ont révélé leur caractère non climactérique. Cependant, un niveau de respiration élevé a été enregistré au stade maturité des fruits d'*O. amyclaea* (Lakshminarayana et Estrella, 1978; Lakshminarayana et al., 1979; Moreno-Rivera et al., 1979 et Cantwell, 1991 cités par Nerd et Mizrahi, 1997). Pareillement aux autres fruits non climactériques, la figue de Barbarie manque d'amidon comme réserve de hydrates de carbone. De ce fait, la teneur en sucre qui pourrait être optimum à la récolte demeurera presque inchangée en post-récolte (Cantwell, 1995). C'est la raison pour laquelle Cantwell (1995) préconise de mesurer la teneur en sucre, principalement au moment de la récolte à maturité, car cette estimation donnerait une mesure exacte sur la qualité des fruits. En effet, contrairement aux fruits climactériques (banane, mangue, papaye, avocat, etc.) qui continuent de mûrir après la récolte, ce n'est pas le cas des fruits non climactériques.

Plus le fruit est développé et mûr, plus l'épaisseur de son écorce s'amincit et plus il est facile à récolter. Cependant, une écorce molle et mince facilite l'endommagement physique des fruits au cours de leur récolte. Les figues de Barbarie sont facilement périssables, du fait des effets non pas physiologiques mais surtout physiques affectant l'écorce et le pédoncule au moment de leur récolte. Boujghagh et al, 2014 ont estimé que 15% des pertes seraient inévitablement liés au stade de maturité des fruits au moment de leur récolte et leur conditionnement.



XI. Méthodes de préservation de la qualité des fruits en post-récolte



XI. Méthodes de préservation de la qualité des fruits en post-récolte

1. Problèmes de conservation et de stockage des fruits

Parmi les principaux problèmes rencontrés après la récolte des fruits de différentes espèces de cactus les pourritures et la déshydratation demeurent les plus fréquents. D'après Chessa (1993) et Guzmán (1982), cités par Cantwell (1995), les figues de Barbarie sont facilement périssables et n'ont, sous les conditions de leur commercialisation (20°C et 60 à 70% d'humidité relative), qu'une durée de vie de quelques jours. Cette durée de vie est surtout limitée par des dégâts physiques, provoqués sur le péricarpe des fruits au moment de leur récolte et leur manutention, favorisant leur détérioration et pourritures rapides par différents pathogènes notamment *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Chlamydomices* spp., et *Penicillium* spp. La perte des fruits après récolte, estimée à 15%, est due surtout aux pourritures de leur extrémité basale incisée à la cueillette (Castilla et Pimienta, 1990 cité par Cantwell, 1995).

En ralentissant la respiration, la production d'éthylène, la maturité, la sénescence, les changements métaboliques indésirables et la détérioration des fruits, le stockage à froid augmente la durée de vie des fruits de la plupart des cultures horticoles après leur récolte (Wang, 1994). Cependant les figues de Barbarie sont très sensibles aux dégâts causés par le froid, surtout quand ils sont conservés et stockés, selon les variétés, à des températures on dessous de 9°C (Chessa et Barbera, 1984 et Corrales-Garcia et al., 1997, cités par Rodriguez, 2002).

Les symptômes des dégâts dûs au froid sur les fruits sont de petites taches marron foncé, une décoloration bronze dispersée et de minuscules cavités enfoncées dans l'écorce (Rodriguez, 2002). Ces dégâts ne se manifestent généralement pas sur les fruits au moment du stockage à froid, mais une fois sortis à température ambiante lors de leur commercialisation (Wang, 1994). Ils apparaissent 14 jours après leur conservation à 9°C (95 à 98% d'humidité relative) sur les fruits d'*Opuntia ficus indica* var. "Gialla" (Chessa et Barbera, 1984 cités par Rodriguez, 2002).

2. Techniques de stockage des figues de Barbarie

Les techniques de conservation communément employées en post-récolte pour préserver et maintenir la qualité des produits horticoles et limiter les dégâts du froid sont: la conservation à basse température, le traitement intermittent par la chaleur (eau chaude, air chaud, etc.), la conservation dans des conditions atmosphériques contrôlées, les traitements chimiques et l'application de régulateurs de croissance (Wang, 1994). Ces dernières décades, plusieurs études ont été menées à cet effet pour développer et améliorer des méthodes "non conventionnelles" susceptibles de conserver et allonger la durée de vie des fruits en post récolte.

a. Méthodes de stockage traditionnel

Rodriguez et al., (1992) cités par Cantwell, (1995) ont montré que les pourritures des fruits à leur base de soudure avec les cladodes mères sont les principales causes de leur perte après récolte. La cicatrisation de cette partie des fruits, juste après leur cueillette, permet de minimiser leur pourriture en post-récolte. En effet, Saucedo et Chavez, (1985) cités par Cantwell, (1995) ont montré que les fruits de deux variétés de cactus conservés après cicatrisation à 18°C pendant 15 jours n'ont manifesté aucune pourriture. Par contre, leur conservation à des températures inférieures favorise leur détérioration. La fermeté des figues de Barbarie diminue très légèrement au cours de leur conservation pendant un mois à 20°C.

En comparaison avec les autres types de fruits, les changements de la fermeté des figues de Barbarie sont très faibles (Tucker, 1993 cité par Cantwell, 1995), bonne raison pour laquelle plusieurs auteurs préconisent la technique traditionnelle pour la conservation des fruits dans de conditions ambiantes pour une longue période (Rodriguez, 1991 et Esquivel, 1992, cités par Cantwell, (1995). Cette technique consiste à récolter les fruits munis d'une grande portion de la cladode mère - ou carrément la cladodes entière avec l'ensemble des fruits qu'elle porte - et de les entreposer pour conservation dans des conditions ambiantes favorables à leur conservation.

Dans des conditions d'absence de facilité de stockage des fruits à basse température, il est conseillé de les déposer sur une couche de sable ou de paille, etc., dans une chambre fraîche et obscure. Il est très utile de les couvrir avec de la paille ou des brindilles d'herbe tendre, fraîche ou sèche. Il est aussi très recommandé de les déposer sans les débarrasser de leurs glochides pour éviter les blessures.

b. Stockage des fruits à basses températures

Une fois récolté, le fruit est privé des flux bruts et élaborés des nutriments qu'il reçoit du plant mère. Sa vie dépend exclusivement de ses propres réserves et des facteurs physiques externes. Le but de la conservation par le froid est de

ralentir, voire de stopper, la maturation des fruits pour prolonger leur durée de vie après récolte et assurer un grand étalement des ventes dans les marchés, surtout les plus lointains. La température idéale de conservation d'un produit horticole est située généralement juste en dessus de sa température de congélation. Le froid ralentit l'activité des enzymes et les réactions chimiques correspondantes ce qui entraîne une réduction des changements de tous les paramètres, tels que la respiration, la texture interne et l'apparence externe. Il peut aussi diminuer la vitesse de multiplication et de développement de la flore microbienne.

Pour les figues de Barbarie, il est généralement conseillé de les stocker à des températures comprises entre 5 et 8°C durant 3 à 4 semaines. Selon Rodriguez (2002), la sensibilité aux dégâts du froid (DF), des fruits stockés pendant 21 jours à 6°C et 90-95% d'HR suivi de 3 jours à 20°C et 75% d'HR, est différente selon la saison de leur récolte. Les fruits de saison (été) sont plus sensibles aux DF et à la perte en poids mais sont moins sensibles aux pourritures que ceux produits en hors saison (automne). Les fruits récoltés au début du changement de leur couleur sont plus sensibles aux DF mais résistent mieux aux pourritures que ceux récoltés à maturité (Schirra et al., 1999a).

Les dégâts du froid et les pourritures sont les principaux facteurs limitant le stockage des fruits à basses températures. Mais, dans le cas des figues de Barbarie, ces problèmes peuvent être surmontés en choisissant les variétés dont les fruits sont moins sensibles. En effet, des différences de sensibilités très marquées aux dégâts du froid existent aussi bien entre les espèces du genre *Opuntia* qu'entre les cultivars d'une même espèce. Schirra (1998) a détecté, parmi les variétés cultivées en Italie (Bianca, Rossa et Gialla), une grande sensibilité de la variété Bianca aux dégâts du froid. Des différences très significatives, quant à la sensibilité aux dégâts du froid, ont été aussi décelées entre les variétés mexicaines; Amarilla Montesa, Burrona, Cristalina, COPENA T-5 COPENA Torreoja et Picochulo. Aucun symptôme du dégât du froid n'a été observé sur les variétés ; Burrona et Cristalina, après 30 jours de conservation à 9°C et à 95% d'humidité relative (HR) plus 6 jours à température ambiante d'une chambre dont l'HR est comprise entre 65 et 75%, alors que les autres variétés ont manifesté des dégâts variant de 25 à presque 100% (Corrales-Garcia et al., 1997 cités par Rodriguez, 2002). Selon Cantwell (1995), le cactus (*Opuntia ficus indica*) cultivé au Chili, moins sensible aux dégâts du froid, peut être stocké plus de 2 mois à 0°C.

c. Traitement des fruits par la chaleur

Plusieurs études ont montré l'efficacité des traitements des fruits et légumes par la chaleur (eau chaude, vapeur ou air chaud) dans la réduction de la sensibilité des produits horticoles aux dégâts du froid (Lurie, 1998). Le traitement des fruits à l'eau chaude constitue la meilleure méthode car, sans utilisation de produits chimiques, ce traitement offre la possibilité d'étendre la durée de vie en stockage de plusieurs types de fruits (Lurie, 1998). Diverses études ont été réalisées sur des fruits de saison ou hors saison de la variété de cactus "Gialla" dans le but de tester l'effet

de leur traitement à la chaleur sur la réduction des dégâts du froid, les pourritures et les pertes en poids durant le stockage à 6°C (90-95% d'HR) pendant 3 à 7 semaines plus 3 à 7 jours à 20°C (comme période de commercialisation simulée).

Les traitements à la chaleur comprennent : le trempage des fruits dans l'eau chaude à 55°C pendant 5mn, le trempage dans une solution chaude (55°C) de thiabendazole à 1000ppm pendant 5mn, l'air chaud à 38°C et 95% d'HR pendant 24, 48 ou 72h.

Les résultats obtenus ont montré que ces traitements réduisent les dégâts du froid, les pertes en poids, les pourritures et maintiennent la qualité et l'apparence externe des fruits durant, non seulement leur stockage à basse température, mais aussi durant leur sortie à température ambiante (période de commercialisation simulée). Pour contrôler les pourritures, l'utilisation de l'eau chaude combinée au thiabendazole permet de réduire la dose de ce fongicide de 1000 à 200mg/l (Schirra, 1998). D'Hallewin et al., (1999) et Schirra et al., (1999b) ont conclu qu'une protection additionnelle contre les pourritures durant les traitements à la chaleur (air chaud à 37°C et à une humidité relative supérieure à 90%, ou le trempage dans l'eau chaude à 52°C pendant 3mn) pourrait être attribuée à la fente partielle de la cire épicuticulaire qui couvrirait les trous et les micro-blessures sur la peau des fruits.

d. Films d'emballage et enrobages

Plusieurs traitements ont été évalués pour prolonger la durée de vie des figues de Barbarie en post-récolte. L'utilisation des films d'emballage sur des fruits de la variété italienne "Gialla" réduit les incidences du froid durant leur stockage pendant 42 jours à 6°C. En réduisant les dégâts du froid sur des fruits emballés, leur perte en poids est très faible (Piga et al., 1996).

L'application de la cire comme enrobage a montré une nette amélioration de la qualité des fruits, notamment leur apparence externe (Berger et al., 2002). Le traitement à l'eau chaude (53°C à 54°C pendant 5mn) et leur enrobage dans une cire contenant un fongicide ont permis une diminution des pourritures sur les fruits en post-récolte (Guzmán, 1982 cité par Cantwell, 1995 ; Schirra, 1998). Adriasola (1996), cité par Berger et al., (2002), a montré que le traitement des fruits à l'eau chaude et à la cire réduit les dommages causés par les glochides sur des fruits lorsqu'ils sont stockés pendant 35 jours à 0°C suivis de 3 jours à 18°C.

e. Traitements des fruits par le calcium

Le calcium est généralement peu abondant dans les fruits, même s'il peut atteindre des niveaux élevés dans les organes ligneux et végétatifs (feuilles). En effet, la compétition entre les organes de la plante et les fruits pour cet élément est souvent en faveur des organes végétatifs qui n'en libèrent que de très faibles quantités. Ainsi, pour un grand nombre de fruits destinés au stockage, le dosage du calcium au niveau des feuilles et des fruits est primordial, leur rapport (Ca feuilles/ Ca fruits) ne devant pas dépasser un certain seuil.

La déficience en calcium peut entraîner un dérèglement du fonctionnement des cellules des fruits. En cas de carence, il est souvent recommandé de pratiquer des pulvérisations foliaires à base de chlorure de calcium, plus efficace et moins phytotoxique que le nitrate de calcium. Le trempage des fruits après récolte dans une solution contenant le même produit à 2% permet d'augmenter leur concentration en calcium. En effet, au cours du stockage, le fruit continue à absorber cet élément déposé à sa surface si les conditions d'humidités relatives sont adéquates ; 90 à 95%.

Le trempage des fruits dans des solutions à base de calcium demeure l'une des techniques les plus employées pour contrôler les troubles physiologiques et préserver la qualité de plusieurs types de fruits et légumes après récolte (Beavers et al., 1994). L'application du calcium (CaCl_2 à 2%) plusieurs semaines (4 à 10) avant la récolte des figues de Barbarie retarde la coloration de leur écorce à maturité, réduit les pourritures mais augmente leur sensibilité aux dégâts du froid surtout sur des fruits estivaux stockés 21 jours à 6°C (90-95% d'HR) et 3 jours à 20°C (Schirra et al., 1999a). D'après Schirra et al., (1999a) l'application du calcium (CaCl_2) sur les fruits retarde le développement de leur couleur et augmente leur résistance aux pourritures, mais favorise leur sensibilité aux dégâts du froid.

f. Conservation en atmosphère contrôlée

L'air renferme généralement 79% d'azote, 21% d'oxygène (O_2) et des traces de gaz carbonique (CO_2). La technique de conservation sous une atmosphère contrôlée consiste à ramener et à maintenir les taux d' O_2 et de CO_2 à un niveau bien déterminé et à une température bien délimitée. Cette technique est souvent associée à la réfrigération. Généralement, le taux de CO_2 est augmenté d'environ 10%, alors que celui de l' O_2 est diminué d'environ 5% grâce à des installations permettant la réalisation, le maintien et le réajustement de la composition gazeuse désirée sous contrôle automatisé. La diminution du taux d' O_2 ne doit surtout pas descendre au-dessous d'un certain seuil pouvant déclencher une respiration anaérobique.

Le stockage en atmosphère contrôlée assure le maintien de la qualité des fruits, mais il est encore coûteux pour les figues de Barbarie (Piga et al., 1996). Selon Schirra (1998), la conservation des figues de Barbarie italiennes sous des conditions atmosphériques contrôlées (2% d' O_2 + 2,5% de CO_2) à 5°C prolonge leur durée de stockage à environ 45 jours. Le même auteur a noté une réduction des dégâts du froid sur les fruits de la variété "Gialla" stockés pendant 42 jours d'une façon intermittente (10j à 2°C suivie de 4j à 8°C) et 7 jours à 20°C et ce en comparaison avec les fruits stockés pendant 42 jours à 2°C et 7 jours à 20°C.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Acevedo E., Badilla I., et Nobel P.S., 1983.** Water relations diurnal acidity changes and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus indica*. *Plant Physiol.* 72: 775-780.
- **Anonyme, 1998.** La culture du cactus ; Situation actuelle et perspectives de son développement. MADRPM – DPV – Rabat. 12 pages.
- **Arba M., 2000.** Les Opuntias à fruits comestibles dans certaines régions du Maroc. Actes 11ème Journée Nat. Culture du cactus. El kelaa des Sraghna. 30 mai 2000. Maroc. Page 8. <http://www.web-africa.org/anfasse/fichiers/doc/cactus.doc>.
- **Arba M., Benismail M.C. et Mimoun M., 2002.** The Cactus Pear (*Opuntia* spp.) In Morocco: Main Species and Cultivars Characterization. *Acta Hort.* 581: 103-109.
- **Beavers W.B., Sams C.E., Conway W.S., et Brown G.A., 1994.** Calcium source affects calcium content, firmness, and degree of injury of apples during storage. *HortScience* 29: 1520-1523.
- **Berger H., Mitrovic A., Galletti L., et Oyarzun J., 2002.** Effect of hot water and wax application on storage life of cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L) Mill.) fruits. *Acta Hort.* 581: 211- 220.
- **Barbera G., Carimi F., et Inglese P., 1991.** The reflowering of prickly pear *Opuntia ficus indica* (L) Miller: influence of removal time and cladodes load on yield and fruit ripening. *Adv. Hort. Sci.* 5: 77-80.
- **Barbera G., Carimi F., Inglese P. et Panno M., 1992a.** Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus indica* (L) Miller). *J. Hort. Sci.* 67 : 307-312.
- **Barbera G., et Inglese P., 1993.** La coltura del ficodindia. *Edagric. Bolo.* (Italie) : 116-120.
- **Barbera G., Primienta – Barrios E., et Inglese P., 1993.** Cactus pear *Opuntia* spp, *Cactaceae*). *Interne. Network. Aneffort. For prod. Succulent Journ. U.S.* 65 : 225-229.
- **Barbera G., Inglese, P. et La Mantia, T. 1994a.** Influence of seed content on the some characteristics of the fruit of cactus pear, (*Opuntia ficus-indica*). *Scientia Hort.* 58:161-165.

- **Barbera G., Inglese, P. et La Mantia, T. 1994b.** Seed content and fruit characteristics in cactus pear *Opuntia ficus indica* (L.) Miller. *Sci. Hort.* 58: 161-165.
- **Boujghagh M., et Taoufik A., 2007.** Effet de la fertilisation azotée sur la floraison hors saison du cactus *Opuntia ficus indica* (L.) Miller. *Rap. Activ.* 2006-07. INRA. CRRRA. 100p.
- **Boujghagh M., et Adadi A., 2008.** Effet des fortes densités de plantation sur la production et la qualité fourragère du cactus (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.) à Laâyoune. INRA. Rapport Activité. 2007-08. INRA/CRRA-Agadir.
- **Boujghagh M., 2011a.** Atlas du cactus (*Opuntia* spp.) de différentes provenances marocaines. INRA-DIC. Edition 2011. 240 pages.
- **Boujghagh M., 2011b.** Le cactus (*Opuntia* spp.). Guide Pratique de Conduite de la Culture. DIC-INRA-Edition 2011. 81 pages.
- **Boujghagh M. Berrada A., et Muschialli E., 2014.** Comparaison de deux méthodes de récolte es figues de Barbarie; manuelle et au couteau dans la région d'Aït Baâmrane. ONUDI. PAMPAT. 11 pages
- **Boujghagh, M. et Bouharroud, R. 2015.** Influence of the timing of flowers and young cladodes removal on reflowering and harvesting periods, yields and fruits quality of prickly pear (*Opuntia ficus indica*). *Acta Hort.* (ISHS) 1067:79-82
- **Brutsch, M.O. et Scott M.B., 1991.** Extending the fruiting season of spineless prickly pear *Opuntia ficus-indica*. *J. S. Afr. Soc. Hort. Sci.* 1: 73-76.
- **Cantwell M., 1995.** Post-harvest Management of Fruits and Vegetable stems. In: Barbera G., P. Inglese et E. Pimienta-Barrios (eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO. Rome (Italy). Paper 132: 139- 146.
- **Chalbi N. 1972.** Etude des Phénomènes d'Interaction Biologiques entre Géotypes en Association et Interprétation Biométrique. *Ann. INRA. Tunisie.* Vol. 45-Fasc. 2. 204 p.
- **Cordeiro Dos Santos D., et Gonzaga De Albuquerque S., 1995.** *Opuntia* as fodder in the semi-arid northeast of Brasil. In: C. Mondragón-Jacobo and S. Pérez-González. *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. FAO Plant production and protection. Paper 169: 37-50.
- **D'hallewin G., Schirra M., et Manueddu E., 1999.** Effect of heat on epicuticular wax of cactus pear fruit. *Tropical Science* 39: 244-247.
- **Escobar H.A.A., Villalobos V.M.A., et Villegas M., 1986.** *Opuntia* micropropagation by axillary proliferation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 7: 269-277.
- **Felker P., et Russell C., 1988.** Effects of herbicides and cultivation on the growth of *Opuntia* in plantations. *J. Hort. Sci.* 63 : 149-155.

- **Inglese P., Israel A. A. et Nobel P. S., 1994a.** Growth and CO₂ uptake for cladodes and fruits of the CAM species *Opuntia ficus indica* during fruit development. *Phy. Plant.* 91: 708-714.
- **Inglese P., Barbera G. et Carimi F., 1994b.** The effect of different amounts of cladode removal on reflowering of cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L) Miller). *J. Hort. Sci.* 69 : 61-65.
- **Inglese P. 1995.** Orchard planting and management. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. *Plant Production and Protection. FAO. Paper 132:* 78–91.
- **Inglese, P., Barbera, G., La Mantia, T., and Portolano, S. 1995.** Crop production, growth and ultimate size of cactus pear fruits following fruit thinning. *HortScience* 30:227-230.
- **Inglese P., Gugliuzza G., et La Mantia T., 2002.** Alternative Bearing and Summer Pruning of Cactus Pear. *Acta Horticulturae* 581: 201-204.
- **Kenny L., 1997.** Le Figuier de Barbarie. Importance économique et conduite technique. *Bul. Lia. PLPNTT. MADRPM/DERD.* 35 : 2 - 4.
- **Llovera L.J., Sanchez J.M., et Peñac J.J., 1995.** Bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas a raíces de especies de nopal (*Opuntia* spp.). *Atti del 4° Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal.* Guadalajara, Mexico, 6-10 Noviembre: 19-24.
- **Lurie S., 1998.** Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol.and Tech.*14: 257-269.
- **Monjauze A., et Le Houerou H.N., 1965.** Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole Nord-africaine. *Bulletin de l'Ecole Sup. Agricole de Tunis, (8/9):* 85-164.
- **Mondragon, J. C. et Pimienta, B. E. 1995.** Propagation. In: Barbera, G., Inglese, P., and Pimienta, B. E. (Eds.) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pears. FAO Plant Production and Protection Paper 132:* 64-70
- **Mulas, M. et D'hallewin G. 1992.** Improvement pruning and the effects on vegetative and yield behaviour in prickly pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivar "Gialla". *Acta Hort.* 296:139-146.
- **Mulas M., 1997.** Flower removal time and fruit quality in cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). *Acta Hort.* 438 : 123-128.
- **Mulas M., et Mulas G. 2004.** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. *Short and Medium - Term Priority Envi. Act. Prog. (SMAP).* <http://www.uniss.it/dipartimenti/desa/mulas/desertFR.pdf>

- **Murillo-Amador, B., García-Hernández J.L., Ávila-Serrano N.Y., Orona-Castillo I., Troyo-Diéguez E., Nieto-Garibay A., Ruiz-Espinoza, F.H. et Zamora-Salgado S. 2005.** A multivariate approach to determine the effect of doses and sources of N, P, and K in *Opuntia ficus-indica*. <http://www.jpacd.org/V7/V7P110-124Muri2.pdf>.
- **Nerd, A., Karady, A. et Mizrahi, Y. 1989.** Irrigation, fertilization and polyethylene covers influence bud development in prickly pear. *HortScience* 24: 773-775.
- **Nerd, A., Karady, A. et Mizrahi, Y. 1991.** Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short drought periods on productivity. *HortScience*. 26: 527-529.
- **Nerd, A., Mesika, R. et Mizrahi, Y. 1993.** Effect of N fertilizer on autumn floral flash and cladode N in prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L.). *J. Hort. Sci.* 68: 545-550.
- **Nerd A., et Mizrahi Y., 1993.** Modern cultivation of prickly pear in Israël: fertigation. *Acta Hort.* 349: 235-238.
- **Nerd, A. et Mizrahi, Y. 1994.** Effect of nitrogen fertilization and organ removal on rebudding in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Scientia Horticulturae*. 59: 115-122.
- **Nerd A. et Mizrahi Y., 1995.** Reproductive biology. in: G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta B. (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. *FAO Plant Production and Protection Paper*, 132: 49-57.
- **Nerd A. et Mizrahi Y., 1997.** Reproductive Biology of Cactus Fruit Crops. *Horticultural Reviews*. 18: 321-346.
- **Nobel S.P., 1988.** Environment biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. New York. 270 pages.
- **Nobel S.P., 1995.** Environment biology. In: Barbera G., Inglese P. et Pimienta B. E. (eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. *FAO. Plant Prod. and Protection. Paper* 132: 36 48.
- **Nobel S.P., et Hartsock T.L., 1984.** Physiological response of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. *Physiol. Plant.*, 60: 98-105.
- **Nobel, P.S., Russell, E. Ch., P. Felker, P., Galo, J., Acuña E. 1987.** Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agron. J.* 79(3): 550-555.
- **Ochoa, M.J., Targa, M.G., Abdala, G., et Leguizamón, G., 2009.** Extending fruiting season of cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) in Santiago Del Estero, Argentina. *Acta Hort.* 811: 87-90.
- **Parish J., et Felker P., 1997.** Fruit quality and production of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruit clones selected for increased frost hardiness. *J. Arid Environ.* 37: 123-143.

- **Piga A., D'Aquino S., Agabbio M., et Schirra M., 1996.** Storage life and quality attributes of cactus pears cv. "Gialla" as affected by packaging. *Agricoltura Mediterranea* 126: 423-427.
- **Rodriguez-Felix A., 2002.** Postharvest Physiology and Technology of Cactus Pear Fruits and Cactus Leaves. *Acta Hort.* 581: 191-199.
- **Schirra M., 1998.** Storage trials of cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) fruit with « non conventional» methods. Proc. International Symposium on « cactus Pear and nopalitos processing and uses». Saenz-Hernandez, C. (Ed.). *Fac. Cienc. Agr. y Forest. Univ. de Chile. FAO Inter. Coop. Network on Cactus Pear. Sept. 24-26, 1998. Santiago, Chile.* pp. 17-21.
- **Schirra M., Inglese P., et La Mantia T., 1999a.** Quality of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] fruit in relation to ripening time, CaCl₂ pre-harvest sprays and storage conditions. *Scientia Horticulturae* (81) 4: 425-436.
- **Schirra M., Inglese P., et LaMantia T., 1999b.** Epicuticular changes and storage potential of cactus pear [*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.] fruit following gibberellic preharvest sprays and postharvest heat treatment. *Postharvest Biology and Technologie* 17: 79-88.
- **Singh R.S., et Singh V., 2003.** Growth and Development Influenced by Size, Age, and Planting Methods of Cladodes in Cactus Pear (*Opuntia ficus indica*) J. PACD. 47-54.
- **Villalobos V., 1995.** Tissue culture application for *Opuntia* sp. micropropagation. In: Barbera G., Inglese P. et Pimienta-Barrios E., (eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.* FAO. Rome. Paper 132: 71-77.
- **Wagner, R.G., 1994.** Toward integrated forest vegetation management. *J. For.* 92: 26-30.
- **Walali L.D. 1997.** Le Figuier de Barbarie. Espèce fruitière d'intérêt secondaire cultivée au Maroc. *Bulletin de Liaison. PNNT. MADRPM/DERD. N° 35:* 1-2.
- **Wang C.Y., 1994.** Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29(9): 986-988.
- **Weiss J.A., Nerd A., et Mizrahi Y., 1993.** Vegetative parthenocarpy in the cactus pear *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. *Ann. Bot.* 72 : 521-526.
- **Wessels A.B., et Swart E., 1990.** Morphogenesis of the reproductive bud and fruit of the prickly pear *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. cv. Morado. *Acta Hort.* 275 : 245-253.



Note

Note

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Note

A series of horizontal dotted lines for writing notes.



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

282 Rue Mohamed Benyazid OLM Souissi,
10180 Rabat - Morocco

Tél. : +212 5 37755966

Email : pampatmaroc@unido.org