

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR. ANNABA

BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY



FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

LABORATOIRE DE BIOLOGIE VEGETALE ET ENVIRONNEMENT

## THESE

DE DOCTORAT

EN BIOLOGIE VEGETALE

**Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie  
(*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources  
naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est. Cas de  
Souk- ahras et Tébessa**

Présentée par

**NEFFAR Souad**

**Devant le jury :**

Président	: BRINIS Louhichi	Professeur (Université de Annaba)
Directeur de thèse	: BEDDIAR Arifa	Professeur (Université de Annaba)
Examineurs	: KAID HARCHE Meriem	Professeur (Université d'Oran)
	: BENSLAMA Mohamed	Maitre de conférences (Université de Annaba)
	: RAMDANI Messaoud	Professeur (Université de Sétif)

**Année universitaire 2011 /2012**

*Je dédie humblement ce travail aux trois personnes qui ont été à l'origine de ma  
réviviscence :*

*- Redjel Noureddine,*

*- Arifa Beddiar et,*

*- à la mémoire de Boukkheloua Jamal.*

## **Remerciements**

*Je dois avouer sincèrement qu'il m'est pénible de présenter en mon nom le travail d'une équipe et l'aboutissement d'un effort intellectuel partagé. Je tiens à exprimer ici mes remerciements et ma gratitude très profonde vis-à-vis des institutions et des personnes suivantes :*

*-le Haut Commissariat Au Développement de la Steppe avec ses directeurs qui se sont succédé après Mr Redjel Nourreddine : Salah Guellil, Salah Zerig, Youssfi Mohamed et Tayeb Maarifia et pour la mise à ma disposition de leurs champs, leur véhicule et l'ensemble du personnel.*

*-les populations locales pour leur collaboration sur terrain durant les années 2007- 2010, en particulier la famille Gueldaci de Ch'gaga, à leur tête Ami Youssef. Un grand merci.*

*-la directrice de cette thèse Mme Beddiar Arifa pour sa permanente présence, son soutien scientifique et moral. J'ai tant admiré votre modestie et votre dévouement à vos étudiants. J'ai surtout et particulièrement apprécié la liberté que vous m'avez laissée dans la conduite de ma thèse. Vous m'avez aidée à expérimenter et mûrir ma démarche scientifique notamment dans la structuration de mes idées et la rédaction de mon manuscrit de thèse. Je vous dois surtout l'état de réviviscence dans lequel vous m'avez plongé. Un plaisir et un honneur de vous avoir eu comme promotrice.*

*-Quant à vous, Mr Redjel Nouredine, aucun mot et aucune phrase ne peut exprimer réellement ce que j'ai toujours pensé de vous, en tant que responsable, en tant que scientifique ou en tant que personne. Il me suffit de revoir les moments d'appréhension qui m'ont accompagnés de façon permanente. Vous avez tout bonnement effacé cette peur qui me rongait de ne pouvoir réussir. Vous avez cru et eu confiance en moi et m'avez aidé à aboutir et à vivre ce moment de soutenance. Ce que vous avez fait pour moi restera une dette et s'il y a une façon de vous la rendre est d'essayer dans la mesure de mes capacités d'agir avec les autres comme vous l'avez fait avec moi. Merci Mr Redjel. On ne peut qu'être fier d'un algérien comme vous. J'espère que vous trouverez en ce modeste travail, une récompense à ce que vous avez fait pour moi.*

*-Je tiens à remercier les membres de mon jury pour le temps qu'ils m'ont accordé malgré leur charge de travail.*

*-Un grand merci au défunt Boukheloua Jamal, mon frère, surtout et tout ce qui était beau dans une relation qui s'est caractérisée par un grand sens de sérieux, de sincérité et surtout d'honnêteté. Merci pour ta patience et le temps que tu as accordé à mes nombreuses sollicitations, à discuter de mon travail et à répondre à mes multiples questions soit en statistiques ou autres. Tu n'as ménagé ni temps ni effort avec moi. J'espère faire comme toi et être toujours présente pour les autres. J'avais tant espéré que tu sois présent et de partager ce moment avec moi, mais Allah en a décidé autrement.*

*-Ma reconnaissance va également à mon amie de parcours Amel Meddad qui m'a énormément aidée dans la partie mycorhize et m'a fait bénéficier de son expérience dans ce domaine sans hésitation.*

*- Un grand merci à tous les techniciens et en particulier Ali Belhouchette qui a tout mis à ma disposition pour mener à bien mes manipulations et observations au laboratoire.*

*-Je suis redevable à tous (tes) mes amis (es) qui sont fort nombreux pour leur soutien sans faille depuis toujours surtout ma sœur et compagne de route Nadia. Leur contribution secrète n'en a pas moins été essentielle. Leur présence dans ma vie m'a été d'un grand appui.*

*-J'ajouterai une mention spéciale, mais non des moindres, à mes frères et collègues Kamel, Ahmed et Nouar qui m'ont toujours accompagné sur terrain et m'ont donné la force de continuer surtout durant certains moments difficiles où j'étais incapable de faire un pas sous l'effet de la fatigue et de l'ardent soleil.*

*-Jamais, je ne pourrai oublier le soutien et l'épaulement de mon neveu et ami Imed.*

*-A tous mes collègues qui m'ont toujours supporté surtout durant mes moments d'orages interminables.*

*Souad*

## Résumé

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) est une espèce potentiellement intéressante pour la réhabilitation des parcours dégradés de l'Est algérien.

Dans ce présent travail, nous nous sommes proposés d'évaluer les effets des plantations de figuier de Barbarie âgées de 0, 5 et 20 ans sur les caractéristiques édaphiques, pour les aspects de structure physico-chimique et microbiologique, et floristiques et d'apporter une contribution à la connaissance de la relation symbiotique de ce végétal avec les champignons mycorhiziens présents dans sa rhizosphère.

Ces plantations sont localisées le long d'un transect de 185 km Nord-Sud des wilayates de Souk Ahras et Tébessa (zone semi aride de l'Est algérien) dans 3 stations: Sidi Fradj (wilaya de Souk Ahras), Anba et M'zara (wilaya de Tébessa). Dans chaque station, des échantillons de sol ont été prélevés et ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques telles que l'humidité, le pH, la conductivité électrique, les taux de calcaire total et calcaire actif, le taux de matière organique, les teneurs en azote et en phosphore total et assimilable et le ratio C/N. L'étude de la végétation a permis d'estimer le taux de recouvrement, l'abondance, la richesse spécifique et la diversité. Quant à la mycorhization, elle a été évaluée par la fréquence et l'intensité de colonisation, la biodiversité sporale et le potentiel mycorhizogène du sol (MPN).

Les résultats ont montré que l'âge des plantations avait des effets statistiquement significatifs sur certains paramètres du sol, à savoir le taux de matière organique, l'humidité et le taux de calcaire actif. Il a, aussi, un effet significatif sur la végétation par l'amélioration du taux de recouvrement du sol. Cette étude a révélé, également, que le figuier de Barbarie développe une association mycorhizienne de type arbusculaire, mais il n'y a aucun effet significatif de l'âge des plantations sur les paramètres de mycorhization.

La recherche des spores a montré une faible biodiversité fongique traduite par la présence d'un seul genre : *Glomus*. Il est à noter également que les parcelles plantées ont présenté un MPN plus élevé que celui des témoins.

Ainsi, les plantations de figuier de Barbarie pourraient contribuer à l'amélioration de certains paramètres édaphiques et fongiques et enrichir la biodiversité végétale des écosystèmes steppiques algériens et l'approche d'évaluation des impacts des actions de réhabilitation des parcours naturels de la steppe peut être développée pour la production d'outils d'aide à la décision des programmes de lutte contre la désertification.

**Mots clés :** steppes est-algériennes, désertification, plantations, *Opuntia ficus indica*, propriétés édaphiques, taux de recouvrement, mycorhizes.

## Abstract

The Prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) is a potentially interesting species to be considered for Algerian Eastern steppes rangeland biological reclamation.

In this work, we proposed to prospect the impact assessment of prickly pear plantations (0, 5, and 20 years old) on soil characteristics, plant biodiversity and contribute to the knowledge of the symbiotic relation of *Opuntia ficus indica*.

The Prickly pear plantations, located in three stations along a transect of 185 km in a semi arid zone of Eastern Algeria, and three stations, with control fields, were chosen in which soil were sampled for physico-chemical analysis: pH, electrical conductivity, water content, the rates of total and active calcareous, organic matter, nitrogen, available and total phosphorus and ratio C/N.

Besides that, cover rates, abundance, specific richness and plant diversity were observed and evaluated. And mycorrhizal parameters studied are: infectivity and intensity frequency, sporal biodiversity and infectious potential (MPN).

The results obtained showed statistical significant effects of Prickely pears plantation age on organic matter, water content, active calcareous and soil cover rates. It has been noted, also, that *Opuntia ficus indica* develops AM symbiosis with an infectious potential greater than control areas. *Opuntia* sp rhizosphere is dominated by only genus of fungi: *Glomus*.

These results suggest that *Opuntia ficus indica* plantations in semi arid zones could contribute to improve soil conditions, plant species abundance and biodiversity of the Algerian steppes ecosystems. And the impact evaluation approach of the rehabilitation actions can be developed for producing aided decision tools for further combating desertification programs.

**Key-words:** Algerian steppes, desertification, plantation, *Opuntia ficus indica*, soil properties, plant cover, mycorrhiza .

## الملخص

يعتبر التين الشوكي (*Opuntia ficus indica* L.) من النباتات الشحمية ذات الاحتياجات البيئية القليلة والتي لها القدرة على تحمل الظروف البيئية الصعبة, و بهدف معرفة مدى مساهمة هذا النبات في إعادة تأهيل النظام السهبي المتدهور تم اختيار غراسات فتية (أقل من 5 سنوات) وأخرى مسنة (أكثر من 20 سنة) على مستوى 3 محطات في منطقة شبه جافة شمال جنوب تبسة : سيدي فرج , العنبة, ومزارة.

من الخصائص التي تم دراستها : درجة الحموضة, الناقلية الكهربائية, نسبة المادة العضوية, نسبة الأزوت الكلي, كمية الأزوت الكلي, كمية الفسفور الكلي و الميسر, نسبة الكلس الكلي والفعال, الحاصل C/N , كما تم تقدير نسبة التغطية, عدد أنواع النباتات, مؤشر التنوع, نسبة إصابة الجذور بالفطريات الميكوريزية, تنوع الأبواغ وقدرة التربة على الإصابة الميكوريزية.

أثبتت النتائج المتحصل عليها أن سن الغراسات لم يؤثر على كل معايير التربة, ما عدا نسبة المادة العضوية في محطتي سيدي فرج والعنبة, كما أن نسبة التغطية النباتية كانت مرتفعة في المساحات المغروسة مقارنة بالشاهد, أما فيما يخص الميكوريزات, تبين أن التين الشوكي ذو علاقة تعايشية من نوع AM مع وجود أبواغ تنتمي جملها لجنس *Glomus*.

وفي الختام يمكن لغراسات التين الشوكي أن تساهم في تحسين بعض خصائص النظام البيئي السهبي المتدهور.

## الكلمات المفتاحية

السهوب الجزائرية الشرقية , التصحر , الغراسات , *Opuntia ficus indica* L. , إعادة تأهيل, التربة, الغطاء النباتي, الميكوريزات.

## Table des matières

<i>Résumés</i> .....	<i>i</i>
<i>Table des matières</i> .....	<i>iv</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>ix</i>
<i>Liste des tableaux et des planches</i> .....	<i>xi</i>
<i>Liste des abréviations</i> .....	<i>xii</i>
<i>Liste des annexes</i> .....	<i>xiii</i>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>01</b>
<b>Chapitre 1 : Etat des connaissances</b>	
1. Contexte : l’Afrique et les expériences de lutte contre la désertification	<b>06</b>
2. L’Algérie : Problèmes et enjeux.....	<b>10</b>
3. Appendice.....	<b>13</b>
3.1. <i>Opuntia ficus indica</i> : espèce de choix pour la réhabilitation de l’écosystème steppique algérien.....	<b>13</b>
3.1.1. Origine et diffusion.....	<b>14</b>
3.1.2. Biologie et écologie .....	<b>15</b>
3.1.2.1. Position systématique.....	<b>15</b>
3.1.2.2. Biologie .....	<b>16</b>
3.1.2.3. Exigences écologiques.....	<b>20</b>
3.1.3. Importance économique et écologique.....	<b>20</b>
3.1.3.1. Importance écologique.....	<b>20</b>
3.1.3.2. Importance économique.....	<b>21</b>
3.2. <b>La mycorhizosphère</b> : un microcosme à explorer.....	<b>24</b>
3.2.1. La symbiose mycorhizienne : concepts généraux.....	<b>24</b>
3.2.2. Les endomycorhizes à arbuscules.....	<b>25</b>
3.2.2.1. Les différentes structures des CMA.....	<b>26</b>
3.2.2.2. Le cycle de vie d’un champignon MA.....	<b>29</b>

3.2.2.3	Classification des champignons mycorhizogènes.....	30
3.2.2.4.	Critères de classification des champignons MA.....	31
3.2.2.5.	Rôle écologique des champignons MA.....	34
3.2.2.6.	Notion d'infectivité mycorhizienne des sols.....	34

## Chapitre 2 : Etude du milieu

1.	Délimitation géographique de la steppe algérienne.....	36
1.1.	Climat.....	36
1.1.1.	Pluviosité.....	37
1.1.2.	Température.....	37
1.2.	Sol.....	37
1.3.	Végétation.....	37
2.	Présentation de la zone et des stations d'étude.....	38
2.1.	Station de Sidi Fradj.....	38
2.1.1.	Relief.....	38
2.1.2.	Climat.....	39
2.2.	Station de Anba.....	40
2.2.1.	Relief.....	40
2.2.2.	Climat.....	40
2.3.	Station de M'zara.....	41
2.3.1.	Relief.....	41
2.3.2.	Climat.....	42

## Chapitre 3. Méthodologie

1.	Dispositif expérimental.....	43
2.	Méthodes d'étude.....	43
2.1.	Sélection des parcelles et prélèvement des échantillons de sol.....	43
2.2.	Analyses physico-chimiques.....	46
2.3.	Méthodes d'étude de la végétation.....	47
2.3.1.	Technique d'échantillonnage de la végétation.....	47
2.3.2.	Paramètres étudiés.....	48
2.3.2.1.	Taux de recouvrement.....	48
2.3.2.2.	Abondance.....	48
2.3.2.3.	Richesse spécifique.....	48

2.3.2.4. Indice de Shannon et d'équitabilité.....	48
2.3.2.4.1. Indice de Shannon.....	48
2.3.2.4.2.Indice d'équitabilité de Piélou.....	49
2.4. Méthodes d'étude des mycorhizes.....	49
2.4.1. Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne.....	49
2.4.1.1. Préparation des racines.....	49
2.4.1.2. Estimation de la colonisation racinaire.....	50
2.4.2. Biodiversité des spores fongiques.....	50
2.4.2.1. Extraction des spores fongiques.....	50
2.4.2.2. Observation des spores et conservation.....	52
2.4.3. Estimation du potentiel mycorhizogène du sol(MPN).....	53
3. Traitements statistiques des données.....	54

## **Chapitre 4. Résultats et discussion**

<b>I. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur quelques paramètres édaphiques.....</b>	<b>56</b>
1. Introduction.....	56
2. Résultats.....	56
2.1. pH.....	56
2.2. Conductivité électrique.....	58
2.3. Taux d'humidité.....	59
2.4. Taux de calcaire total.....	60
2.5. Taux de calcaire actif.....	61
2.6. Taux de matière organique.....	62
2.7. Taux d'azote total.....	63
2.8. Taux de phosphore assimilable.....	64
2.9. Taux de phosphore total.....	64
2.10. Rapport C/N.....	65
3. Discussion.....	66
4. Conclusion.....	74

<b>II. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur les paramètres de végétation.....</b>	<b>75</b>
1. Introduction.....	75
2. Résultats.....	75
2.1. Taux de recouvrement.....	75
2.2. Abondance moyenne.....	78
2.3. Richesse moyenne.....	80
2.4. Variation des indices de Shannon et d'équitabilité.....	82
2.5. Colonisation végétale dans les plantations de figuier de Barbarie.....	84
2.5.1. Sidi Fradj.....	84
2.5.2. Anba.....	86
2.5.3. M'zara.....	86
2.6. Analyse en composantes principales.....	88
3. Discussion .....	92
4. Conclusion.....	100

<b>III. Effet de l'âge des plantations du figuier de Barbarie sur les paramètres de mycorhization.....</b>	<b>102</b>
1. Introduction.....	102
2. Résultats.....	103
2.1. Statut mycorhizien du figuier de Barbarie.....	103
2.2. Dynamique saisonnière de la colonisation racinaire par les CMA.....	104
2.2.1. Variation saisonnière de la fréquence de colonisation dans les 3 stations durant l'année 2008/2009.....	105
2.2.2. Variation saisonnière de l'intensité de colonisation dans les 3 stations durant l'année 2008/ 2009.....	107
2.3. Relation entre les paramètres de mycorhization, les paramètres du sol et de la végétation.....	107
2.4. Biodiversité sporale inféodée à la rhizosphère du figuier de Barbarie...	110
2.5. Variation saisonnière du potentiel mycorhizogène dans les 3 stations.....	119
3. Discussion .....	121

3.1. Variation des paramètres de colonisation racinaire dans les différentes plantations des 3 stations.....	121
3.2. Diversité sporale dans les 3 stations.....	124
3.3. Variation saisonnière du potentiel mycorhizogène dans les 3 stations.....	125
4. Conclusion.....	128
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>130</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>133</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>154</b>

## Liste des figures

Page

Figure 1. Zones sèches	08
Figure 2. Distribution géographique du figuier de Barbarie	15
Figure 3. Le figuier de Barbarie : différentes parties de la plante	18
Figure 4 . Raquettes coupées pour la consommation par le bétail	23
Figure 5a . Bouturage direct dans la station de Sidi Fradj	23
Figure 5b. Effet du bouturage direct (Station Sidi Fradj)	23
Figure 6 . Ruches dans une plantation de figuier de Barbarie	24
Figure 7. Les différents types de mycorhizes	25
Figure 8. les différentes structures des CMA	27
Figure 9. Vésicules	28
Figure 10. Arbuscules	29
Figure 11. Cycle de vie d'un champignon MA	30
Figure 12. Classifications des champignons endomycorhiziens	33
Figure 13. Délimitation géographique des steppes algériennes	36
Figure 14. Localisation de la zone et des stations d'étude	39
Figure 15. Diagramme ombrothermique de la station de Sidi Fradj	40
Figure 16. Diagramme ombrothermique de la station de Anba	41
Figure 17. Diagramme ombrothermique de la station de M'zara	42
Figure 18. Vue des différentes parcelles d'étude et leurs témoins	44
Figure 19. Types de plantation	45
Figure 20. Fragments racinaires de figuier de Barbarie montés entre lames et lamelles	50
Figure 21. Barème de classe de la colonisation endomycorhizienne	51
Figure 22. Technique d'extraction des spores par tamisage humide	52
Figure 23. Les étapes de la technique du MPN	54
Figure 24. Effets de l'âge des plantations sur le pH	58
Figure 25. Effets de l'âge des plantations sur la CE	59
Figure 26. Effets de l'âge des plantations sur le taux d'humidité	60
Figure 27. Effets de l'âge des plantations sur calcaire total	60

Figure 28. Effets de l'âge des plantations sur calcaire actif	62
Figure 29. Effets de l'âge des plantations sur matière organique	63
Figure 30. Effets de l'âge des plantations sur l'azote total	64
Figure 31. Effets de l'âge des plantations sur phosphore assimilable	65
Figure 32. Effets de l'âge des plantations sur le phosphore total	65
Figure 33. Effets de l'âge des plantations sur le ratio C/N	66
Figure 34. Application du fumier dans les plantations de Sidi Fradj	68
Figure 35. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur le taux de recouvrement dans les 3 stations durant les années 2008, 2009 et 2010	77
Figure 36. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur l'abondance moyenne dans les 3 stations durant les années 2008, 2009 et 2010	79
Figure 37. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur la richesse spécifique dans les 3 stations durant les années 2008, 2009 et 2010	81
Figure 38. Variation des indices de Shannon et d'équitabilité dans les stations durant les années 2008, 2009 et 2010	83
Figure 39. Cercle des corrélations	90
Figure 40. Diagramme des individus	91
Figure 41. Etablissement de la végétation au pied de l'arbuste	98
Figure 42. Variation saisonnière de la fréquence de colonisation dans les 3 stations	106
Figure 43. Variation saisonnière de l'intensité de colonisation dans les 3 stations	108
Figure 44. Variation saisonnière du MPN dans les stations de Sidi Fradj, Anba et M'zara	120

<b>Liste des tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1.</b> Les utilisations du figuier de Barbarie	24
<b>Tableau 2.</b> Classification des CMA	31
<b>Tableau 3.</b> Caractéristiques des stations d'étude	46
<b>Tableau 4a,b,c.</b> Analyse granulométrique des parcelles	56
<b>Tableau 5.</b> Colonisation végétale dans les plantations de figuier de Barbarie dans la station de Sidi Fradj	85
<b>Tableau 6.</b> Colonisation végétale dans les plantations de figuier de Barbarie dans la station de Anba	87
<b>Tableau 7.</b> Colonisation végétale dans les plantations de figuier de Barbarie dans la station de M'zara	88
<b>Tableau 8.</b> Coefficients de corrélation de Pearson entre les variables du sol, de la végétation et des paramètres de mycorhization	109

<b>Liste des planches</b>	<b>Page</b>
<b>Planche 1.</b> Les manifestations de la colonisation racinaire	104
<b>Planche 2.</b> Biodiversité sporale dans les 3 stations d'étude	111
<b>Planche 3.</b> Fiche descriptive du morphotype 1	112
<b>Planche 4.</b> Fiche descriptive du morphotype 2	113
<b>Planche 5.</b> Fiche descriptive du morphotype 3	114
<b>Planche 6.</b> Fiche descriptive du morphotype 4	115
<b>Planche 7.</b> Fiche descriptive du morphotype 5	116
<b>Planche 8.</b> Fiche descriptive du morphotype 6	117
<b>Planche 9.</b> Fiche descriptive du morphotype 7	118

## Liste des abréviations

**ADEP** : Association de Développement de l'Élevage Pastoral.

**AFESD** : Fond Arabe pour le Développement Social et Economique.

**CEPRA** : Coopératives d'Élevage Pastoral de la Révolution Agraire.

**CMA** : Champignons mycorhiziens à arbuscules.

**CNUED** : Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement.

**CNULD** : Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification.

**ICARDA** : Centre International de Recherche Agricole dans les zones Arides.

**IDRC** : Centre de Recherche pour le Développement International

**IFAD ou FIDA** : Fond International de Développement Agricole

**IFPRI** : Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires

**INVAM** : the International Culture Collection of Arbuscular and Vesiculo Arbuscular Endomycorrhizal Fungi.

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

**HCDS** : Haut Commissariat au Développement de la Steppe.

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

**MEA** : Evaluation des écosystèmes pour le millénaire (Millenium ecosystem assessment).

**MPN** : Nombre le plus probable (Most Probable Number).

**PMI** : Potentiel mycorhizogène infectieux.

**PPM** : Partie par million.

**SCDB** : Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique.

**UNEP**. Programme Environnemental des Nations Unies.

**WANA** : Ouest d'Asie et le Nord africain (West Asia and North Africa)

<b>Liste des annexes</b>	<b>Page</b>
<b>Annexe 1.</b> Fiche technique et données climatiques	<b>154</b>
<b>Annexe 1.1.</b> Fiche technique	
<b>Annexe 1.2.</b> Données climatiques des stations d'étude	
<b>Annexe 2.</b> Sol : Méthodes d'analyses, Résultats et Statistiques	<b>161</b>
<b>Annexe 2.1.</b> Les méthodes d'analyse du sol	
<b>Annexe 2.2.</b> Les résultats des analyses	
<b>Annexe 2.3.</b> Les traitements statistiques	
<b>Annexe 3.</b> Végétation. Résultats . Statistiques	<b>177</b>
<b>Annexe 3.1.</b> Résultats	
<b>Annexe 3.2.</b> Statistiques	
<b>Annexe 4.</b> Mycorhizes. Résultats. Statistiques	<b>187</b>
<b>Annexe 4.1.</b> Méthodes d'étude	
<b>Annexe 4.2.</b> Résultats	
<b>Annexe 4.3.</b> Statistiques	

**Publication :**

**Neffar, S. ; Beddiar, A. ; Redjel, N. et Boulkheloua, J. 2011.** Effets de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) sur les propriétés du sol et la végétation à Tébessa (zone semi-aride de l'est algérien). *Ecologia mediterranea*, 37(1) : 5-15.

## *Introduction générale*

La désertification, les changements climatiques et la perte de la diversité biologique sont des problématiques cruciales pour les régions sèches du monde, en particulier pour l'Afrique où ils conjuguent leurs effets pour éprouver les efforts de développement des pays et concomitamment les moyens de vie des populations. L'Afrique est le continent le plus frappé par la désertification. En effet, environ un milliard d'hectares et un milliard de populations fragiles sont concernés par ce phénomène (Mulas & Mulas, 2004).

En Algérie, depuis près de quatre décennies, de nombreux travaux effectués ont mis en relief une dégradation progressive de la couverture végétale de la steppe et du sol. Comme conséquence directe de cette situation, une désertification du milieu s'installe et se développe. D'énormes potentialités en termes de ressources naturelles risquent d'être irréversiblement compromises par l'évolution du climat et les mutations sociales et des activités socio-économiques dans le milieu steppique qui s'étend sur une superficie de 20 millions d'hectares (Djebaili, 1984) et qui reste l'ultime barrière naturelle contre l'avancée du désert.

Ce phénomène connaît une tendance haussière pour lequel une stratégie de lutte active s'impose afin de sauvegarder, non seulement, la fertilité naturelle des milieux à risque mais, aussi son rétablissement là où cela est techniquement possible. Son impact se traduit par les perturbations observées dans la structuration du couvert végétal (diversité spécifique, taux de couverture et abondance) et de l'érodabilité de la couche arable du sol et de la perte de sa fertilité. Parallèlement, la dégradation du couvert végétal aggrave les effets néfastes des processus d'érosion éolienne et hydrique sur la qualité de la structure des sols, en altérant leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

La progression de ce phénomène, qui est passée de 4 millions d'hectares durant les années soixante dix à 5 millions d'hectares en 1985 et 7.5 millions d'hectares en 1995 (Bensouiah, 2003) a nécessité depuis plus d'un demi-siècle l'implémentation de programmes visant à la protection et la restauration des écosystèmes steppiques. Ils ont concerné dans leur essence, les aspects de :

- **l'organisation des parcours** durant la fin des années 60 et 70, par la création des Associations de Développement de l'Elevage Pastoral (ADEP) et des Coopératives

d'Elevage Pastoral de la Révolution Agraire (CEPRA), pour rationaliser l'exploitation des ressources naturelles des pâturages qui a été accompagnée de développement de techniques de mise en valeur de la steppe mais, qui sont restées circonscrites aux 350 000 hectares que représentaient les ADEP et CEPRA et non reproduites à l'échelle du territoire de la steppe.

- **l'intervention d'envergure nationale** par le lancement du Barrage Vert durant les années 70, en tant que réponse à la maîtrise du phénomène de désertification, conçu comme une barrière biologique pour lutter contre la progression du désert.
- **le développement intégré de la steppe** par la mise en place du programme steppe 1985-1989 visant à développer des approches d'intervention, des référentiels techniques et un arrangement institutionnel adapté.
- **la valorisation et généralisation des acquis méthodologiques, organisationnels et techniques**, par le lancement du programme des Grands Travaux en Steppe en 1994 qui reposait sur la participation des acteurs de développement et particulièrement les communautés pastorales.

Cette évolution dans la conception des programmes de développement des parcours steppiques traduit dans les faits les politiques agricoles de chacune des périodes sus mentionnées. Cette volonté publique, de maîtrise et de contrôle de la désertification des ressources naturelles de la steppe, a fait l'objet de travaux d'étude et de recherche permettant d'en évaluer son impact.

À cet effet et à l'exception du Sud oranais qui a connu un suivi régulier par un bon nombre de chercheurs, soit sur le plan écologique ou socio-économique (Le Houérou, 1985 ; Bedrani & Elloumi, 1996 ; Aidoud, 1997 ; Nedjraoui, 2004 ; Nedjraoui & Bedrani, 2008), l'espace steppique algérien, en particulier les steppes orientales, n'ont pas bénéficié d'une attention régulière, systématique et coordonnée, malgré l'état de détérioration qu'elles ont atteint.

Les recherches et les études, sont pour la plupart ponctuelles, surtout celles qui portent sur l'évaluation des impacts des programmes de restauration ou de réhabilitation des parcours steppiques qui restent limitées, voire même inexistantes et se sont focalisées sur les aspects de la structure de végétation principalement.

L'objectif principal de cette thèse s'inscrit dans une optique d'évaluation des impacts du plan d'action national (PAN), de lutte contre la désertification et la dégradation des ressources naturelles des parcours, par la mise en œuvre d'actions de réhabilitation pastorale, à même de créer une dynamique permettant une remontée biologique.

Cette évaluation intègre, outre les aspects de la structure de végétation, l'évolution de la structure physico-chimique et de microbiologie des sols. Ces deux variables ont été très peu étudiées, ce qui constitue une nouveauté dans les approches d'évaluation des techniques de réhabilitation des ressources naturelles de la steppe.

Cet objectif consacré à l'évaluation de la réhabilitation de l'écosystème steppique au sens de la définition retenue par la « Society for Ecological Restoration » : la réhabilitation vise à réparer aussi rapidement que possible les fonctions (résilience et productivité) endommagées ou tout simplement bloquées d'un écosystème en le repositionnant sur une trajectoire favorable (naturelle ou autre) (Aronson *et al.*, 1995). Elle nécessite fréquemment un « démarrage forcé » d'une nouvelle trajectoire de l'écosystème, en ayant recours dans notre cas, aux plantations fourragères, cas du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) qui présente de multiples avantages tant économiques qu'écologiques.

Pour répondre à cet objectif, l'étude a été effectuée dans trois (03) stations appartenant à deux (02) wilayates situées à l'Est algérien (Tébessa et Souk Ahras) durant trois années successives (2008, 2009 et 2010). Les stations choisies se situent sur un transect de 185 km : de la commune de Sidi Fradj au Sud de Souk Ahras, à Anba et M'zara respectivement au Nord et au Sud de Tébessa. La zone d'étude est à vocation pastorale à agropastorale et les stations sont extrêmement touchées par les effets de la désertification. Ces dernières présentent des aspects relativement différents (pédologique et climatique) avec un aspect en dénominateur commun, leur profonde dégradation.

Pour cela, l'étude a commencé par une enquête rassemblant le maximum d'informations sur les parcelles d'étude (Annexe 1.1. Fiche technique). Des prélèvements de sol, des relevés floristiques et racinaires ont été également effectués.

Ces éléments sont déterminants dans l'articulation du cadre conceptuel de cette thèse qui a été structuré autour de 3 hypothèses de travail et des questions qui en découlent. Etant morphologiquement et physiologiquement résistant, le figuier de Barbarie serait-il capable de déclencher le processus de revégétation dans ces milieux dégradés ? Pour répondre à cette question, des objectifs spécifiques sont fixés :

- i) les relations entre les plantations et les propriétés du sol.
- ii) les relations entre les plantations et les paramètres de végétation.
- iii) les relations entre le végétal et la diversité fongique dans sa rhizosphère.

**Hypothèse 1.** Les plantations de figuier de Barbarie améliorent les caractéristiques édaphiques.

*Question :* Quelles sont les propriétés du sol qui répondent positivement ou négativement à la présence de l'*Opuntia* sp ?

**Hypothèse 2.** Les plantations de figuier de Barbarie favorisent la régénération floristique dans les parcelles plantées.

*Question :* Quels sont les indices de composition et de structure qui sont les plus affectés par la présence de l'*Opuntia* sp?

**Hypothèse 3.** Le figuier de Barbarie développe une symbiose mycorhizienne.

*Question 1.* De quel type d'association s'agit-il ?

*Question 2.* Le taux de colonisation racinaire varie-t-il dans l'espace et dans le temps ?

*Question 3.* Ya t-il une biodiversité sporale inféodée à la rhizosphère du figuier de Barbarie ?

*Question 4.* La présence du figuier de Barbarie améliore t-elle le potentiel mycorhizogène du sol ?

Cette thèse est composée de 4 chapitres. Après une introduction générale incluant les objectifs sous-tendant la présente étude, il y a :

**Chapitre 1 :** Etat des connaissances

**Chapitre 2** : Etude du milieu

**Chapitre 3** : Méthodologie

**Chapitre 4** : Résultats et discussions qui sont présentés comme suit :

- **I** : Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur les propriétés édaphiques.
- **II** : Effet de l'âge des plantations sur quelques paramètres de composition et de structure floristiques.
- **III** : Effet de l'âge des plantations sur quelques paramètres liés à la mycorhization.

Chaque chapitre contient une discussion des principaux résultats obtenus. Les 4 chapitres se terminent par une conclusion générale et des perspectives, suivis par l'ensemble des références bibliographiques exploitées et une série d'annexes.

En conclusion, cette étude essaiera donc de réunir plusieurs paramètres environnementaux issus d'études pédologique, floristique et microbiologique pour mettre en relief les effets des plantations du figuier de Barbarie sur l'amélioration de l'état des parcours steppiques algériens. Ceci permettra de faire des suggestions et des recommandations sur la valorisation de ce végétal en Algérie.

## ***Chapitre 1 : Etat des connaissances***

## 1. Contexte : l'Afrique et les expériences de lutte contre la désertification

« *Le désert ne remonte pas du Sahara mais se forme sur place* » (Callot, 1987).

Le concept de « *Désertification* » a fait l'objet de nombreuses définitions, discussions et controverses intellectuelles. Plusieurs termes ont été proposés par les spécialistes des régions arides : désertisation et désertion (Wornall, 2000), extension des déserts et avancement des déserts (Nahal, 2004). Les écologues francophones ont adopté le terme « désertisation » alors que les anglophones ont préféré celui de « désertification ». Parmi les nombreuses définitions qui ont été avancées pour caractériser les phénomènes et les processus couverts par le terme « désertification », on se limitera à en rappeler quelques unes :

- i. Le Houerou (1968) définit la désertification comme la réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal aboutissant à l'extension irréversible des paysages désertiques nouveaux, caractérisés par des regs, des hamadas et des ensembles dunaires, à des zones qui n'en présentaient pas le caractère. Cette définition a été reprise par plusieurs auteurs, mais non retenue à la Conférence des Nations Unies sur la Désertification (Nairobi, Kenya, 29 août - 9 septembre 1977) où elle parût trop restrictive (Nahal, 2004).
- ii. Duchauffour (2001) la définit comme une dégradation des paysages et des sols qui affecte les zones à climat aride et semi aride. Elle se manifeste sous forme d'une érosion pluviale et éolienne combinée, le plus souvent aboutit à une évolution pédologique défavorable. Ce processus affecte l'ensemble de l'écosystème qui est, soit une forêt sclérophylle claire, soit une savane arborée, parfois une steppe à élément ligneux et détruit l'équilibre sol-végétation. Cet état se produit principalement dans les zones semi-arides dont la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 600 mm.
- iii. A présent, la définition qui est retenue par les scientifiques et la communauté internationale, fondée sur des références climatiques est celle qui a été décidée en juin 1992 à Rio par la Conférence Internationale sur l'Environnement et le Développement (CNUED) et conformément à l'échéance fixée, la Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification (CNULD) dans les pays gravement touchés par la sécheresse et /ou la désertification, en particulier en Afrique,

a été adoptée le 17 juin 1994, à Paris , par 115 pays y compris l'Algérie. C'est la dégradation des terres dans les zones arides, semi arides et subhumides sèches due à des facteurs divers parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines (Sivakumar, 2007).

- iv. La FAO s'appuie sur des considérations de type agronomique en la définissant comme un processus qui entraîne une diminution de la productivité biologique et en conséquence, une réduction de la biomasse végétale, de la capacité utile des terres pour l'élevage, des rendements agricoles, et une dégradation des conditions de vie pour l'homme (Arnold & Simon, 2007).

Ainsi comprise, la désertification apparaît comme un stade ultime de la dégradation du milieu naturel se traduisant d'une part par une disparition du couvert végétal et d'autre part par une accélération des processus d'érosion engendrant un accroissement de l'aridité de ce milieu et une baisse de la fertilité du sol. Il est bien évident que cette dégradation est d'autant plus rapide que celui-ci est plus fragile et que la pression humaine ou animale qui s'exerce sur lui est plus forte. Cette fragilité est déterminée par les facteurs physiques et biologiques qui caractérisent le milieu naturel, mais c'est de l'action de l'homme que dépendra en définitive l'état de l'écosystème. Les faciès désertiques apparaissent à partir d'un certain stade de dégradation au-delà duquel les mécanismes naturels de régénération deviennent insuffisants pour rétablir l'équilibre de l'écosystème.

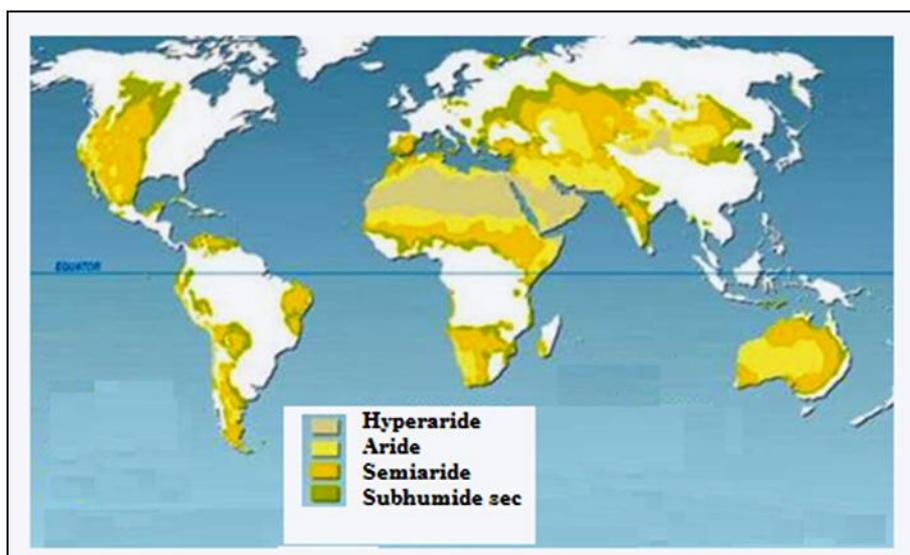
Rappelons que les zones arides représentent plus de 41% du globe terrestre (Fernandez, 2002), abritent plus de 2 milliards de personnes (SCDB, 2010) et touchent environ 100 pays répartis sur tous les continents. Les zones arides et semi arides du Nord de l'Afrique occupent plus de 60 millions d'hectares. La partie correspondant aux parcours pastoraux occuperait de 33 à 48 millions d'hectares des 63 millions d'hectares de la zone aride, dont environ 34 % en Algérie, 31 % en Libye, 19 % au Maroc, 11 % en Tunisie et 5 % en Egypte (Aidoud *et al.*, 2006). Parce qu'il concerne les populations les plus pauvres, vivant essentiellement de leurs ressources naturelles menacées, le processus de désertification est un défi pour l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD).

Les zones sèches couvrent essentiellement la zone circum-saharienne avec une légère extension en Afrique australe (Figure 1). Ces régions se caractérisent par une importante

variabilité climatique ; en témoignent la baisse de la pluviométrie et la hausse des températures, avec des conséquences négatives sur les écosystèmes et les systèmes de production, faisant de cette partie du monde l'une des zones les plus vulnérables face aux changements climatiques (GIEC, 2007).

L'implication de l'homme dans cet état est indéniable, largement démontrée et la sécheresse n'a été que révélatrice de ce phénomène. La pluviosité moindre et sa variabilité plus grande ont accru la vulnérabilité des ressources naturelles à la dégradation, et il est devenu moins facile aux systèmes écologiques et sociaux de résister. Il a été d'ailleurs, observé que l'impact de ces sécheresses est faible ou négligeable là où l'impact humain et animal est faible ou nul. En effet, la végétation et les sols des régions arides se sont adaptés à des conditions de sécheresses récurrentes au cours des siècles et des millénaires passés acquérant une capacité à récupérer leurs caractéristiques après perturbation : c'est la résilience (SCDB, 2010). Donc, l'accentuation des phénomènes de sécheresse n'est pas à l'origine de la désertification, mais elle constitue un facteur important d'aggravation de l'effet anthropique sur la dégradation des terres en zones sèches.

En 1973, les pays du Sahel constituèrent un centre de contrôle de la désertification. En 1977, la Conférence des Nations Unies sur la Désertification fonda le Programme Environnemental des Nations Unies (UNEP) et établit un plan d'action du contrôle de ce phénomène.



**Figure 1.** Zones sèches (MEA, 2005).

En juin 1994, les pays sérieusement frappés par la sécheresse ou les phénomènes de désertification, en particulier en Afrique, adoptèrent la Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification (CNULD). En vue de contrôler ce fléau et de gérer les ressources naturelles, 238 projets ont été adoptés focalisant leurs activités sur plusieurs fronts (Mulas & Mulas, 2004):

- la gestion des ressources hydriques,
- la promotion des productions agricoles,
- le contrôle de l'érosion (renforcement des digues et des dunes),
- la promotion de l'agroforestation : construction des pépinières, reboisement, la mise en place de brises vents,
- le développement de la pisciculture,
- la planification et gestion des plantations et des forêts,
- l'apiculture,
- la promotion d'activités zootechniques (production de fourrage, gestion des pâturages), l'aménagement hydraulique à proximité des centres habités,
- et l'exploitation de l'énergie solaire pour le réchauffage de l'eau ou pour l'éclairage des habitations ainsi que d'autres activités accessoires: alphabétisation, santé et communications.

Il est notoire que les résultats de ces activités varient entre réussite et échec. Cependant, le reboisement est l'activité qui a sans doute joué le rôle prédominant dans la lutte contre la désertification (Berthe, 1997). La présence du végétal garantit non seulement la couverture du sol, offre une protection contre l'érosion, règle le niveau des nappes d'eau, mais constitue aussi une ressource alimentaire potentielle (fourrage) et est à l'origine d'autres produits non alimentaires (bois à brûler).

Toutefois, le reboisement des terres frappées par la désertification n'est pas une tâche facile : il s'agit de zones arides où la croissance des plantes est lente et la distribution des pluies est irrégulière. Cette situation impose l'utilisation d'espèces dont les caractéristiques permettent de tolérer des conditions de vie pratiquement impossibles : des sols pierreux sans horizons organiques, des régimes de pluies inférieurs à 300 mm et des concentrations salines élevées.

Une liste d'espèces végétales plus ou moins rustiques et à croissance rapide a fait l'objet de programmes de reboisement, soit dans la région méditerranéenne ou dans certains pays d'Afrique, cas du Niger et du Mali : *Eucalyptus* sp, *Tamarix aphylla*, *Tamarix stricta*, *Ficus* sp, *Acacia cyclops*, *Acacia cyanophylla*, *Euphorbia balsamifera* et *Prosopis juliflora*, *Retama raetam* (Nahal, 2004 ; Mulas & Mulas, 2004).

Toutefois, ces expériences de reboisement n'ont pas toujours donné de bons résultats en raison des exigences écologiques des espèces utilisées et de la nécessité d'exclure rigoureusement de pâturage les zones reboisées (exigence qu'il n'est pas toujours facile de respecter).

Afin d'initier le concept du développement durable, de meilleures perspectives se sont alors présentées, grâce à l'utilisation d'espèces arborescentes et arbustives à valence fourragère dans différentes zones du globe : zone méditerranéenne, Afrique du Sud, Chili, Brésil et Etats Unies (Le Houerou, 1996).

La zone méditerranéenne à elle seule, est concernée par la culture de 1 million d'hectares d'arbres et d'arbustes qui présentent de multiples avantages (Mulas & Mulas, 2004) :

- une arido-résistance et une capacité de production de la biomasse dans des conditions marginales, donc pourvoyance d'une source alimentaire pour le bétail, surtout en période de disette,
- elles exigent moins d'investissement que la céréaliculture,
- elles peuvent favoriser la sédentarisation des populations nomades et constituer une source de revenus pour les familles par la vente du fruit,
- et elles peuvent contrôler l'érosion et modifier le microclimat de la région (ombre et production de litière).

## 2. L'Algérie: problèmes et enjeux

Par sa position géographique, entre l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud et son étendue avec plus de 20 millions d'hectares (Djebaili, 1984), la steppe algérienne est une bande dont la largeur va en diminuant d'Ouest en Est et est située entre les isohyètes 100 et 400 mm. Cette zone est vue comme un tampon qui agit comme rempart contre l'avancée du désert vers le Nord de l'Algérie. Elle joue un rôle capital dans l'équilibre écologique des différentes zones naturelles du pays et constitue par ses richesses naturelles le support de

nombreuses activités économiques, marquées particulièrement par le pastoralisme. Cette steppe subit une dégradation dont le rythme et l'intensité s'accroissent de plus en plus, engendrant une réduction du potentiel biologique et une rupture des équilibres écologiques et socio-économiques (Le Houerou, 1985 ; Aidoud, 1997 ; Nedjraoui, 2004).

A l'instar des autres pays d'Afrique, l'Algérie a connu durant les dernières décennies une grande variabilité interannuelle des précipitations avec une diminution annuelle qui s'est traduite par une translation des isohyètes vers le Sud. Cette baisse est de l'ordre de 18 à 27 % avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante (la saison sèche a augmenté de 2 mois durant le siècle dernier) (Nedjraoui & Bedrani, 2008). Les causes de cette détérioration climatique sont sans doute liées aux changements globaux dans le climat de la planète, du fait de l'effet de serre.

Outre cet aspect climatique, l'accroissement des besoins des populations et l'absence ou l'obsolescence des règles d'accès aux ressources, la gestion irrationnelle des parcours (surpâturage, extension des défrichements, déboisement, mauvaises pratiques culturales, introduction de moyens et de techniques de développement inadéquats au milieu et manque de concertations entre les différents acteurs du développement) ont conduit remarquablement au changement du couvert végétal et l'érosion de la biodiversité caractérisant l'évolution régressive de l'ensemble de la steppe (Aidoud, 1997).

En général, le processus de dégradation commence par une altération de la végétation, une modification de la composition floristique et une raréfaction, voire la disparition des espèces pérennes. La fertilité du sol est affectée suite à la chute de la capacité d'échange et des éléments disponibles pour les plantes. Sur le bilan hydrique, il y a une augmentation du ruissellement, une baisse de la réserve en eau disponible pour les plantes, des modifications du régime hydrique et des échanges avec l'atmosphère et enfin une aridification. Sans intervention, cette spirale de dégradation conduira à une désertification irréversible. Halitim (1988) définit cette dernière comme la réduction ou la destruction du potentiel de fertilité du sol (baisse du taux de matière organique, dégradation de la structure, diminution de l'épaisseur du sol, salinisation, etc...) d'où la formation d'un paysage de type désertique.

A présent, la sécheresse est devenue une donnée structurelle qu'il faudra désormais affronter par l'adaptation de l'agriculture pour devenir moins dépendante des aléas climatiques. C'est

l'un des objectifs du concept de développement intégré et durable fixé par les Nations Unies en collaboration avec la FAO et qui vise à l'augmentation des potentialités agricoles de ces zones arides.

L'Algérie a toujours inscrit la lutte contre la désertification parmi ses priorités de développement et a figuré dans l'agenda des pouvoirs publics algériens depuis l'indépendance avec la mise en œuvre de plusieurs programmes. Cependant, pour ce qui est de cette lutte, les résultats sont bien mitigés (Nedjraoui & Bedrani, 2008). Les premiers se sont surtout limités à la plantation de grandes bandes forestières sur toute la steppe pour empêcher l'avancée du désert, perçue à l'époque comme synonyme de la désertification.

Durant les années 1970, ce chantier a été poursuivi avec le grand projet du « Barrage Vert » qui a consisté en une ceinture verte qui s'étend sur une largeur de 20 km et une longueur de 1500 km englobant tout l'Atlas saharien. Sa localisation coïncide avec les limites de la partie présaharienne comprise entre les isohyètes 300 mm au Nord et 200 mm au Sud. Prises comme limites climatiques, ces isohyètes délimitent une zone de plus de 3 millions d'hectares. A présent, à part certaines zones au niveau des piémonts Nord de l'Atlas saharien où le pin d'Alep a pu se développer correctement, il n'en reste que des traces formées par quelques sujets rabougris (Nedjraoui & Bedrani, 2008).

Un autre programme a été lancé dans le sillage de la Révolution Agraire pour tenter de réglementer l'utilisation des parcours steppiques. Il s'agit bien du code pastoral qui prévoyait la limitation de la taille du cheptel et la création de coopératives d'élevage et de périmètres de mise en défens pour éviter le surpâturage. Dans la pratique, ce code a été abandonné dès le début de sa mise en œuvre en raison des conflits d'intérêts qu'il a suscités.

Devant l'aggravation du phénomène de la désertification et la prise de conscience de sa complexité, la steppe a été dotée en 1981, d'une institution spécialisée, chargée d'impulser le développement global de la steppe par la conception et la mise en place d'une politique de développement intégré, en tenant compte des aspects naturels et socioéconomiques. Il s'agit du Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS). Cette institution a mis en pratique tout un programme de réhabilitation des parcours steppiques : des mises en défens (3 millions d'hectares sur 20 millions), des plantations fourragères (300000 hectares), des ensemencements, la création de quelques zones d'épandage, et la multiplication de points d'eau (Nedjraoui & Bedrani, 2008). Mais compte tenu de l'absence de participation des agro-

pasteurs et du non règlement du problème foncier, ces actions d'amélioration ont été couronnées par un relatif échec : les parcours sont toujours dégradés.

En 1992, le HCDS a mis en œuvre une nouvelle approche méthodologique d'exécution des projets de développement (notamment ceux relatifs aux plantations fourragères), basée sur la participation des membres de familles d'agro-pasteurs, soit au niveau des périmètres communaux dont la gestion, une fois le projet réalisé sera confiée à la commune, soit au niveau des terrains propriétés d'agro-pasteurs, le HCDS assurant l'appui matériel et technique. L'impact de cette nouvelle approche participative sur l'amélioration des ressources pastorales reste conditionné par le règlement du problème foncier et la participation active des communautés d'éleveurs à l'élaboration et la réalisation des projets et à la gestion des périmètres aménagés.

En conclusion, le bilan final de cette politique de lutte contre la désertification ne répond pas aux objectifs escomptés. Il est évident que la solution de ce problème ne pourrait être trouvée sans une étude exhaustive des particularités de cet écosystème.

### **3. Appendice**

#### **3.1. *Opuntia ficus indica*: espèce de choix pour la réhabilitation de l'écosystème steppique algérien**

Pour faire face à la situation de dégradation et de surexploitation des sols et tenter d'y remédier, des technologies et des stratégies de gestion destinées à développer et à améliorer la production fourragère sont proposées. Elles sont basées sur l'intégration des méthodes modernes plus rationnelles aux techniques de gestion déjà acquises et qui prévoient l'introduction de nouvelles cultures et de nouvelles techniques d'élevage.

A partir de 1996, différentes institutions, comme l'IFAD, l'AFESD et l>IDRC avec l'assistance technique de l'ICARDA et de l'IFPRI ont mis au point un projet appelé « The development of Integrate Crop/ Livestock in the Low Rainfall Zones of West Asia and North Africa » qui concerne huit pays : l'Algérie, la Libye, le Maroc et la Tunisie appartenant au Maghreb : l'Iraq, la Jordanie, le Liban et la Syrie appartenant au Mashreq. La réalisation du projet Maghreb/Mashreq souligne la volonté des membres de faire face à une situation critique (El Mourid *et al.*, 2001).

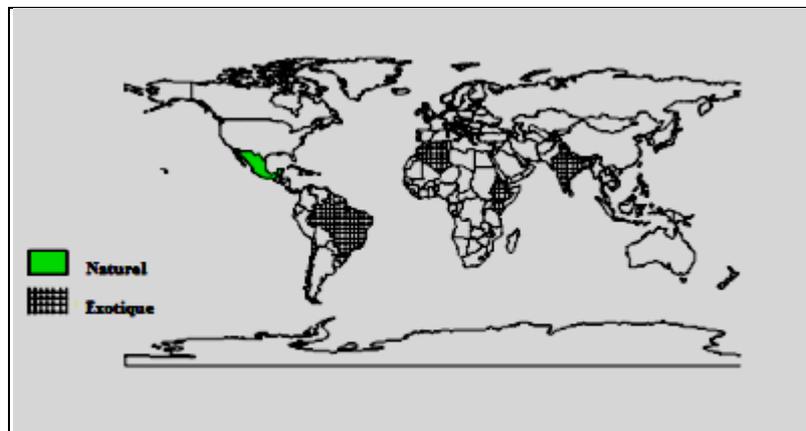
Le projet tient compte, entre autres de deux stratégies différentes : l'utilisation des cactées et la plantation d'arbustes fourragers qui, grâce à leurs caractéristiques, sont particulièrement indiqués pour combattre la désertification. Ils représentent également une source alternative de fourrage pour le bétail. Parmi les espèces retenues, le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) qui semble particulièrement intéressant en raison de son importance économique et écologique.

La littérature déborde de recherches qui se sont penchées sur cette espèce, en particulier, sa production et sa répartition géographique (Ruiz Pérez-Cacho *et al.*, 2006 ; Erre *et al.*, 2009), sa biologie (Rojaz-Arechiga & Vasquez-Yanes, 2000 ; Reyes-Aguero *et al.*, 2006), sa physiologie et son écophysiologie (Nobel, 1996 ; Snyman, 2006 ), ses caractéristiques biochimiques (Malainine *et al.*, 2003), la qualité nutritive de son fruit (Pimienta-Barrios, 1994 ; Saenz *et al.*, 2004 ; Diaz-Medina *et al.*, 2007), sa composition chimique (Bensalem *et al.*, 2002) et même ses vertus médicinales (Inglese *et al.*, 1995), mais rares ceux qui se sont intéressés à son impact écologique sur les composantes du milieu en tant que traitement biologique auquel ont eu recours plusieurs pays entre autres ceux du Maghreb, à part Le Houerou (1996) et Mandouri (2000) qui ont signalé les effets du figuier de Barbarie en tant que clôture ou plantation sur l'amélioration du taux de matière organique et la structure du sol.

### 3.1.1. Origine et diffusion

Le genre *Opuntia* est originaire du Mexique (Orwa *et al.*, 2009) et figure d'ailleurs sur l'emblème du drapeau mexicain. Sa distribution géographique est très large (Fig.2) : Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Israël, Argentine et Afrique du Nord (Barbera *et al.*, 1992 ; Nerd & Mizrahi, 1994 ; Felker *et al.*, 2005 ; Kabas *et al.* 2006 ; Saleem *et al.*, 2006 ; Snyman, 2006 ). Il a été introduit d'abord en Espagne et plus tard au 16<sup>e</sup> siècle au Nord et au Sud de l'Afrique. Il s'est diffusé rapidement dans le bassin méditerranéen et s'y est naturalisé au point de devenir un élément caractéristique du paysage (Le Houerou, 1996 ; Erre *et al.*, 2009). Il est par essence développé sur la partie Ouest de la Méditerranée : Sud de l'Espagne, le Portugal, et l'Afrique du Nord (Tunisie, Algérie et Maroc) (Bensalem *et al.*, 2002 ; Arba, 2009). A titre d'exemple, la superficie cultivée dans la région du WANA (Ouest d'Asie et le Nord africain) est d'environ 900.000 ha (Nefzaoui & Bensalem, 1998). Dans certains pays tels que l'Italie, l'Espagne, le Mexique, ou Israël, la culture du cactus est pratiquée de façon

intensive et moderne avec des programmes de recherche-développement pour la production du fruit ou de fourrage et même pour des usages industriels (Mulas & Mulas, 2004). En revanche, en Australie et en Afrique du Sud (Dean & Milton, 2000 ; Orwa *et al.*, 2009), ce végétal, en particulier la variété asperme est considérée comme une mauvaise herbe à cause de la facilité avec laquelle, elle se propage.



**Figure 2.** Distribution géographique du figuier de Barbarie (Orwa *et al.*, 2009).

La figure 2 distingue l'aire d'origine, le Mexique (en vert) et les nouvelles aires de distribution (en noir) : Brésil, Chili, Etats Unies, Inde, Israël, Italie, Espagne, Erythrée, Portugal, Algérie, Tunisie, Libye, Maroc, Afrique du Sud, Ethiopie, Soudan, Tanzanie, Kenya, Uganda.

### 3.1.2. Biologie et écologie du figuier de Barbarie

#### 3.1.2.1. Position systématique

La position systématique du figuier de Barbarie est la suivante :

**Règne :** Plantae

**Sous règne :** Tracheobionta

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** Magnoliopsida

**Sous classe :** Caryophyllidae

**Ordre :** Caryophyllales

**Famille :** Cactaceae

**Sous-famille :** Opuntioideae

**Tribu :** Opuntieae

**Genre :** *Opuntia*

**Espèce :** *Opuntia ficus indica* (L.) Miller, 1768.

La famille des Cactacées renferme 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces (Guzman *et al.*, 2003). La tribu des Opuntieae comprend le genre *Opuntia*, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasiliopuntia*. Le sous genre *Platyopuntia* comprend 150 à 300 espèces, parmi lesquelles figure *Opuntia ficus indica*. Cette espèce est la cactée qui a la plus grande importance agronomique, tant pour les fruits comestibles (Kabas *et al.*, 2006) que pour les raquettes qui peuvent être utilisées comme fourrage ou comme légumes (Dubeux *et al.*, 2006).

De nombreuses sources indiquent que le nombre chromosomique est  $2n= 88$  chez les deux formes (inermes et aspermes). Elles sont toutes les deux octoploïdes (Mulas & Mulas, 2004). D'après Gibson et Nobel (1986), *Opuntia megacantha* est synonyme d'*Opuntia ficus indica* et *Opuntia barbarica* alors que Griffith (1914) signale que *Opuntia ficus indica* dérive de *Opuntia megacantha* du Mexique central.

### 3.1.2.2. Biologie

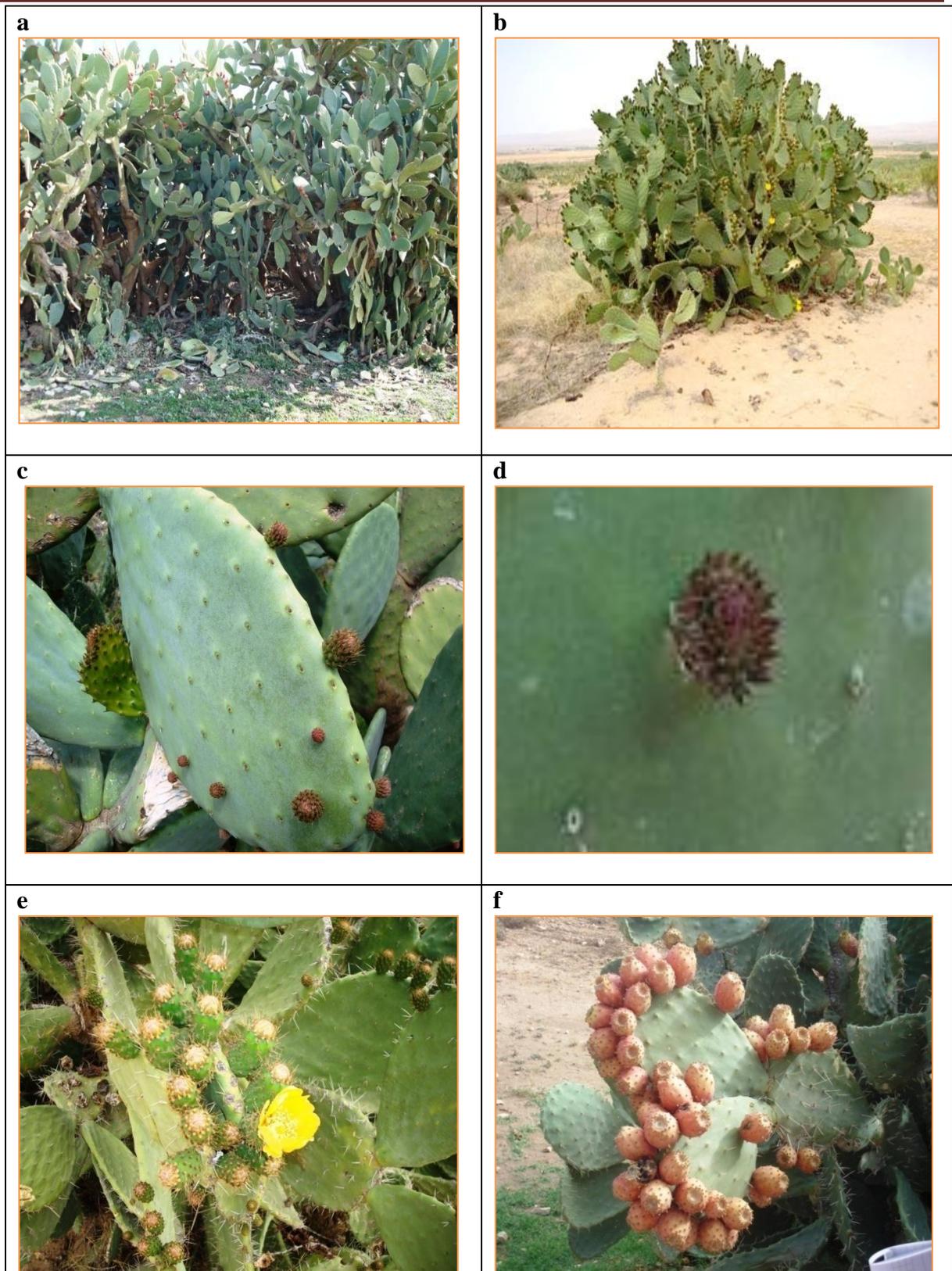
Le figuier de Barbarie est une plante arborescente robuste de 3 à 5 m de haut (Fig. 3a), possède un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3 cm appelés cladodes ou raquettes (Fig. 3b). Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs. Les feuilles sont de forme conique et ont quelques millimètres de long, éphémères, apparaissant sur les cladodes jeunes. A leur base, se trouvent les aréoles (environ 150 par cladodes) (Fig. 3c) qui sont des bourgeons axillaires modifiés, typiques des Cactacées. Leurs méristèmes produisent des épines, des glochides, des racines adventives, de nouvelles cladodes ou des fleurs. Les épines sont blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées et longues de 1 à 2 cm. Il y a deux variétés, la variété inermes et l'épineuse. Les glochides sont de fines épines de quelques millimètres de couleur brunâtre, se décrochent facilement, munies de minuscules écailles en forme d'hameçons s'implantant solidement dans la peau. Ils sont présents même chez la variété inermes.

Les fleurs marginales sur le sommet des cladodes âgées d'un an, et le plus souvent sur les aréoles situés au sommet des cladodes ou sur la face la plus exposée au soleil, sont hermaphrodites, à ovaire infère uniloculaire, le pistil est surmonté d'un stigmate multiple. Les

étamines sont visibles de couleur jaune-orange. Les fleurs sont de couleur jaunâtre et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (Fig. 3d). En principe, une seule fleur apparaît dans chaque aréole. Les jeunes fleurs portent des feuilles éphémères caractéristiques de l'espèce et une cladode peut porter jusqu'à une trentaine de fleurs.

Ses fruits (Fig. 3e) sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes, uniloculaires et polyspermiques (Reyes-Aguero *et al.*, 2006) (300 graines pour un fruit de 160 grammes) et pourvues d'épines. Ils sont couverts d'aréoles susceptibles de donner de nouvelles fleurs ou des racines, de couleur verdâtre ou jaunâtre à maturité. La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune-orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines. Le poids de la baie varie de 67 g à 216 g (Moßhammer *et al.*, 2006) offrant un large spectre de couleurs, blanche (muscaredda), jaune (sulfarina) et rouge (sanguina). Les composés rouges sont les bétacyanines et les jaunes sont les bétaxanthines (Gibson & Nobel, 1986). La forme du fruit varie selon la variété et l'époque de formation: les premiers sont arrondis et les tardifs sont allongés.

Sur le plan physiologique, le figuier de Barbarie présente plusieurs particularités : ses feuilles de nature éphémère tombent hâtivement. Les raquettes sont recouvertes d'un épiderme épais recouvert de cires, structurées de manière à limiter les pertes d'eau par transpiration. Les stomates sont enfoncés en profondeur et en cas de températures élevées et de fortes insulations, ils peuvent rester fermés une grande partie de la journée et peuvent perdre plus de 60 % de leur contenu en H<sub>2</sub>O avant que les cellules ne meurent (De Kock, 1983). Le figuier de Barbarie est une plante à métabolisme de type CAM (Métabolisme Acide Crassulacéen) (Nobel, 1996). Elle a la particularité de posséder des cladodes charnues qui contiennent de grandes vacuoles emplies d'eau. Elles ont un cycle d'ouverture /fermeture des stomates inverse : ces derniers s'ouvrent la nuit et se ferment le jour. Le CO<sub>2</sub> est fixé la nuit sur un acide organique à 3 carbones, souvent le phosphoenolpyruvate (PEP), résultant du métabolisme des hydrates de carbone via la glycolyse, pour donner un acide organique à 4 carbones, l'oxaloacétate. Cet élément est à son tour transformé en malate pour être stocké dans la vacuole et l'O<sub>2</sub> est libéré la nuit (Gibson & Nobel, 1986). Ce dispositif évite au végétal de perdre de l'eau par évapotranspiration. Pendant le jour, le malate accumulé la nuit disparaît, se transforme en pyruvate et libère le CO<sub>2</sub> et l'eau directement au niveau des tissus chlorophylliens qui s'en servent pour la suite de la photosynthèse selon le cycle de Calvin.



**Figure 3.** le figuier de Barbarie : a) la plante : variété inerme, b) variété asperme, c) les cladodes, d) les aréoles, e) les fleurs, f) le fruit (Cliché, Neffar, 2008 sauf Fig. 3d).

---

C'est une différence fondamentale avec les plantes ordinaires (mésophytes), dont la photosynthèse s'effectue le jour à partir du CO<sub>2</sub> importé de l'atmosphère (Gibson & Nobel, 1986).

Le système racinaire des Cactacées est xéromorphe, superficiel et charnu, à extension horizontale. Dans les milieux fortement arides, à partir des racines principales se développent des racines secondaires charnues en mesure d'atteindre les couches du sol les plus profondes, où elles trouvent plus d'humidité. La distribution des racines dépend du type de sol et de la technique culturale. L'arido-résistance des Cactacées est due à trois mécanismes (Snyman, 2006) :

- en réduisant la surface des racines et la perméabilité à l'eau,
- en absorbant rapidement la faible quantité d'eau formée lors des pluies éphémères grâce à la capacité de produire en très peu de temps des racines qui disparaissent une fois que le sol s'assèche,
- ou en négativisant davantage le potentiel hydrique.

Une fois absorbée par les racines, l'eau est immédiatement liée à un composé hydrophile mucilagineux réparti sur toute la plante. Il sert de stockeur d'eau (Saenz *et al.*, 2004) qui ralentit les pertes transpiratoires. Ce composé se transmet dans les cellules du mésophile charnu des raquettes (De Kock, 1983). Il se trouve même dans les fruits (pulpe et pelure) (Saenz *et al.*, 2004). La paroi des cellules de l'épiderme est imprégnée d'une épaisse couche cireuse qui empêche la transpiration et réfléchit une partie des radiations solaires. Les sucres qui composent la cuticule ne sont pas décomposables par les microorganismes qui ne peuvent pas s'introduire dans le derme (Gibson & Nobel, 1986).

Les épines et les poils exercent plusieurs fonctions. Ils défendent la plante, favorisent la condensation de l'eau à proximité de la surface des feuilles, contribuent à baisser la température journalière des tissus et réduisent l'interception de la lumière par les raquettes (Nobel & Hartsock, 1983).

Traditionnellement, le figuier de Barbarie est multiplié végétativement par bouturage des raquettes. Les jeunes plantes peuvent entrer en floraison à partir de la 2<sup>ème</sup> ou la 3<sup>ème</sup> année. La durée du cycle annuel dépend de la variété et de la zone géographique (Habibi, 2004).

### 3.1.2.3. Exigences écologiques

Le genre *Opuntia* est xérophyte (Gibson & Nobel, 1986). Il croit principalement dans les zones arides et semi-arides. Sa remarquable variabilité génétique lui procure une forte adaptabilité écologique, ce qui lui permet de vivre sous différentes conditions climatiques (Stintzing & Carle, 2004).

D'ailleurs, il croit dans les plaines, les régions côtières et les plateaux (Lahsasni *et al.*, 2004). Il craint les fortes gelées et peut supporter des températures minimales jusqu'à -10°C pour quelques heures (Nerd *et al.*, 1991). Cette tolérance dépend de la turgidité du tissu chlorenchymateux des cladodes (Saenz *et al.*, 2004). Les températures maximales supportées excèdent les 50 à 58°C à Aziziya en Libye.

Bien que cette espèce ait une large faculté d'adaptation pour différents sols (acides, calcaires ou pauvres en matière organique), elle a une préférence pour les sols très perméables, sableux ou caillouteux (Nerd *et al.*, 1991 ; Skiredj *et al.*, 1998 ).

### 3.1.3. Importance économique et écologique

L'adaptation du figuier de Barbarie aux conditions désertiques et semi désertiques lui permet de constituer une culture à intérêt écologique et socio-économique indéniable. Il a suscité un regain d'intérêt particulier dans plusieurs pays en raison de cette importance. En effet, ce végétal répond efficacement lorsqu'il est utilisé dans la conservation, la restauration et la valorisation des sols. Il met en valeur les terres marginales et infertiles où d'autres espèces cultivées végétaient difficilement. Il ne demande pas de pratiques culturales spécialisées, ni d'apport de fertilisants, ni de traitement antiparasitaire (Habibi, 2004). Son impact considérable sur le revenu des agriculteurs a fait de cette plante l'une des espèces les plus rentables économiquement. Selon Arba *et al.* (2000), le revenu moyen annuel par hectare est de 2000 à 6000 dollars en Italie, 2000 dollars en Israël et entre 10000 à 30000 dirhams au Maroc.

#### 3.1.3.1. Importance écologique

Le figuier de Barbarie est capable de produire de grandes quantités de biomasse végétale même dans les conditions extrêmes. Avec une pluviosité comprise entre 150 et 400 mm/an et en l'absence de fertilisation, la variété inerte peut produire jusqu'à 100 tonnes de raquettes/ha/an (Monjauze & Le Houerou, 1965). Cette production est fonction des régions (Habibi, 2004).

L'utilisation du cactus pour la protection et la mise en valeur des sols dans les régions arides et semi-arides a été démontrée dans la région de Milpa- Alta en Mexique (Araba *et al.*, 2009 ; Orwa *et al.*, 2009). Cette région a été complètement défrichée pour y introduire des cultures fourragères tel que le maïs. L'échec était total en raison de la faiblesse et de l'irrégularité des précipitations. Ce n'est que par la réintroduction du cactus que toute la région a été remise en valeur sans risque de dégradation environnementale. Les *Opuntia*, en association avec d'autres espèces ligneuses ont été utilisés avec succès dans un programme de fixation des dunes en Somalie. Les racines étendues de cette espèce sont en mesure d'exercer une action antiérosive efficace en stabilisant les surfaces en pente (Saenz *et al.*, 2004). D'un point de vue pédologique, ce végétal permet l'évolution positive des sols par la biotransformation des racines et des raquettes en substances organiques et donc une plus grande disponibilité en éléments nutritifs (Le Houerou, 1996 ; Mandouri, 2000). Il sert aussi d'abri de protection, de clôture défensive des exploitations et d'obstacles à la propagation des incendies (Le Houerou, 1996 ; Orwa *et al.*, 2009).

### **3.1.3.2. Importance économique**

L'importance économique de ce végétal réside dans la production du fruit destiné à l'alimentation humaine, son usage fourrager pour l'alimentation animale et est générateur de revenus et d'emplois au profit des habitants. Ces avantages économiques se résument en :

#### **3.1.3.2.1. Consommation des fruits et des raquettes**

La large consommation du fruit a incité à améliorer les qualités organoleptiques des fruits, d'éliminer les glochides gênantes, de réduire le nombre des graines et de perfectionner les techniques de conservation frigorifique. Leur valeur nutritive varie en fonction de l'espèce et de la variété considérée, l'âge des raquettes, l'évolution thermo-pluviométrique au cours de l'année et de nombreux facteurs agronomiques comme le type de sol et les conditions de croissance de la plante.

La composition minérale et chimique du fruit a montré qu'il a la même valeur nutritive que les autres fruits (Saenz, 2000). Il contient en moyenne 85 % d'eau, 15 % de sucres, 0.3 % de sels et moins de 1 % de protéines (Moffhammer *et al.*, 2006). C'est une bonne source de vitamine C avec un apport énergétique important. Il est consommé dans son pays d'origine à l'état frais, bouilli dans l'eau ou séché (Pimienta-Barrios, 1993). Les jeunes raquettes (Nopals ou Nopalitos) de 10-15cm de longueur sont consommées comme légumes et ingrédients dans

la confection d'autres préparations alimentaires (Saenz, 2000). Le mucilage aux propriétés visqueuses est utilisé en industrie alimentaire (Sepulveda *et al.*, 2007).

Les graines du fruit donnent une huile comestible qui présente un haut degré d'insaturation, avec un taux important d'acide linoléique, d'acide palmitique et d'acide oléique (Ramadan & Morsel, 2003). Cette huile appartient à la même catégorie que celle des graines de soja, de maïs et de tournesol. D'après Galizzi *et al.* (2004), la qualité du fruit n'a aucun rapport avec la fertilisation appliquée au sol.

#### **3.1.3.2.2. Fourrage**

L'*Opuntia ficus indica* représente une source alternative de fourrage, en particulier durant les périodes de sécheresse (Bensalem *et al.*, 2002 ; Dubeux *et al.*, 2006 ; Snyman, 2006 ; Tegegne *et al.*, 2007). Les cactées fourragères sont riches en hydrates de carbone digestibles, en lipides, en vitamines, en eau, en minéraux et pauvres en protéines (Hernandez *et al.*, 2004 ; Tegegne *et al.*, 2007 ; Costa *et al.*, 2009).

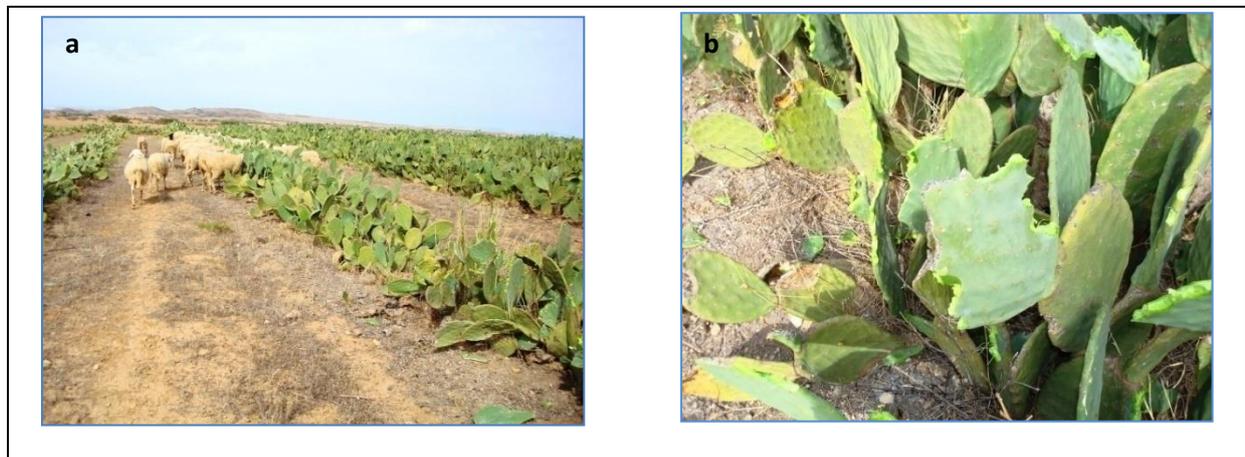
Il reste important de rappeler qu'il s'agit d'une culture strictement nécessaire en milieux aride et semi aride, vu qu'en certaines périodes de l'année, elle est le seul aliment disponible pour le bétail. La consommation des raquettes passe par l'élimination des épines, éventuellement les aréoles avec des torches alimentées à l'essence, action directe du feu à la surface, l'immersion dans l'eau, l'utilisation de la vapeur, lavage avec la soude (Mulas & Mulas, 2004). Le bétail élevé dans le Sud-est des Etats unis, au Mexique et en Algérie est alimenté avec les raquettes coupées ou les fruits de nombreuses espèces indigènes (Fig.4).

Cependant au Nord-est du Brésil (Santana, 1992) et à l'Est algérien, les animaux broutent directement les raquettes (Fig.5a), mais des dégâts dus au broutage direct ont été observés (Fig. 5b), entraînant la détérioration de ces dernières et une baisse de la longévité de la plante.

Les plantations constituent aussi un habitat pour la faune domestique ou sauvage. C'est une source mellifère importante pour l'apiculture durant la période de floraison (Fig. 6). Les cladodes chauffées au feu sont utilisées dans le traitement des inflammations (rate et reins), et dans le traitement des diabètes (hypoglycémie) non dépendants de l'insuline. Le mucilage isolé des raquettes permet de réduire le cholestérol total dans le sang (Tableau 1).



**Figure 4.** Raquettes coupées pour la consommation par le bétail (Station Sidi Fradj, Souk ahras. Cliché Neffar, 2008).



**Figure 5.** Broutage direct dans la station de Sidi Fradj (a) et son effet sur les raquettes (b).  
(Cliché Neffar, 2008).



**Figure 6.** Ruches dans une plantation de figuier de Barbarie dans la station de Anba. (Cliché Neffar, 2008)

**Tableau 1.** Les utilisations du figuier de Barbarie (Inglese *et al.*, 1995).

Aires commerciales	Usages spécifiques
Production alimentaire	Fruit, Nopalitos, jus de fruit, extraction d'huiles des graines, miel de tuna, et marmelades.
Production d'énergie	Alcool, biomasse fraîche.
Aliment de bétail	Fourrage, déchets de fruits.
Usage médical	Fleurs pour les diurétiques, cladodes pour diabètes, mucilages.
Usage agronomique	Fixation du sol, mulching, source d'eau complémentaire, clôture, brise-vent.
Colorants	Betalaines dans les fruits, acide carminique.

### 3.2. La mycorrhizosphère : un microcosme à explorer

#### 3.2.1. La symbiose mycorhizienne : concepts généraux

La symbiose mycorhizienne est une union intime entre les racines d'une plante et un champignon du sol. La plante fournit généralement des hydrates de carbone au champignon alors que ce dernier fournit un apport en eau ou en éléments par une augmentation de la

surface d'absorption (Dalpé, 1997 ; Brundrett, 2008). L'association mycorhizienne est la règle plutôt que l'exception puisque plus de 80 % des plantes terrestres (angiospermes, gymnospermes, ptéridophytes, lycopodes et mousses) présentent l'une ou l'autre des associations mycorhiziennes à l'état naturel (Hause & Fester, 2005). Les relations et les échanges entre les deux partenaires peuvent varier selon le type de symbiose mycorhizienne présent. Les structures générées par cette association peuvent être classées sur la base de critères écologiques, morphologiques et physiologiques. On distingue trois (03) types principaux : les ectomycorhizes, les endomycorhizes et les ectendomycorhizes (Fig.7). Et quel que soit le type de mycorhize, le champignon reste confiné dans le cortex racinaire et ne franchit jamais la barrière endodermique (Dexheimer, 1997). Les plus importantes associations tant par le nombre d'espèces que par leur intérêt économique sont les endomycorhizes arbusculaires et les ectomycorhizes. L'association dont il sera question dans ce travail est la symbiose endomycorhizienne arbusculaire. Nous verrons les différents effets bénéfiques dont la plante peut retirer de cette symbiose.

### 3.2.2. Les endomycorhizes à arbuscules

Elles sont ainsi nommées parce que le champignon pénètre dans les cellules de l'hôte (Dexheimer, 1997), en général non déformée, mais ne s'aventurent jamais au-delà du pérycyle où elles sont arrêtées par la lignification du cadre de Caspari.

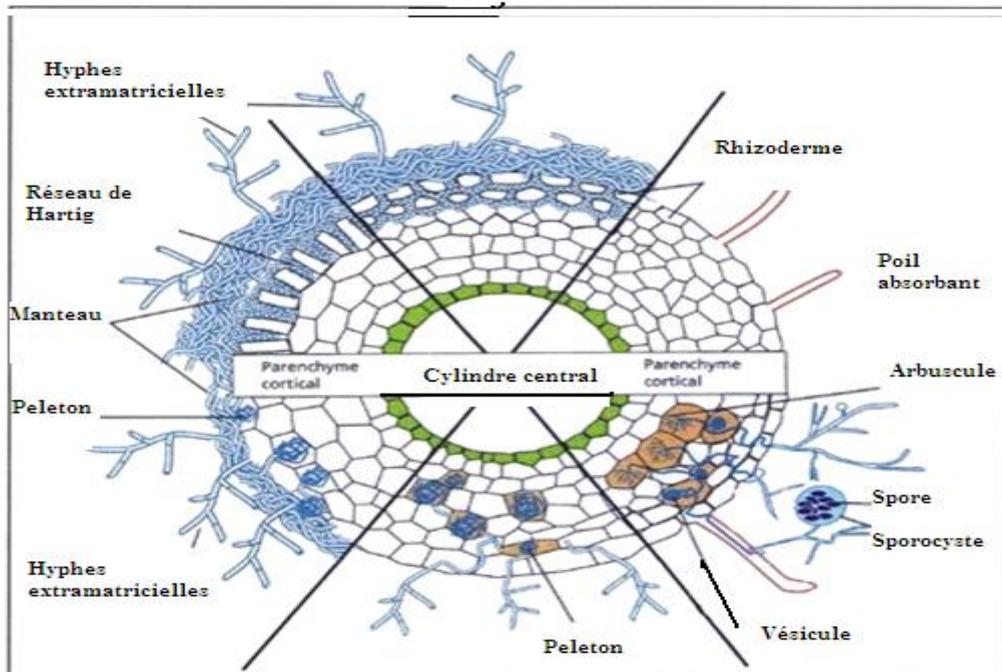


Figure 7. Les différents types de mycorhizes (Duhoux & Nicole, 2004).

Le champignon circule entre les cellules de l'écorce et développe à l'intérieur de celles-ci, des arbuscules qui représentent des suçoirs et des vésicules intra et intercellulaires (Nultsch, 1998) d'où l'appellation de mycorhizes à vésicules et à arbuscules, simplifiées maintenant en mycorhizes arbusculaires (MA). Les champignons MA (CMA) sont pour la plupart des Zygomycètes, des Ascomycètes et des Basidiomycètes (Brundrett, 2008). Selon Douce (2000), il y a plus de 200 000 espèces auxquelles sont associées seulement 150 à 200 espèces de champignons (Gai *et al.*, 2006). Celles-ci sont groupées en 4 ordres composés de 13 familles et 19 genres (Dalpé, 2010). Cette disproportion entre le nombre d'hôtes et le nombre de symbiotes illustre bien le peu de spécificité de ces associations.

L'expérimentation sur ces champignons est très difficile car ils ne sont pas cultivables *in vitro*, en dehors de leur hôte (Gobat *et al.*, 2003 ; Koide & Mosse, 2004). La culture *in vitro* ne dépasse guère le stade de la germination des spores multi-nucléées. La reproduction sexuée est inconnue, ce qui rend les études génétiques difficiles. En général, les Glomales sont incapables de vivre en saprophytes (Brundrett, 2004) parce que leurs hyphes ne peuvent pas absorber les sucres du sol.

### 3.2.2.1. Les différentes structures des CMA

Les principales structures sont : les spores, les hyphes, l'*appressorium*, les vésicules et les arbuscules (Fig. 8).

#### *a<sub>1</sub>*. Les spores

La spore est une structure unicellulaire de forme généralement globoïde à paroi épaisse formée de plusieurs couches de différentes textures reliées au réseau filamenteux par une hyphe suspenseur de morphologie variée. Les caractères morphologiques étant réduits et varient souvent selon la maturité des spores étudiées (Blaszkowski, 2008).

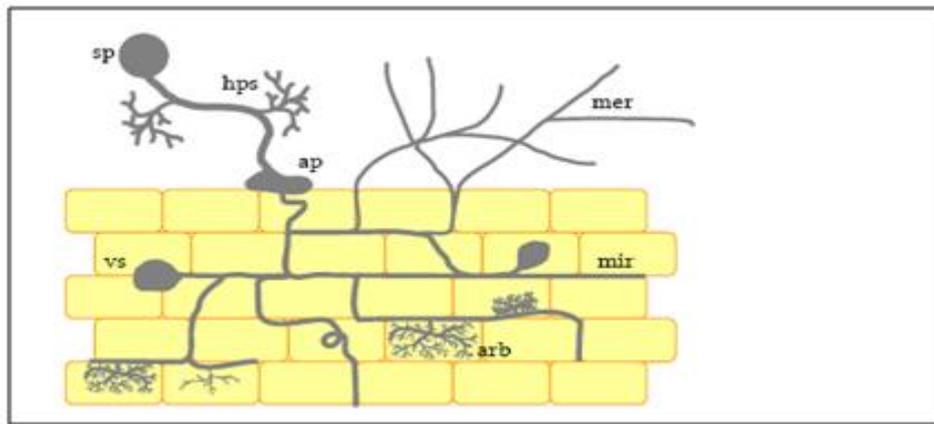
#### *a<sub>2</sub>*. L'hyphe

Les hyphes sont des filaments mycéliens intra ou extra-racinaires permettant aux champignons d'explorer le sol et de coloniser la plante hôte. La pénétration du mycélium dans les cellules du cortex racinaire se fait par l'intermédiaire de l'haustorium (suçoir), gonfle en formant des vésicules ou se ramifie en donnant une forme arborescente (Luttge *et al.*, 2002).

Le mycélium intracellulaire est en relation avec des hyphes externes à la racine qui diffusent dans le sol. Elles augmentent ainsi considérablement le volume de sol exploré par la racine.

Le réseau mycélien s'étend au moins jusqu'à 8 cm de la racine endomycorhizée alors que la longueur d'un poil absorbant est de l'ordre du mm (Davet, 1996).

Il a été même rapporté par Sylvia (1986) une longueur moyenne de 12 mètres d'hyphes par gramme de sol dans une dune subtropicale et estime que cette longueur peut atteindre 200 à 1000 m pour un centimètre de racine. Selon Dodd (1994), les filaments fongiques ne servent donc ni plus ni moins que de pompes pour diriger vers la racine un supplément d'eau et de sels minéraux auquel celle-ci n'aurait pas normalement accès. En échange, le champignon reçoit de la plante des éléments métabolisés qu'il s'avère incapable de synthétiser lui-même, tels que les sucres, les acides aminés et les métabolites secondaires.



**Figure 8.** Schéma d'une coupe longitudinale d'une racine endomycorhizée adapté par Godfroy (2008) : **mer** : mycélium extra-radiculaire ; **mir** : mycélium intra-radiculaire ; **arb** : arbuscule ; **vs** : vésicule ; **ap** : *appressorium* ; **hps** : hyphes pré-symbiotique ; **sp** : spore.

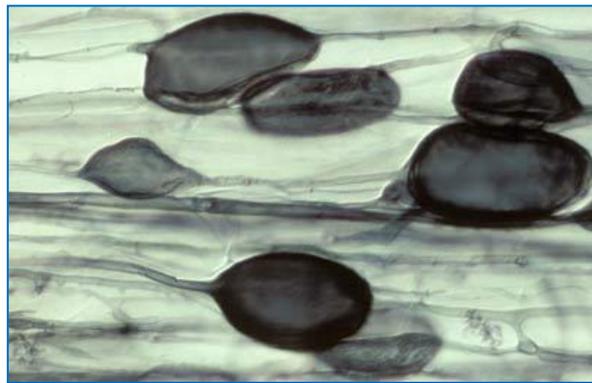
### ***a<sub>3</sub>. L'appressorium***

Les hyphes adhèrent ensuite à la racine et différencient au contact du rhizoderme une structure spécialisée appelée « *appressorium* » (Fig.8). Ce dernier constitue un renflement elliptique de 15 à 80 µm du filament mycélien (Glenn *et al.*, 1985) dont la paroi imprégnée de mélanine s'épaissit localement et assure le maintien d'une pression osmotique très élevée (Duhoux & Nicole, 2004). La formation de cet organe est considérée comme l'évènement le plus décisif dans la reconnaissance et la colonisation de la plante-hôte (Giovannetti & Sbrana, 1998). Il est formé en présence des racines de l'hôte après 36 heures d'interactions entre la

plante et le champignon (même source). Ensuite, la pénétration du champignon est caractérisée par la production localisée d'hydrolases qui vont dégrader la paroi de la plante et provoquer, sous l'influence de la pression hydrostatique élevée, la progression d'un filament intrusif (Duhoux & Nicole, 2004).

#### **a<sub>4</sub>. Les vésicules**

Certaines hyphes perforent la paroi cellulaire et pénètrent à l'intérieur de la cellule, se dilatent à leur extrémité pour former d'énormes ampoules inter ou intracellulaires, en général dans les couches superficielles de la racine (épiderme et exoderme). Ce sont les vésicules (Fig. 9) (Dexheimer, 1997). Ces dernières ont des parois épaisses de forme variée et sont caractéristiques de l'espèce fongique, jouent un rôle dans le stockage des réserves et la propagation du champignon (Duhoux & Nicole, 2004). Elles sont riches en lipides et en calcium, assimilées à des chlamydospores. Elles sont présentes seulement dans le sous-ordre des Glomineae (Duhoux & Nicole, 2004). Certains genres comme *Scutellospora* ou *Gigaspora* n'en forment jamais.



Environ 50µm de long.

**Figure 9.** Vésicules de *Glomus* sp (Brundrett, 2008).

#### **a<sub>5</sub>. Les arbuscules**

L'hyphe de pénétration se ramifie un grand nombre de fois pour réaliser une structure rappelant un petit arbre ou un tronc (Dexheimer, 1997). Ce sont les arbuscules (Fig. 10). Il s'agit de suçoirs très ramifiées enveloppées par une membrane péri-arbusculaire d'origine végétale, qui entoure une paroi fongique très mince, dont la composition est légèrement différente de la cellule. Les cellules envahies contiennent d'avantage de plastes et de mitochondries et leurs noyaux deviennent enflés et multilobés, mais elles reprennent un aspect

normal après la sénescence et la disparition de l'arbuscule (Davet, 1996). Elles sont de deux types Arum et Paris dépendant du génome de la plante (Giovanetti & Sbrana, 1998).

L'arbuscule a pour rôle d'augmenter de 2 à 3 fois la surface de contact entre la cellule et l'hyphe. Il exerce une influence sur la cellule-hôte dont le volume du cytoplasme peut augmenter de 20 à 25 % (Hopkins, 2003). On attribue à cette interface un rôle dans le transfert du phosphore et du carbone entre les deux partenaires (Gobat *et al.*, 2003). La croissance intracellulaire de l'arbuscule est généralement importante alors que les cellules de la plante hôte apparaissent hypertrophiées.

La durée de vie des arbuscules est courte. Ils deviennent sénescents au bout de 2.5 à 15 jours, se résorbent progressivement jusqu'à ce qu'il ne reste que le tronc (Brundrett, 2008). Cette même cellule peut être à nouveau envahie par un autre arbuscule (Duhoux & Nicole, 2004).

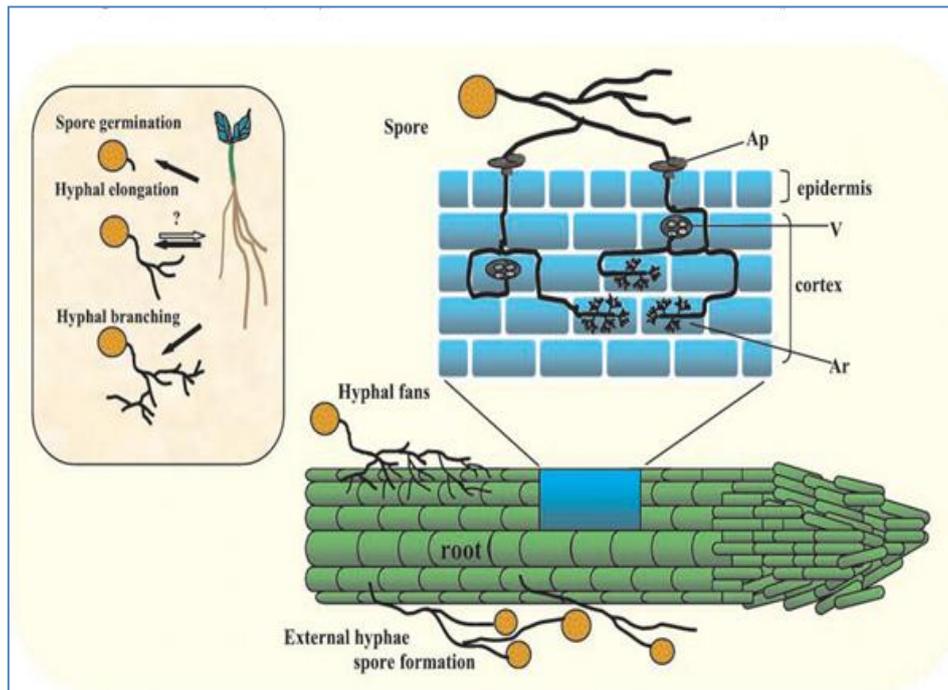


**Figure 10.** Arbuscule de *Glomus* sp (Brundrett, 2008).

### 3.2.2.2. Cycle de vie d'un champignon MA

Le cycle de vie d'un champignon MA connaît plusieurs phases (Fig.11)

- a- Phase 1** : germination des spores et croissance des hyphes.
- b- Phase 2** : infection racinaire.
- c- Phase 3** : développement des hyphes extra- racinaires.



**Figure 11.** Cycle de vie du champignon MA. Reconnaissance, communication et établissement de la symbiose : Ap, *appressoria*; V, vésicule; Ar, arbuscule. La pré-germination doit être stimulée par les exsudats racinaires mais peut se produire en leur absence (Gadkar *et al.*, 2001).

### 3.2.2.3. Classification des champignons mycorhiziens

Les études morphologiques et phylogénétiques récentes ont permis de regrouper toutes les espèces mycorhiziennes arbusculaires en un nouvel embranchement : Glomeromycota (Dalpé, 2010) (Tableau 2).

**Tableau 2.** Classification des champignons MA (Dalpé, 2010).

<b>Phylum</b> : Glomeromycota : 4 Ordres, 13 Familles, 19 Genres	
<b>O<sub>1</sub></b> : Archeosporales	<b>O<sub>4</sub></b> : Diversisporales
<b>F<sub>1</sub></b> : <b>Ambisporaceae</b> <b>G</b> : <i>Ambispora</i>	<b>F<sub>1</sub></b> : <b>Acaulosporaceae</b> <b>G</b> : <i>Acaulospora</i>
<b>F<sub>2</sub></b> : <b>Archeosporaceae</b> <b>G<sub>1</sub></b> : <i>Archeospora</i> <b>G<sub>2</sub></b> : <i>Intraspora</i>	<b>F<sub>2</sub></b> : <b>Dentiscutataceae</b> <b>G<sub>1</sub></b> : <i>Dentiscutata</i> <b>G<sub>2</sub></b> : <i>Fuscutata</i> <b>G<sub>3</sub></b> : <i>Quatunica</i>
<b>F<sub>3</sub></b> : <b>Geosiphonaceae</b> <b>G</b> : <i>Geosiphon</i>	<b>F<sub>3</sub></b> : <b>Diversisporaceae</b> <b>G<sub>1</sub></b> : <i>Diversispora</i> <b>G<sub>2</sub></b> : <i>Otospora</i>
<b>O<sub>2</sub></b> : Glomerales	
<b>F</b> : <b>Glomeraceae</b> <b>G</b> : <i>Glomus</i>	<b>F<sub>4</sub></b> : <b>Entrophosporaceae</b> <b>G<sub>1</sub></b> : <i>Entrophospora</i> <b>G<sub>2</sub></b> : <i>Kuklospora</i>
<b>O<sub>3</sub></b> : Paraglomales	
<b>F</b> : <b>Paraglomaceae</b> <b>G</b> : <i>Paraglomus</i>	<b>F<sub>5</sub></b> : <b>Gigasporaceae</b> <b>G</b> : <i>Gigaspora</i>
	<b>F<sub>6</sub></b> : <b>Pacisporaceae</b> <b>G</b> : <i>Pacispora</i>
	<b>F<sub>7</sub></b> : <b>Racocetraceae</b> <b>G<sub>1</sub></b> : <i>Cetraspora</i> <b>G<sub>2</sub></b> : <i>Racocetra</i>
	<b>F<sub>8</sub></b> : <b>Scutellosporaceae</b> <b>G</b> : <i>Scutellospora</i>

**O**: Ordre **F**: Famille **G**: Genre

#### 3.2.2.4. Critères de classification des champignons MA

D'après Brundrett (2000), les champignons endomycorhiziens arbusculaires sont classés selon :

▪ **Les spores** : les spores représentent la base de la classification des champignons endomycorhizogènes (Fig. 12).

▪ **Le développement de la spore** : le développement des spores est un critère très important dans la détermination du genre dans les Glomales. Les genres *Scutellospora* et *Gigaspora* ont des spores qui se développent à partir d'une hyphe bulbeuse alors que le genre *Glomus* se développe à partir d'une hyphe étroite et évasée. Les genres *Acaulospora* et *Entrophospora* ont des spores qui deviennent sessiles après le détachement d'un saccule sporifère.

▪ **L'arrangement des spores** : les spores des Glomales peuvent être produites séparément ou en agrégats (sporocarpes).

▪ **La forme des spores** : les spores de la plupart des Glomales sont globuleuses (sphériques) mais quelques espèces ont des spores ovales ou ayant d'autres formes. L'hyphe d'attache peut être cylindrique, évasée ou courbée. Quelques spores ont plusieurs hyphes d'attache.

▪ **La taille des spores** : la taille des spores est moins utilisée par rapport à d'autres critères de classification à cause de sa variabilité, mais peut parfois aider dans la distinction d'espèces.

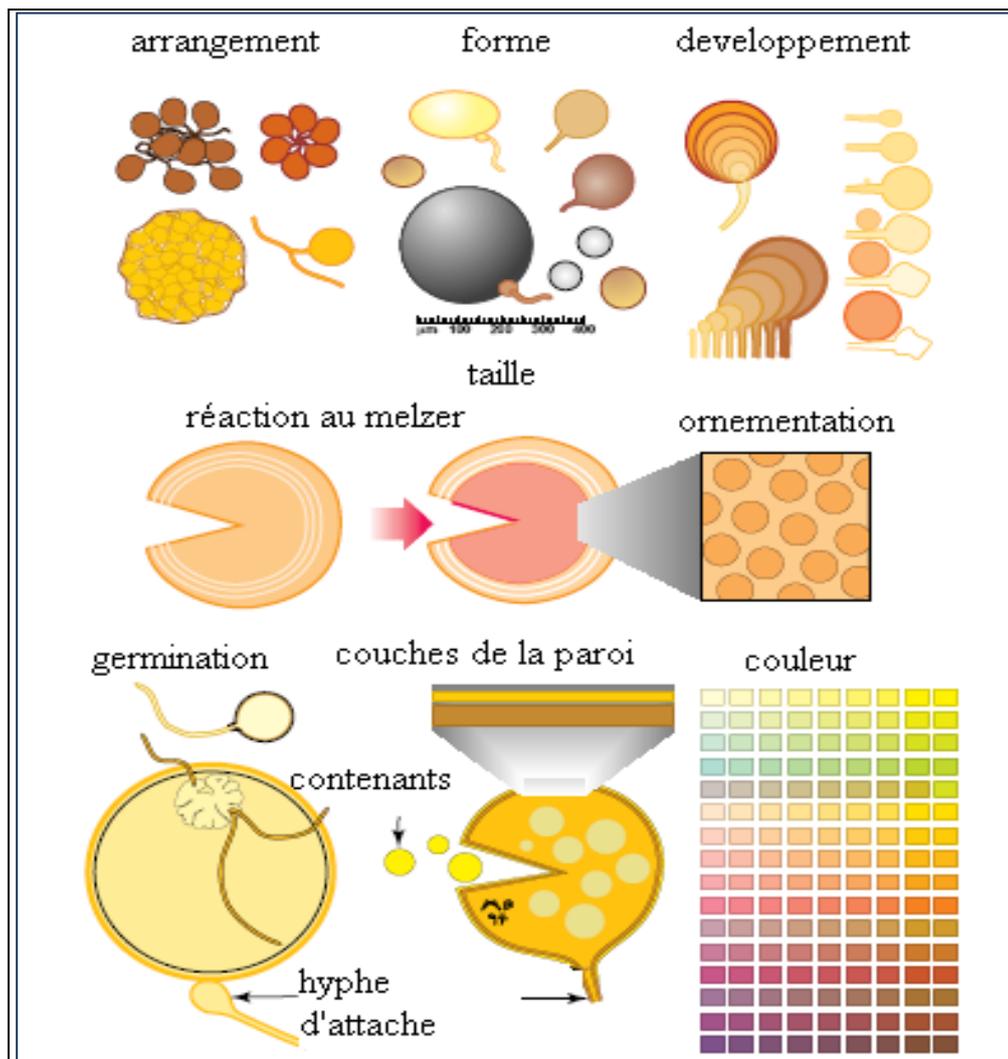
▪ **La couleur des spores** : la couleur des spores varie beaucoup et peut être très utile dans l'identification des espèces lors du travail avec les isolats.

▪ **L'ornementation des spores** : les surfaces des spores de *Scutellospora* et *Acaulospora* ont des traits, des fosses et des papilles.

▪ **Les couches de la paroi des spores et la réaction aux colorants** : les parois des spores des Glomales ont une ou plusieurs couches qui varient dans leur épaisseur, structure, apparence et à la réaction face aux colorants. Les genres *Acaulospora*, *Entrophospora* et *Scutellospora* ont une structure complexe de paroi, constituée d'une épaisse couche extérieure et une ou plusieurs couches intérieures minces. Ces couches peuvent être vues seulement quand la spore est écrasée et observée avec un microscope. Une ou plusieurs couches de la paroi peuvent se colorer en rouge ou en pourpre avec le réactif Melzer. Les genres *Glomus* et *Gigaspora* ont généralement une structure simple par rapport aux autres genres.

▪ **La germination des spores** : le mécanisme de la germination des spores peut être utilisé pour la distinction des Glomales, particulièrement pour les espèces de *Scutellospora* qui ont des boucliers de germination dans leurs parois intérieures.

▪ **Le mode de colonisation des racines** : il est généralement facile de reconnaître le genre d'un champignon endomycorhizogène par son mode de colonisation. Il est même possible de faire la séparation entre les espèces (surtout pour *Glomus*).



**Figure 12.** Les bases de classification des spores des champignons endomycorhiziens (Brundrett, 2000).

### 3.2.2.5. Rôle écologique des champignons MA

Le rôle de la symbiose mycorhizienne dans la croissance et la nutrition des plantes n'est plus à démontrer. La littérature déborde de travaux l'ayant mis en évidence et plusieurs synthèses bibliographiques ont été publiées sur ce sujet. L'efficacité du système racinaire mycorhizé est due principalement à une extension de la surface d'absorption et du volume de sol prospecté grâce aux hyphes fongiques. En effet, ce qui est absorbé par les hyphes extra-racinaires sera transloqué en grande partie vers les racines de la plante hôte. Nous résumons les effets bénéfiques comme suit :

- amélioration de la structure du sol (Augé, 2004 ; Rillig & Mummey, 2006),
- augmentation du volume de sol exploré par la racine (Sylvia, 1986),
- augmentation de l'absorption des nutriments minéraux surtout à faibles concentrations (P et N) (Nouaim & Chaussod, 1996),
- augmentation de la longévité de la racine (Jacob, 2001),
- protection contre les agents pathogènes (Elsen *et al.*, 2003),
- protection contre la sécheresse (Nouaim & Chaussod, 1996 ; Meddich *et al.*, 2000 ; Boomsma & Vyn, 2008),
- protection contre la toxicité des métaux lourds comme le Zn, Cu, Cd, Ni, Na et Pb (Khan, 2006),
- absorption de nutriments organiques (Plenchette, 2003),
- production d'enzymes extracellulaires (Jacob, 2001),
- et facilitation des échanges inter-spécifiques entre les plantes (Sanon, 2009).

### 3.2.2.6. Notion d'infectivité mycorhizienne des sols

Comme les CMA jouent un rôle important dans la croissance et le développement des plantes hôtes, il est de toute évidence souhaitable de tirer profit de façon maximale des avantages que peut offrir la symbiose endomycorhizienne en agriculture. Mais il faudrait en premier lieu savoir comment gérer les populations indigènes de champignons des sols agricoles. Préalablement à cela, la mesure du niveau des populations dans le sol par l'étude de leur infectivité ou potentiel infectieux est nécessaire afin de planifier une stratégie pour le maintien, la mise en valeur et le remplacement par des champignons plus favorables (Plenchette, 1989).

Le potentiel infectieux est défini par Abbott et Robson (1982) comme étant la quantité totale des racines colonisées par le champignon MA après un temps donné. Une autre définition a été élaborée par Plenchette *et al.*(1989) : il s'agit de la capacité d'un sol à initier la formation d'associations mycorhiziennes à partir d'une quantité d'inoculum présent dans ce sol sous forme de spores, de mycélium et de débris de racines portant des vésicules.

## *Chapitre 2 : Etude du milieu*

## 1. Délimitation géographique de la steppe algérienne

Il est à rappeler que les hautes plaines steppiques forment un ruban de 1000 km de long sur 300 km de large, réduit à moins de 150 km à l'Est. Elles sont localisées entre les isohyètes 400 mm au Nord et 100 mm au Sud de l'Atlas saharien, à des altitudes comprises entre 900 et 1200 m, parsemées de dépressions salées.

On distingue deux grands ensembles : 1) Les steppes occidentales, qui sont constituées des hautes plaines Sud oranaises et Sud algéroises, dont l'altitude décroît du Djebel Mzi à l'Ouest à la dépression salée du Hodna au centre ; 2) Les steppes orientales à l'Est du Hodna sont formées par les hautes plaines du Sud constantinois (Fig.13).

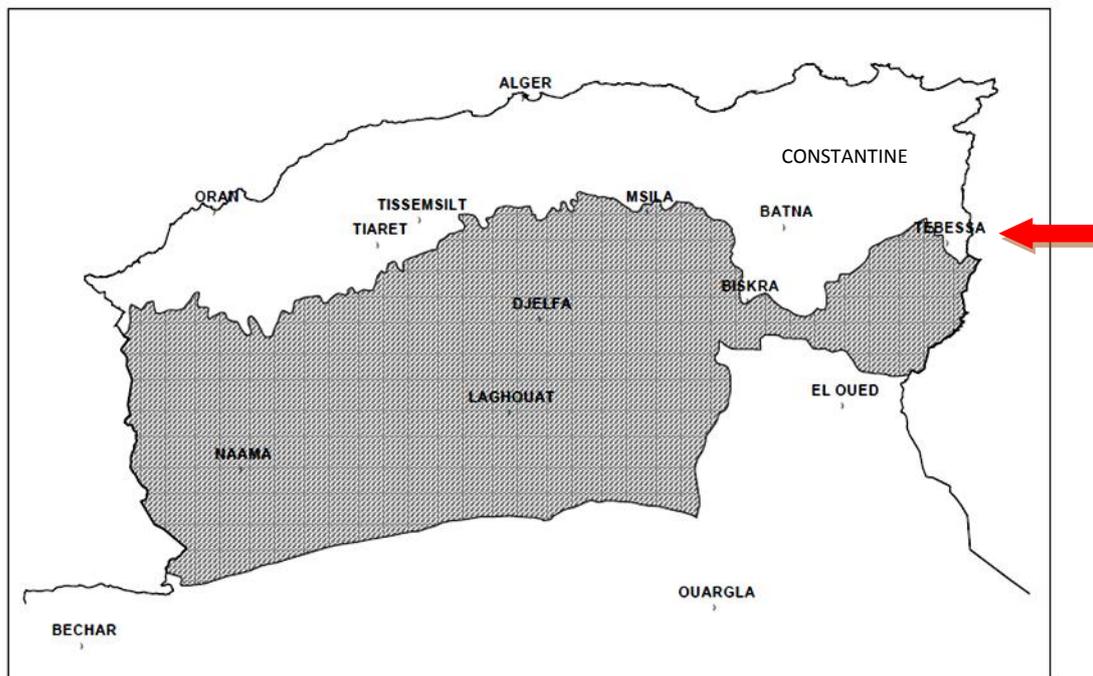


Figure 13. Délimitation des steppes algériennes (Nedjraoui, 2004).

### 1.1. Climat

La steppe se caractérise par un climat semi-aride inférieur frais sur sa partie Nord et aride inférieur tempéré au Sud (Le Houerou, 1995). Soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, le climat est de type méditerranéen extra tropical tempéré, caractérisé par la succession de deux saisons très tranchées : une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois aux niveaux des hautes plaines, et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas saharien. Il est particulièrement caractérisé par une faible

pluviosité et de fortes amplitudes thermiques.

### 1.1.1. Pluviosité

La pluviosité est à la fois faible et irrégulière. Elle accuse une importante variation spatio-temporelle mensuelle et surtout annuelle et oscille entre 100 mm et 400 mm, tranche bien insuffisante pour permettre une utilisation agricole intensive. En année sèche, l'ensemble de la steppe reçoit moins de 250 mm de pluie.

### 1.1.2. Température

La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est comprise entre -2 °C et 4°C et la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie entre 33 °C à 38 °C.

## 1. 2. Sol

Les sols steppiques sont squelettiques, peu profonds, fragiles, pauvres en humus et sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire réduisant la profondeur de sol (Nedjraoui & Bedrani, 2008). On distingue plusieurs types de sols regroupant les sols minéraux bruts ou sols très peu évolués, les sols peu évolués, les sols calcimagnésiques, les sols iso-humiques et les sols halomorphes (Halitim, 1988). Nombreux sont les auteurs qui ont rattaché les sols de l'Afrique du Nord aux sols rouges méditerranéens et qualifiés d'iso-humiques (sols bruns de steppe) (Duchauffour, 1977).

## 1.3. Végétation

La végétation steppique est essentiellement composée d'une strate herbacée basse, discontinue, généralement en touffes, laissant apparaître entre elles des plaques de sol nu. Elle est diversifiée par sa composition floristique et sa densité et est caractérisée par 4 grands types de formation (Djebaili, 1984) :

-les parcours à graminées : *Stipa tenacissima* (alfa), *Lygeum spartum* (la fausse alfa ou sparte), *Aristida pungens* (drinn). Ils constituent des parcours médiocres.

-les parcours à chamaephytes : *Artemisia herba alba*, *Artemisia campestris*, *Arthrophytum scoparium*, *Thymellea microphylla* dont les valeurs pastorales sont très appréciables.

-les parcours à espèces crassuléscentes : *Atriplex halimus*, *Suaeda fruticosa*, *Salsola*

*vermiculata*. Des espèces halophiles de bonne valeur fourragère.

-Les parcours dégradés et post culturaux : *Peganum harmala*, *Astragalus armatus*, *Noaea micronata*.

## 2. Présentation de la zone et des stations d'étude

Le milieu où s'insère notre zone d'étude est un vaste écosystème situé le long d'un transect de 185 km Nord-sud des 2 wilayates (Souk ahras et Tébessa). Cette région fait partie des hautes plaines constantinoises (Santa & Quezel, 1963). Elle est située au Nord-est algérien, limitée au Nord par Souk ahras, à l'Est par les frontières algéro-tunisiennes, à l'Ouest par Khenchela et au Sud par El Oued (Fig.14).

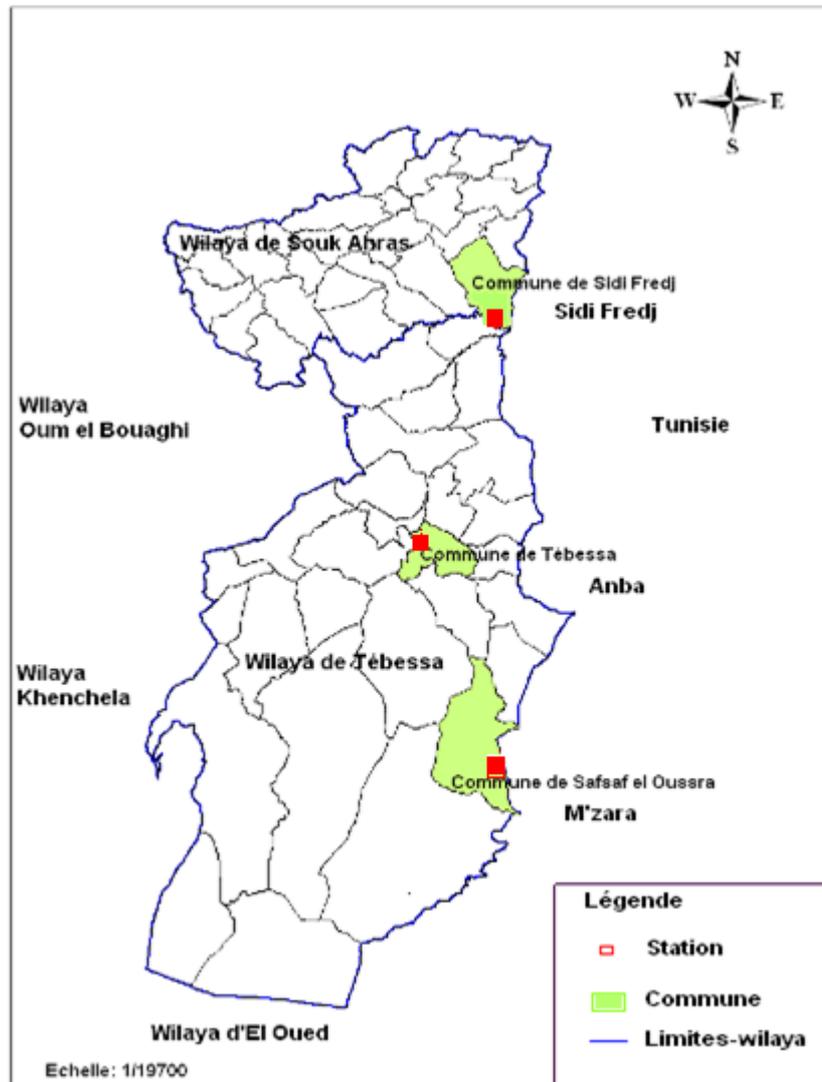
Trois stations d'étude sont retenues : station de Sidi Fradj (Sud de Souk ahras), station de Anba (Nord de Tébessa) et station de M'zara (Sud de Tébessa).

### 2.1. Station de Sidi Fradj

Le lieu expérimental de Sidi Fradj, daïra Merahna, wilaya de Souk ahras est situé à 37 Km au Sud-est du chef-lieu de la wilaya, à une latitude (N) de 35° 58' 06.9'', une longitude (E) de 008° 15' 06.6'', et une altitude de 450 m. Il est limité par la commune de Hedada au Nord, par Merahna au Nord-ouest, par Taoura au Sud, par Ouenza au Sud-ouest et à l'Est par les frontières algéro-tunisiennes.

#### 2.1.1. Relief

Il se distingue par son enchevêtrement et son irrégularité. Au Nord, il y a l'Atlas tellien, au Sud, les hauts plateaux séparés par de petites collines représentées par Djebel el djibel et Djebel mridef. Les montagnes occupent la zone Nord selon une direction Est-ouest et se présentent comme une barrière naturelle avec un pic de 1100 m et les versants se distinguent par des pentes raides et occupent des surfaces importantes allongées selon une direction Nord-sud. Ces versants sont le siège d'agglomération rurale. Au Sud, les pentes s'atténuent progressivement pour laisser la place à de petites vallées, siège d'une activité agricole intense.



**Figure 14.** Localisation de la zone et des stations d'étude.

### 2.1.2. Climat

Le diagramme ombro-thermique de la station a été tracé sur la base de données de la daïra de Ouenza, située à 12 km de notre station d'étude. Les températures sont celles de la station de Tébessa (Annexe 1.2).

Le diagramme (Fig.15) montre que la saison sèche s'étend du mi-mai jusqu'à novembre. Selon De Martonne, la station est soumise à un climat aride avec un indice  $I = 7.93$ . L'analyse des variations mensuelles des précipitations sur une période de 21 ans, montre que : le mois le plus arrosé est le mois de mai avec une moyenne mensuelle de 41.28 mm alors que le mois le moins pluvieux est juillet avec une moyenne de 8.24 mm. Les températures maximales sont

enregistrées le mois de juillet avec 26.91°C alors que les minimales sont enregistrées en janvier avec 6.53°C.

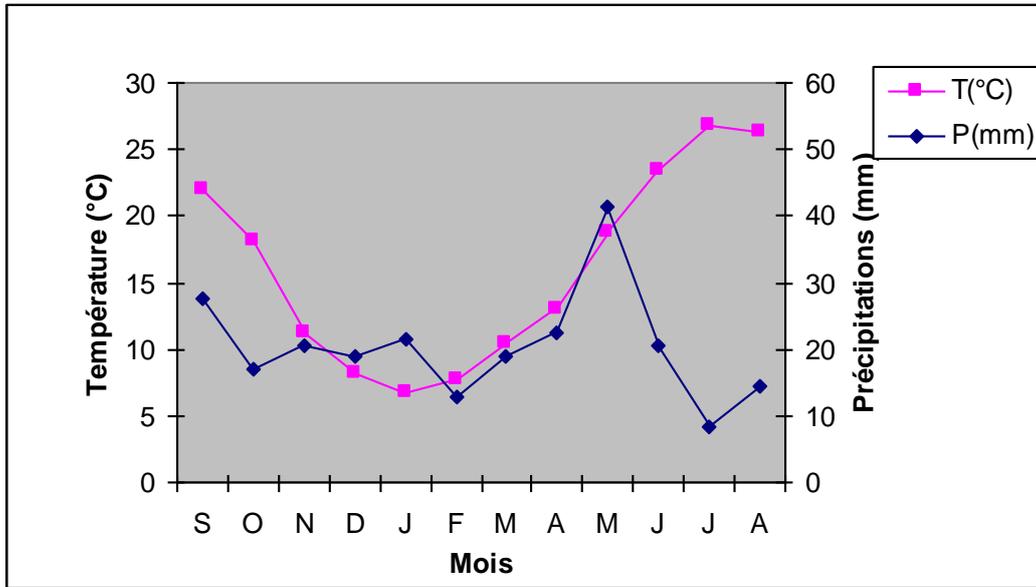


Figure 15. Diagramme ombrothermique de la station de Sidi Fradj (1987-2008).

## 2.2. Station de Anba

La station de Anba se trouve dans la commune de Tébessa à une latitude (N) de 35° 25' 08.3'', longitude (E) de 008° 01' 42.4'' et une altitude de 887 m. Elle est limitée par Bekkaria à l'Est, Boulhaf Dir au Nord, Hammamet et Bir Mokadem à l'Ouest et El Malabiod au Sud.

### 2.2.1. Relief

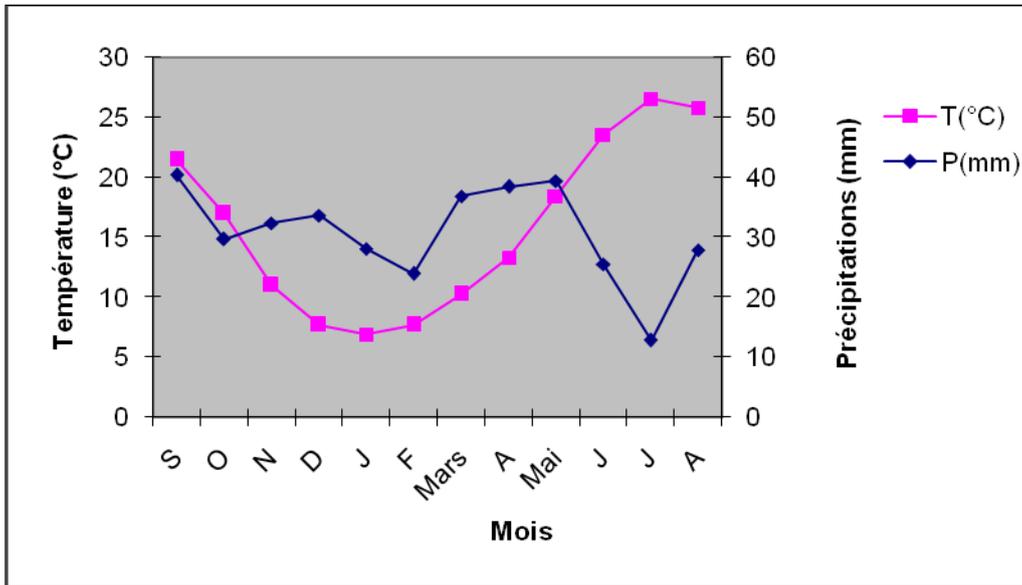
Les monts de Tébessa font partie de l'Atlas saharien oriental. Ils forment un prolongement des Nememcha. Le terme « monts de Tébessa » est un ensemble hétérogène dont le seul lien apparent est encadré par le fossé Morsott-Tébessa.

### 2.2.2. Climat

La région de Tébessa fait partie du haut plateau tellien de l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par un hiver froid et un été très chaud.

L'analyse des variations mensuelles des précipitations et des températures sur une période de 38 ans (1972-2010) montre que la température moyenne est de l'ordre de 16.05°C avec un

maximum au mois de juillet de 26.50°C et un minimum au mois de janvier 6.87°C. Le mois le plus arrosé est le mois de septembre avec une moyenne mensuelle de 42.75 mm alors que le mois le moins pluvieux est juillet avec une moyenne de 12.85 mm. Notre base de données climatique provient de la station météorologique de Tébessa (Annexe 1.2).



**Figure 16.** Diagramme ombrothermique de la station de Anba (1972-2010).

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (Fig.16) montre que la saison sèche s'étend de la mi-mai jusqu'au mois de septembre. De Martonne classe la station dans la zone semi aride avec un indice  $I = 14.24$ .

### 2.3. Station de M'zara

La station de M'zara sise la commune Saf saf el oussra, daïra Oum Ali, wilaya de Tébessa, se situe au Sud-est de Djebel Foua dont les coordonnées sont : latitude (N) 34° 51' 08.4", longitude (E) 008° 15' 05.3" et une altitude de 780 m. Elle est entourée du côté Est par la frontière tunisienne, côté Nord-nord-est et Nord-ouest par Djebel El Botna, au Sud-sud-est et Ouest par Oued Smair et côté Sud-est par Oued Safsaf.

#### 2.3.1. Relief

Il est constitué par un ensemble montagneux formant l'essentiel de sa superficie. Le périmètre d'étude comprend une série de chaînons orientés du Nord-ouest au Sud et d'une altitude moyenne de 1000 m. Bien que les altitudes varient de 800 m au Sud de la zone (Oued

Rheznata), à 1484 m au sommet de Djebel Foua, les deux tiers du territoire étudié sont à une altitude comprise entre 1000 m et 1200 m, seul le sommet du Djebel Foua peu étendu culmine à plus de 1200 m. Outre le Djebel Foua orienté de l'Est vers l'Ouest, les autres reliefs les plus importants et les plus élevés sont du Nord-est au Sud-ouest : djebels Driminn (1131 m), Oussra (1106 m) et el Mekhla (1122 m). Entre eux s'intercalent d'étroites lapines allongées le long des franges Nord-ouest et Sud-est encadrant l'ensemble montagneux.

### 2.3.2. Climat

La caractérisation climatique est faite sur la base des données climatiques fournies par l'ANRH de Tébessa (Agence Nationale des Ressources Hydriques) de la station de Safsaf El Oussra sur une période s'étendant sur 15 ans (1990 - 2005) (Annexe 1.2).

L'analyse des variations mensuelles des précipitations montre que le mois le plus arrosé est le mois de septembre avec une moyenne mensuelle de 25.68 mm alors que le mois le moins pluvieux est juillet avec une moyenne de 7.3 mm. La pluviosité moyenne annuelle est de 162.41 mm. Les températures maximales sont enregistrées durant les mois de juillet, août et juin alors que les minimales sont enregistrées durant les mois de décembre, janvier et février.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (Fig.17) montre que la courbe thermique est au dessus de celle des précipitations avec un seul point d'intersection (le mois de décembre) et que la saison sèche s'étend presque sur toute l'année. L'indice de De Martonne la classe dans la fourchette aride avec un indice  $I= 6.73$ .

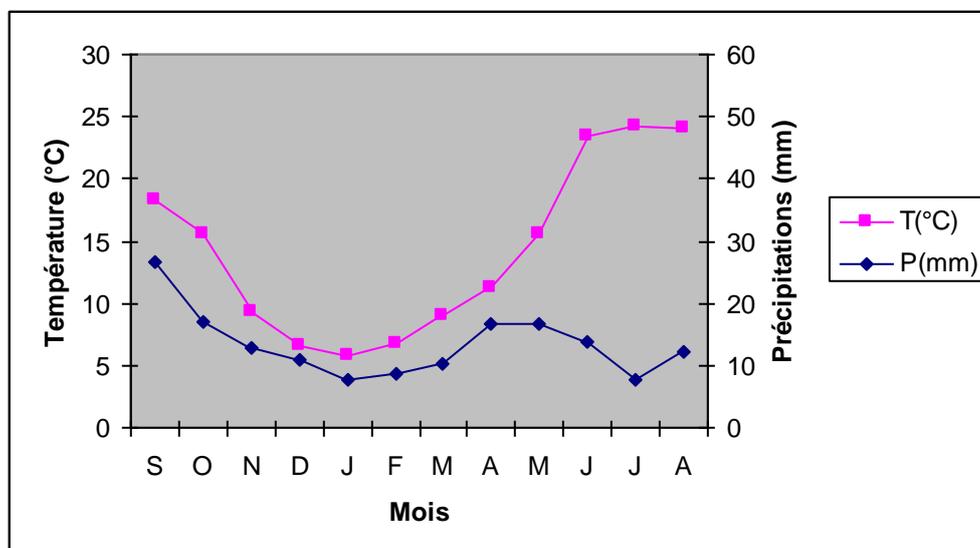


Figure 17. Diagramme ombrothermique de la station de M'zara (1990-2005).

## *Chapitre 3 : Méthodologie*

## 1. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été élaborée afin d'étudier les effets de, i) l'année d'observation (2008, 2009 et 2010), ii) la station (Sidi Fradj, Anba et M'zara) et iii) l'âge des plantations (< 5ans, > 20 ans) par rapport aux témoins (0 âge) sur :

- quelques paramètres édaphiques : le pH, la conductivité électrique (CE), l'humidité, les taux de calcaire total et actif, le taux de la matière organique (MO), le taux d'azote, les teneurs en phosphore total et assimilable et le ratio C/N,
- les paramètres de végétation tels que le taux de recouvrement, l'abondance, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité,
- et ceux relatifs à la colonisation mycorhizienne comme la fréquence (F%) et l'intensité (M%) mycorhiziennes. Chacun des traitements a été répété trois (03) fois selon un dispositif aléatoire complet (D.A.C) pour chaque station.

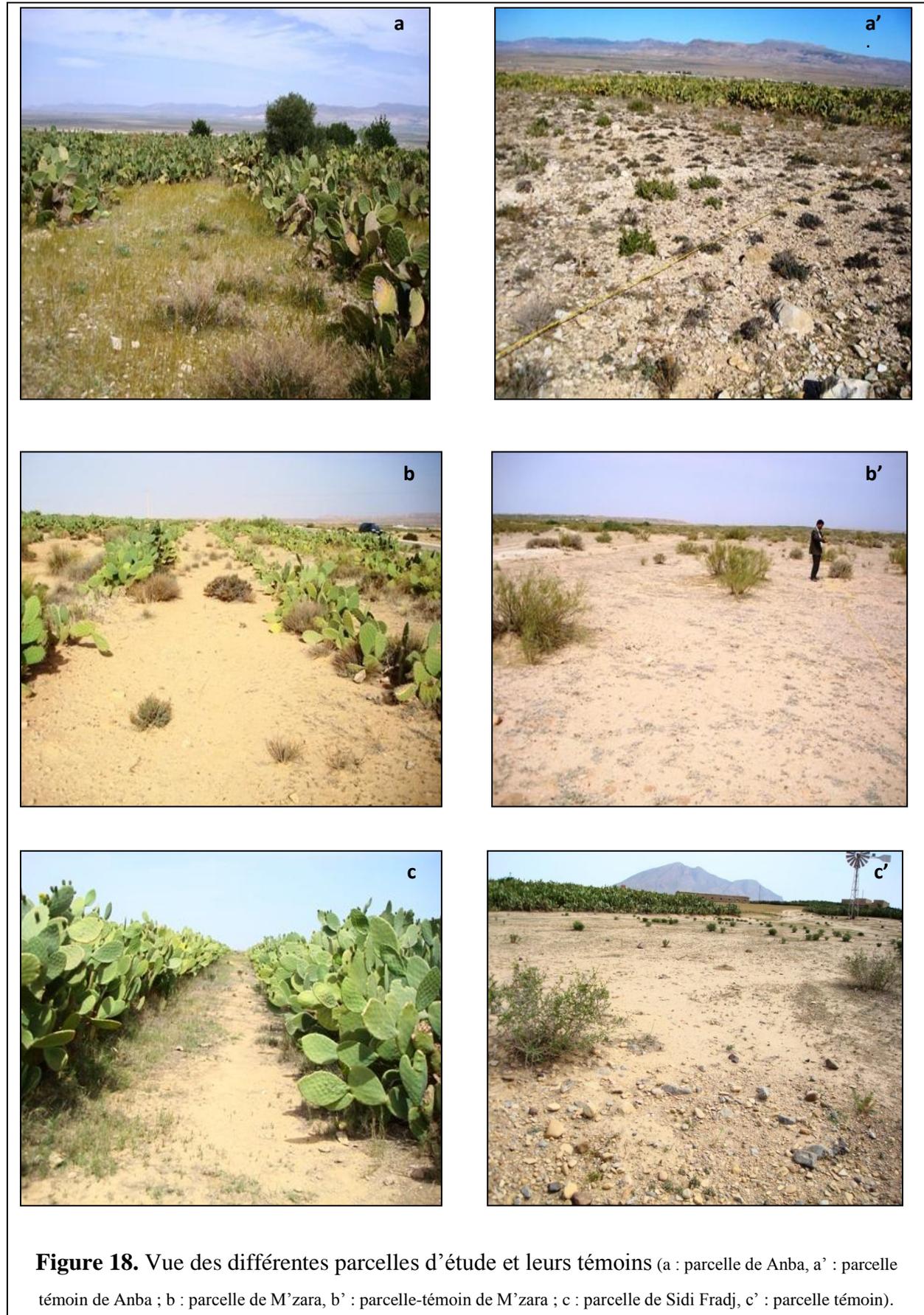
## 2. Méthodes d'étude

### 2.1. Sélection des parcelles et prélèvement des échantillons de sol

L'étude a été menée dans des parcelles plantées d'*Opuntia ficus indica* âgées de moins de 5 ans et de 20 ans et plus (Fig. 18 a, b, c) et des parcelles voisines non plantées (les témoins) (Fig. 18 d, e, f). L'âge des plantations est obtenu suite à des enquêtes menées sur le terrain et confirmées par le HCDS, qui a pour mandat le développement de la steppe et des zones pastorales et agropastorales d'une manière générale et en charge des programmes de réhabilitation et d'amélioration des parcours en particulier.

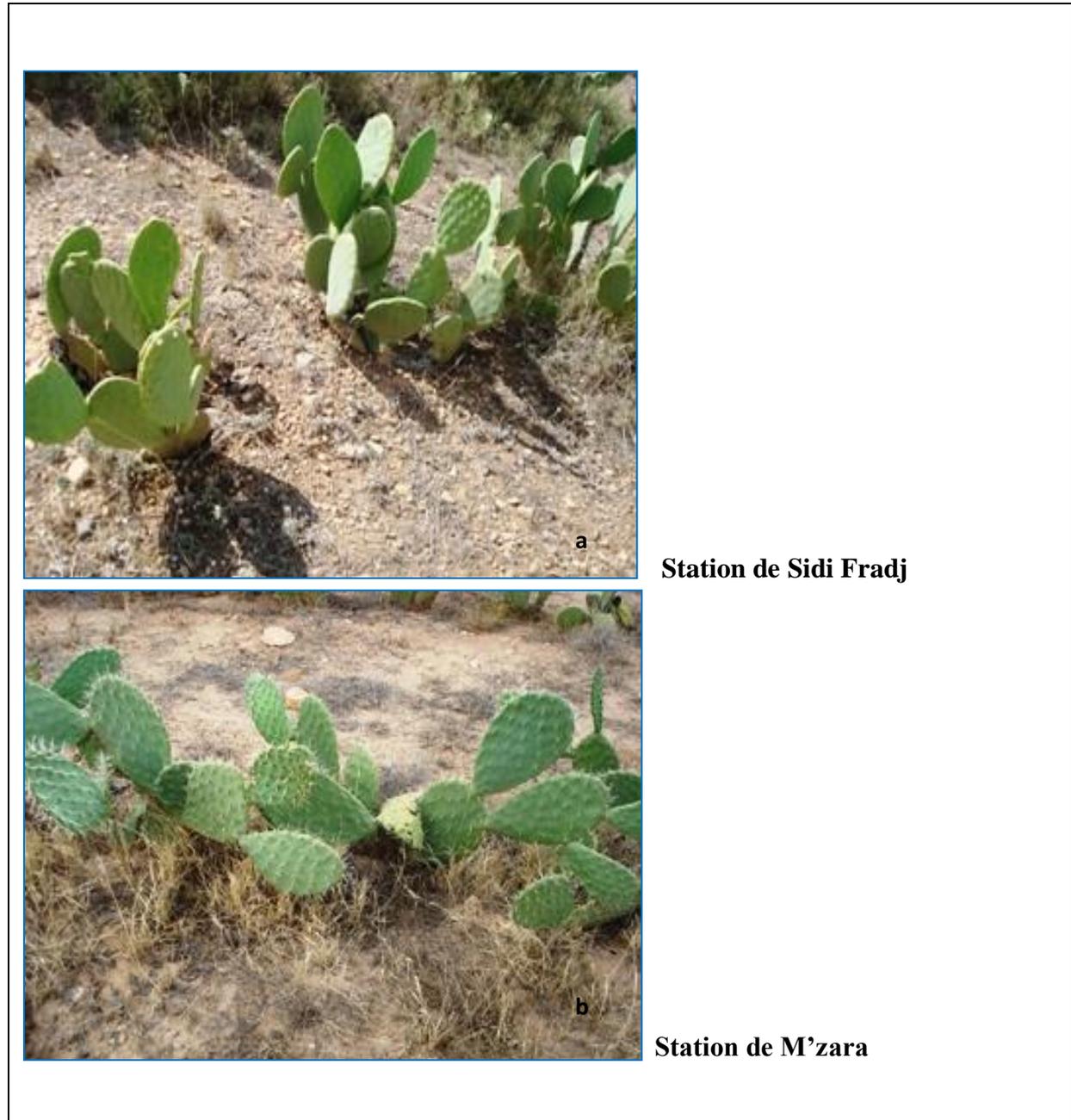
Afin de réduire et de contrôler les variations pédologiques et climatiques au niveau de chaque station, toutes les parcelles ont été choisies proches les unes des autres, y compris les parcelles témoins qui sont des parcelles en friche, non plantées. Trois (03) parcelles, aux propriétés morphologiques et topographiques similaires, de superficie comprise entre 2 et 4 hectares chacune, ont été retenues pour chaque niveau d'âge.

La technique de plantation est de deux types ; soit sous forme de plantation au ras du sol dépôt de cladodes dans des pôtets, elle est dite plantation en couronne ou en bouquet (Fig. 19a), ou le long de sillons parallèles aux courbes de niveaux avec un espace inter-sillons inversement proportionnel au degré de la pente, elle est dite plantation linéaire (Fig.19b). Le sol étant peu profond, la masse racinaire se retrouve par conséquent dans les couches les plus



**Figure 18.** Vue des différentes parcelles d'étude et leurs témoins (a : parcelle de Anba, a' : parcelle témoin de Anba ; b : parcelle de M'zara, b' : parcelle-témoin de M'zara ; c : parcelle de Sidi Fradj, c' : parcelle témoin).

superficielles du sol. Dans chaque parcelle, 5 à 6 points de prélèvements sont effectués aléatoirement sur une profondeur moyenne de 15 cm (entre 10 et 20 cm). Leurs caractéristiques sont consignées dans le tableau 3.



**Figure 19.** Types de plantation : a : en couronne (potêts) et b : en ligne  
(Cliché Neffar, 2011).

**Tableau 3.** Caractéristiques des stations d'étude.

Nom de la station	Sidi Fradj	Anba	M'zara
Localisation	Sud de Souk ahras	Nord de Tébessa	Sud de Tébessa
Altitude (m)	450	887	780
Latitude (N)	35° 58' 06.9	35°25'08.3''	34°51' 08.4''
Longitude (E)	008° 15' 06.6''	008°01' 42.4''	008°15' 05.3''
Exposition	Plaines	NE-ENE (versant)	SSE (versant)
Forme d' <i>Opuntia</i> cultivée	Inerme	Inerme	Asperme
Espace interligne dans les plantations (m)	3-4.5	3-4.5	2-8
Mode de plantation	Potêts	Potêts	Ligne
Amendement organique ou minéral	Organique (fumier)	Néant	Néant
Pratiques culturales	Culture céréalière	Terres marginales (quelques arbres fruitiers)	Terres en friche
Pluviométrie (mm)	227.97 (1987-2010)	378.18 (1972-2011)	162.41 (1990-2005)

## 2.2. Analyses physico-chimiques

Pour les analyses pédologiques, environ un (01) kg de sol par échantillon est prélevé de chaque parcelle et ramené au laboratoire. Les échantillons de sol sont séchés à l'air, tamisés à 2 mm et conservés dans des sachets. Les analyses sont réalisées sur la terre fine (Annexe 2.1). Les paramètres suivants sont mesurés et ont fait l'objet de 6 répétitions :

- la granulométrie est déterminée par tamisage humide (AFNOR, 1990),
- le pH et la conductivité électrique (CE) sur une suspension sol-eau (1/5),
- l'humidité est déterminée selon la méthode de Mathieu et Pieltain (2003),
- les teneurs en calcaire total sont déterminées par calcimétrie volumétrique (Dermech *et al.*, 1982) dont le principe consiste à décomposer les carbonates de calcium sous l'action d'un acide fort (HCl) dilué au 1/3 et à mesurer le volume du CO<sub>2</sub> dégagé,
- le calcaire actif est déterminé par la méthode de Drouineau (Mathieu & Pieltain, 2003). Il est dosé en se basant sur la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner

l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique,

-le carbone organique est dosé par la méthode de Anne (Bonneau & Souchier, 1994) par oxydation du carbone avec le bichromate de potassium en excès ( $K_2Cr_2O_7$ ) en milieu acide et dosage de la quantité de bichromate non consommée en retour par le sel de Mohr. Le pourcentage de la matière organique est estimé en multipliant le taux de carbone par 1.72 (Mathieu & Pieltain, 2003),

-l'azote total (N%) a été déterminé par la méthode de Keldjahl décrite par Bonneau et Souchier (1994). Elle consiste à une minéralisation de la matière organique azotée par l'acide sulfurique concentré à chaud. L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium,

- le phosphore assimilable (Pa) est déterminé par la méthode d'Olsen (Mathieu & Pieltain, 2003) suite à une extraction avec une solution de bicarbonate de sodium à 0.5 M,

- et le phosphore total est déterminé suite à une attaque par l'acide perchlorique à 60 % (In Garroucha, 1995).

## **2.3. Méthodes d'étude de la végétation**

### **2.3.1. Technique d'échantillonnage de la végétation**

Vu le caractère steppique de la végétation, le taux de recouvrement, l'établissement de la liste des espèces présentes et le relevé de leur abondance ont été réalisés durant la période de croissance optimale de la végétation.

Ces paramètres ont été estimés par la méthode linéaire de transect ou « line intercept » (Canfield, 1941) dont le principe consiste à mesurer la longueur recouverte par les diverses espèces projetée le long d'une corde graduée de 10 cm en 10 cm et tendue au travers de la végétation, soit au ras du sol, soit au dessus de la strate dominante pour les espèces touffues ou buissonnantes.

Pour chaque parcelle d'étude, des « transects » ont été pris aléatoirement au niveau de l'espace interligne. La longueur de la corde dépendait de la largeur de l'espace interligne et variait de 2 à 8 mètres. Le long de la corde tendue, le relevé des paramètres de végétation a

été effectué tous les 10 cm. Ces observations ont été effectuées durant les printemps 2008, 2009 et 2010.

### 2.3.2. Paramètres étudiés

#### 2.3.2.1. Taux de recouvrement (%)

Le taux de recouvrement a été évalué par une estimation du pourcentage de sol couvert par la végétation comme étant le rapport de la longueur occupée par la végétation sur la longueur totale de la corde. Cette méthode bien qu'elle soit subjective et moins précise, a l'avantage d'être rapide.

**2.3.2.2. Abondance** : l'abondance absolue ( $N_a$ ) d'une espèce est le nombre d'individus qui représente le peuplement. Elle s'obtient en additionnant tous les individus recueillis dans chaque prélèvement.

**2.3.2.3. Richesse spécifique** : c'est le nombre d'espèces d'un peuplement ou d'une fraction de celui-ci prélevé dans une station ou dans un ensemble de stations.

#### 2.3.2.4. Indices de Shannon et d'équitabilité

##### 2.3.2.4.1. Indice de Shannon :

Cet indice traduit la diversité du peuplement. Il varie entre 0.5 et 4.5 (Faurie *et al.*, 2003)

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \text{Log}_2 p_i$$

Avec  $p_i = n_i/N$  où  $n_i$  est le nombre d'individus de chaque espèce,  $N$  est le nombre total des individus de toutes les espèces et  $S$  étant le nombre d'espèces recensées.

$H'$  est minimal (=0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, ou si dans un peuplement chaque espèce est représentée par un seul individu, excepté une espèce qui est représentée par tous les autres individus du peuplement. L'indice est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces.

#### 2.3.2.4.2. Indice d'équitabilité de Piélou

L'équitabilité (E) étant le rapport entre la diversité H' calculée et celle obtenue pour le nombre d'espèces inventoriées en cas d'équifréquence.

$$E = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Cet indice peut varier de 0 à 1. Il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement (milieu relativement stable) et il est minimal (tend vers 0) quand une seule espèce domine tout le peuplement et qu'il y a dans le milieu plusieurs espèces rares. C'est l'indice le plus utilisé pour comparer la structure des différents peuplements.

### 2.4. Méthodes d'étude des mycorhizes

#### 2.4.1. Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne

##### 2.4.1.1. Préparation des racines

Afin de suivre la variation spatio-temporelle des paramètres de mycorhization, à savoir la fréquence de colonisation F(%) et l'intensité de mycorhization M(%) chez le figuier de Barbarie, des prélèvements racinaires ont été effectués durant les 4 saisons de l'année 2008-2009 (printemps 2008/ hiver 2009) dans les jeunes et vieilles plantations des 3 stations d'étude.

Les racines fines prélevées sous au moins 2 ou 3 arbustes sont mélangées convenablement, constituant ainsi un échantillon représentatif du système racinaire. La détection et l'observation des champignons MA n'est possible qu'après un traitement en adoptant la technique de coloration de Phillips et Hayman (1970) (Annexe 4.1).

Cette technique consiste à laver les racines à l'eau de robinet, les immerger dans une solution de KOH à 10 % pour vider les cellules de leur contenu. Elles sont ensuite placées dans un bain Marie à 100 °C et chauffées pendant 60 minutes. Un rinçage à l'eau de robinet permet d'éliminer la potasse. Pour un meilleur éclaircissement, les racines sont ensuite plongées successivement dans du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) à 10 volumes et de l'HCl (2 %) pendant 30 mn. A la fin, elles sont rincées et immergées dans le noir de Chlorazol à 0.1% et passées au bain Marie à 90 °C pendant 60 mn pour être à la fin conservées dans du glycérol.

Les 10 ou 15 fragments racinaires choisis au hasard sont montés entre lames et lamelles dans du glycérol et sont observés au microscope photonique (Fig. 20).



Fragments racinaires traités.

**Figure 20.** Fragments racinaires du figuier de Barbarie montés entre lames et lamelles pour estimation de la colonisation.

#### **2.4.1.2. Estimation de la colonisation racinaire**

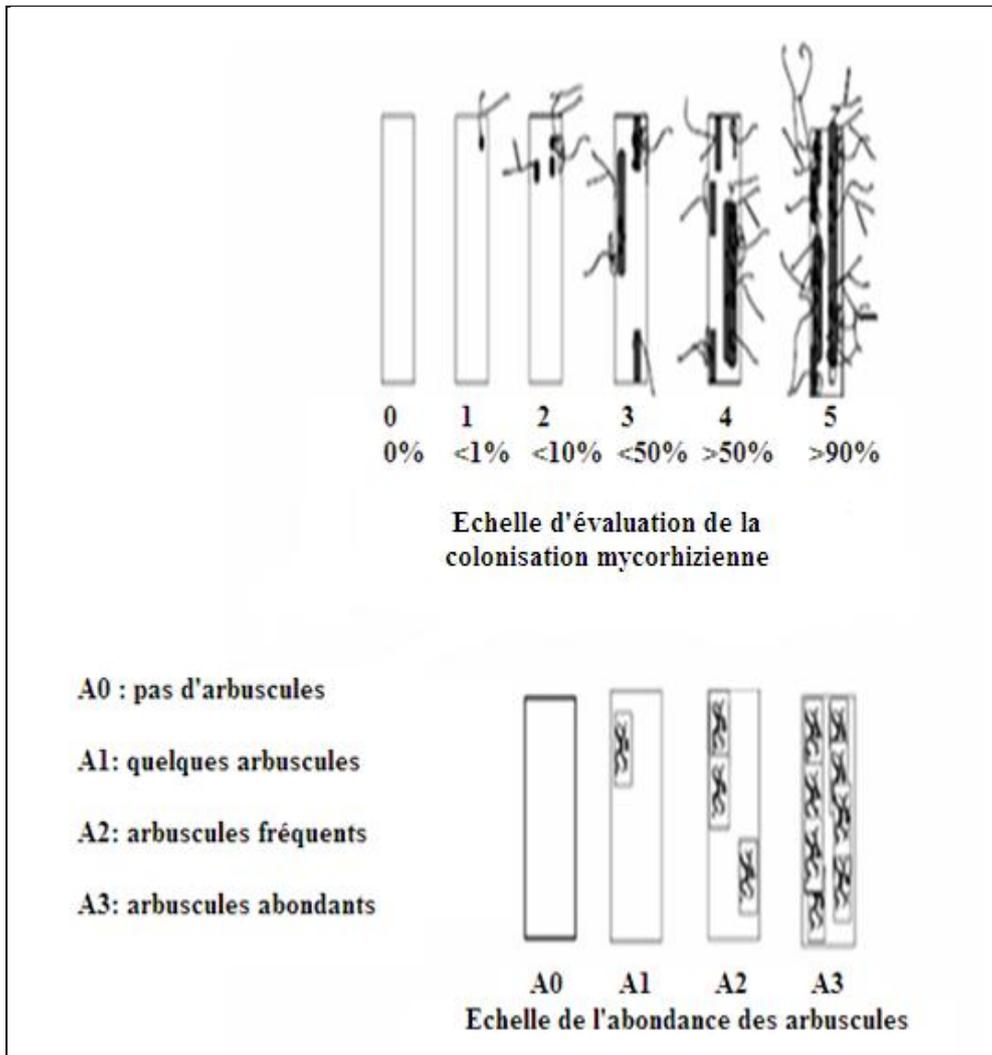
Le taux de colonisation endomycorhizienne est estimé selon une grille d'évaluation remplie selon 2 échelles (Annexe 3) en suivant un barème de classe indiquant le degré de colonisation (Fig.21). Les paramètres de colonisation sont calculés en introduisant les résultats de chaque grille dans un programme informatique mycocale mis au point par Trouvelot et ses collaborateurs (1986), disponible sur le site [www. Dijon.inra.fr](http://www.Dijon.inra.fr) (INVAM).

#### **2.4.2. Biodiversité des spores fongiques**

Afin de prospecter la biodiversité des spores fongiques indigènes aux sols des plantations de figuier de Barbarie, nous avons suivi les étapes suivantes :

##### **2.4.2.1. Extraction des spores fongiques**

Les échantillons de sol sont séchés à température ambiante. La recherche, la récolte et l'observation des spores des champignons, sont faites selon la technique de tamisage humide de Gerdemann et Nicolson (1963). Celle-ci consiste à superposer plusieurs tamis de mailles micrométriques de différentes ouvertures allant de 50  $\mu\text{m}$  à 500  $\mu\text{m}$ .



**Figure 21.** Barème de classe de la colonisation endomycorhizienne (Trouvelot *et al.*, 1986).

Dans notre cas, notre échantillon de sol est fractionné dans les tamis suivants : 350  $\mu\text{m}$ , 160  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$  et 50  $\mu\text{m}$ . Ces tamis sont soumis à un jet d'eau de robinet jusqu'à ce que l'eau qui en ressorte devienne claire et limpide. Cette technique nous permet de recueillir, à partir des sols étudiés, les spores et les sporocarpes dont la taille est comprise entre 50 et plus de 350  $\mu\text{m}$  (Fig.22).

Les tamisats du sol sont recueillis dans de petits flacons puis au moment de l'observation quelques ml de cette suspension sont mis dans une boîte de Pétri et observés à la loupe binoculaire. Les spores et les sporocarpes sont récoltés à l'aide d'une micropipette et sont montés entre lames et lamelles puis observés au microscope photonique à différents grossissements.

Nous avons été contraints de préciser la diversité fongique endomycorhizogène au rang générique seulement, en nous servant de la clé de détermination Blaszkowski, sur le site internet : [http:// www.agro.ar.szczecin.pl/jblaszkowski/SpeciesdescriptionsofAMF.html](http://www.agro.ar.szczecin.pl/jblaszkowski/SpeciesdescriptionsofAMF.html), ainsi que le site INVAM : <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/speciesID.htm>.

Des particularités morphologiques permettent de déterminer les principaux genres : *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* et *Scutellospora*. Elles permettent de séparer des espèces voisines difficilement identifiables à partir des seuls critères morphologiques et cytologiques. Pour cela nous avons appliqué trois réactifs biochimiques : HCl (35%), Melzer et le PVLG (Polyvinyl-Lactic Acid-Glycerin) (Voir composition en annexe 4.1).



**Figure 22.** Technique d'extraction des spores fongiques par tamisage humide.

#### 2.4.2.2. Observation des spores et conservation

Les spores isolées sont montées entre lame et lamelles en procédant de la façon suivante :

- déposer deux gouttes en des endroits différents de la lame dont une de PVLG et une autre de mélange PVLG et le réactif de Melzer (1:1 v/v),
- prélever 5 à 30 spores qui sont ensuite déposées au centre de chaque goutte,
- homogénéiser les spores dans le PVLG en utilisant une aiguille afin de permettre une bonne imprégnation des spores et leur maintien au centre de la goutte,
- recouvrir d'une lamelle,
- presser la lamelle contre la lame afin d'écraser plus ou moins fortement les spores d'une même préparation pour mettre en évidence, au mieux, la structure des parois. Dans le cas de spores de grande taille, il faut éviter d'en déposer plus de cinq par lame pour ne

pas casser la lamelle au moment où on écrase les spores.

En cas de conservation, les lames confectionnées doivent sécher à 60°C pendant 48 heures à l'étuve ou une semaine à température ambiante. Après ce séchage, elles sont référencées et peuvent être conservées de façon durable.

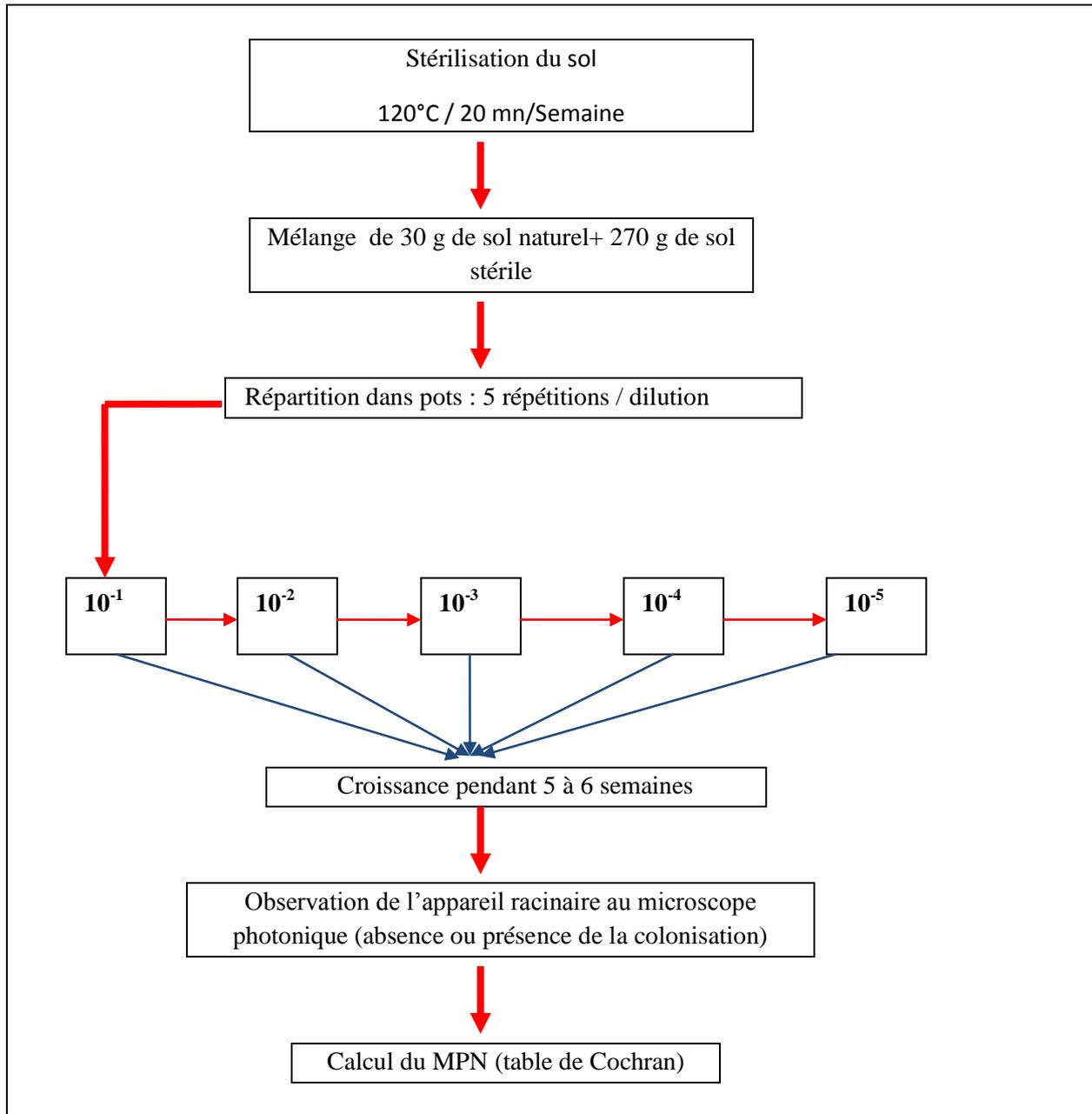
La caractérisation des spores de l'ordre des Glomales repose essentiellement sur l'observation des structures suivantes :

- i) **la paroi de la spore** : avec un nombre de couches allant de 1 à 3. L'ornementation qui est caractéristique pour chaque espèce est observée à la surface de la spore. Elle existe chez les genres *Glomus*, *Acaulospora* et *Scutellospora*.
- ii) **le bouclier de germination** : il est situé entre la paroi externe et la paroi interne de la spore. Il est caractéristique du genre *Scutellospora*.
- iii) **l'hyphe suspenseur** : c'est l'hyphe à l'extrémité de laquelle se forme la spore et dont les couches de la paroi sont en continuité avec celles de la spore dans le genre *Glomus*.
- iv) **l'occlusion** : c'est la séparation entre l'hyphe suspenseur et le contenu sporal.
- v) **le saccule sporifère** : sa présence confirme l'appartenance aux genres *Acaulospora* ou *Entrophospora*.
- vi) **la cellule sporogène bulbiforme** : sa présence est caractéristique de la famille des Gigasporaceae.

#### 2.4.3. Estimation du potentiel mycorhizogène du sol (MPN ou PMI)

Ce test biologique est basé sur une relation de type dose (quantité de sol non stérilisé)-réponse (statut mycorhizien des plants test) (Fig. 23).

Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode du nombre le plus probable (MPN : Most Probable Number) décrite par Alexander (1965). L'estimation de ce paramètre est obtenue après dilution des propagules du sol et leur piégeage par une plante hôte-test à forte dépendance endomycorhizienne, une herbacée (*Sorghum vulgare* L.) (Annexe 4.1).



**Figure 23.** Les étapes de la technique du MPN.

### 3. Traitements statistiques des données

L'analyse statistique s'est résumée en une série d'analyses de variance au niveau  $\alpha = 0.05$  afin de tester les effets des facteurs étudiés : année, station et âge sur les variables mesurées. Pour le facteur dont l'effet est significatif, nous avons fait une comparaison des moyennes à l'aide de la PPDS (Plus Petite Différence Significative). Les coefficients de corrélation de Pearson sont utilisés pour évaluer les relations entre les paramètres de mycorhization et ceux relatifs au sol et à la végétation pour l'année 2008/2009. Une ACP (Analyse en Composantes Principales) a été effectuée afin de dégager les groupes homogènes et d'explorer les liaisons

entre les variables et les ressemblances entre individus dans les 3 stations durant les 3 années d'étude (Annexes 2.3 ; 3.2 ; 4.3).

## ***Chapitre 4. Résultats et discussions***

- I. Effet de l'âge des plantations sur quelques paramètres édaphiques*
- II. Effet de l'âge des plantations sur les paramètres de végétation*
- III. Effet de l'âge des plantations sur les paramètres de mycorhization*

## I. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur quelques paramètres édaphiques

### 1. Introduction

Dans les écosystèmes arides et semi arides caractérisés par des précipitations faibles et des sécheresses fréquentes (Mabbutt, 1977), la productivité végétale peut être limitée par la disponibilité de l'eau et des nutriments. Ces derniers sont liés à un certain nombre de facteurs abiotiques : les précipitations annuelles, les propriétés du sol et la topographie (Li *et al.*, 2004). L'utilisation d'espèces arborescentes ou arbustives moins exigeantes et capables de se développer dans des conditions d'aridité extrême et de marginalité absolue des sols, ayant en même temps des propriétés fourragères peut représenter une solution significative à ce type de problèmes.

Par ailleurs, comme d'une part, l'identification des changements dans les propriétés du sol est nécessaire pour comprendre les conséquences écologiques du recouvrement (Paniagua *et al.*, 1999), et d'autre part, les nutriments du sol changent avec l'âge de la plante (Shao *et al.*, 1996), nous allons essayer dans cette section de chapitre d'apporter, tant peu soit-il une contribution à l'étude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) sur quelques paramètres édaphiques dans les 3 stations d'étude et d'interpréter les résultats obtenus.

### 2. Résultats

Les textures des différents sols sont : argileuse à sablo-argileuse à Sidi Fradj, argileuse à sablo-argileuse à limon sablo-argileux à Anba avec une importante charge caillouteuse et sableuse à M'zara (Tab.4a, b, et c).

#### 2.1. pH

Le pH des sols des différentes parcelles appartenant aux différentes stations dépasse 8 (Fig. 24). Les plus fortes valeurs sont observées dans la station de Sidi Fradj avec un pH de 8.16 chez les jeunes plantations, 8.12 chez les vieilles plantations et 8.18 chez les témoins. Ce paramètre diminue dans la station de Anba avec une fourchette comprise entre 8.04 et 8.07, pour augmenter légèrement dans la station de M'zara avec des valeurs allant de 8.07 chez le témoin et entre 8.09- 8.14 chez les traités.

**Tableau 4a.** Analyse granulométrique des parcelles de la station de Sidi Fradj.

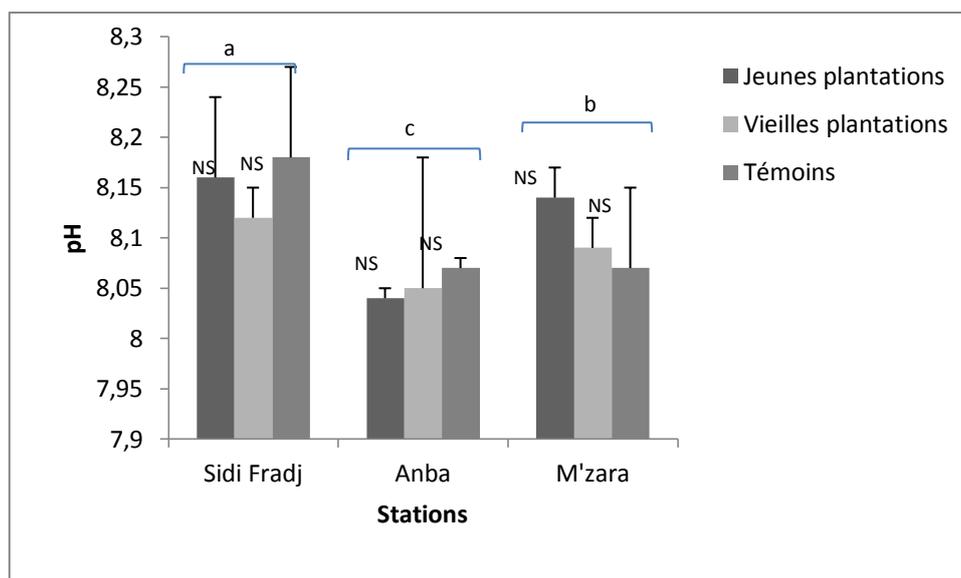
Age (ans) / Eléments(%)	Jeunes plantations (< 5)	Vieilles plantations (> 20)	Parcelles -témoins
Sables	25.45	40.9	70.42
Limons	13.63	11.90	9.85
Argiles	60.90	47.14	19.71
Texture	Argile	Argile	Sable-argileux

**Tableau 4b.** Analyse granulométrique des parcelles de la station de Anba.

Age (ans) / Eléments(%)	Jeunes plantations (< 5)	Vieilles plantations (> 20)	Parcelles –témoins
Sables	54.94	41.61	34.25
Limons	21.97	14.45	20.44
Argiles	23.07	43.93	45.30
Texture	SA-LSA	Argile	Argile

**Tableau 4c.** Analyse granulométrique des parcelles de la station de M'zara.

Age (ans) / Eléments(%)	Jeunes plantations (< 5)	Vieilles plantations (> 20)	Parcelles –témoins
Sables	79.71	87.78	85.40
Limons	6.76	4.07	4.29
Argiles	13.52	8.14	10.30
Texture	Sableuse	Sableuse	Sableuse



**Figure 24.** Effet de l'âge des plantations sur le pH

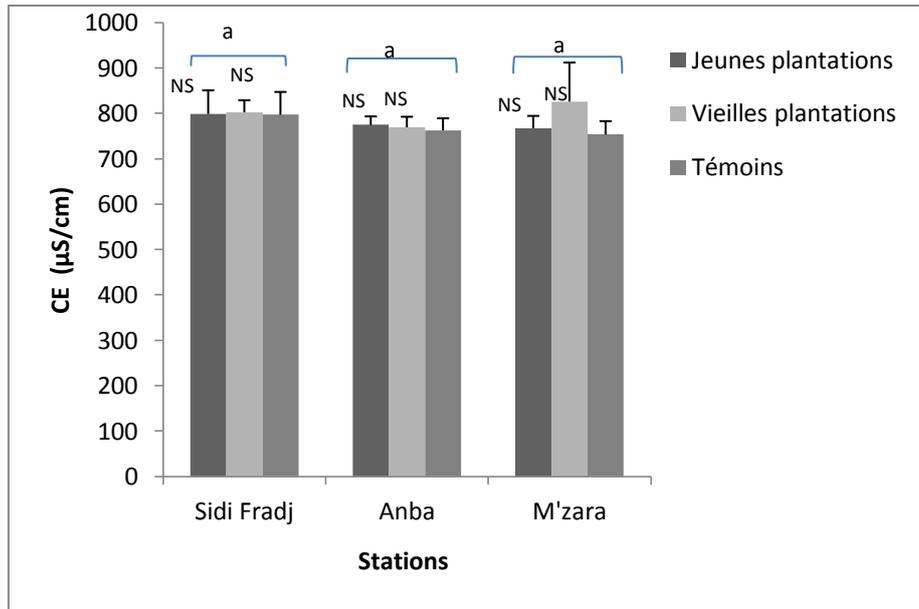
-NS. Non significatif ( $p > 0.05$ ).

-Les différentes lettres (a,b,c) indiquent une différence statistiquement significative ( $p < 0.05$ ) entre les stations.

L'analyse de la variance a mis en évidence un effet station significatif au niveau  $p = 0.000$  mais aucun effet significatif du facteur âge ou de l'interaction (station x âge) n'est déclaré (Annexe 2.3). Le test de comparaison des moyennes à l'aide de la PPDS a fait ressortir pour le facteur station 3 groupes homogènes : le premier constitué de Sidi Fradj avec une moyenne de 8.15, le second constitué de Anba avec une moyenne de 8.05 et le 3<sup>ème</sup> groupe de M'zara avec une moyenne de 8.10.

## 2.2. Conductivité électrique

La figure 25 montre les variations de la CE dans les parcelles des différentes stations. De façon générale, en dépit des légères variations observées, elles sont toutes inférieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . L'analyse de la variance (Annexe 2.3) a révélé qu'il n'y a aucun effet significatif aussi bien pour les facteurs principaux station et âge que pour l'interaction (âge x station).



**Figure 25.** Effet de l'âge des plantations sur la conductivité électrique.

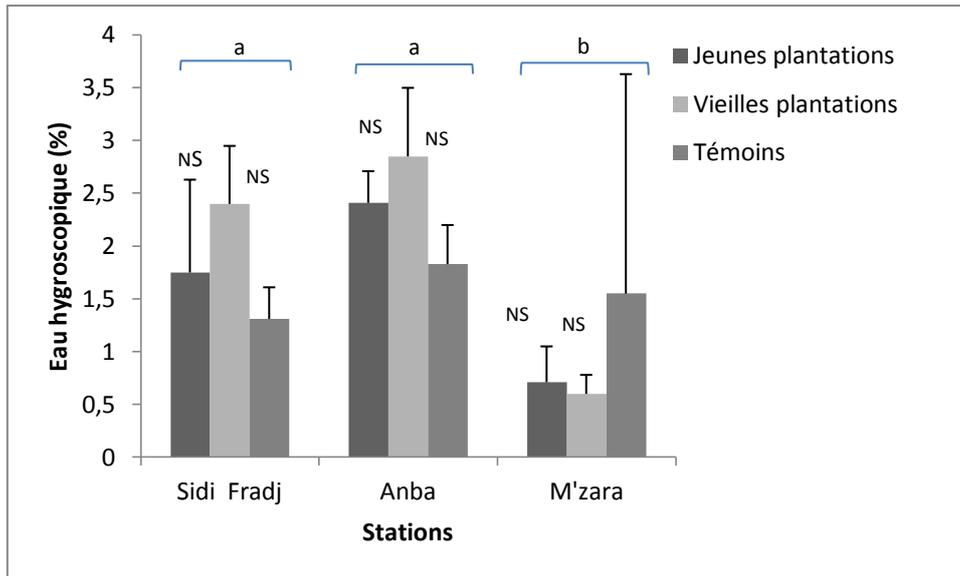
- NS. Non significatif.

- Les crochets avec la même lettre ne sont pas significativement différents ( $p > 0.05$ ).

### 2.3. Taux d'humidité

Les résultats obtenus pour ce paramètre montrent que les sols des stations Sidi Fradj et Anba ont un taux d'humidité supérieur à celui de la station M'zara (Fig.26) et dans chaque station les parcelles plantées ont enregistré des valeurs supérieures à celles des témoins, à l'exception de la station de M'zara où les témoins dépassent les traités. L'analyse statistique a révélé un effet significatif de la station ( $p = 0.000$ ) et de la double interaction (station x âge) ( $p = 0.034$ ) (Annexe 2.3).

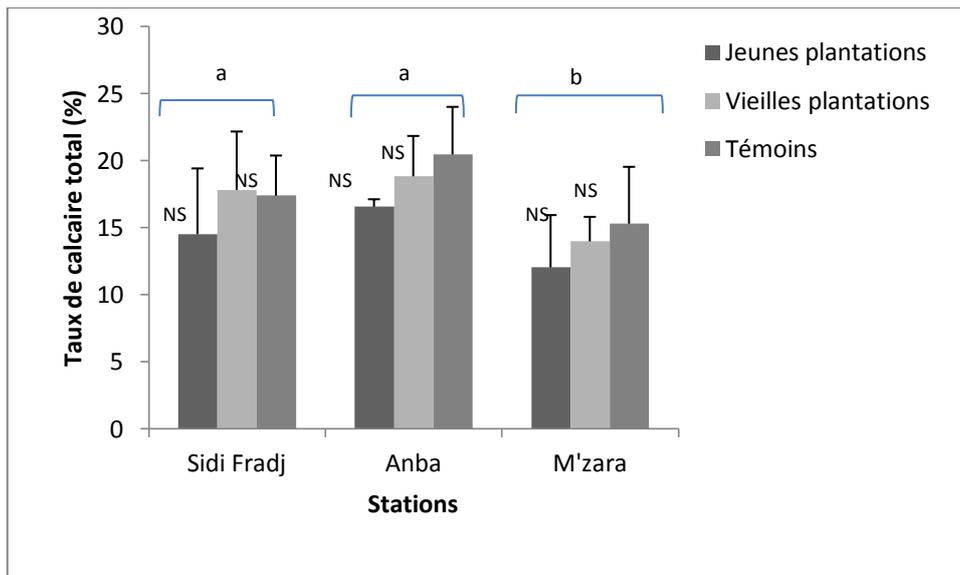
Le test de comparaison à la PPDS montre que les stations de Sidi Fradj et Anba constituent un groupe homogène avec des moyennes de 1.81 % et 2.36 % et un second groupe homogène de M'zara avec une moyenne de 0.97 % (Annexe 2.3). Un effet interactif (station x âge) est aussi déclaré pour ce paramètre.



**Figure 26.** Effet de l'âge des plantations sur le taux d'humidité.

#### 2.4. Calcaire total

Les variations du taux de calcaire total dans les parcelles des différentes stations sont indiquées sur la figure 27.



**Figure 27.** Effet de l'âge des plantations sur le taux de calcaire.

Les taux les plus élevés sont observés dans la station de Anba avec une valeur moyenne de 16 % chez les jeunes plantations, 18 % chez les vieilles et 20 % chez les témoins. La station de

Sidi Fradj vient en 2<sup>ème</sup> lieu avec 14 % chez les jeunes plantations, 17 % chez les vieilles plantations et les témoins. La station de M'zara enregistre des valeurs inférieures aux premières avec 12 % chez les jeunes plantations, 13 % chez les vieilles plantations et 15 % chez les témoins. Dans chaque station, ce sont les parcelles témoins qui ont enregistré des taux plus élevés que les traités. L'analyse de la variance (Annexe 2.3) appuie les résultats descriptifs et fait ressortir l'effet significatif des traitements principaux ( $p= 0.000$ ) pour le facteur station et  $p= 0.017$  pour le facteur âge, quant à l'effet interactif, il est déclaré non significatif. D'autres part, le test à la PPDS (Annexe 2.3) montre que le groupe de la station M'zara avec une moyenne de 13.77 % est significativement différent du groupe formé par les stations de Anba et Sidi Fradj avec des moyennes respectives de 18.61 % et 16.57 %.

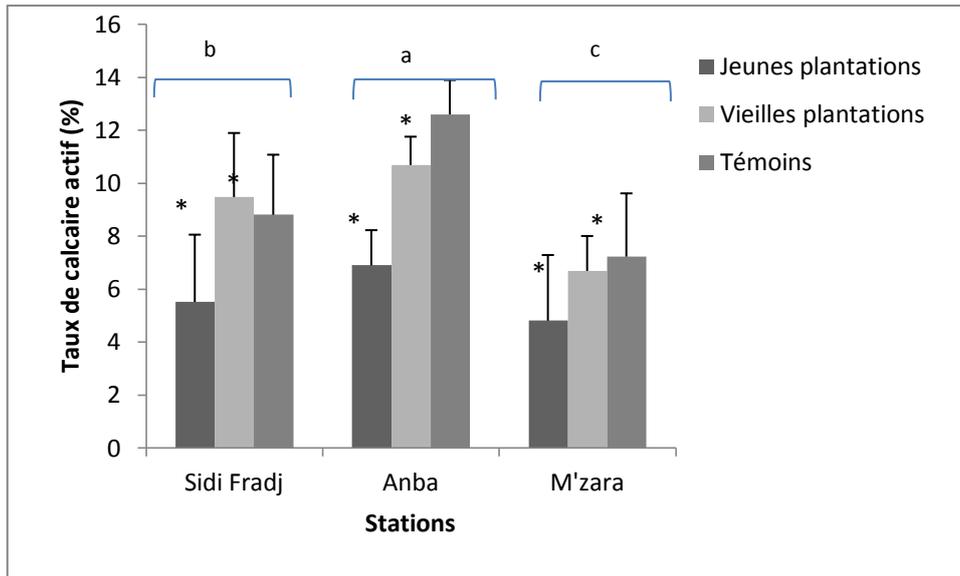
Quant au facteur âge, les témoins et les vieilles plantations constituent un groupe homogène avec des moyennes respectives de 17.71 % et 16.87 % et un autre groupe homogène constitué par les jeunes plantations avec une moyenne de 14.37 %.

## 2.5. Calcaire actif

Les résultats obtenus relatifs à ce paramètre (Fig.28) montrent que les taux de calcaire actif de la station de Anba sont légèrement supérieurs à ceux des autres stations. Et dans chaque station les taux sont presque égaux ou supérieurs chez les témoins par rapport aux traités.

L'analyse de la variance (Annexe 2.3) a mis en évidence un effet significatif des facteurs principaux station et âge ( $p=0.000$ ), mais l'effet interactif (âge x station) est non déclaré. Le test à la PPDS a révélé que pour le facteur station : la station de Sidi Fradj constitue un groupe homogène avec une moyenne de 7.94 % différent de la station Anba avec une moyenne 10.06 % et de la station M'zara avec une moyenne de 6.24 %.

Pour le facteur âge, il y a un groupe homogène chez les jeunes plantations avec une moyenne de 5.74 % significativement différent du groupe formé des vieilles plantations avec une moyenne de 8.94 % et des témoins avec une moyenne de 9.55 %.



**Figure 28.** Effet de l'âge de plantations sur le taux de calcaire actif.

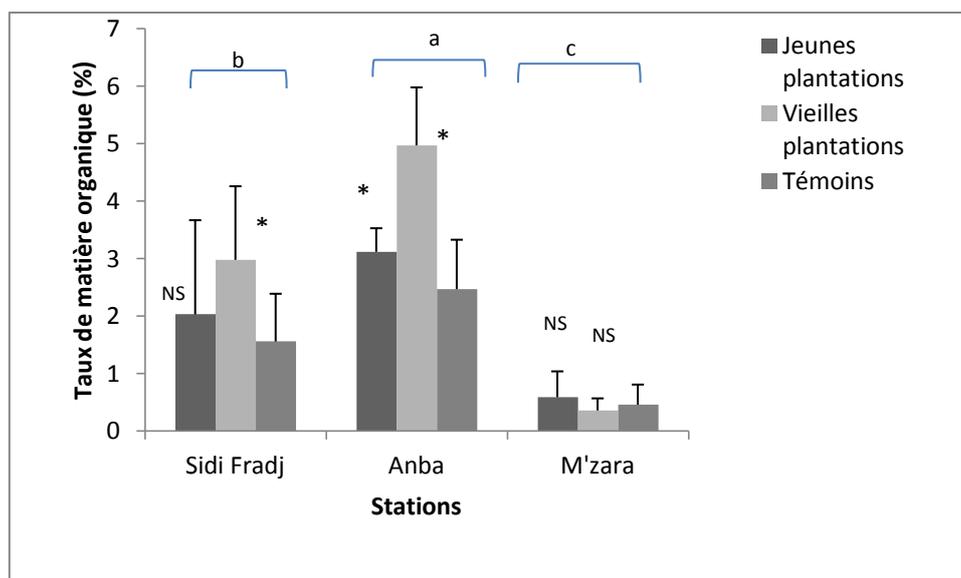
\* Significatif ( $p < 0.05$ ).

## 2.6. Taux de matière organique

La figure 29 montre les variations du taux de matière organique dans les parcelles des 3 stations.

En comparant les 3 stations entre elles, il est clair que les teneurs enregistrées sont plus élevées dans la station de Anba où ce paramètre enregistre un taux de 3.12 % chez les jeunes plantations ; 4.97 % chez les plantations âgées et 2.47 % chez les témoins ; suivie de Sidi Fradj avec un taux de 2.03 % chez les jeunes plantations, 2.98 % chez les vieilles plantations et 1.56 % chez les témoins. La station de M'zara a enregistré les plus faibles valeurs 0.59 % ; 0.36 % et 0.46% respectivement chez les jeunes et vieilles plantations et les témoins.

L'analyse de la variance (Annexe 2.3) a permis de mettre en évidence les effets significatifs des traitements principaux ( $p=0.000$ ) pour les facteurs station et âge et interactifs ( $p=0.014$ ). Le test de comparaison des moyennes a révélé des différences significatives entre les 3 stations et les âges. Pour le facteur station, il y a trois groupes homogènes constitués de : Anba (3.52 %), Sidi Fradj (2.19 %) et M'zara (0.47 %).



**Figure 29.** Effet de l'âge de plantations sur le taux de matière organique.

Pour le facteur âge ; les jeunes plantations et les témoins ont formé un groupe homogène avec des moyennes respectives de 1.92 % et 1.50 % et un autre groupe formé par les vieilles plantations avec une moyenne de 2.77 %. Un effet interactif (station x âge) est également signalé.

### 2.7. Taux d'azote total

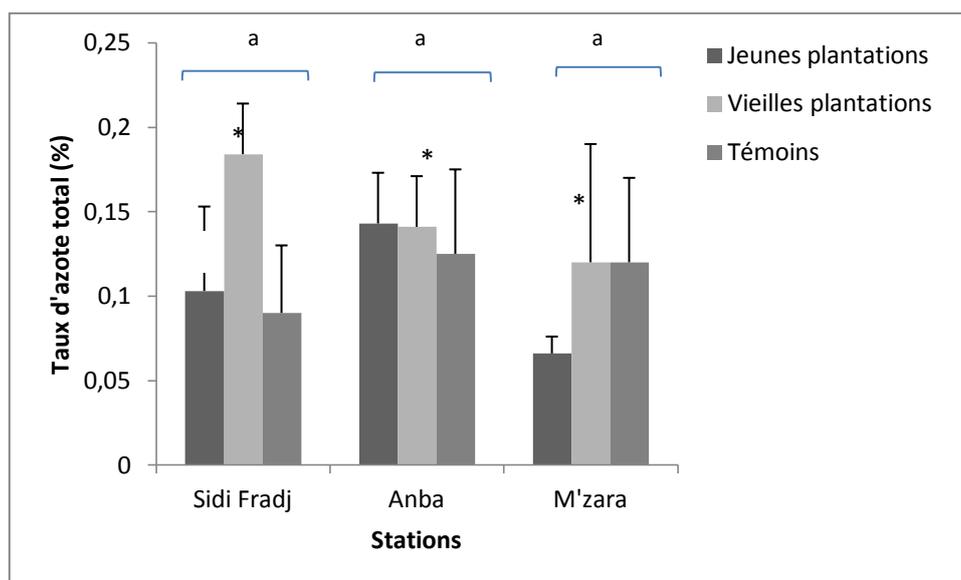
D'après les résultats obtenus (Fig.30), le taux d'azote connaît des variations d'une station à une autre. Dans la station de Sidi Fradj, il a enregistré une valeur de 0.1 % chez les jeunes plantations pour augmenter à 0.18 % chez les vieilles plantations et rechuter à 0.09 % chez les témoins.

Dans la station de Anba, les valeurs sont proches entre les témoins (0.12 %) et les traités (0.14 %). Dans la station de M'zara, les taux sont faibles chez les jeunes plantations (0.06%) et augmentent à 0.12 % chez les vieilles plantations et les témoins.

L'analyse de la variance (Annexe 2.3) a révélé qu'il y a une différence significative seulement entre les témoins et les traités ( $p=0.012$ ), quant aux autres traitements station et la double interaction, ils sont déclarés non significatifs.

Le test de comparaison des moyennes à la PPDS (Annexe 2.3) confirme les différences significatives entre les moyennes des différentes parcelles. En effet, les jeunes parcelles et les témoins forment un groupe homogène avec des moyennes respectives de 0.10 % et 0.11 %

contre le groupe des vieilles plantations avec une moyenne de 0.15%.



**Figure 30.** Effet de l'âge des plantations sur le taux d'azote.

### 2.8. Phosphore assimilable

Bien que les valeurs enregistrées soient faibles dans toutes les stations aussi bien chez les traités que chez les témoins. La station de Sidi Fradj a marqué des valeurs supérieures à celles des autres stations (Fig.31).

L'analyse de la variance (Annexe 2.3) nous montre des effets significatifs pour le facteur principal station ( $p=0.000$ ) et non significatif pour les autres. Le test de comparaison à la PPDS concernant l'effet station fait ressortir un groupe homogène pour Sidi Fradj avec une moyenne de 3.40 ppm et un autre groupe homogène renfermant les stations Anba et M'zara avec respectivement des moyennes 1.81 ppm et 1.51 ppm.

### 2.9. Phosphore total

Les valeurs relatives au phosphore total (Fig.32) montrent que les plus fortes valeurs sont enregistrées dans la station de Anba, suivie de Sidi Fradj puis de M'zara. L'analyse de la variance (Annexe 2.3) a mis en évidence des effets significatifs uniquement pour le facteur principal station ( $p=0.000$ ). Le test à la PPDS a révélé un groupe de Anba avec une moyenne de 135.40 ppm et un autre groupe constitué de Sidi Fradj et M'zara avec respectivement les moyennes 84.83 ppm et 51.62 ppm pour M'zara.

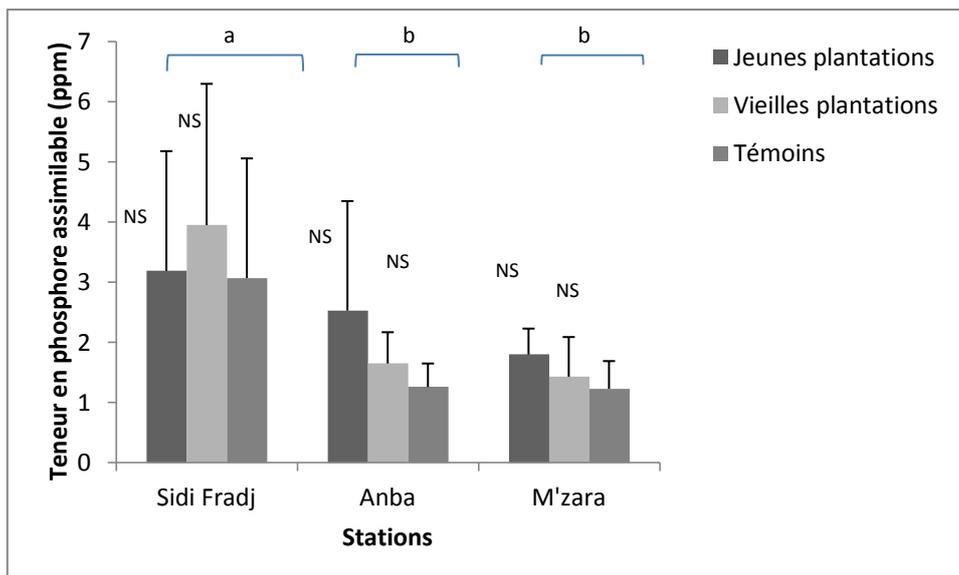


Figure 31. Effet de l'âge des plantations sur la teneur en phosphore assimilable.

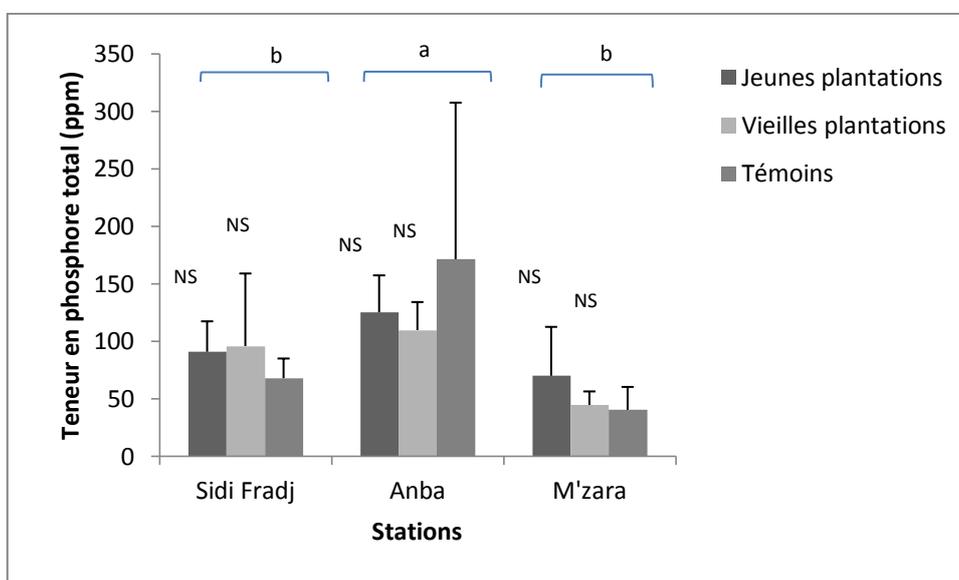


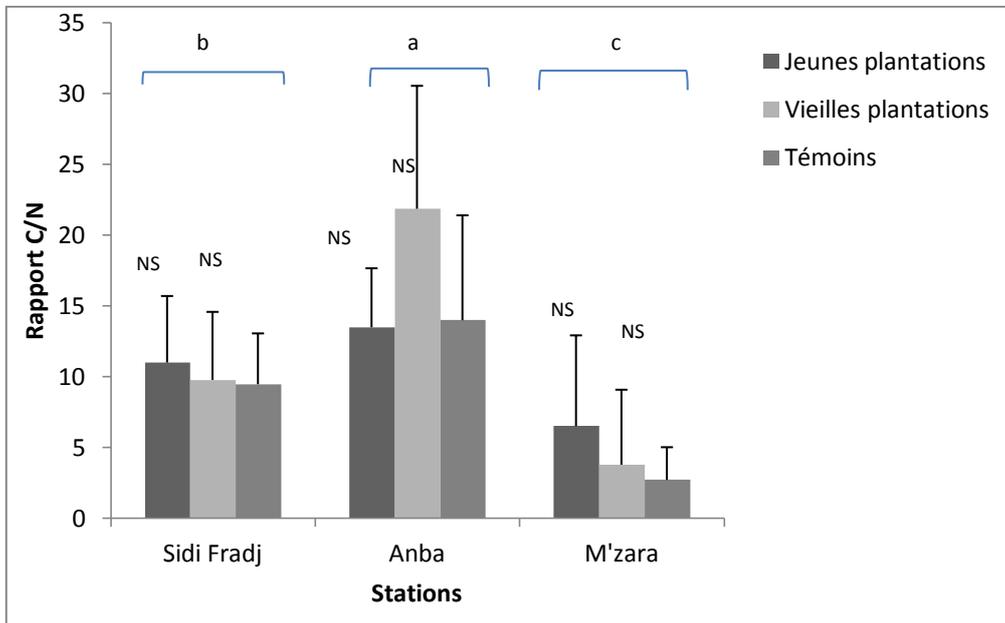
Figure 32. Effet de l'âge des plantations sur le phosphore total.

### 2.10. Rapport C/N

Le ratio C/N (Fig.33) a enregistré les plus grandes valeurs dans la station de Anba avec 13.5 chez les jeunes plantations, suivie de 21.9 chez les vieilles puis 14.0 chez les témoins. La station de Sidi Fradj vient en 2<sup>ème</sup> position avec une valeur moyenne de 11.0 chez les jeunes plantations et une valeur de 9.8 et 9.5 respectivement chez les vieilles plantations et les

témoins. Dans la station de M'zara, le ratio est plus faible avec une valeur de 6.5 chez les jeunes plantations, 3.8 chez les vieilles plantations et 2.7 chez les témoins.

L'analyse de la variance (Annexe 2.3) a permis de mettre en évidence un effet significatif du facteur station ( $p=0.000$ ). Les effets du traitement âge et la double interaction sont déclarés non significatifs. Le test de comparaison à la PPDS a fait ressortir 3 groupes homogènes avec une moyenne de 10.1 pour Sidi Fradj, 16.5 pour Anba, et 4.3 pour M'zara.



**Figure 33.** Effet de l'âge des plantations sur le rapport C/N.

### 3. Discussion

Les résultats de cette étude permettent de retenir que l'âge des plantations de figuier de Barbarie a provoqué des effets variables sur les paramètres du sol dans les 3 stations d'étude.

-Malgré l'effet statistiquement significatif du facteur station, toutes les parcelles traitées et témoins ont révélé un pH alcalin selon le référentiel pédologique de Baize et Jabiol (1995). Ce paramètre qui est vu comme l'un des plus importants indicateurs du sol (Li *et al.*, 2006) est principalement affecté par le matériel parental (Pansu *et al.*, 1998 ; Rezaei & Gilkes, 2005). En effet, les sols des 3 stations sont classés comme modérément calcaires (Baize, 2000), du fait de l'origine calcaire de la région (Djebaili, 1984 ; Halitim, 1988) et la fraction active est importante entre 7 et 12 %, ce qui explique cette alcalinité. Ces sols qui se caractérisent par un complexe adsorbant saturé en calcium sont très répandus en climat semi-aride (Benabdellah *et al.*, 2010).

D'autres auteurs s'accordent sur le fait que dans les milieux arides, le pH peut être influencé par le climat et la végétation (Smith *et al.*, 2000) et fluctue entre baisse, hausse et stabilité (Li *et al.*, 2007). Le pH élevé est dû au faible lessivage vu les faibles précipitations (Wezel *et al.*, 2000) et il est étroitement lié au calcium échangeable (Bautista-Cruz *et al.*, 2007).

-Quant à la conductivité électrique, ses valeurs moyennes inférieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  révèlent des sols légèrement salés (Mathieu & Pielain, 2003). Deux hypothèses peuvent être avancées :

- soit il y a eu une augmentation de la salinité due à l'accumulation à la surface du sol du Na, Ca, Mg, Cl et  $\text{SO}_4$  (Abule *et al.*, 2007) attribuée au processus physique de la désertification, en particulier l'érosion éolienne (Li *et al.*, 2006) bien que les sels n'aient pas été quantifiés dans cette étude,

-soit cela reflète un accroissement de la concentration des éléments nutritifs libérés lors de la décomposition de la matière organique (Su & Zhao, 2003) et indicatif de la taille du pool nutritif disponible (Arshad & Martin, 2002). D'ailleurs, d'après Rezaei et Gilkes (2005), une corrélation significative est signalée entre ce paramètre et le carbone organique du sol et les éléments minéraux majeurs N( $r=0.96$ ), P( $r=0.67$ ) et K( $r=0.73$ ).

-En ce qui concerne le taux d'humidité, des effets station et station-âge ont été observés. Ce paramètre a été plus élevé dans les stations de Anba et de Sidi Fradj comparé à M'zara. Cet effet station revient certainement à la texture du sol, donc fortement associé aux caractéristiques physiques. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans la station de Anba à texture majoritairement argileuse, suivie de Sidi Fradj argileuse à sablo-argileuse et puis de la station de M'zara à texture sableuse.

Evidemment, les parcelles plantées ont plus d'humidité que les témoins, mais la différence est statistiquement non significative. Apparemment, le figuier de Barbarie n'a pas d'effet sur le taux d'humidité bien qu'il soit connu que la présence d'un arbuste crée un microclimat local, et favorise le dépôt de la litière, réduit l'effet de la radiations directe de 45 % (Forseth *et al.*, 2001), l'amplitude thermique et l'évaporation, permettant ainsi de conserver une humidité plus importante que celles des zones dénudées (Brady & Buckmann, 1960 ; Sarah & Rodeh, 2004 ; Chen *et al.*, 2007). Ce cas peut s'expliquer par le fait que nos échantillons sont prélevés au niveau de l'espace-interligne qui manifeste un sol dénudé dans des proportions

variables, alors que dans les travaux cités précédemment, les prélèvements sont effectués sous la canopée des arbustes, sans négliger l'effet de la texture.

-Les résultats relatifs aux taux de calcaire total et actif ont révélé un effet station bien que toutes les valeurs observées fluctuent dans la fourchette des sols modérément calcaires (Baize, 2000). Cette variable est principalement liée à la nature du matériel parental de la région (citée précédemment) (Sierra *et al.*, 2009). L'effet âge est absent. Il en est de même pour le calcaire actif où particulièrement les parcelles témoins et les vieilles plantations ont enregistré des valeurs supérieures aux jeunes plantations. Ces 2 paramètres semblent n'avoir aucune relation avec le type végétal.

-Pour le phosphore total et assimilable, l'effet statistique a été déclaré uniquement pour le facteur station. Pour le premier, la station de Anba a enregistré en moyenne des valeurs supérieures à celles des autres stations, ceci est probablement en relation avec le taux de matière organique (MO) de la station qui a connu la même tendance. La même observation a été faite par Li *et al.* (2004) où un accroissement linéaire est signalé entre le P total et le taux de MO. Dans notre cas, les teneurs élevées à Sidi Fradj sont probablement dues aux énormes quantités de fumier appliquées au végétal (Figure 34) qui contribuent dans une certaine mesure dans l'apport en phosphore et en azote (Pei *et al.*, 2008).



**Figure 34.** Application du fumier dans les plantations de Sidi Fradj  
(Cliché Neffar, 2010).

- Inversement, le phosphore assimilable a été inaffecté. En effet, bien que l'effet station ait été déclaré, il se trouve que quelle que soit cette fluctuation, les teneurs sont très faibles caractérisant un sol pauvre d'après la classification de Olsen (1954). Ceci s'explique soit par

le prélèvement par les plantes (Urioste *et al.* 2006), soit particulièrement par le taux de calcaire total et surtout actif qui freine la disponibilité du phosphore. Le  $\text{CaCO}_3$  pédogénique est l'agent géochimique primaire dans les écosystèmes arides. D'après Khresat *et al.* (1998), le contenu en carbonates est inversement corrélé avec les P et les réactions alcalines du sol réduisent la disponibilité de ce dernier.

Les données pédologiques acquises amènent à considérer d'une part la dépendance entre le calcium et le phosphore et d'autre part les valeurs du pH et les teneurs en carbonates de calcium. Selon Sivakumar (2007), la présence du calcium peut affecter de façon marquée l'absorption du phosphore dans les sols méditerranéens et la précipitation du calcium-phosphates augmente avec le pH, ce qui réduit la disponibilité de cet élément pour les plantes et les microorganismes (Romanya & Rovira, 2007).

Vu sous une autre optique, Li *et al.* (2004) voient que la baisse du P disponible peut être due à la sécheresse. Le climat étant aride et semi-aride, les précipitations sont entre 160 et 400 mm, et l'absorption des éléments nutritifs notamment le phosphore assimilable se voit réduite. Il semble bien que les résultats relatifs à cet élément sont très contradictoires. Selon Su *et al.* (2007), il y a une corrélation positive entre les fines particules et le carbone, l'azote et le phosphore total et assimilable, autrement dit entre le taux d'argile et les nutriments.

-Quant à l'azote, l'effet station est absent par contre l'effet âge est signalé où les jeunes plantations et les témoins ont en moyenne enregistré des teneurs inférieures à celles des plantations âgées. Ceci revient probablement à l'application annuelle des amendements organiques (Campbell, 1978). Ce cas se répète régulièrement dans la station de Sidi Fradj où de grandes quantités de fumier y sont appliquées.

- En ce qui concerne la matière organique, cette variable influence une large bande de propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et est le plus important et sensible indicateur de la qualité du sol, de la santé des parcours et leur durabilité (Bolinder *et al.*, 1999 ; Rezaei & Gilkes , 2005 ; Tefera *et al.*, 2007 ; Fernandez *et al.*, 2008 ; Dai *et al.*, 2011 ). Elle est un facteur de stockage des nutriments surtout dans les sols pauvres (Zhou *et al.*, 2008), cas des sols de la région méditerranéenne (Aranda & Oyonarte, 2005).

Ce paramètre a subi les effets de tous les traitements : station, âge et l'interaction. Les valeurs observées dans notre cas sont plus importantes à Anba, suivies de Sidi Fradj puis de M'zara. Aussi, les parcelles plantées ont enregistré des valeurs supérieures par rapport aux non

plantées. Dans l'effet de la station, ces taux sont probablement liés d'une part à la texture du sol et d'autre part au taux de recouvrement dans l'espace interligne. En effet, les stations de Sidi Fradj et Anba sont à prédominance argileuse, alors que la station de M'zara est sableuse.

D'après Khresat *et al.* (1998) ; Wezel *et al.* (2000) ; Su *et al.* (2004) ; Aranda et Oyonarte (2005) ; Li *et al.* (2006) ; Zhao *et al.* (2006) ; Huang *et al.* (2007) et Zhou *et al.* (2008), le taux de matière organique peut être positivement corrélé à la présence d'argile et de silt et est un important agent dans la stabilisation des agrégats du sol (Sarah, 2006), c'est ce qui explique peut être les taux observés dans nos stations. D'après Brady et Buckmann (1960), la texture exerce une certaine influence sur le pourcentage d'humus et d'azote présents dans le sol : un sol sableux contient moins de matière organique et d'azote qu'un sol à tissu fin, cas expliqué par le faible taux d'humidité et à l'oxydation plus facile qui a lieu dans les sols légers (Singh *et al.*, 2007). Cette minéralisation revient à la fragilité de l'humus et la faible présence des éléments fins et très fins (Morel, 1996 ; Aranda & Oyonarte, 2005). En effet, l'argile avec sa grande surface protège le C organique de la décomposition en développant un complexe argilo-organique stable (Singh *et al.*, 2007), bien que cette relation entre l'argile et le carbone n'arrive pas tout le temps (même source). Il a été d'ailleurs constaté par Su *et al.* (2004), une corrélation positive entre le taux d'argile dans le sol et le stock de C et d'N ( $r=0.96$ ) et une corrélation négative avec le taux de sable ( $r=-0.91$ ), ce qui confirme que le carbone et l'azote sont souvent associés à l'argile du sol et l'érosion éolienne conduit à la baisse de leur stock par la réduction des particules fines, comme il a été signalé dans la station de M'zara. Tout cela laisse supposer que la MO diminue avec le développement de la désertification (Li *et al.*, 2006).

L'effet âge a été bien déclaré dans cette étude. Les parcelles plantées ont enregistré des valeurs supérieures à celles des parcelles en friche. La même observation a été faite au Maroc par Mandouri (2000) où il a été signalé que le figuier de Barbarie dans les plantations de 60 ans améliore considérablement la fertilité organique du sol en augmentant le taux de la matière organique à 4,8% et la richesse minérale du complexe adsorbant (C.E.C=70 meq/100 g) comparé aux témoins avec 0.1% de MO et 11 meq/100 g pour la CEC.

Selon cet auteur, ce végétal fabrique relativement assez vite, un horizon humifère qui crée un complexe organo-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 qui mettent en jeu l'action des acides

humiques et fulviques qui sont suffisamment agressifs vis à vis de la roche-mère, une accélération de l'altération chimique et un approfondissement du le sol de 15 à 30 cm. Par conséquent, cette plante peut être considérée comme pionnière de la formation des sols particulièrement en zone aride.

Dans notre cas, on pourrait attribuer l'augmentation observée particulièrement dans la station de Anba au taux de recouvrement (Cf résultats-végétation. Section 2.1) comme le confirment (Pei *et al.*, 2008), suite à la réduction de l'érosion éolienne (Zhang *et al.*, 2005). La même observation a été faite par Su *et al.*, (2007) dans des parcelles plantées par *Caragana microphylla* après 28 ans d'établissement. Seulement, dans notre cas précis, nous pouvons avancer qu'étant donné que les milieux arides sont ouverts, créant une mosaïque de microclimats qui affecte les processus de décomposition de la matière organique, l'origine de cette dernière pourrait être multiple : soit directement des raquettes, qui subissent d'une part une biodégradation bien que leur rendement soit faible vu la nature résistante de leur mucilage, constituant principal (Briggs *et al.*, 2007), et par conséquent un faible apport en MO au même titre que le pin d'Alep (Bastida *et al.*, 2007), et d'autre part leur photodégradation, qui d'après Gallo *et al.* (2009) est très élevée au niveau de la litière riche en lignine à cause de son grand pouvoir de photoabsorption assurant ainsi sa décomposition, puisque l'inhibition de l'activité microbienne par les biocides a révélé la poursuite de la dégradation de la litière due à la photodégradation et autres processus abiotiques ; ou bien indirectement en créant un microclimat favorisant l'installation d'espèces invasives qui ont été incapables de s'installer dans les milieux dénudés.

Dans une étude portant sur les effets des plantations d'agave sur le milieu (Bautista-Cruz *et al.*, 2007), il a été avancé qu'indépendamment du site et de la profondeur, la plupart des propriétés du sol (pH, carbone organique, Na et Mg) ne sont pas affectées par l'âge de la plantation d'agave et que seulement 5 propriétés sur 14 étudiées varient avec l'âge tels que les Ca, P et K qui ont connu une augmentation avec l'âge.

Selon Sarah (2006), les sources et les facteurs de décomposition de la matière organique varient dans l'espace et dans les temps et ces variations peuvent refléter les conditions micro-environnementales qui dépendent de la microtopographie, des composants qui couvrent le sol et le type de végétation à l'échelle locale et surtout dans les zones arides caractérisées par une faible couverture de végétation annuelle, existant pendant une courte durée et sans végétation arborée limitant ainsi les sources de la MO en quantité et en disponibilité.

Ce paramètre a une grande importance écologique puisque chaque région climatique a sa

propre fourchette de matière organique reflétant ses variations spatio-temporelles sous les conditions naturelles et semi-naturelles, ce qui signifie que les changements de l'environnement peuvent être indiqués par les valeurs de ce paramètre : valeurs au dessous de la fourchette indiquent l'augmentation de l'aridité et la dégradation, alors que celles au-delà de la fourchette indiquent une amélioration dans la stabilité structurale du sol et le régime de l'eau dans le sol (Sarah, 2006). L'influence du type de végétation sur les propriétés du sol est due aux différentes dynamiques de la MO (Dell'Abate *et al.*, 1999).

-Enfin pour le ratio C/N, qui exprime l'état de l'activité microbienne (Boyer, 1982 ; Rezaei & Gilkes, 2005), un effet station est observé avec une valeur élevée à la station de Anba , suivi de Sidi Fradj puis de M'zara, ceci peut s'expliquer probablement par le fait que la MO a tendance à s'accumuler (Su & Zhao, 2003), donc une faible minéralisation et une perte de l'azote plus que celle du carbone et que les agrégats fins ont une forte humification (Urioste *et al.*, 2007), donc elle est causée par la faible oxydation (raquettes et racines) (Bautista-Cruz *et al.*, 2007) et pourrait indiquer une stabilisation des teneurs en nutriments (C et N). A l'inverse de la station de M'zara où ce ratio est faible vu le faible taux de MO, d'une part et la forte minéralisation d'une autre part. Ce ratio est normal dans la station de Sidi Fradj traduisant une activité microbienne normale. Quant à l'absence de l'effet-âge, ceci est probablement dû au fait qu'il y a d'autres facteurs qui influencent ce rapport. D'après Benabadji *et al.* (1996), ce ratio est une caractéristique qui dépend de la nature des débris organiques et de la maturation de l'humus.

La revégétation des sols érodés conduit à des changements significatifs des propriétés du sol qui retrouvent leur fertilité avec l'augmentation de l'âge des plantations (Jiao *et al.*, 2011, Yang *et al.*, 2011). Un enrichissement du sol a été souligné par Kassogué *et al.* (1996) dans les parcelles plantés par *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum* au Mali.

Il est vrai que les arbustes n'ont pas des effets avec le même degré (Wezel *et al.*, 2000) et dans le même site (Bautista *et al.*, 2007). Si on prenait le cas du pin d'Alep dans le bassin méditerranéen avec sa superficie de 25000 Km<sup>2</sup> (Quezel, 2000), ses effets sur le sol fluctuent entre le positif et le négatif. Ainsi d'après Maestre et Cortina (2004), il peut améliorer les propriétés du sol, faire augmenter les taux de carbone et d'azote dans une plantation de 30 ans et permet une forte stabilité des agrégats dans les 15 premiers centimètres après 6 ans de plantation (Caravaca *et al.*, 2002), alors que selon Bellot *et al.*, (2004), il a un effet négatif sur

le taux d'humidité et qu'il n'est pas approprié dans les régions avec moins de 300 mm de pluie, en plus il n'amoindrit pas l'érosion.

Au terme de ce chapitre, la plupart des propriétés du sol montrent une variabilité résultant des interactions dynamiques entre les facteurs naturels de l'environnement : climat, matériel parental, végétation et topographie (Jenny, 1941), mais il est admis que la dégradation du sol est principalement due au déclin de la MO (Smith *et al.*, 2000). Cette variable, au même degré que le phosphore et l'azote sont parmi les plus importantes mesures de la fonction de l'écosystème à cause de leur rôle direct dans beaucoup de processus écologiques. Leurs mesures peuvent fournir de l'information sur le potentiel de résilience des écosystèmes après une perturbation (Gratzfeld, 2004). Il a été même rapporté dans la littérature que la variation spatiale des nutriments du sol est souvent associée à la variation de la distribution des plantes et que son enrichissement varie selon le type d'espèces (Li *et al.*, 2007). *Opuntia ficus indica* dans ce cas, même s'il n'intervient pas directement dans l'approvisionnement du sol en matière organique, pourrait avoir un effet indirect sur cette variable par l'amélioration des conditions environnementales favorisant l'installation des herbacées et facilitant la colonisation et le développement d'autres espèces. Ceci est extrêmement important dans les zones à climat rude où le développement des annuelles et des pérennes avec l'âge des plantes joue un important rôle dans la productivité de l'écosystème.

D'après Liu *et al.* (1998), la restauration de la fertilité du sol induite par la revégétation est un processus écologique complexe soumis à l'effet simultané et conjugué des facteurs biotiques et abiotiques, ce qui rend les interprétations des phénomènes écologiques tributaires d'un réseau de facteurs écologiques. Beaucoup d'indicateurs interagissent entre eux et la valeur de chaque indicateur séparé en est affectée (Rezaei & Gilkes, 2005). Dans notre cas, le figuier de Barbarie arbuste arido-résistant (Tegegne *et al.*, 2007) protège le sol contre l'érosion (Le Houerou, 1996 ; Orwa *et al.*, 2009), piège les poussières riches en nutriments avec sa partie aérienne (Wezel *et al.*, 2000), fixe le carbone par photosynthèse et le transfère aux racines et à la litière contribuant ainsi à son accumulation.

#### 4. Conclusion

A l'instar des sols méditerranéens, les sols de la steppe algérienne sont squelettiques, fragiles et pauvres en matière organique. La présence des carbonates qui les caractérisent réduit la disponibilité du phosphore et les micronutriments. Le phosphore et l'azote constituent les facteurs limitants critiques dans ces sols engendrant une perte de la fertilité et de la productivité dans ces écosystèmes.

La présente étude nous a permis de répondre à la question posée au départ : les plantations pourraient-elles être d'un apport positif pour les parcours dégradés?

Il est vrai qu'à l'inverse des propriétés microbiologiques et biochimiques, les propriétés physiques et chimiques du sol changent lentement et exigent plusieurs années pour fournir des résultats significatifs (Ros *et al.*, 2003). L'ensemble des résultats obtenus révèlent qu'après l'établissement d'*Opuntia ficus indica* dans une zone semi aride, il y a amélioration de l'environnement à travers particulièrement le taux de matière organique et le taux d'humidité.

L'utilisation des plantations de figuier de Barbarie dans le bassin méditerranéen doit être encouragée non seulement pour la restauration de la biodiversité mais aussi pour freiner le processus d'érosion et de désertification dans ces zones. Le choix de cet arbuste comme outil de réhabilitation revient à ses faibles exigences écologiques et surtout, son pouvoir à stimuler la formation de points de végétation autour de lui (îles de fertilité) (Cf résultats-végétation. Section-discussion) et sa capacité de développer des associations endomycorhiziennes (Cf résultats- mycorhizes. Section 2.1).

Partant de ce principe, l'extension des plantations de figuier de Barbarie émerge comme une stratégie prometteuse pour élever la dynamique des ressources et restaurer la végétation dans les milieux arides et semi arides. L'ensemble de ces déclarations nécessite certainement des études plus élaborées et exhaustives pour renforcer les inférences et les conclusions tirées : telles le prélèvement du sol au pied de l'arbuste au lieu de l'espace interligne ou le dosage des enzymes du sol, considérées comme les indicateurs de choix de tout changement dans l'état du sol.

## II. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur les paramètres de végétation

### 1. Introduction

Dans les milieux arides et semi arides, la présence de plantes stresso-tolérantes peut atténuer les conditions sévères de l'environnement et créer des sites favorables pour d'autres espèces moins tolérantes (Zhao *et al.*, 2007 ; King, 2008). Ces modulateurs peuvent largement augmenter l'infiltration de l'eau, réduire la radiation solaire (Tracol *et al.*, 2011), piéger la litière et les propagules et créer des sites pour les herbivores (Wezel *et al.*, 2000 ; Su & Zhao, 2003, Su *et al.*, 2007), influencer la composition, la dynamique végétale et la diversité (Yang *et al.*, 2006).

Dans la plupart des cas, les plantes répondent positivement à la concentration des ressources autour des arbustes conduisant à la formation et au maintien de points de végétation autour des arbustes appelés « islands of fertility » (Wezel *et al.*, 2000 ; Caravaca *et al.*, 2003b ; Su & Zhao, 2003 ; Brown & Al-Mazrooei, 2003 ; Li *et al.*, 2007 ; King, 2008 ; Yang *et al.*, 2009 ; Yang *et al.*, 2011) ou îles-ressources (Martinez-Garcia *et al.*, 2011).

Partant de ce principe, l'augmentation d'arbustes facilitateurs apparaît comme une bonne alternative pour élever la dynamique des ressources et restaurer la végétation dans les milieux arides et semi arides. L'espèce *Opuntia ficus indica* pourra t-elle jouer ce rôle dans les parcours dégradés de l'Est algérien ?

Dans ce chapitre, nous allons essayer d'identifier les variations des paramètres de végétation à savoir : le taux de recouvrement, l'abondance, la richesse spécifique et l'indice de diversité dans les différentes stations durant 3 années successives 2008, 2009 et 2010.

### 2. Résultats

#### 2.1. Taux de recouvrement (%)

La figure 35 montre la variation du taux de recouvrement dans les différentes parcelles des trois (03) stations (Sidi Fradj, Anba, M'zara) durant 3 années successives, 2008, 2009 et 2010.

A la station Sidi Fradj (Fig.35A), durant l'année 2008, les parcelles traitées ont observé des valeurs supérieures à celles des témoins, 40 % chez les jeunes parcelles et 33 % chez les vieilles parcelles contre 10 % chez les témoins. Durant l'année 2009, ce paramètre a

augmenté considérablement dans les différentes parcelles, avec une moyenne de 86 % chez les jeunes plantations suivie de 83 % chez les vieilles plantations et 60 % chez les témoins. En 2010, ce taux a baissé à 50 % en moyenne chez les jeunes et vieilles plantations et 12 % chez les témoins.

Dans la station de Anba (Fig. 35B), en 2008, le taux de recouvrement va entre 74 % chez les jeunes et 60 % chez les vieilles plantations pour baisser jusqu'à 36 % chez les témoins. En 2009, ce taux augmente dans toutes les parcelles, il est compris entre 97 % et 99 % chez les traités et 56 % chez les témoins. Alors qu'en 2010, il est aux alentours de 70 % chez les traités et de 29 % chez le témoin.

La figure 35C concerne la variation du même paramètre dans la station de M'zara. Durant l'année 2008, ce taux est compris entre 49 % et 35 % respectivement chez les jeunes et les vieilles plantations contre 25 % chez le témoin.

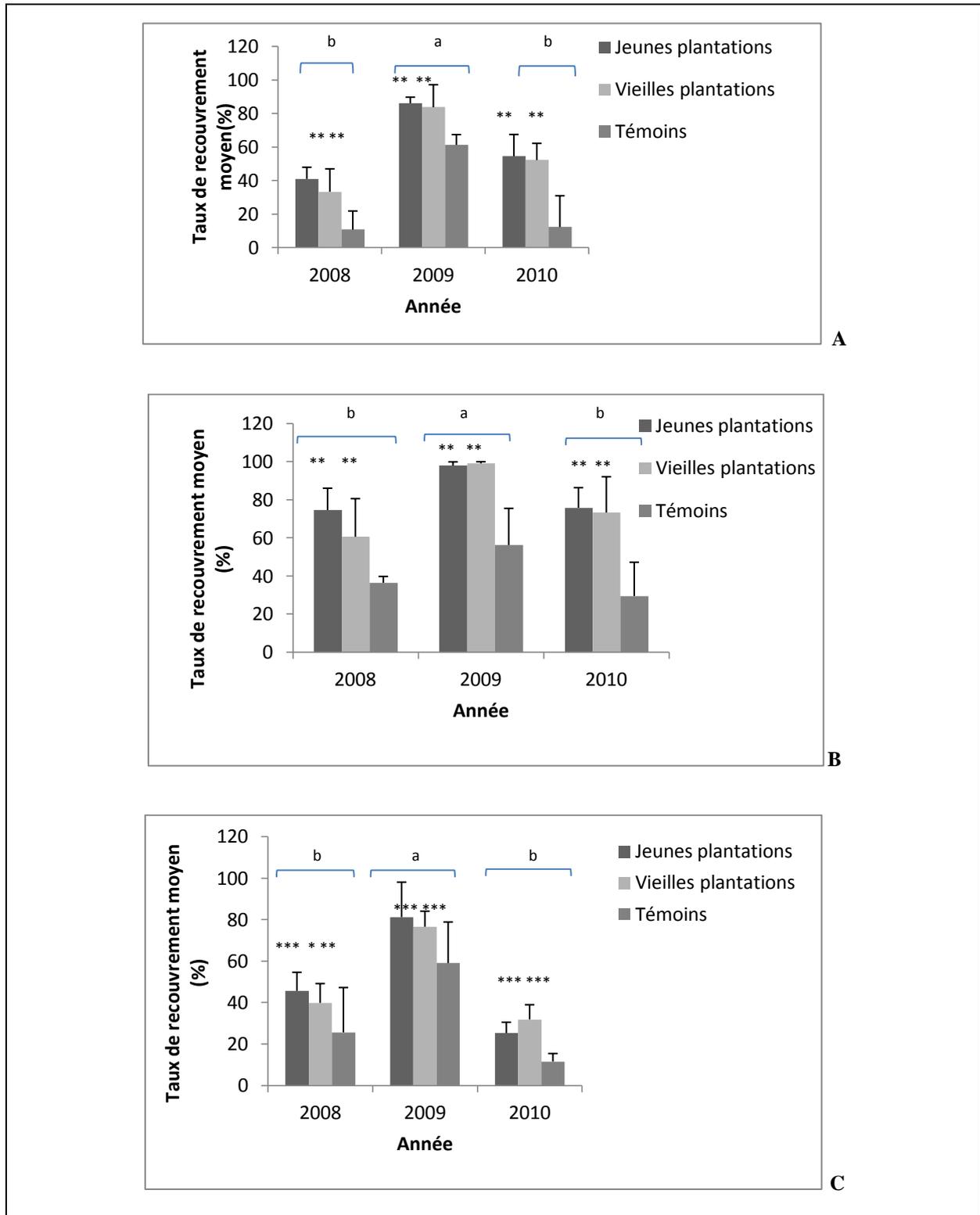
L'année 2009 a enregistré le taux le plus élevé dans toutes les parcelles. Les traités ont observé un taux compris entre 81 % chez les jeunes plantations et 76 % chez les vieilles plantations, alors que le témoin a marqué un taux de 59 %. En 2010, ce paramètre a observé des valeurs plus faibles : il est de 25 % chez les jeunes plantations, augmente à 31 % chez les vieilles plantations et baisse à 11 % chez le témoin.

L'analyse de la variance (Annexe 3.2) au niveau  $\alpha=0.05$  a révélé des effets traitements significatifs pour l'année ( $p=0.006$ ), l'âge ( $p=0.000$ ) et les doubles interactions (année x station) ( $p=0.001$ ) et (station x âge) ( $p=0.011$ ). L'effet station est déclaré non significatif.

Le test de comparaison à l'aide de la PPDS a révélé des différences significatives pour le facteur année : les années 2008 et 2010 constituent un groupe homogène avec respectivement des moyennes de 40.87 % et 40.69 % et un autre groupe homogène pour l'année 2009 avec une moyenne de 77.91 %. Pour le facteur âge, les traités constituent un groupe homogène avec des moyennes de 64.70 % et 61.15 % et un autre groupe formé par les témoins 33.62 %.

L'interaction (année x station) a fait ressortir cinq (05) groupes homogènes, dont les plus importants sont : un premier groupe pour l'année 2009 rassemblant les stations de Anba et de Sidi Fradj avec des taux de recouvrement respectifs (84.38 % et 77.13 %), suivi du couple Sidi Fradj et M'zara avec 77.13 % et 72.24 %. L'interaction (station x âge) a montré que quels que soient la station et l'âge, les parcelles traitées ont enregistré le plus grand taux de recouvrement par rapport aux témoins. En premier la station de Anba, suivie de Sidi Fradj

puis de M'zara.



**Figure 35.** Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur le taux de recouvrement dans les 3 stations durant les années 2008, 2009 et 2010 (A : station de Sidi Fradj ; B : station de Anba ; C : station de M'zara). La même lettre au dessus des crochets indique une différence non significative ( $p > 0.05$ ), \*\* Significatif ( $p < 0.01$ ), \*\*\* Significatif ( $p < 0.001$ ).

## 2.2. Abondance moyenne

La figure 36 montre la variation de l'abondance moyenne dans les différentes parcelles dans les mêmes stations et durant les mêmes années d'étude.

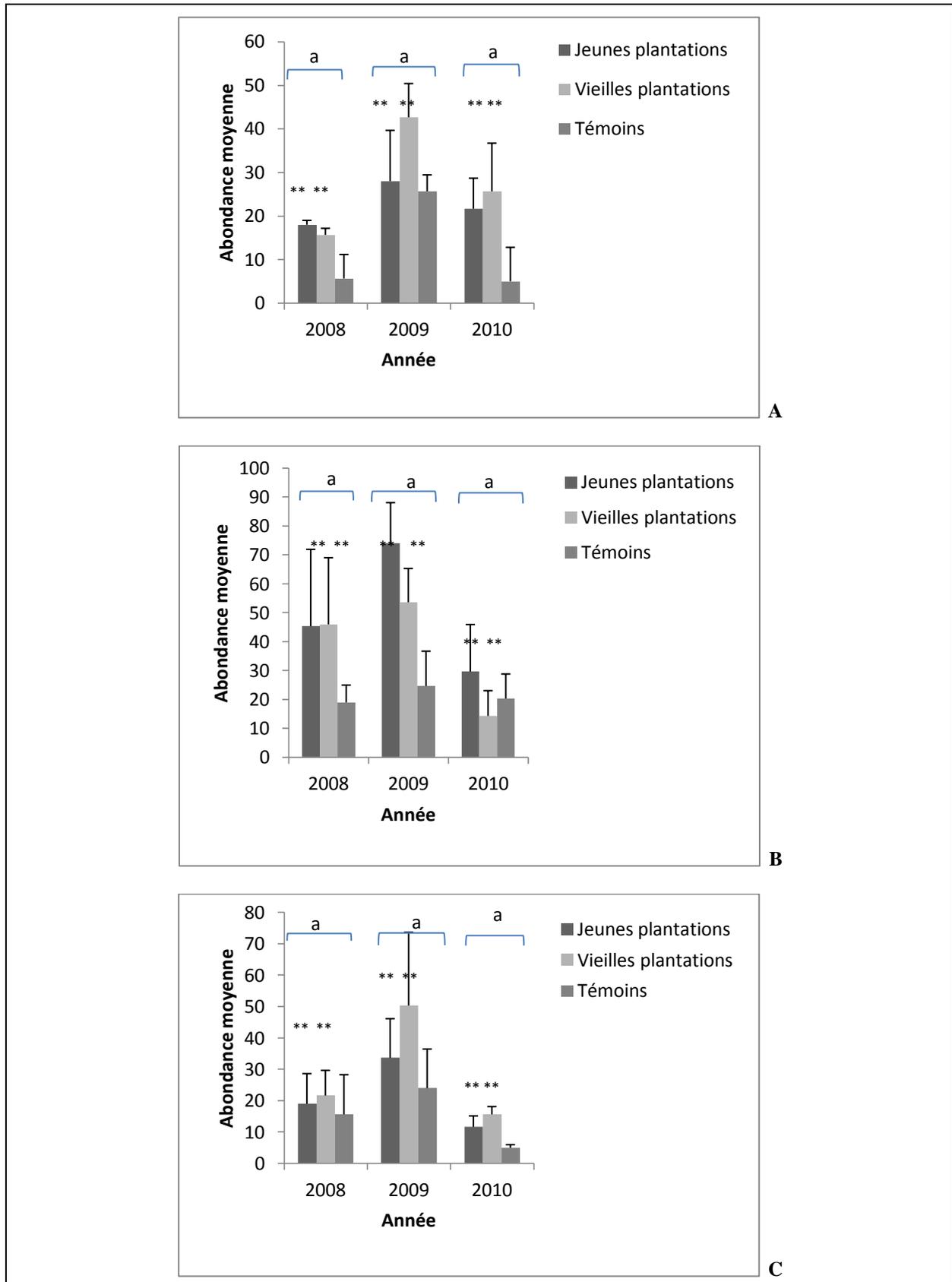
Pendant les trois (03) années, toutes les parcelles traitées de la station de Sidi Fradj ont enregistré des valeurs moyennes supérieures à celles des témoins (Fig. 36A).

En 2008, le nombre moyen des individus est de 18 chez les jeunes plantations, de 15 chez les vieilles plantations et de 5 chez les témoins. En 2009, ce paramètre a augmenté pour enregistrer une valeur de 28 individus chez les jeunes parcelles, 42 individus chez les vieilles plantations et 25 chez les témoins, alors qu'en 2010, il est de 21 chez les jeunes plantations, 25 chez les vieilles plantations et 5 chez les témoins.

Dans les parcelles de la station de Anba (Fig. 36B), en 2008, le nombre moyen est de 45 individus chez les traités, il diminue à 19 chez le témoin. En 2009, il est entre 74 et 53 respectivement chez les jeunes et vieilles plantations, suivi de 24 chez les témoins. En 2010, ce nombre est de 29 chez les jeunes plantations, 14 chez les vieilles plantations et 20 chez les témoins.

La figure 36C montre la variation du même paramètre durant les mêmes années d'étude dans la station de M'zara. En 2008, le nombre moyen d'individus est de 19 chez les jeunes plantations et 21 chez les vieilles plantations contre 15 chez les témoins. En 2009, le nombre moyen observé est de 33 individus chez les jeunes plantations et 50 chez les vieilles plantations contre 24 individus chez le témoin. En 2010, le nombre enregistré respectivement chez les jeunes et les vieilles plantations est de 11 et 15 contre 5 individus dans les parcelles témoins. L'analyse de la variance relative à ce paramètre (Annexe 3.2) a mis en évidence uniquement des effets significatifs des traitements principaux station ( $p=0.03$ ) et âge ( $p=0.01$ ). Le traitement année s'est révélé non significatif.

Le test de comparaison à la PPDS confirme les différences entre les moyennes de la station de Anba (36.33) qui sont significativement différentes du groupe homogène formé par les années Sidi Fradj et M'zara ayant les moyennes respectives de 21.88 et 20.81.



**Figure 36.** Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur l'abondance moyenne dans les 3 stations durant les années 2008, 2009 et 2010.

Pour le facteur âge, les jeunes et vieilles plantations constituent un seul groupe homogène avec respectivement 31.14 et 31.77 contre 16.11 chez les témoins.

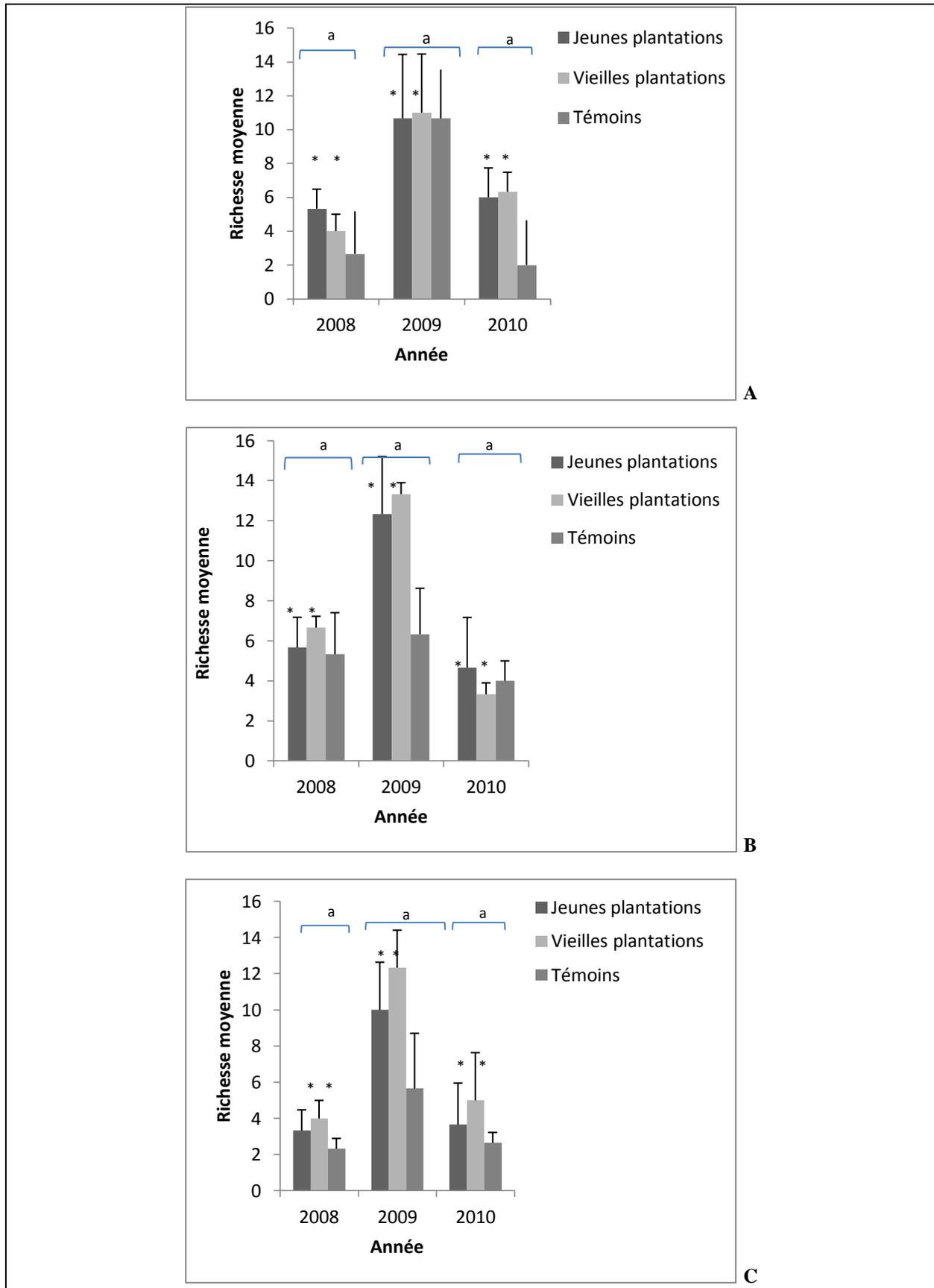
### 2.3. Richesse moyenne

La variation de la richesse spécifique moyenne pour les mêmes parcelles et stations et durant les mêmes années d'étude est représentée par la figure 37. En 2008, les parcelles traitées de la station de Sidi Fradj ont observé une richesse spécifique moyenne de 5 chez les jeunes plantations, suivie de 4 chez les vieilles plantations et diminue de 50 % chez les témoins. En 2009, ce nombre a augmenté pour atteindre la même valeur dans toutes les parcelles entre 10 et 11 espèces. En 2010, le nombre moyen est de 6 et diminue de 75 % chez les témoins (Fig.37A).

Les parcelles traitées de la station de Anba (Fig. 37B) ont observé un nombre moyen d'espèces entre 12 et 13 chez les traités et 6 chez les témoins en 2009, par contre en 2008 et 2010, ces valeurs ont baissé sans aucune différence entre les différentes parcelles.

Dans la station de M'zara (Fig. 37C), en 2008, la richesse spécifique est entre 3 et 4 chez les traités contre 2 chez le témoin. En 2009, ce nombre augmente à 10 et 12 respectivement chez les jeunes et vieilles plantations et 5 chez le témoin pour baisser par la suite en 2010 à 3 chez les jeunes plantations, 5 chez les vieilles plantations et 2 chez les témoins.

L'analyse de la variance (Annexe 3.2) a permis de mettre en évidence des effets significatifs uniquement pour le facteur âge ( $p=0.03$ ) et non significatifs pour les facteurs station, année et l'ensemble des interactions au niveau  $\alpha=0.05$ . Le test de comparaison à l'aide de la PPDS confirme les différences significatives entre les trois âges. Les jeunes et les vieilles plantations forment un seul groupe homogène avec respectivement des moyennes de 7.40 pour les vieilles plantations et 6.85 pour les jeunes plantations, puis les témoins avec 4.62.



**Figure 37.** Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur la richesse spécifique durant les années 2008, 2009 et 2010. (A: Sidi Fradj; B: Anba ; C : M'zara).

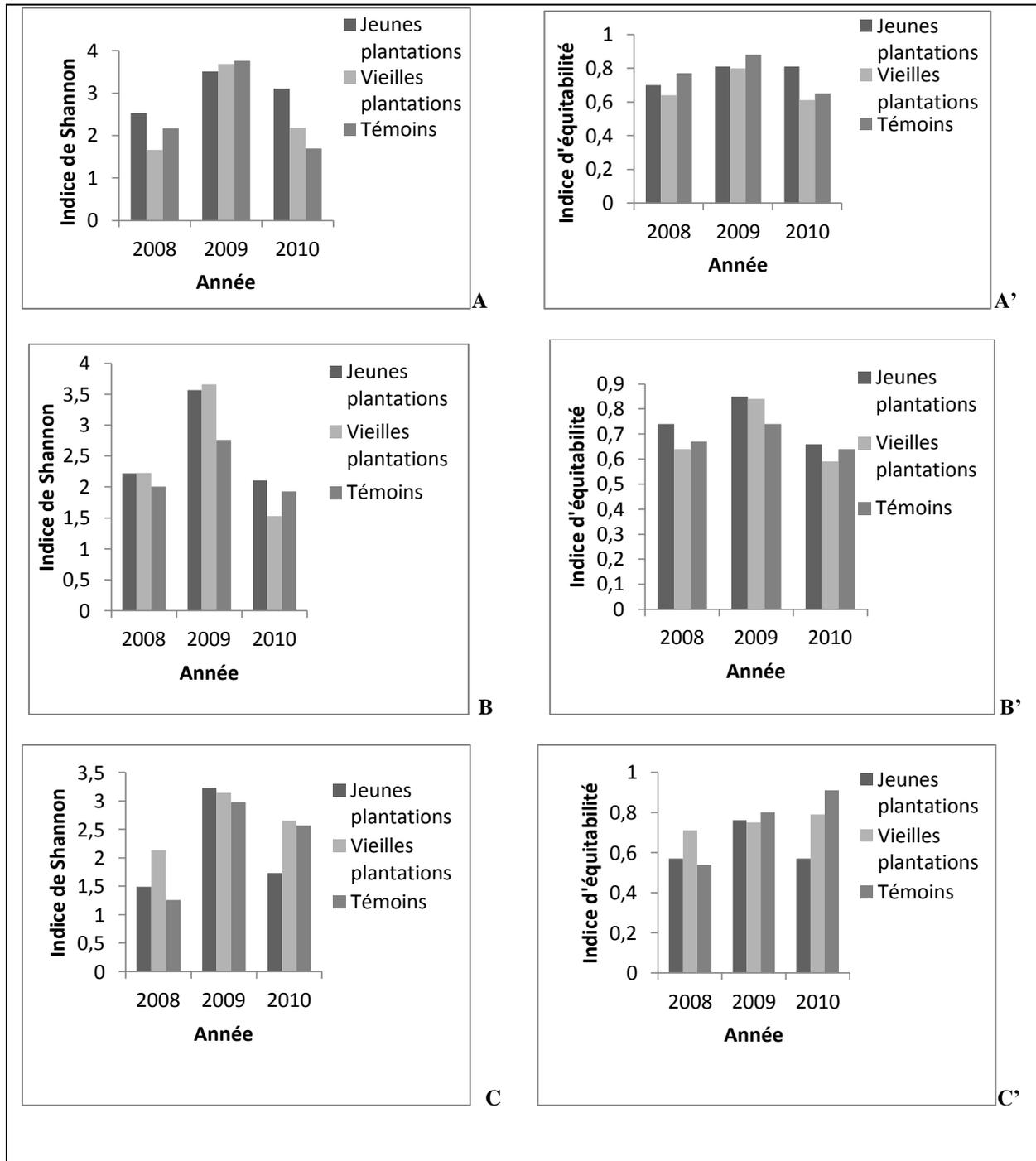
#### 2.4. Variation des indices de Shannon (H') et d'équitabilité (E)

Les figures 38 (A et A') montrent les variations de H' et E dans la station de Sidi Fradj durant les 3 années successives. En 2008, l'indice de diversité est plus élevé (2.54) dans les jeunes plantations par rapport aux vieilles et aux témoins qui ont enregistré respectivement les valeurs de 1.66 et 2.17. Il en est de même pour l'équitabilité qui est plus élevée chez les jeunes plantations et le témoin comparée aux vieilles plantations. En 2009, H' a augmenté dans toutes les parcelles traitées et témoins. Il est de 3.51 chez les jeunes plantations, 3.69 chez les vieilles plantations et 3.76 chez les témoins. L'équitabilité a observé la même tendance.

En 2010, l'indice a baissé par rapport à l'année 2009. Il est de 3.11 chez les jeunes plantations, 2.18 chez les vieilles plantations et 1.69 chez le témoin, tout en gardant un E élevé dans les jeunes plantations (0.81), par contre il a baissé chez les vieilles plantations (2.18) avec un E = 0.61. Sa diminution est plus nette chez les parcelles témoins (1.69) avec un E = 0.65.

Dans les parcelles de la station de Anba (Fig. 38 B et B'), en 2008, H' est de 2.22 chez les traités et 2.01 chez le témoin. En 2009, il est élevé dans les parcelles traités (3.57- 3.66) contre 2.74 chez le témoin et il en est de même pour l'équitabilité. En 2010, le H' est de 2.11 chez les jeunes plantations, 1.53 chez les vieilles plantations et 1.93 chez les témoins.

Quant à la station de M'zara (Fig 38 C et C'), elle observe en 2008, un indice de diversité de 1.49 chez les jeunes parcelles, celui-ci augmente à 2.13 chez les vieilles parcelles pour baisser à 1.26 chez les parcelles témoins. En 2009, il est de 3.23 chez les jeunes plantations et 3.14 chez les vieilles plantations pour chuter à 2.98 dans les parcelles témoins. En 2010, il observe une valeur de 1.73 dans les jeunes plantations, augmente à 2.65 dans les vieilles plantations et baisse légèrement à 2.57 chez les témoins.



**Figure 38.** Variation des indices de Shannon ( $H'$ ) et d'équitabilité ( $E$ ) dans les stations Sidi Fradj, Anba et M'zara durant les années 2008, 2009 et 2010. (A et A' : Sidi Fradj ; B et B' : Anba ; C et C' : M'zara).

## 2.5. Colonisation végétale dans les plantations de figuier de Barbarie

Comme les parcelles plantées par le figuier de Barbarie ont révélé un taux de recouvrement plus élevé que celui des parcelles non plantées, il a été intéressant de voir la composition de la phytocénose qui a colonisé l'espace interligne dans les trois (03) stations durant le printemps de 2008, 2009 et 2010. Les résultats sont consignés dans les tableaux 5, 6 et 7.

### 2.5.1. Station de Sidi Fradj

En 2008, neuf familles avec 15 espèces végétales ont colonisé les parcelles plantées par le figuier de Barbarie : la famille des Poacées avec 69 % représentée par *Cynodon dactylon*, *Stipa parviflora*, *Hordeum murinum* et celle des Plantaginacées avec un pourcentage de 12 % représentée par *Plantago albicans*.

En 2009, le nombre de famille a doublé. Il a atteint 16 familles avec 32 espèces. La famille des Fabacées avec un pourcentage de 32 %, représentée par *Medicago litoralis*, *Astragalus hamosus*, suivie de celles des Brassicacées avec un pourcentage de 19 % représentée par *Raphanus raphanistrum*, puis celle des Poacées avec un pourcentage de 11 %, représentée par *Hordeum murinum*.

En 2010, une chute dans le nombre de famille est observée comparée à l'année 2009. Seulement 9 familles sont présentes dans les parcelles avec 20 espèces représentées essentiellement par la famille des Poacées avec 45 % représentée par *Cynodon dactylon*, les Astéracées avec 14% représentées par *Reichardia picrioides* et les Fabacées avec 14 % représentées par *Medicago litoralis* et *Medicago* sp<sub>2</sub> (Tab.5).

**Tableau 5.** Composition floristique dans les plantations de la station de Sidi Fradj.

Année	Famille	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	% de présence
<b>2008</b>	1- <b>Plantaginacées</b>	1	12	<b>12</b>
	2- <b>Poacées</b>	4	69	<b>69</b>
	3- Lamiacées	2	5	5
	4- Chénopodiacées	1	1	1
	5- Astéracées	3	6	6
	6- Fabacées	1	1	1
	7- Rhamnacées	1	1	1
	8- Brassicacées	1	4	4
	9- Géraniacées	1	1	1
				<b>N=100</b>
<b>2009</b>	1- <b>Fabacées</b>	5	68	<b>32.07</b>
	2- <b>Poacées</b>	3	25	<b>11.79</b>
	3-Chénopodiacées	1	3	1.45
	4-Boraginacées	1	4	1.88
	5- <b>Brassicacées</b>	3	42	<b>19.81</b>
	6-Plantaginacées	1	12	5.66
	7-Lamiacées	3	4	1.88
	8-Cistacées	1	1	0.47
	9-Primulacées	1	5	2.35
	10- <b>Astéracées</b>	6	22	<b>10.37</b>
	11-Scrophulariacées	1	2	0.94
	12-Papaveracées	2	2	0.94
	13-Malvacées	1	1	0.47
	14-Resedacées	1	1	0.47
	15-Geraniacées	1	13	6.13
	16-Zygophyllacées	1	4	1.88
			<b>N=212</b>	
<b>2010</b>	1- <b>Astéracées</b>	6	20	<b>14.28</b>
	2- <b>Fabacées</b>	3	20	<b>14.28</b>
	3-Caryophyllacées	1	5	3.57
	4-Plantaginacées	1	13	9.28
	5-Apiacées	1	1	0.71
	6-Rhamnacées	1	1	0.71
	7- <b>Poacées</b>	3	64	<b>45.71</b>
	8-Brassicacées	3	12	8.57
	9-Zygophyllacées	1	4	2.85
			<b>N=140</b>	

### 2.5.2. Station de Anba

Dans la station de Anba, en 2008, le nombre de familles dans les parcelles plantées est de 5 avec 11 espèces. Ces dernières sont dominées particulièrement par les Poacées avec un pourcentage de 44 % avec les espèces *Hordeum murinum* et *Stipa parviflora* ; les Astéracées avec 32 % représentées par *Artemisia campestris* et *Reichardia picrioides*, et la famille des Plantaginacées avec un pourcentage de 22 %, représentée exclusivement par *Plantago albicans*.

L'année 2009 a été surtout marquée par la présence de 11 familles avec 28 espèces végétales. La famille des Fabacées est présente avec 44 % représentée par *Medicago litoralis*, *Hippocrepis unisiliquosa* et *Astragalus hamosus* ; puis viennent les Astéracées avec 25 % représentées par *Anthemis arvensis*, *Artemisia campestris* et *Reichardia picrioides* ; puis les Poacées avec 18 %.

Le nombre de famille a chuté de 50 % durant le printemps de l'année 2010 par rapport à l'année 2009. En effet, 5 familles avec 11 espèces ont colonisé les plantations. Parmi elles, figurent les Astéracées présentes avec un pourcentage de 65 % représentées par *Artemisia campestris* et *Reichardia picrioides* ; suivies des Poacées avec 25 % représentées particulièrement par *Hordeum murinum* (Tab.6).

### 2.5.3. Station de M'zara

En 2008, les plantations de figuier de Barbarie sont colonisées par 8 familles végétales avec 11 espèces. Elles sont représentées particulièrement par la famille des Poacées avec un pourcentage de 60 % représenté par *Cynodon dactylon* et *Hordeum murinum* et celle des Zygophyllacées avec 21 % représentée par *Peganum harmala*.

En 2009, le nombre de famille a atteint 12 englobant 28 espèces. La famille des Poacées avec 37 % représentée par *Stipa capensis* et *Cynodon dactylon*, la famille des Brassicacées avec 20 % représentée par *Lonchophora capiomontiana*, et *Raphanus raphanistrum*, et la famille des Astéracées représentée par *Anthemis arvensis*.

En 2010, une chute de 50 % est observée dans le nombre de familles. Six (06) familles sont présentes avec 12 espèces. Elles sont représentées par les Poacées avec un pourcentage de 43 % dominées par *Cynodon dactylon* et les Fabacées avec 25 % représentées par *Astragalus armatus* et *Retama monosperma* (Tab.7).

**Tableau 6.** Composition floristique dans les plantations de la station de Anba.

Année	Famille	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	% de présence
<b>2008</b>	<b>1-Poacées</b>	2	121	<b>44.64</b>
	<b>2-Astéracées</b>	6	88	<b>32.47</b>
	3-Lamiacées	1	1	0.36
	4-Plantaginacées	1	60	22.14
	5-Malvacées	1	1	0.36
			<b>N= 271</b>	
<b>2009</b>	<b>1-Fabacées</b>	6	172	<b>44.10</b>
	<b>2-Astéracées</b>	5	98	<b>25.12</b>
	3-Primulacées	1	17	4.35
	4-Brassicacées	1	16	4.10
	5-Résédacées	1	1	0.25
	<b>6-Poacées</b>	6	72	<b>18.46</b>
	7-Euphorbiacées	1	2	0.51
	8-Plantaginacées	1	6	1.53
	9-Malvacées	1	4	1.02
	10-Scrophulariacées	1	1	0.25
	11-Géraniacées	1	1	0.25
			<b>N=390</b>	
<b>2010</b>	<b>1-Astéracées</b>	4	86	<b>65.64</b>
	2-Plantaginacées	1	9	6.87
	<b>3-Poacées</b>	4	33	<b>25.19</b>
	4-Brassicacées	1	1	0.76
	5-Apiacées	1	2	1.52
			<b>N=131</b>	

**Tableau 7.** Composition floristique dans les plantations de la station de M'zara.

Année	Famille	Nombre d'espèces	Nombre d'individus	% de présence
<b>2008</b>	1-Poacées	2	74	<b>60.65</b>
	2-Brassicacées	2	3	2.45
	3- Plantaginacées	1	2	1.63
	4-Liliacées	1	6	4.91
	5-Chénopodiacées	1	1	0.81
	6-Astéracées	2	2	1.63
	7-Fabacées	1	8	6.65
	8-Zygophyllacées	1	26	<b>21.31</b>
			<b>N=122</b>	
<b>2009</b>	1-Brassicacées	4	51	<b>20.48</b>
	2-Lamiacées	1	5	2.00
	3-Poacées	3	93	<b>37.34</b>
	4Fabacées	8	16	6.42
	5-Chénopodiaceés	1	3	1.20
	6-Astéracées	5	42	16.86
	7-Liliacées	1	1	0.40
	8-Euphorbiacées	1	1	0.40
	9-Géraniacées	1	2	0.80
	10-Rétedacées	1	2	0.80
	11-Plantaginacées	1	32	12.85
	12-Scrophulariacées	1	1	0.40
			<b>N=249</b>	
<b>2010</b>	1-Fabacées	2	20	<b>25</b>
	2-Apiacées	1	4	5
	3-Plantaginacées	1	15	18.75
	4-Astéracées	4	5	6.25
	5-Poacées	3	35	<b>43.75</b>
	6-Liliacées	1	1	1.25
			<b>N=80</b>	

## 2.6. Analyse en composantes principales

### 2.6.1. Cercle des corrélations

Le plan (1-2) (Fig.39) dont la participation des axes orthogonaux est de 65.5 % fait ressortir la quasi-totalité des variables : pH, CE, MO, N, C/N, calcaire total, calcaire actif, phosphore total, phosphore assimilable, abondance, richesse et recouvrement. Il fait apparaître la convergence et la divergence de certaines variables les unes par rapport aux autres. Ce sont surtout le pH, l'azote, la MO, le C/N et le phosphore total qui contribuent à la formation de l'axe 1, donc, à la variation totale. Le pourcentage d'explication se rapproche de 50 %. Ces variables sont corrélées entre elles et exercent le même effet.

Le calcaire total et actif contribue de manière équilibrée à la formation des axes 1 et 2. Il en est de même pour la CE, mais dans le sens opposé. Plus le taux de calcaire augmente, plus la CE diminue.

Les paramètres de végétation (abondance, richesse et recouvrement) participent davantage à la formation de l'axe 2 que l'axe 1.

### **2.6.2. Diagramme des individus**

Les individus qui ont participé à la formation de l'axe 1 dans le côté négatif caractérisent les parcelles du groupe 1 (G1) (10A2, 8A2, 8S2, 10A1, 10S2, 8A1, 9A2) ayant un taux de MO, C/N, teneur en phosphore total et azote élevés. Ce sont les parcelles plantées des 2 stations Anba et Sidi Fradj (Fig. 40).

Le groupe 2 (G2) (10M1, 8M1, 10M2, 8M2, 9M0, 8S1, 10S1 et 9S0, 9M1) constitué des parcelles plantées et témoins de la station de M'zara ainsi que les jeunes parcelles et les témoins de la station de Sidi Fradj. En effet, ces aires ont observé de faibles taux de MO, d'azote, de phosphore total ainsi qu'un ratio C/N bas.

Quant à l'axe 2, ce sont surtout les groupes 3 et 4 qui ont contribué à sa formation.

Le groupe 3, G3 (9S2 et 9A1) est formé des jeunes parcelles d'Anba et des vieilles parcelles de Sidi Fradj en 2009 qui se caractérisent nettement par les paramètres de végétation avec un taux de recouvrement, une abondance et une richesse plus importants par rapport aux autres parcelles.

Quant au groupe 4, G4 (8A0, 9A0 et 10A0), il a rassemblé les parcelles témoins de la station Anba qui ont manifesté des valeurs de calcaire total et actif plus élevées que ceux enregistrés par les autres individus.

Le groupe 5, G5 (9S1 et 9M2) s'isole pour être caractérisé par des taux de calcaire total et actif inférieurs à ceux du groupe opposé G4.

Le groupe 6, G6 (10 M0, 10S0, 8S0 et 8M0) s'individualise pour regrouper les parcelles témoins des stations de M'zara et Sidi Fradj caractérisées par un taux de recouvrement, une abondance et une richesse faibles durant les années 2008 et 2010.

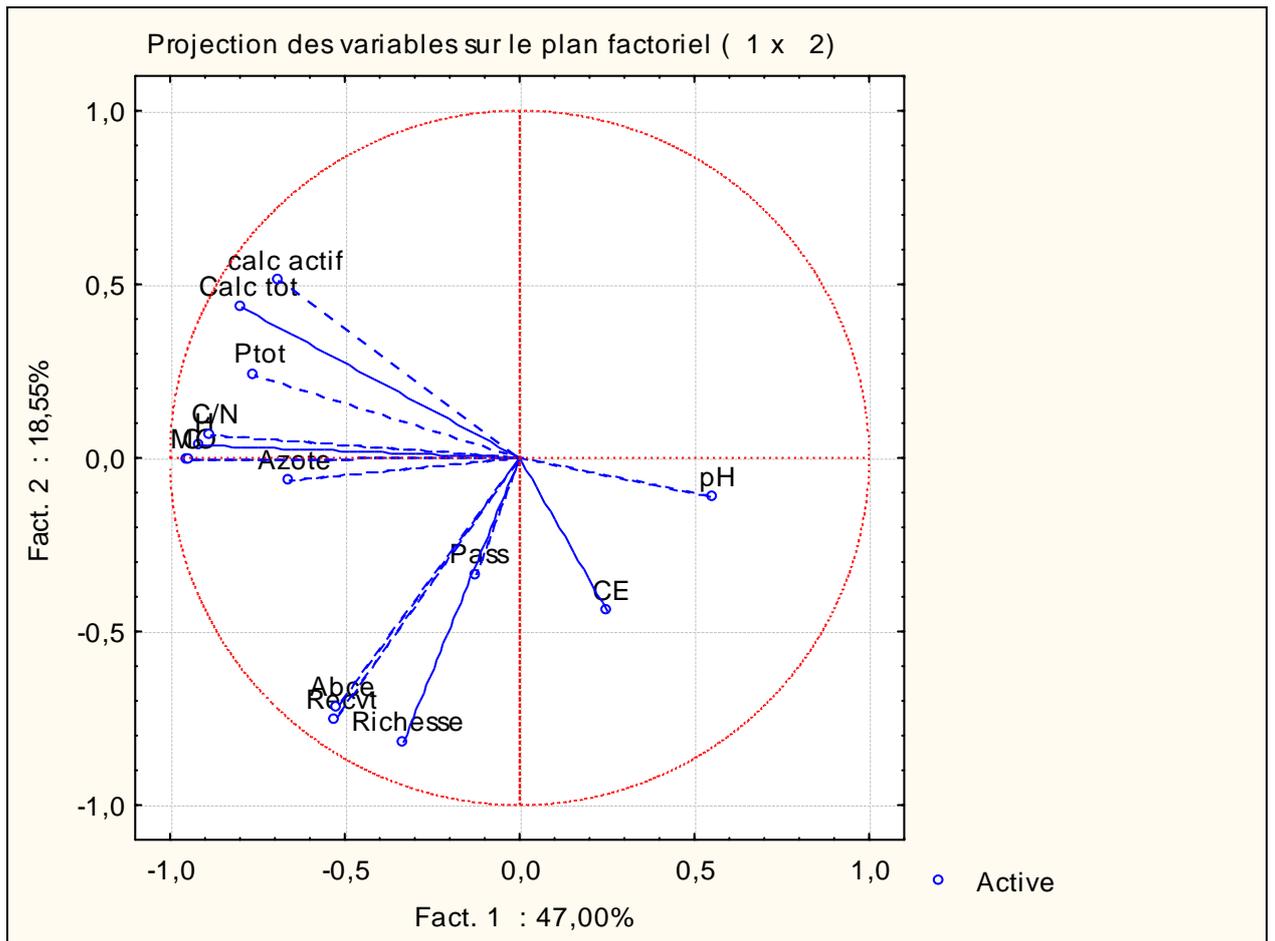


Figure 39. Cercle des corrélations.

**Abréviations**

CE : Conductivité électrique, Pass : phosphore assimilable, Recvt : recouvrement, Abce : abondance, MO : matière organique, Ptot : phosphore assimilable, Calc tot : calcaire total, Calc.actif : calcaire actif.

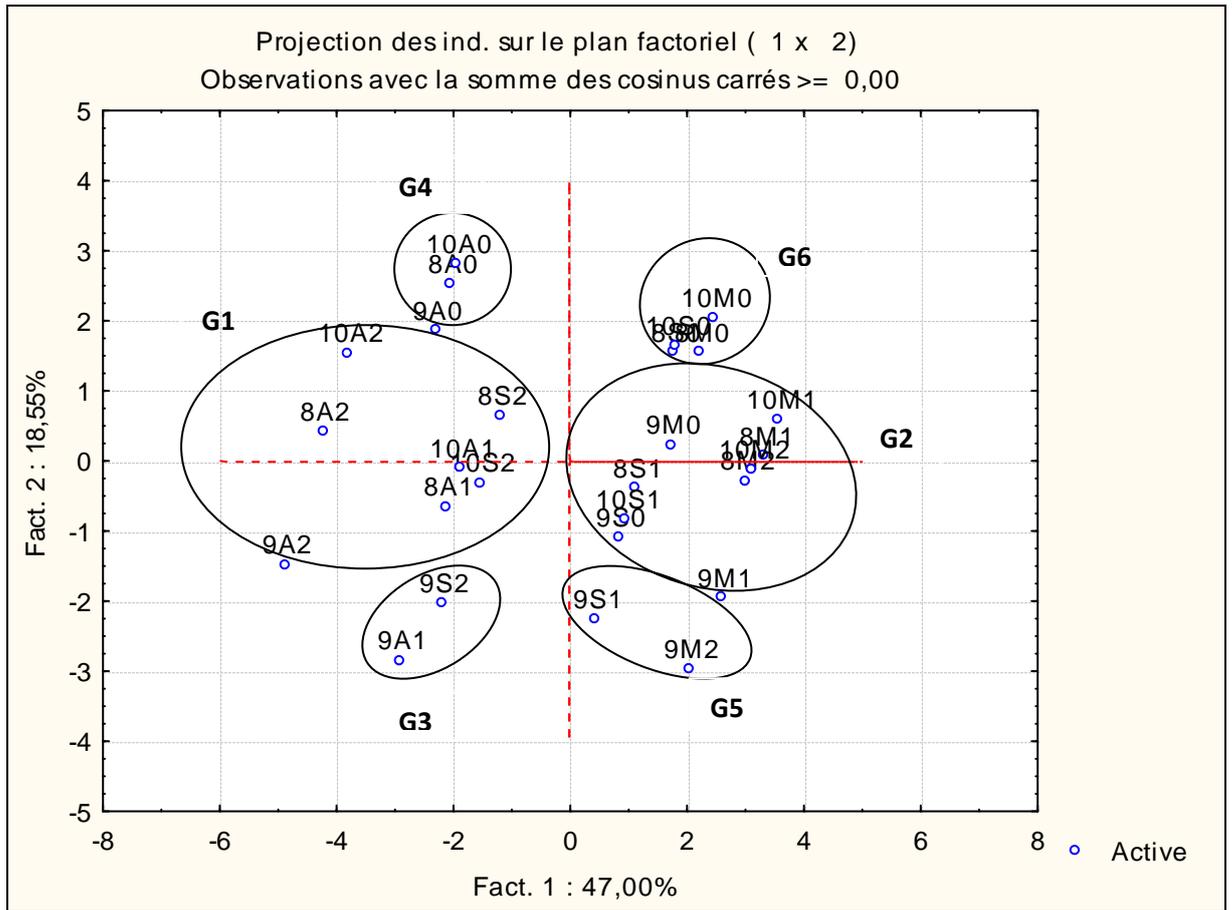


Figure 40. Diagramme des individus.

**Code :**

8, 9, 10 : les années 2008, 2009 et 2010

A: station d'Anba

S: station de Sidi Fradj

M: station de M'zara

0: témoin

1: jeunes plantations

2: vieilles plantations

### 3. Discussion

Dans ce chapitre, nous allons essayer de discuter l'ensemble des résultats relatifs à l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) sur les paramètres de végétation, à savoir, les paramètres de composition : le taux de recouvrement du sol, l'abondance, la richesse spécifique, et les paramètres de structure : les indices de diversité et d'équitabilité dans les 3 stations : Sidi Fradj, Anba et M'zara durant 3 années successives (2008-2010). Nous allons également voir la colonisation des espèces végétales suite à l'établissement de ces plantations et la relation entre les paramètres du sol et ceux de la végétation.

L'ensemble des résultats obtenus, permettent d'avancer que les paramètres de composition ont subi différemment les effets des traitements principaux étudiés et leurs interactions.

-Le taux de recouvrement a subi les effets de l'année et de l'âge et des interactions (année x station) et (station x âge). L'année 2009 a marqué le plus grand taux de recouvrement (77 %) par rapport aux années 2008 et 2010 qui ont enregistré en moyenne un pourcentage de 40 %. L'effet de l'âge a révélé à son tour que les parcelles traitées ont enregistré un taux moyen de 60 %, une valeur qui est réduite de moitié chez les témoins.

Il en découle nettement que quelle que soit la station, le taux de recouvrement le plus élevé a été observé en 2009 dans les 3 stations en particulier à la station de Anba, suivie de Sidi Fradj, puis de M'zara, bien que ce facteur (station) n'ait pas été déclaré statistiquement significatif.

-L'abondance a échappé à l'effet de l'année. Il y a un effet-station où le nombre d'individus est plus élevé à Anba avec en moyenne 36 individus par rapport aux autres stations avec une moyenne de 20 individus. Il en est de même pour le facteur âge où les traités ont enregistré un nombre moyen de 30 révélant le double du nombre marqué chez les témoins.

-La richesse spécifique a subi uniquement l'effet de l'âge. Les jeunes et les vieilles plantations ont marqué plus d'espèces (en moyenne 7.40 chez les vieilles plantations) et 6.85 chez les jeunes plantations contre les témoins avec une richesse de 4.62.

Il a été retenu dans notre étude que le taux de recouvrement, l'abondance des individus et la richesse spécifique sont :

- (i) plus importants dans les parcelles plantées par rapport aux témoins quelles que soient l'année et la station.

- (ii) la station de Anba a marqué la plupart du temps les plus grandes valeurs, suivie de Sidi Fradj puis de M'zara particulièrement pour le taux de recouvrement et l'abondance.
- (iii) l'année 2009 vient en premier suivie parfois de l'année 2008, parfois de l'année 2010.

Les indices de diversité et d'équitabilité ont également connu des fluctuations d'un âge à un autre, d'une station à une autre et d'une année à une autre.

En reprenant notre hypothèse de départ : les plantations de figuier de Barbarie contribueraient-elles à travers leur âge à l'amélioration des parcours dégradés de l'Est algérien ?

D'après Yang *et al.* (2006), le taux de recouvrement est considéré comme étant le meilleur indicateur du degré de restauration ou de désertification car il révèle fermement et sérieusement les changements dans ces processus. Nombreuses sont les études et les observations qui appuient le fait que l'évaluation du degré de désertification est établie par la couverture végétale, la productivité primaire et la surface de sol dénudé (Pei *et al.*, 2008), car la perturbation de la couverture végétale est le premier indicateur visible du processus de la désertification bien que les répercussions sur des propriétés du sol physiques, biologiques et chimiques soient concomitantes (Ferrol *et al.*, 2004).

En traitant le cas de nos 3 stations, les parcelles plantées par le figuier de Barbarie ont enregistré des taux de recouvrement plus importants que les parcelles non plantées quels que soient l'âge, la station et l'année. Ceci pourrait être expliqué par la présence de cet arbuste qui, au même titre que d'autres espèces telles que *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum* (Wezel *et al.*, 2000), *Retama sphaerocarpa* (Caravaca *et al.*, 2003b), *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* (Yang *et al.*, 2009), *Caragana microphylla* (Su & Zhao, 2003 ; Zhao *et al.*, 2007 ; Yang *et al.*, 2011), *Tamarix* sp (Li *et al.*, 2007), *Aloe secundiflora* (King, 2008), *Porlieria chilensis* (Tracol *et al.*, 2011), a pu mettre en valeur la croissance d'autres espèces, accélérer la vitesse de colonisation et ouvrir la voie à l'extension végétale par l'amélioration des conditions de stress de l'environnement, en réduisant l'âpreté du milieu dégradé exposé aux aléas climatiques et à l'érosion éolienne (King, 2008).

Quant à la variation spatiale de ces paramètres (différence entre les stations), l'effet station n'a été statistiquement significatif que pour l'abondance. L'effet sur le taux de recouvrement ne l'a pas été en dépit des taux élevés observés à la station de Anba comparée aux autres stations. Cette dernière a marqué les taux les plus élevés même durant les années 2008 et 2010 où une nette chute est signalée dans les autres stations. Il y a par contre un effet combiné (station x année) qui a révélé que le taux de recouvrement en 2009 dans les parcelles de la station de Anba et Sidi Fradj ont formé un groupe homogène avec des moyennes respectives 83.38 % et 77.13 % en 2009 contre 72.24% à M'zara de la même année. Ceci pourrait être expliqué par l'effet de la pluviosité qui n'a épargné aucune station particulièrement durant l'année 2009, mais qui a été plus évident dans la station de Anba qui, même en 2008 et 2010, c'est elle qui a enregistré les taux de recouvrement les plus élevés par rapport aux stations avec respectivement un taux de 57.23 % en 2008 et 59.50 % en 2010 contre 28.37 % en 2008 et 39.69 % en 2010 à Sidi Fradj et 37.02 % en 2008 et 22.88 % en 2010 à M'zara.

En étudiant les caractéristiques des 3 stations, on pourrait ajouter quelques éléments supplémentaires :

- **la station de Anba** caractérisée par, un sol argileux, un espace interligne entre 3 et 4.5 mètres et une technique de plantation en potêts a enregistré le taux de recouvrement le plus élevé en dépit de son exposition Nord.
- **la station de Sidi Fradj** située sur une plaine, est caractérisée par, un sol argileux, le même espace interligne que Anba, la technique de plantation en potêts et la même variété cultivée (inerm), a marqué un taux de recouvrement inférieur à celui de la station de Anba.
- **la station de M'zara** caractérisée par, un espace interligne pouvant atteindre même les 8 mètres dans certaines parcelles, une technique de plantation en ligne, un sol sableux et la forme cultivée (asperme) a enregistré des valeurs inférieures à celles de Anba et Sidi Fradj, en dépit de son exposition Sud.

Cette différence ne pourrait être expliquée que par la topographie de la station de Anba. Cette dernière est située au piémont de la montagne Djebel Enoual. Une situation qui a permis aux parcelles de colluvionner tout le matériau drainé par les eaux de ruissellement enrichissant le sol en éléments nutritifs, ainsi que l'effet-écran de la montagne leur créant un microclimat plus favorable. Ceci ne minimise en aucun cas l'effet conjugué d'autres facteurs tels que l'aridité accentuée, la texture sableuse, la technique en ligne et la variété asperme qui se sont associés pour que la station de M'zara enregistre le plus faible taux

de recouvrement.

Quant aux variations interannuelles, la cause est certainement d'ordre climatique. L'année 2009 a marqué une pluviosité plus importante dans les trois (03) stations : 348.1 mm à Sidi Fradj en 2009 contre 124.6 mm en 2008 et 269.5 mm en 2010 et 524.4 mm à Anba en 2009 contre 229.4 mm en 2008 et 325.4 mm en 2010. Les données de M'zara sont manquantes en 2007/2008. Les précipitations enregistrées en 2008/09 sont de 179.6 mm alors que celles de l'année 2009/2010, elles sont de 200 mm.

D'après Su et Zhao (2003), le recouvrement d'un habitat dégradé est sous l'influence des conditions climatiques. La revégétation dans les milieux arides dépend de l'eau qui est le facteur limitant majeur pour la croissance des plantes dans les parcours (Tucker *et al.*, 1991; Li & Shao, 2006 ; Cao *et al.*, 2007) et la croissance des annuelles qui accompagnent la végétation permanente est dépendante des précipitations (Abd El- Ghani & Amer, 2003), bien que Yang *et al.* (2006) ne corroborent pas cette idée. Ils avancent que l'eau n'est pas toujours le facteur de contrainte pour la croissance des plantes dans les aires arides et semi arides car il y a beaucoup d'espèces qui ont atteint un haut degré de recouvrement et une grande colonisation, alors que l'eau du sol est réduite.

Il est notoire aussi que d'autres facteurs prennent part dans ces variations, telles que la texture du sol. Selon Brown et Al-Mazrooei (2003), la nature du substrat a d'importantes conséquences sur le processus de régénération et a été un facteur déterminant dans la vitesse de recouvrement dans les paysages semi-arides dominés par *Rhanterium epapposum* au Koweït. La texture du sol limite la dynamique de la végétation dans les écosystèmes arides et semi-arides et affecte le régime local de l'humidité du sol (Buxbaum & Vanderbilt, 2007). L'instabilité du substrat sableux empêche l'installation des propagules des plantes (Zhang *et al.*, 2006). En effet, les sols de Anba et Sidi Fradj sont à dominance argileuse alors que ceux de M'zara sont sableuses, d'où probablement la différence dans les taux de recouvrement.

Il semble bien aussi que la composition floristique de la communauté des annuelles soit liée aux variations climatiques (Fernandez-Lugo *et al.*, 2009) ou aux facteurs géographiques (Brown & Al-Mazrooei, 2003). Les espèces recensées dans nos parcelles sont majoritairement des herbes annuelles ou vivaces avec une dominance particulière de : *Hordeum murinum*, *Cynodon dactylon*, *Plantago albicans* ou *Peganum harmala*. Ces espèces sont considérées par certains auteurs (Le Houerou, 1996 ; Nedjraoui, 2004) comme indicatrices de désertification et de dégradation. Elles caractérisent les sols à surface perturbée soit par la culture ou une

autre cause permettant d'ouvrir la surface du sol, remplaçant les espèces climaciques comme *Stipa tenacissima* et *Artemisia herba alba*. Aussi, ces espèces sont ubiquistes et ont une large valence écologique expliquant d'une certaine manière l'homogénéisation et la banalisation des cortèges floristiques dans les différentes stations à l'exception des espèces autochtones.

Comme il a été signalé par Maestre *et al.*, (2003) et He *et al.*, (2007), dans la relation espèce-environnement, la large amplitude écologique que possèdent certaines espèces affaiblit les corrélations entre les caractéristiques de l'environnement et la végétation.

Quant à la diversité spécifique, bien qu'elle demeure de façon controversée, une manière simple de mesurer la biodiversité (Gosselin *et al.*, 2004), et est une importante mesure d'évaluation des écosystèmes (Zhang *et al.*, 2005). Nos résultats indiquent qu'elle ne doit pas être utilisée comme le seul indice de l'efficacité d'un procédé de restauration comme le suggèrent Yang *et al.* (2006). Les variations de ce paramètre sont présumées être corrélées avec la stabilité des composants biotiques et abiotiques des écosystèmes (Zhang *et al.*, 2005).

En observant de près les indices de structure, l'indice de Shannon a exprimé des valeurs variables. Si on comparait l'année 2009 avec les autres années, on observe que les indices de diversité et d'équitabilité ( $H'$  et  $E$ ) connaissent la même tendance que les paramètres de composition et marquent des valeurs supérieures à celles de 2008 et 2010 dans les 3 stations, fluctuant d'un temps à autre entre les traités et les témoins.

Ceci n'empêche pas d'avancer qu'il est tout à fait naturel que la résilience d'un milieu perturbé commence par des espèces à stratégies « r » jusqu'à ce qu'il y ait un état de stabilité qui prendra certainement du temps dans un milieu aussi fragile que nos écosystèmes steppiques. Ce principe semble plausible dans la revégétation des écosystèmes arides dégradés où les espèces rudérales, comme *Medicago* sp et *Stipa capensis* (Rodriguez *et al.*, 2005) principaux constituants de la pauvre végétation particulièrement durant les années pluvieuses (Brown & Al-Mazrooei, 2003) peuvent stabiliser le sol, rétablir les cycles biogéochimiques et favoriser la présence d'espèces favorables. Une étude réalisée sur l'*Aloe* ssp a montré que plusieurs espèces rudérales décroissent et sont remplacées par des espèces de parcours désirables quand la pression de pâturage et la sécheresse diminuent. Par conséquent, la structure des racines et l'activité biologique du sol associées à ces dernières peuvent retarder l'érosion, augmenter la stabilité du sol et améliorer la vitesse d'infiltration de l'eau (King, 2008). Le développement des annuelles et des pérennes avec l'âge des plantes joue un important rôle dans la productivité dans les zones sablonneuses et leurs rapides

croissance et sénescence fournit un important pool de carbone organique et de nutriments (Su & Zhao, 2003).

Il est bien admis par Brown et Al-Mazrooei (2003), que le taux de recouvrement est un processus lent dans les écosystèmes désertiques, mais dans notre cas, en étudiant la question dans un contexte de réhabilitation, il est préférable de donner de l'importance à cette variable dans un premier temps au détriment des indices de structure (diversité et équitabilité) compte tenu de l'état de dégradation atteint par les parcours.

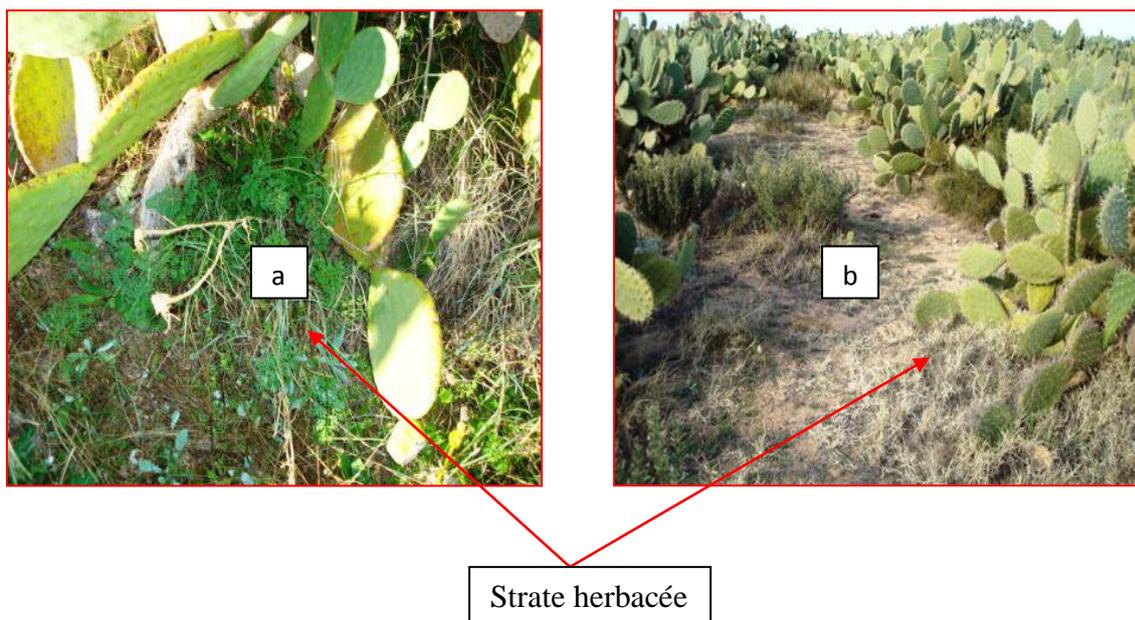
Comme il est vrai que la présence des espèces pérennes donne une indication sur la stabilisation de l'écosystème. Leur multiplication et leur développement expriment une remontée biologique (Le Houerou, 1996) et protègent mieux le sol (Manzano & Navar, 2000). Cependant, les espèces éphémères ou arido-passives (Aidoud *et al.*, 2006) peuvent dans une certaine mesure être une source de litière pour un agroécosystème comme les plantations à base de figuier de Barbarie. La litière de ces herbacées est la principale source de matière organique parce qu'elle se décompose plus facilement que celle des arbustes (Li *et al.*, 2006). Elle peut améliorer la structure, la fertilité, l'eau et la température, augmenter les microhabitats (Wu *et al.*, 2011) sans négliger la grande production annuelle des graines (Huang *et al.*, 2007), suite à leur rapide croissance et leur faible espérance de vie (Mun & Whitford, 1998).

Nos observations sur terrain (Fig.41 a et b) révèlent que des îlots de végétation apparaissent autour du figuier de Barbarie dans les trois (03) stations aussi bien autour de la variété inerme que la variété épineuse mais ces îlots sont un peu plus denses autour de la première, probablement liée à l'instabilité du substrat sableux pour garder les semences ou à leur faible disponibilité (De Villiers *et al.*, 2001). Selon Su et Zhao (2003), la vitesse de recouvrement varie en dessous de la canopée et l'espace interligne car les semences peuvent bénéficier de la fertilité locale sous la canopée de l'arbuste (De Villiers *et al.*, 2001). Les herbes tendent à se concentrer autour de l'arbuste, la densité des semences a tendance à diminuer depuis le centre de la canopée et les graines dispersées par le vent sont piégées sous l'arbuste et sont protégées des prédateurs (Zhao *et al.*, 2007).

Le stock de semences est un important composant de la dynamique végétale. Il affecte à la fois la résistance et la résilience de l'écosystème. Il est caractérisé par une forte variation spatio-temporelle dans les écosystèmes arides. Il est particulièrement affecté par la présence des arbustes et est sous l'influence de l'identité de l'espèce, son âge et sa taille (Zhao *et al.*,

2007). Ce modèle de distribution de la végétation qui caractérise particulièrement les zones arides est connu sous le nom d' « îles de fertilité » traduit de l'anglais « fertility islands » ou « islands of fertility » (Garner & Steinberger, 1989 ; Titus *et al.*, 2002 ; Yang *et al.*, 2009 ; Jiao *et al.*, 2011). Cette distribution fragmentée « patchy-distribution » est devenue un trait commun des écosystèmes arides et semi-arides.

Conséquemment, le développement de ces îles fertiles relève une grande importance parce qu'il induit un changement spatial dans les propriétés du sol incluant particulièrement l'eau et l'azote qui sont des facteurs limitants pour la structure, la production et la dynamique de la végétation dans les écosystèmes arides (Li *et al.*, 2007).



**Figure 41.** Etablissement de la végétation au pied de l'arbuste.

(a): variété inerme (b) : variété asperme

Dans ces environnements aux ressources limitées, la facilitation et la compétition conduisent la succession végétale par l'extension et la coalescence des morceaux de végétation autour des plantes-nourrices pionnières, dans notre cas *Opuntia ficus indica* (Gasque & Garcia- Fayos, 2004). Ces interactions de modulation entre les espèces sont identifiées comme étant le principal processus affectant la structure et la composition de la communauté végétale (Maestre *et al.*, 2003).

Les résultats de l'ACP corroborent en grande partie ceux de l'analyse de la variance.

- Sur l'axe 1, dans le côté négatif, apparaissent les jeunes et vieilles parcelles plantées de Anba et les vieilles parcelles de Sidi Fradj qui se sont distinguées davantage en fonction de la plupart des caractéristiques édaphiques, surtout le taux de matière organique, de la station M'zara (plantées et témoins) et la station de Sidi Fradj (jeunes parcelles et les témoins).

Cette distinction entre les 2 groupes fait ressortir l'intervention de plusieurs facteurs : la texture, la topographie et la présence du figuier de Barbarie. Il est bien connu que plus les particules sont fines, plus le taux de MO est important (Morel, 1996). La texture à dominance argileuse caractérisant Anba et Sidi Fradj s'oppose à celle de M'zara qui est sableuse. Les parcelles de Anba se trouvent au pied du Mont Enoual, colluvionnant ainsi les eaux de ruissellement et donc les éléments nutritifs. La présence du figuier de Barbarie aurait probablement contribué à la fertilité du sol par la formation des îlots de fertilité autour de lui de façon très marquée dans la station de Anba et les vieilles plantations de Sidi Fradj qui enregistrent certainement un bon stock de semences avec l'âge permettant dès les premières pluies leur germination et donc une litière, nouvelle source de MO dans ces plantations.

Quant au groupe 2, réunissant la station de M'zara (plantées et témoins) et la station de Sidi Fradj (jeunes et témoins), en sus de la texture, ceci s'explique davantage par l'aridité du climat qui en dépit de la présence du figuier de Barbarie (asperme), aucune amélioration de la MO n'est signalée. Les îlots de fertilité qui prennent naissance autour de l'arbuste sont maigres sauf en cas de pluies (Fig.41b).

- Sur l'axe 2, les parcelles se sont distinguées en fonction des paramètres de végétation faisant ressortir nettement l'effet conjugué de la pluie avec la présence du figuier de Barbarie. En effet, l'année 2009 a été pluvieuse et le taux de recouvrement a été important dans les trois (03) stations mais plus accentué dans les jeunes parcelles de Anba et les vieilles parcelles de Sidi Fradj. Ce groupe s'est fait distinguer du groupe 6 qui a rassemblé les parcelles témoins de la station de M'zara (faible pluies et absence de l'arbuste).

Quant aux autres groupes caractérisés par les taux de calcaire, le pH et la CE. Les variations de ces paramètres n'ont pas une grande signification puisque toutes les parcelles se rangent dans la fourchette de sols moyennement calcaires, alcalins et légèrement salés.

A la lumière des résultats de cet essai, en dépit des différences entre les stations (texture, topographie, variété de figuier, quantité de pluie), nous pouvons noter une certaine

convergence à l'égard de l'effet global du traitement (présence du figuier de Barbarie) sur les propriétés du sol et ceux de la végétation.

#### 4. Conclusion

Nos observations sur le terrain ont montré que l'*Opuntia ficus indica*, par son architecture résistante pourrait permettre l'établissement d'une strate herbacée et le piégeage de la litière. Cet arbuste pourrait non seulement fonctionner comme une barrière naturelle contre l'érosion éolienne et hydrique (surtout, en cas de pluies brusques et violentes) avec son appareil racinaire, mais jouer aussi le rôle de plante-refuge pour les graines des espèces moins tolérantes, permettre la revégétation des espèces herbacées et donner naissance à des « îles de fertilité », surtout les légumineuses qui augmentent le niveau d'azote et facilitent la croissance des plantes (Zhao *et al.*, 2007). Ce phénomène de facilitation est connu pour être la force motrice de la succession, particulièrement dans les milieux perturbés (Bruno *et al.*, 2003) car des interactions positives sont suggérées dans les communautés des milieux arides et ont un grand potentiel d'augmentation de la diversité biologique des plantes (Burquez & Quintana, 1994).

Plusieurs recherches ont montré que dans les écosystèmes arides et semi arides, les herbacées sont les plus abondantes. Le sol et le microclimat sont améliorés sous la canopée des arbustes en comparaison avec les espaces dénudés (Zhao *et al.*, 2007). Certaines espèces persistent et se dispersent rapidement depuis l'intérieur de la canopée vers l'extérieur quand des conditions d'amélioration de l'environnement venaient à contribuer à la restauration de la végétation (Zhao *et al.*, 2007). Les graines s'accumulent sous l'arbuste dans les microsites avec l'amélioration des conditions abiotiques et sont protégées des herbivores, ce qui leur crée une opportunité d'interagir synergiquement avec autres modes de facilitation (King, 2008)

Actuellement, une réduction du taux de recouvrement est observée dans les parcours algériens (Nedjraoui, 2004). Vu le positif effet que l'arbuste-modulateur peut exercer sur la dynamique des ressources, il présente un excellent outil de réhabilitation dans les milieux semi-arides qui prévient la dégradation du sol, la perte de la biodiversité végétale et favorise les interactions de facilitation (Wu *et al.*, 2011). D'une part, il est connu que dans les milieux arides, la couche superficielle du sol contient de fortes proportions de graines qui sont une ressource précieuse pour la remise en état des terres dégradées (Gratzfeld, 2004) et d'autre part, durant les conditions de sécheresse, le microclimat sous la canopée est différent de celui de l'extérieur. Ces conditions de contraste entre les microhabitats concordent avec le modèle

typique d'interactions engendrant une grande influence sur la structure et la dynamique de la communauté et est responsable de l'absence et de la présence d'espèces particulières spécialement dans les milieux méditerranéens et arides (Padilla & Pugnaire, 2006).

Enfin, l'utilisation des plantations de figuier de Barbarie comme plante-nourrice a été proposée comme technique de reforestation offrant des avantages économiques et écologiques pour la réhabilitation des écosystèmes arides et semi arides dégradés. Ces plantations pourraient être une alternative pour la remontée biologique des steppes algériennes et des espaces marginaux qui ont perdu toute vocation agropastorale.

### III. Effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie sur les paramètres de mycorhization

#### 1. Introduction

Le diagnostic des steppes algériennes a mis l'accent sur l'état de dégradation du sol. Pour faire face à cette situation de carence des nutriments particulièrement l'azote et le phosphore, l'alternative de plantations d'espèces végétales non exigeantes est envisageable. Bien que des technologies nouvelles soient abondamment publiées à travers la littérature scientifique, force est de constater qu'en Algérie, les programmes de réhabilitation ou de restauration ne valorisent pas les potentialités biologiques et symbiotiques des sols sous les arbustes autochtones ou allochtones comme *Opuntia ficus indica* comme une alternative à l'amélioration des performances physiologiques de ce végétal dans les milieux perturbés.

D'un côté, cette espèce est arido-résistante et à présent elle est candidate pour la mise en valeur des milieux infertiles et marginaux et d'un autre côté l'inexistence d'informations scientifiques sur ses capacités symbiotiques, en l'occurrence les mycorhizes qui représentent la majeure partie de la flore microbienne du sol dans plusieurs écosystèmes (Brundrett *et al.*, 1996). De plus les symbioses mycorhiziennes jouent un rôle dans la rhizosphère à plus d'un titre, à savoir la nutrition minérale, l'alimentation en eau, la résistance aux maladies, à la sécheresse et bien d'autres avantages (Nouaim & Chaussod, 1996 ; Elsen *et al.*, 2003 ; Boomsma & Vyn, 2008). Leur contribution à l'agriculture est bien connue mais leur rôle dans les écosystèmes désertiques reçoit moins d'attention (Carrilo-Garcia *et al.*, 1999).

De nombreuses études antérieures ont été entreprises sur les mycorhizes à travers le monde. En Algérie, nous pouvons citer les travaux de Fraga-Beddiar et Le Tacon (1990), Chafi et Fortas (1999), Adjoud-Sadadou et Halli-Harrgas (2000), Fraga-Beddiar et Abda (2002), Beddiar (2003), Beddiar *et al.* (2010) et Meddad-Hamza *et al.* (2010), mais aucun travail jusque là n'a été focalisé sur le figuier de Barbarie. Le terrain d'investigation sur cette espèce reste vierge et inexploré.

Notre hypothèse dans ce chapitre est : *Opuntia ficus indica* est un arbuste introduit en Algérie, qu'en est-il de son statut symbiotique ? Quelle est sa part de contribution dans l'amélioration du potentiel mycorhizogène des sols des milieux perturbés, cas des parcours steppiques algériens?

La présente section a pour objectif aussi de déterminer la biodiversité des spores sous *Opuntia ficus indica* de façon à ce que leur valorisation ultérieure puisse aider à améliorer l'installation des plantations dans les milieux fortement dégradés. Pour atteindre cet objectif, les objectifs spécifiques suivants ont été poursuivis :

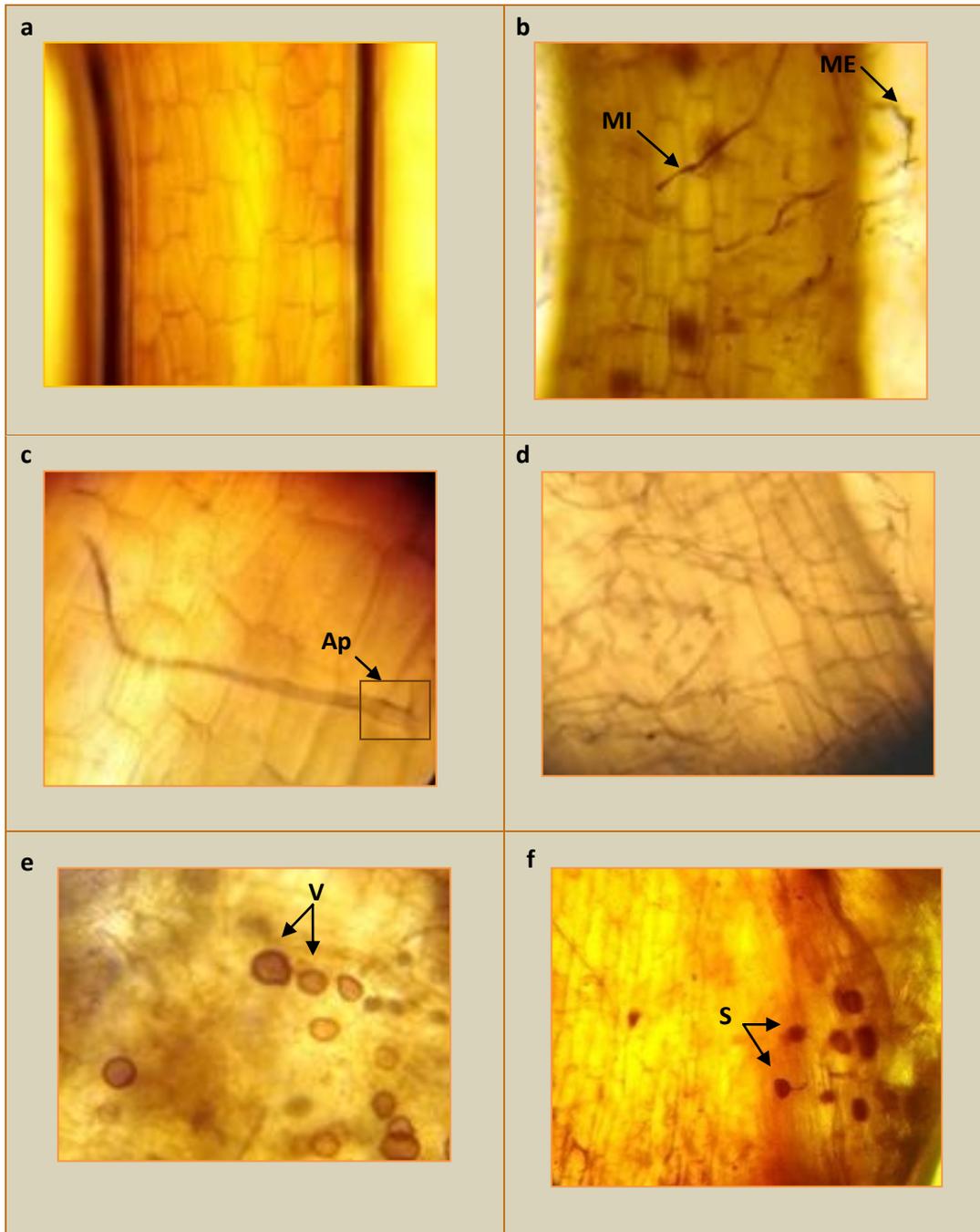
- estimer la fréquence et l'intensité de la colonisation mycorhizienne des racines du figuier de Barbarie et suivre leurs variations spatio-temporelles,
- évaluer la biodiversité des spores fongiques au niveau de la rhizosphère de cet arbuste,
- et déterminer le potentiel mycorhizogène des sols des 3 stations d'étude (Sidi Fradj, Anba et M'zara) et suivre leurs variations saisonnières.

## 2. Résultats

### 2.1. Statut mycorhizien du figuier de Barbarie

L'observation des échantillons racinaires prélevés dans les différentes stations, durant les quatre saisons de l'année 2008/2009 chez les deux variétés de figuier (inermes et aspermes), a permis de mettre en évidence une colonisation typique par des champignons mycorhiziens arbusculaires. Cette colonisation s'est manifestée par un certain nombre de structures telles que : le mycélium et les vésicules. Les arbuscules ont été difficilement détectables.

La colonisation des racines s'est manifestée par la présence d'hyphes intra et extracellulaires fins et larges (Planche 1 b, et d), d'*appressoria* (Planche 1 c), de vésicules de différentes formes (Planche 1 e) et des spores (Planche 1 f) à l'intérieur des racines.



**Planche 1.** Les manifestations de la colonisation racinaire, a : racine non colonisée (x80), b : mycélium intra-racinaire (MI) mycélium extra-racinaire (ME) (x 80), c : *Apressorium* (Ap) (x 320), d : mycélium intracellulaire (x 80), e : présence de vésicules (V) de différentes formes (x 80), f : spores (S) (x 80).

## 2.2. Dynamique saisonnière de la colonisation racinaire par les CMA

L'estimation de l'importance de la colonisation a été effectuée en étudiant les paramètres de mycorhization à savoir la fréquence de mycorhization F(%) et l'intensité de mycorhization M(%) (Trouvelot *et al.*, 1986).

### **2.2.1. Variation saisonnière de la fréquence de colonisation dans les 3 stations durant l'année 2008/2009**

La fréquence de mycorhization (F%) (Fig. 42a, b, c) a enregistré de très légères variations en fonction de la saison et de l'âge.

Les trois (03) stations ont enregistré une fréquence de mycorhization élevée durant les 4 saisons avec de légères fluctuations :

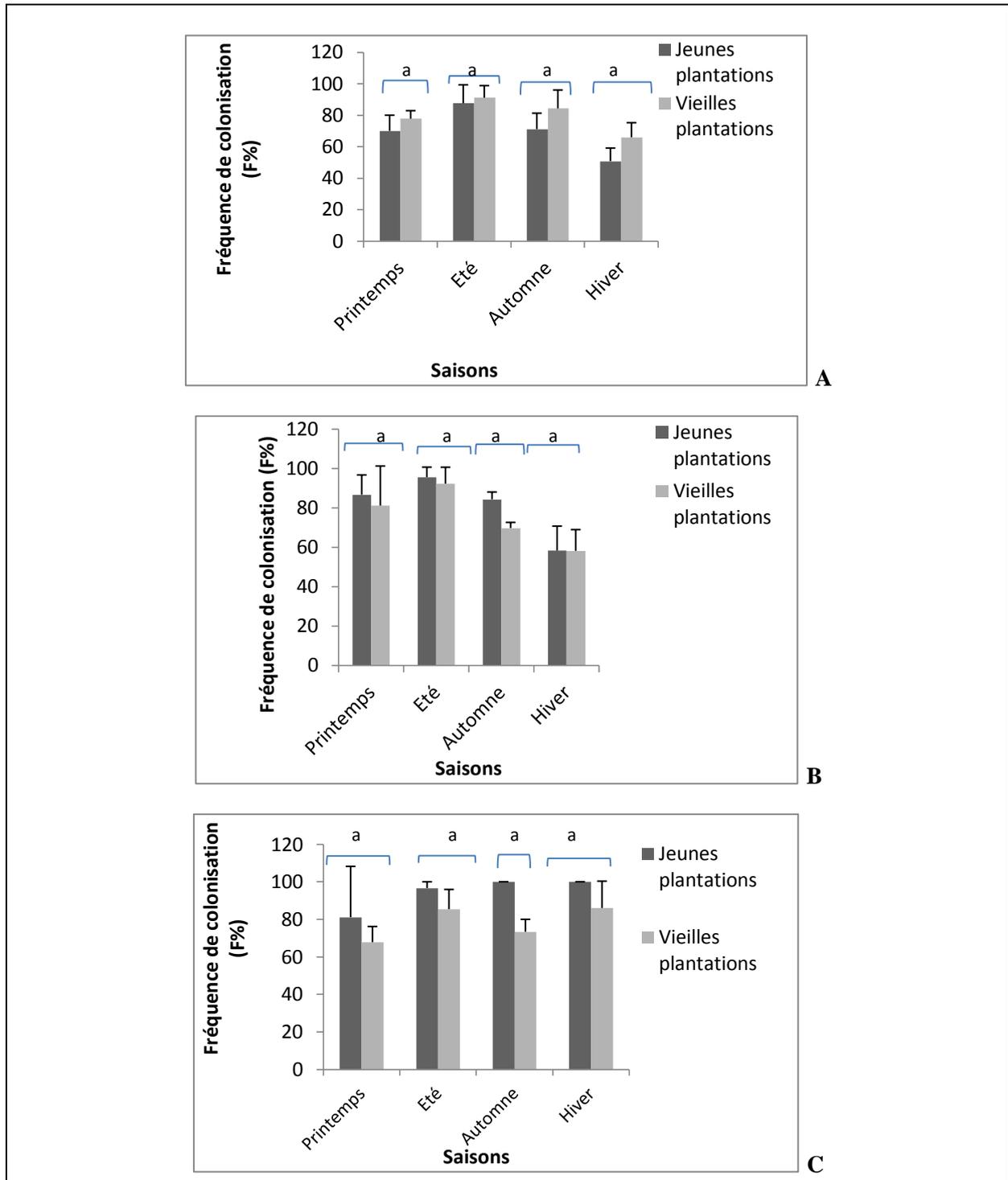
-à Sidi Fradj (Fig. 42a), le maximum est observé en été avec respectivement 87 % chez les jeunes sujets et 91 % chez les sujets âgés et le minimum en hiver avec 50 % chez les jeunes et 65 % chez les sujets âgés ;

-à Anba (Fig.42b), les pourcentages sont aussi élevés durant toutes les saisons, avec un maximum en été avec 95 % chez les jeunes sujets et 92 % chez les sujets âgés pour baisser en hiver à 58 % ;

- à M'zara (Fig. 42c), les taux sont également très élevés et proches les uns des autres durant les 4 saisons avec un maximum de 100 % chez les jeunes sujets en automne et en hiver. Le minimum est enregistré au printemps chez les sujets âgés atteignant les 67 %.

L'analyse de la variance (Annexe 4.3) a mis en évidence uniquement un effet interactif (station x saison) et un effet (station x âge). Les effets des autres facteurs principaux et interactifs ne sont pas déclarés.

La comparaison des moyennes à l'aide de la PPDS pour l'interaction station-saisons a détecté les groupes homogènes composés particulièrement des stations Sidi Fradj et Anba en hiver qui ont enregistré les taux les plus faibles avec une moyenne de 58 %, alors qu'à la même saison, la station de M'zara a observé un taux de 93 %. Pour l'interaction (station x âge), les jeunes sujets de la station de M'zara se sont distingués en formant un groupe avec une moyenne de 94.44 %.



**Figure 42.** Variation saisonnière de la fréquence de colonisation dans les stations de Sidi Fradj (A), Anba (B) et M'zara(C) durant les années 2008/2009. La lettre (a) signifie qu'il n'y a pas de différence significative ( $p > 0.05$ ).

### **2.2.2. Variation saisonnière de l'intensité de colonisation (M%) dans les 3 stations durant l'année 2008/2009**

L'intensité de mycorhization M(%) durant l'année 2008/2009 a montré des variations selon l'âge, la station et la saison (Fig.43).

De façon générale, l'intensité de mycorhization s'est révélée faible chez les différents âges des 3 stations observées durant les 4 saisons, en particulier à Sidi Fradj (Fig.43a) ,où l'intensité a atteint un maximum de 16 % en été chez les sujets âgés et à Anba (Fig. 43b), où la plus grande valeur est signalée chez les jeunes sujets en été avec 34 % et au printemps avec 24 % chez les sujets âgés.

L'exception est notée à la station de M'zara (Fig. 43c) chez les jeunes sujets durant les saisons été, automne et hiver où ce paramètre a atteint un taux variant entre 60 % et 75 %.

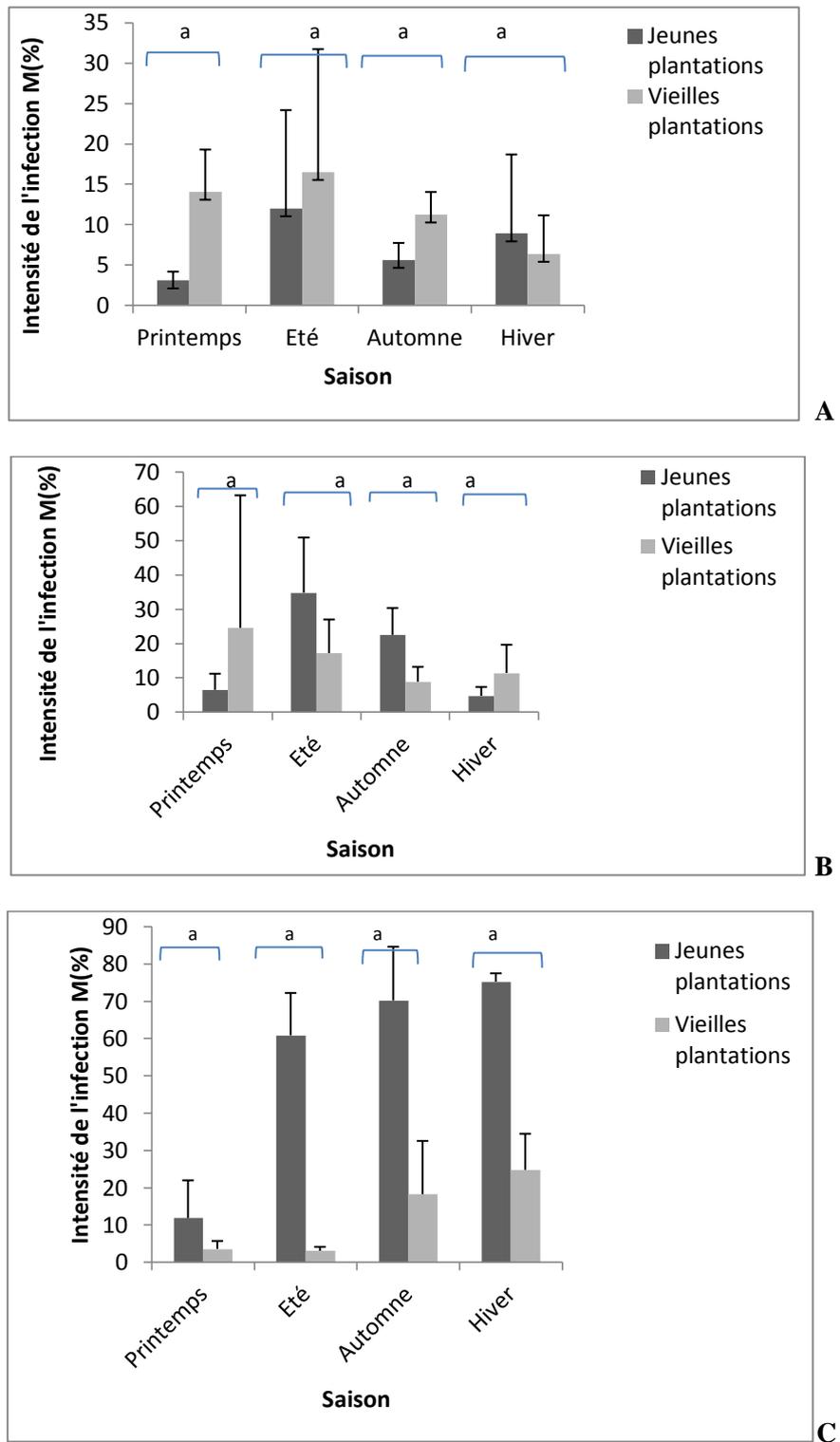
L'analyse de la variance (Annexe 4.3) a mis en évidence uniquement un effet interactif (station x saison) et (station x âge). Les effets des autres facteurs principaux et interactifs ne sont pas mis en évidence.

La comparaison des moyennes à l'aide de la PPDS pour l'interaction station-saison a détecté les groupes homogènes composés particulièrement de la station M'zara en hiver et en automne avec respectivement des moyennes de 49 % et 44 %, suivi du 2<sup>ème</sup> groupe homogène constitué également de la station de M'zara en été (31 %) et la station de Anba en été (25 %). Les autres groupes sont de faibles moyennes.

L'interaction (station x âge) a mis nettement en évidence le groupe des jeunes sujets de M'zara avec une moyenne de 54 %, suivi d'un 2<sup>ème</sup> groupe constitué des autres stations avec les différents âges avec des moyennes allant de 7 % à 17 %.

### **2.3. Relations entre les paramètres de mycorhization, les paramètres du sol et de la végétation**

D'après l'analyse de la corrélation (Tab. 8), la fréquence de colonisation semble être seulement corrélée avec la conductivité électrique ( $r = -0.84$ ).



**Figure 43.** Variation saisonnière de l'intensité de la colonisation dans les stations de Sidi Fradj (A), Anba (B) et M'zara (C) durant l'année 2008/ 2009.

**Tableau 8.** Coefficients de corrélation de Pearson entre les variables du sol, de la végétation et des paramètres de mycorhization.

Variable	pH	CE	H	Ctot	Cactif	C	MO	N	Ptot	Pass	C/N	Recvt	Abce	Rich	F	M
<b>pH</b>	1.00															
<b>CE</b>	0.26	1.00														
<b>H</b>	-0.49	0.39	1.00													
<b>Ctot</b>	-0.59	0.14	0.93	1.00												
<b>C actif</b>	-0.54	0.07	0.76	0.93	1.00											
<b>C</b>	-0.56	0.46	0.97	0.92	0.81	1.00										
<b>MO</b>	-0.56	0.46	0.97	0.92	0.81	1.00	1.00									
<b>N</b>	-0.46	0.24	0.70	0.86	0.81	0.61	0.61	1.00								
<b>Ptot</b>	-0.47	0.62	0.90	0.69	0.43	0.84	0.83	0.45	1.00							
<b>Pass</b>	0.39	0.16	0.43	0.31	0.13	0.21	0.22	0.50	0.39	1.00						
<b>C/N</b>	-0.54	0.60	0.87	0.78	0.68	0.95	0.95	0.35	0.79	-0.00	1.00					
<b>Recvt</b>	-0.79	0.64	0.46	0.32	0.13	0.50	0.50	0.05	0.68	-0.33	0.60	1.00				
<b>Abce</b>	-0.90	0.55	0.60	0.56	0.44	0.69	0.69	0.24	0.67	-0.38	0.77	0.93	1.00			
<b>Rich</b>	-0.59	0.36	0.76	0.68	0.52	0.83	0.83	0.30	0.71	-0.07	0.90	0.66	0.80	1.00		
<b>F</b>	-0.53	<b>0.85</b>	0.52	0.35	0.24	0.52	0.52	0.16	0.73	0.01	0.51	0.74	0.64	0.29	1.00	
<b>M</b>	-0.36	0.56	0.56	0.61	0.76	0.70	0.71	0.31	0.38	-0.13	0.71	0.19	0.43	0.38	0.49	1.00

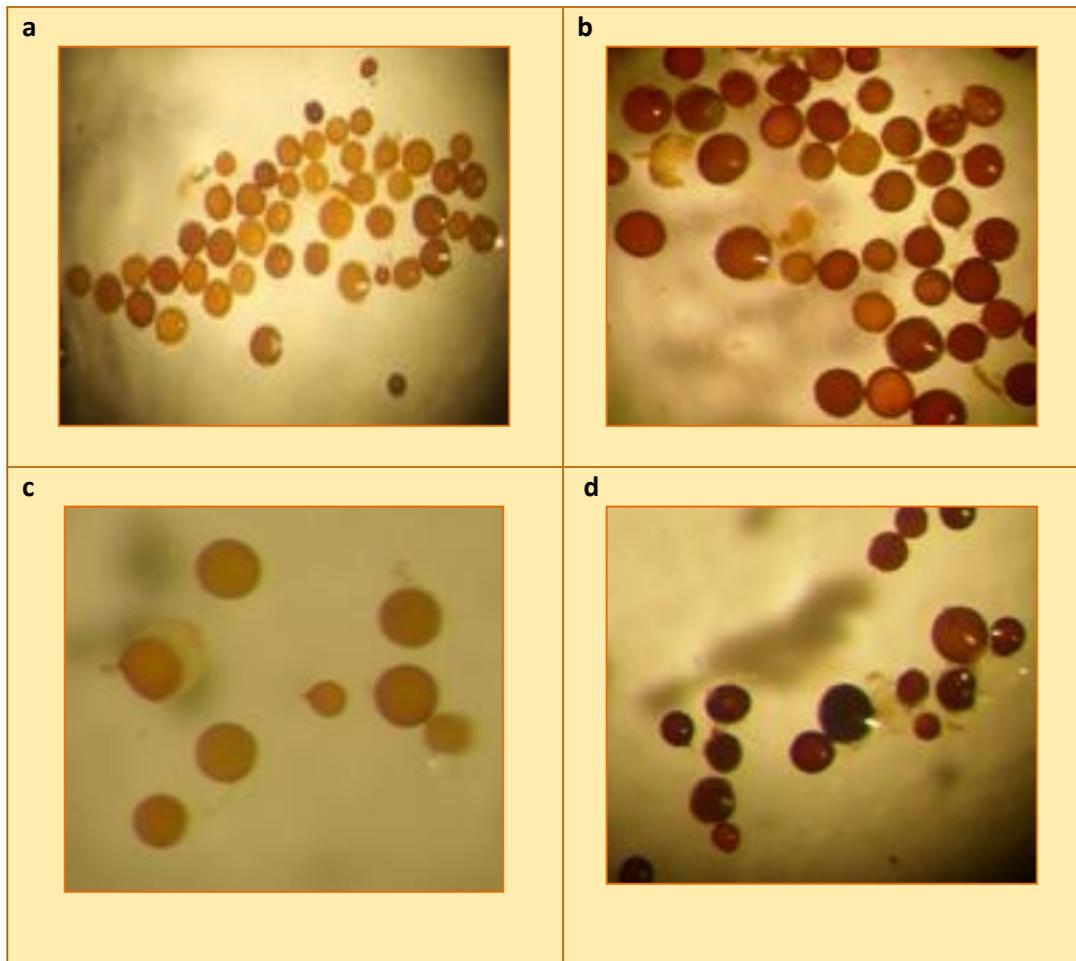
Abréviation : CE : conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), H : humidité (%); Ctot : calcaire total (%); Cactif : calcaire actif (%), C : carbone (%); MO : matière organique (%), N : azote (%); Abce : abondance, Recvt : recouvrement (%); Rich : richesse, F : fréquence de mycorhization (%), M : intensité de mycorhization (%).

#### **2.4. Biodiversité sporale inféodée à la rhizosphère du figuier de Barbarie**

La méthode du tamisage humide (Gerdemann & Nicolson, 1963) nous a permis d'isoler les spores des champignons endomycorhizogènes présents dans ces sols et de noter la présence de plusieurs morphotypes de tailles différentes, de formes arrondies, ou oblongues et de couleurs variant entre le jaunâtre, le noirâtre et le brunâtre avec une hyphe cylindrique ou en forme d'entonnoir.

Des planches et des fiches descriptives ont été réalisées pour les morphotypes rencontrés (Planches 2-9).

Les spores de forme globuleuse à subglobuleuse, collectées dans les fractions 100 et 250 $\mu$ m, de taille variable allant de 200 à 320  $\mu$ m, souvent isolées, de couleur jaune pâle, marron et marron foncée, parfois avec une paroi noirâtre. L'hyphe est souvent cylindrique, parfois évasée à la base ou en entonnoir ou bifurquée. Certaines d'entre elles révèlent des granules sur la surface ou des formes géométriques ou une tache à la base de l'hyphe.



**Planche 2.** Biodiversité sporale dans les trois stations réunies, a : morphotypes collectés (x 25), b : spores marron (x 25), taille moyenne : 255-400  $\mu\text{m}$ , c : spores jaunes (x 25), taille moyenne : 122- 222 $\mu\text{m}$ , d : spores marron avec un contour noirâtre (x 25), taille moyenne : 122-200  $\mu\text{m}$ .



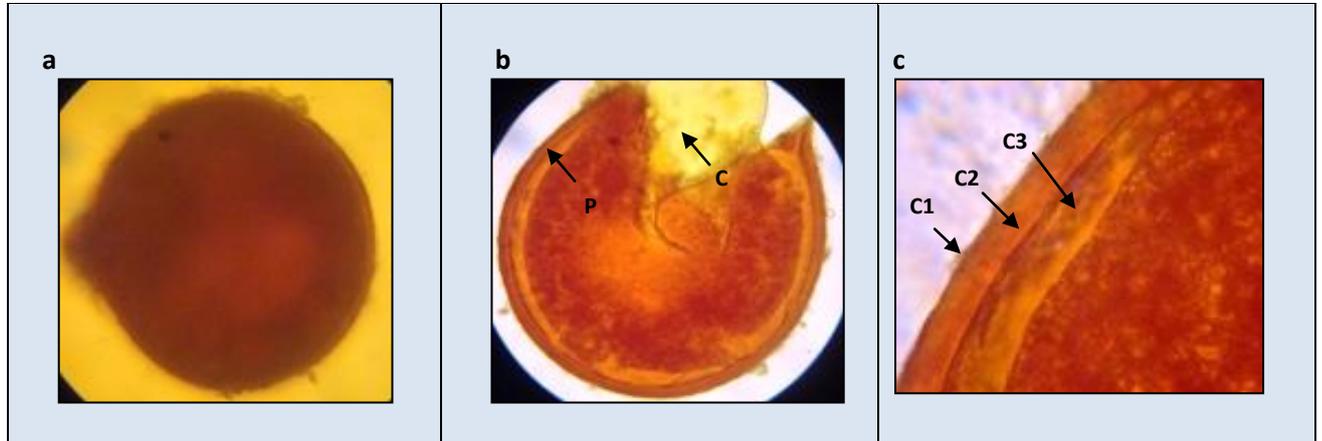
**Planche 3** . Fiche descriptive du morphotype 1. a : vue générale de la spore (x 80), b : contenu de la spore (x 80), c : détail de la paroi formée par trois couches (C1, C2 et C3) (x 800). H : hyphe

**Spore** : la spore de forme globuleuse de couleur marron foncé avec une paroi noire bien distincte, diamètre de la spore aux alentours de 300 $\mu$ m.

**Hyphe d'attache** : cylindrique.

**Paroi de la spore** : elle est composée de 3 couches, de diamètre entre 45 $\mu$ m-50 $\mu$ m.

**Réaction au Melzer** : la couche la plus interne ainsi que l'externe ont une réaction positive. La couche intermédiaire n'apparaît pas à l'écrasement.



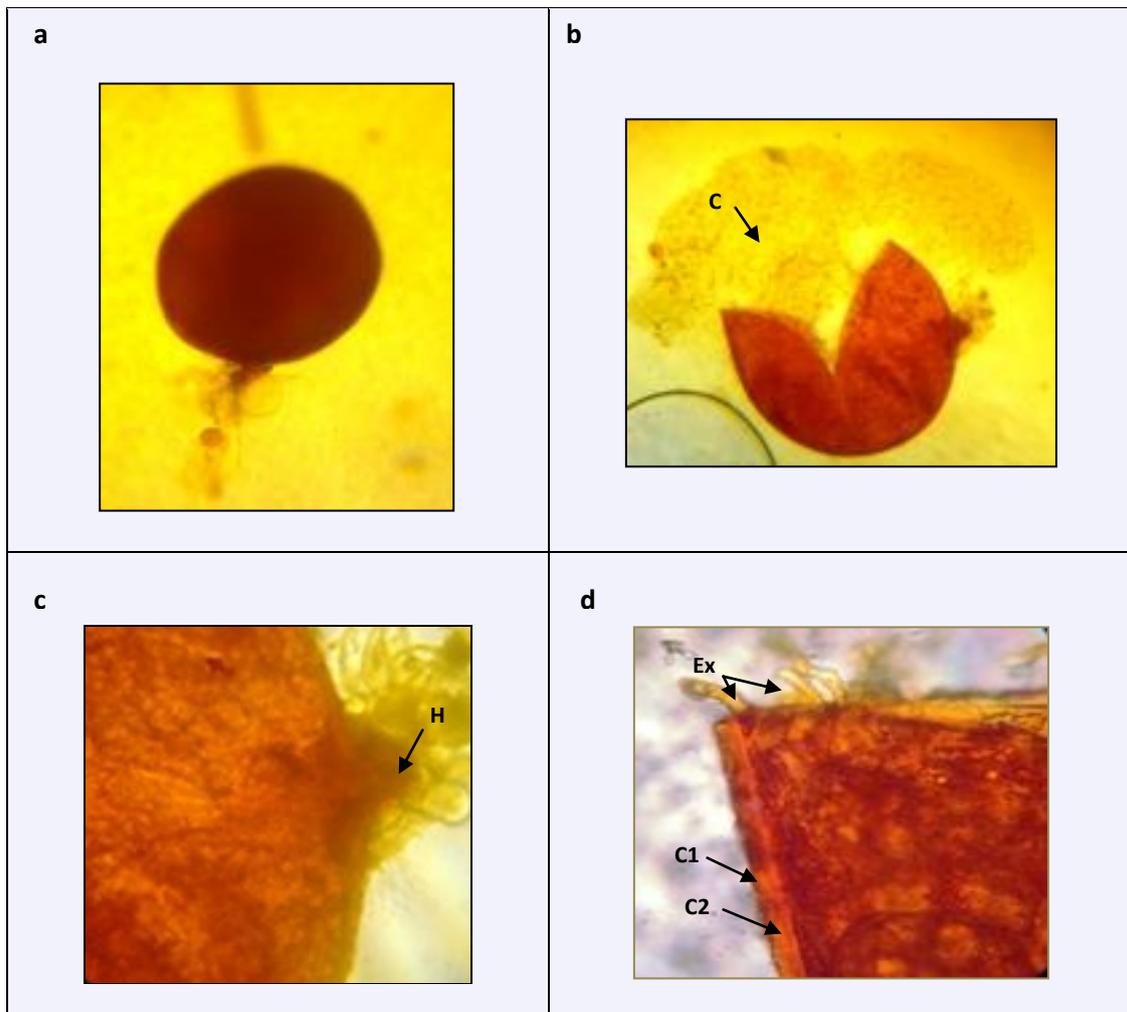
**Planche 4.** Fiche descriptive du morphotype 2. a : vue générale de la spore (x 320), b : contenu de la spore (x 320), c : détails de la paroi (C1 : couche 1, C2 : couche 2 et C3 : couche 3) (x 800). P : paroi, C : contenu de la spore.

**Spore :** la spore de forme globuleuse de couleur marron de diamètre 190  $\mu\text{m}$ .

**Hyphe d'attache :** cylindrique.

**Paroi de la spore :** elle est composée de 3 couches. Diamètre : 11  $\mu\text{m}$ .

**Réaction au Melzer :** positive.



**Planche 5** . Fiche descriptive du morphotype 3. a : vue générale (x 80), b : contenu de la spore (C) (x 80), c : base de l'hyphe (H) (x 320), d : détails de la paroi (x 800) avec deux couches (C1 : couche 1, C2 : couche 2) et des excroissances (Ex).

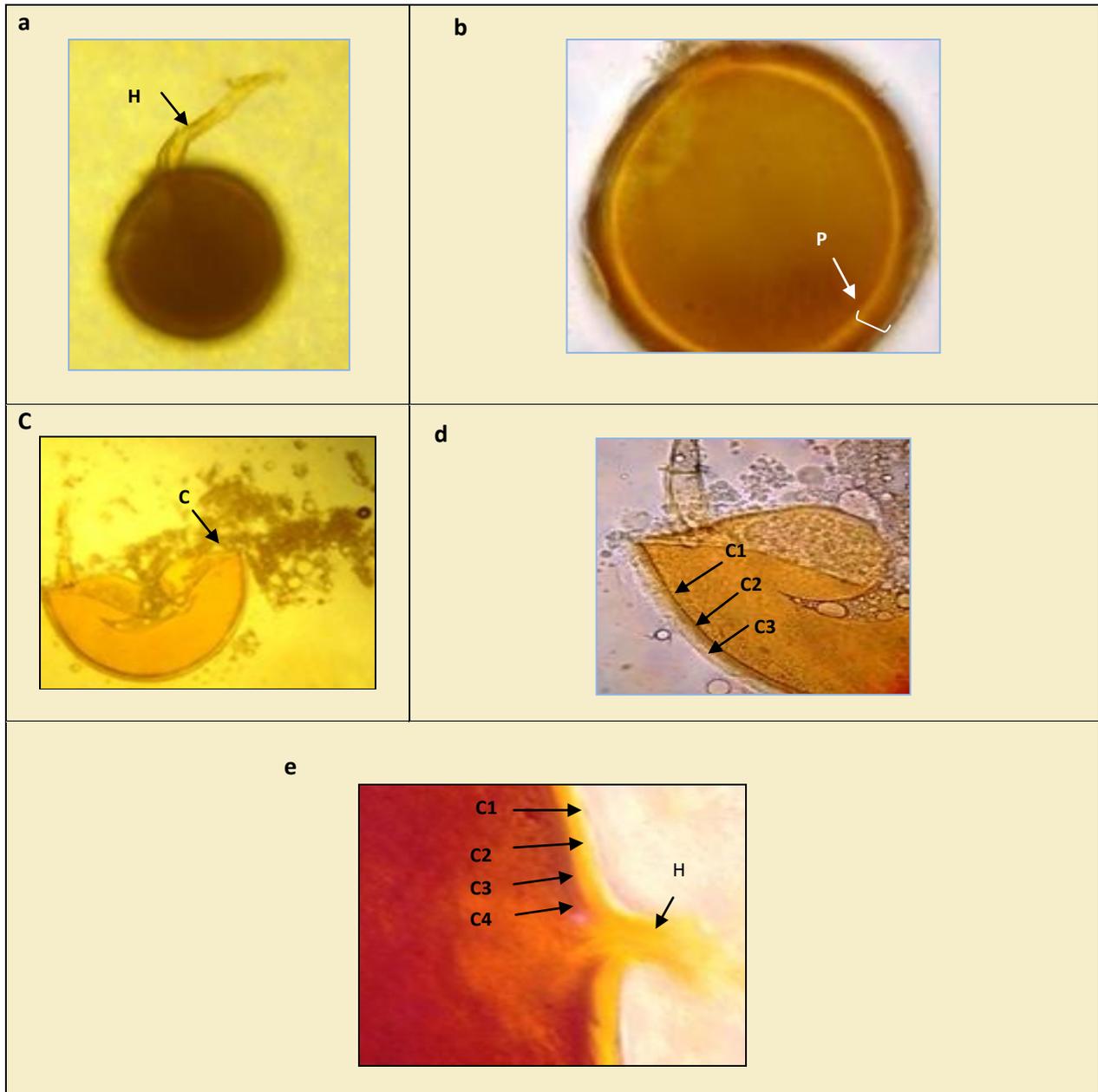
**Spore** : la spore de forme globuleuse à subglobuleuse de diamètre d'environ 300  $\mu$ m.

**Hyphe d'attache** : cylindrique.

**Paroi de la spore** : elle est composée de 2 couches. Diamètre : 5-6  $\mu$ m.

**Réaction au Melzer** : positive.

**Paroi de l'hyphe d'attache** : non observée.



**Planche 6 .** Fiche descriptive du morphotype 4. a et b : vue générale (PVLG) (x 80, x 320), c : spore écrasée (x 80), d et e : paroi (avec Melzer) (x 320, x 800). P : paroi, H : hyphe.

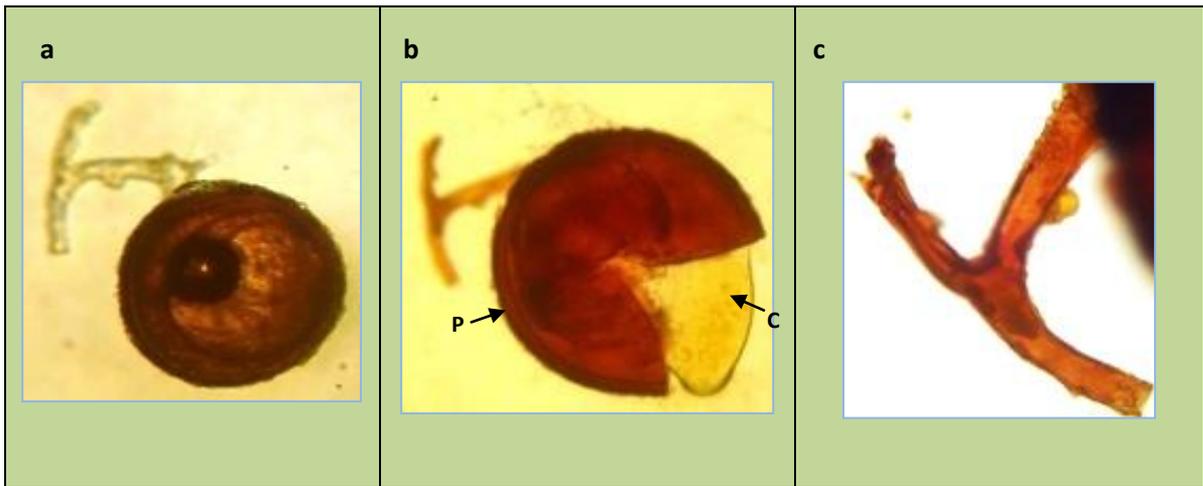
**Spore :** elle est de forme globuleuse, couleur jaunâtre et un diamètre de 180  $\mu\text{m}$ . La paroi va en s'amincissant dans l'hyphe qui s'étrangle un peu à l'intérieur.

**Hyphe d'attache :** cylindrique de couleur jaune pâle. Elle a une longueur de 160  $\mu\text{m}$  et une largeur de 20  $\mu\text{m}$ .

**Paroi de la spore :** elle est composée de 4 couches et a un diamètre de 19  $\mu\text{m}$ . La première couche (C1) est évanescence, la deuxième couche (C2) est lamellaire. C'est la troisième ou la quatrième couche qui a réagi au Melzer.

**Réaction au Melzer :** positive.

**Paroi de l'hyphe d'attache :** jaune pâle composées de couches en continuité avec celles de la paroi de la spore.



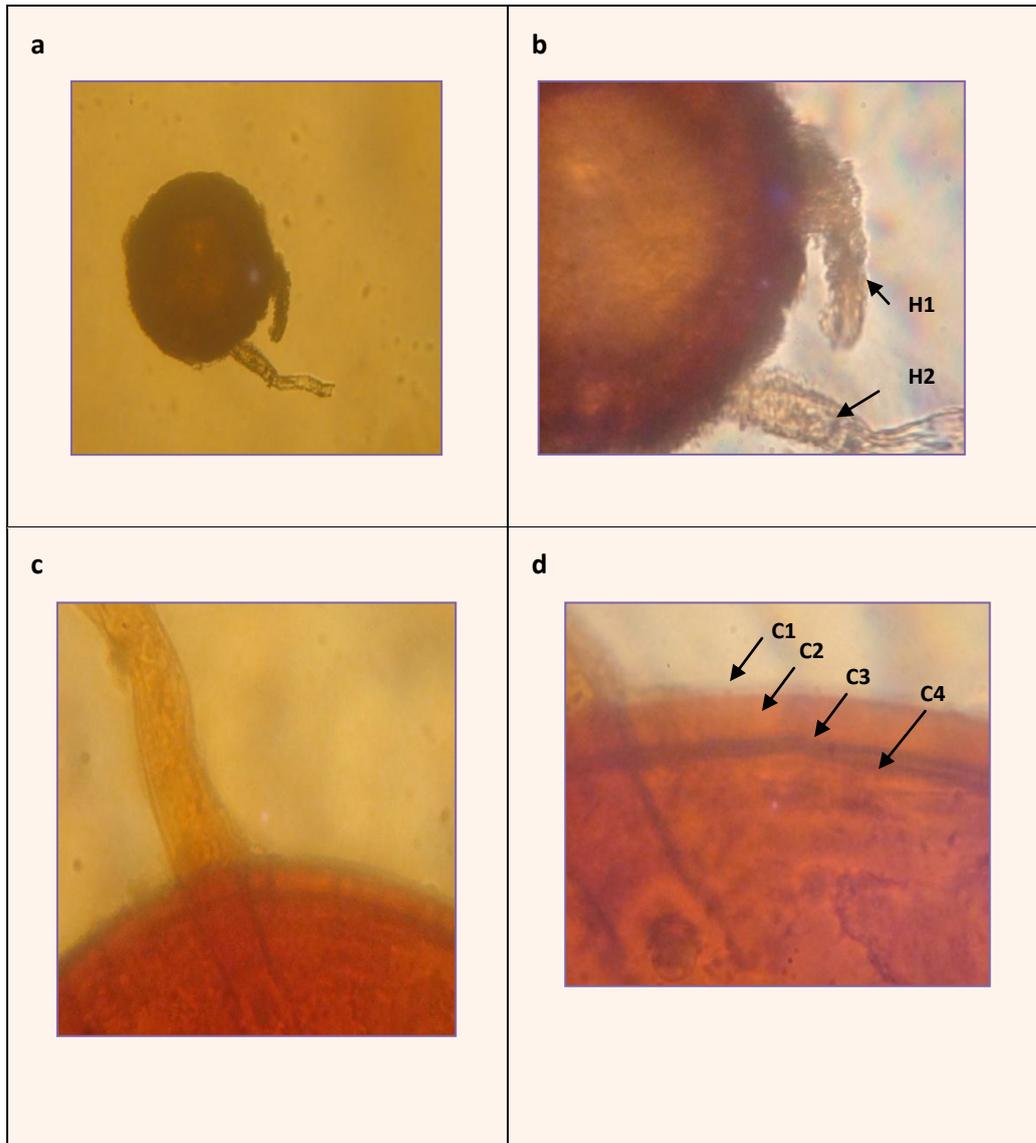
**Planche 7.** Fiche descriptive du morphotype 5, a : vue générale de la spore (x 80), b : spore écrasée (HCl + Melzer) :P : paroi, C :contenu de la spore (x 80), c : hyphe (x 320)

**Spore :** forme globuleuse, de couleur marron, de diamètre 200 µm.

**Hyphe d'attache :** bifurquée formant la lettre T.

**Paroi de la spore :** elle est composée de 2 couches.

**Réaction au Melzer :** positive.



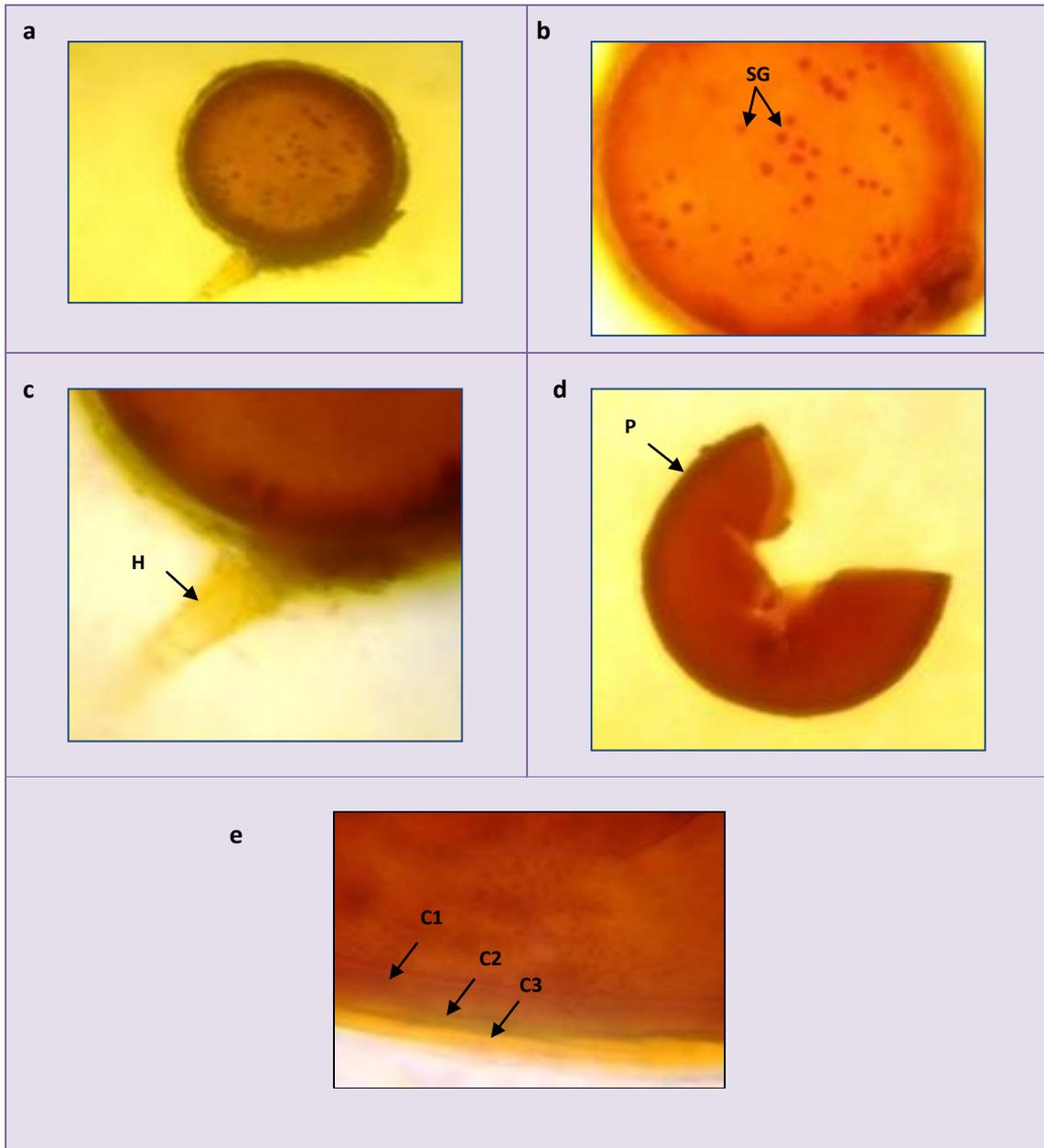
**Planche 8 .** Fiche descriptive du morphotype 6, a et b : vue générale de la spore (x 80, x 320), H1 : Hyphe 1 ; H2 : Hyphe 2, c : Hyphe d'attache (x 320), d : paroi à 4 couches (C1, C2, C3 et C4) (x 800).

**Spore :** elle est de couleur marron et a un diamètre 220 $\mu$ m.

**Paroi de la spore :** elle est composée de 4 couches. Diamètre 10 $\mu$ m.

**Réaction au Melzer :** positive.

**Hyphe d'attache :** présence de 2 hyphes cylindriques.



**Planche 9.** Fiche descriptive du morphotype 7. a et b : vue générale de la spore (x 80, x 320), c : hyphe d'attache (x 320), d : spore écrasée (x 80), e : paroi à 3 couches (C1, C2, C3) (x 800). H : hyphe, P : paroi, SG : structures granulaires.

**Spore :** spore globoïde, de couleur marron avec la présence de structures granulaires à la surface.

**Paroi de la spore :** elle est composée de 3 couches.

**Réaction au Melzer :** positive.

**Hyphe d'attache :** hyphe cylindrique légèrement évasée à la base, de couleur jaune pale.

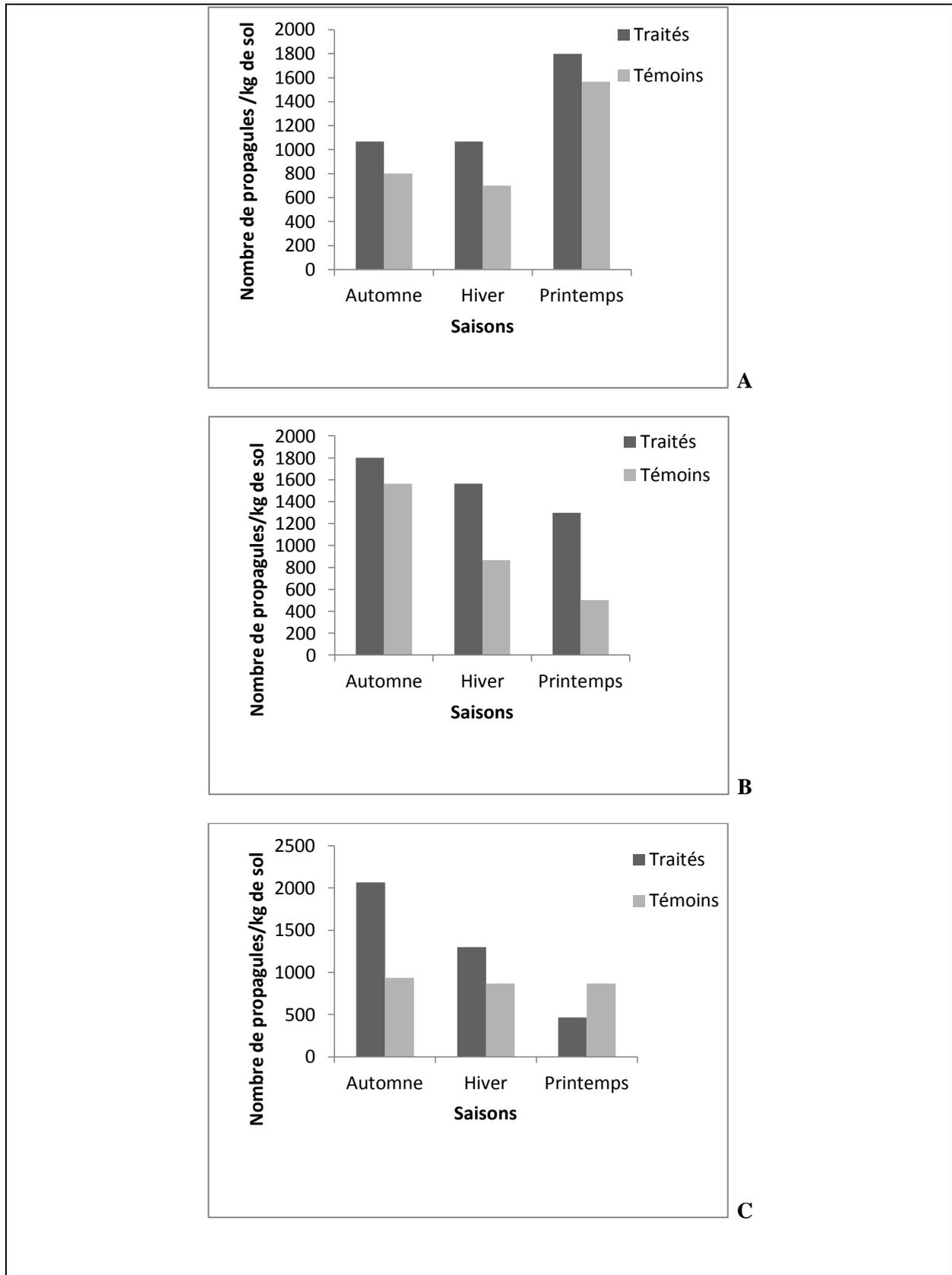
## 2.5. Variation saisonnière du potentiel mycorhizogène dans les 3 stations

Rappelons que le potentiel mycorhizogène des sols des 3 stations a été évalué et estimé par la méthode du nombre le plus probable (MPN) avec comme plante-piège le sorgho (*Sorghum vulgare* L.). L'observation des systèmes racinaires des plantules cultivées dans des pots pendant 4 à 6 semaines a permis d'obtenir les résultats exprimés par la figure 44.

A Sidi Fradj (Fig. 44A), en automne et en hiver, le nombre de propagules est aux alentours de 1000 propagules par Kg de sol dans la rhizosphère du figuier pour baisser à 700 et 800 propagules chez les témoins. Ce nombre augmente au printemps à 1800 propagules chez les traités et 1500 chez les témoins.

A la station de Anba (Fig. 44B), les valeurs sont plus élevées chez les traités comparés aux témoins durant les 3 saisons. Les parcelles traitées ont enregistré un nombre de 1800 propagules en automne, suivi de l'hiver (1500 propagules) puis du printemps (1300 propagules), alors que les témoins ont observé des valeurs de 1300, 800 et 400 propagules respectivement en hiver, automne et printemps.

A M'zara (Fig. 44C), le plus grand nombre est enregistré en automne, suivi de l'hiver puis du printemps chez les traités atteignant respectivement 2000, 1300 et 400 propagules /kg de sol. Ce paramètre est constant chez les témoins durant les 3 saisons (466 propagules).



**Figure 44.** Variation saisonnière du MPN dans les stations de sidi Fradj (A), Anba(B) et M'zara(C) durant l'année 2010 / 2011.

### 3. Discussion

#### 3.1. Variation des paramètres de colonisation racinaire dans les différentes plantations des 3 stations

L'observation des échantillons racinaires prélevés à partir des plantations de figuier de Barbarie d'âges différents (jeunes et vieilles plantations) durant les quatre saisons pendant l'année 2008 /2009 a permis de mettre en évidence la présence de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans les racines et d'estimer l'importance de la colonisation, à travers la fréquence et l'intensité de mycorhization F (%) et M (%).

La fréquence de mycorhization a révélé des taux élevés durant les saisons (automne, printemps et été) chez les sujets jeunes et âgés avec une légère baisse en hiver tout en restant importante entre 50 % et 65 %, et ce dans les stations de Sidi Fradj et Anba. Par contre, la station de M'zara a observé des taux plus importants durant les 4 saisons fluctuant entre 80 % et 100 %, particulièrement en automne et en hiver.

Ces variations n'ont pas été statistiquement significatives pour les facteurs principaux étudiés (station, saison et âge). Par contre une double interaction (station - saison et station - âge) a été détectée faisant ressortir les jeunes sujets de la station de M'zara comme étant ceux qui ont enregistré le plus fort taux de mycorhization.

Il en est de même pour l'intensité de mycorhization M(%) qui n'a pas subi les effets des facteurs principaux, par contre des effets interactifs (station x saison et station x âge) ont été observés. En tous les cas, ce paramètre qui exprime le degré de symbiose entre les 2 partenaires a révélé des valeurs très faibles à l'exception des jeunes sujets de la station de Anba (34%) et les jeunes sujets de la station de M'zara durant les saisons (été, automne et hiver) qui ont observé une intensité très importante fluctuant entre 60 % et 75 %.

Nombreux travaux de recherche dans le monde ont révélé des résultats variables de ces paramètres, dépendant de nombreux facteurs tels que l'âge de l'espèce-hôte, les propriétés physico-chimiques du sol, la position géographique, la saison, le climat, le nombre de propagules dans le sol et la sporulation (Gay *et al.*, 1982 ; Puppi *et al.*, 1986 ; Land & Schonbeck, 1991 ; Gui & Nobel, 1992 ; Pimienta-Barrios *et al.*, 2002 ; Collier *et al.*, 2003 ; Pande & Tarafdar, 2004 ; Bohrer *et al.*, 2004 ; Escudero & Mendoza, 2005 ; Zhao & Zhao, 2007). Dans notre cas, on pourrait avancer que l'absence des effets des facteurs principaux et la présence des effets interactifs pourraient être expliquées par le végétal lui même. En effet,

*Opuntia ficus indica*, dont le métabolisme est de type CAM est installé dans un environnement pauvre, par conséquent, il doit pour sa performance physiologique maintenir un taux élevé de mycorhization durant toutes les saisons. Si ce taux est plus important dans la station de M'zara, ceci reviendrait probablement, d'une part à la variété du figuier de la station qui est la variété asperme alors que dans les 2 autres stations, c'est la variété inerme ; d'autre part à l'aridité accentuée qui caractérise la station de M'zara comparée aux 2 autres, et qui aurait contribué à l'augmentation du niveau de colonisation racinaire. Il a été d'ailleurs signalé par Gui et Nobel (1992) et Bohrer *et al.* (2004) que la colonisation par les CMA est plus élevée dans les milieux arides. Et contrairement aux annuelles, la longévité des pérennes fait en sorte qu'elles aient besoin des mycorhizes durant les longues périodes de sécheresse (Collier *et al.*, 2003). Notre année d'observation a été sèche dans les 3 stations mais plus accentuée dans la station de M'zara (Annexe 1.2). Selon Brundrett (1991) et Collier *et al.*, (2003), l'anatomie et la morphologie des racines affectent l'intensité de colonisation. Les racines épaisses ont tendance à être fortement mycorhizées. Nos résultats vont dans le sens inverse des observations faites par Gui et Nobel (1992) et Pimienta-Barrios et ses collaborateurs (2002). Les *Platyopuntia* sujets aux longues sécheresses ont significativement réduit la photosynthèse, la formation des racines et la colonisation des racines par les CMA. Nos deux variétés ont enregistré des taux élevés pendant les différentes saisons, surtout dans la station de M'zara où une colonisation de 100 % est signalée en hiver.

Il est vrai que dans la plupart des cas, le niveau de colonisation s'est trouvé indépendant de la saison, atteignant des fois son maximum au printemps et diminuant en été (Puppi *et al.*, 1986 ; Bohrer *et al.*, 2004), baissant en automne et en hiver et augmentant au printemps et en été (Escudero & Mendoza, 2005), faible en hiver (40 à 50 %) et constant pendant les autres saisons entre 60 et 80 % (Roldan-Fajardo & Barea, 1986) et varie même selon Gui et Nobel (1992), d'une année à une autre dépendant des conditions climatiques.

L'effet station a été également statistiquement absent à l'inverse des observations de Ruotsalainen *et al.* (2002) ; Escudero et Mendoza (2005) qui ont enregistré une variation spatiale dans la colonisation malgré la similarité de la végétation.

Ce qui doit être retenu, est que les champignons MA peuvent être influencés par plusieurs facteurs, à savoir, les espèces végétales, les espèces fongiques, et le dépôt minéral et peuvent ainsi contribuer à la variation dans le niveau de colonisation d'une station à une autre (Bohrer *et al.*, 2004). Les CMA diffèrent aussi dans leur saisonnalité, avec des champignons qui

sporulent en fin de printemps et autres à la fin de l'été (Bever *et al.*, 2001 ; Caravaca *et al.*, 2003a).

Quant à l'intensité arbusculaire, paramètre qui traduit les potentialités d'échange entre les 2 partenaires, il ne nous pas été possible d'estimer ce paramètre, à cause probablement de la méthode de coloration ou bien au fait que ces structures sont éphémères et se résorbent rapidement (Brundrett, 2004 ; Duhoux & Nicole, 2004).

La colonisation des racines du figuier de Barbarie par les champignons MA s'est manifestée par la présence de mycélium (Planche 1 b et d), d'*appressoria* (Planche 1c), de spores intraracinaires (Planche 1f), s'agissant probablement de *Glomus intraradices* et de vésicules de différentes formes et tailles (Planche 1e). Les mycéliums fongiques colonisent les racines sous forme de filaments non septés droits ou tortueux, peuvent être fins ou larges, à l'intérieur et à l'extérieur de la racine.

Il en découle de ce travail que *Opuntia ficus indica* introduit, peut développer une association mycorhizienne, comme dans son aire d'origine (Carrillo-Garcia *et al.*, 1999 ; Pimienta *et al.*, 2002), mais avec un taux de colonisation important pouvant atteindre les 100 % chez la variété asperme.

De façon générale, le genre *Opuntia* (Montiel & Olivares, 1997) développe une symbiose avec les CMA soit en milieu naturel ou bien sous serre, bien que le taux de colonisation soit faible (Gui & Nobel, 1992). A Baja California avec une pluviosité moyenne de 180 mm, les cactées ont montré des traces de colonisation par les CMA (Pimienta *et al.*, 2002).

En ce qui concerne la corrélation entre les paramètres de mycorhization, ceux du sol et de la végétation, les résultats obtenus montrent que la fréquence et l'intensité ne sont corrélées avec aucun paramètre sus cités, sauf une négative corrélation est signalée entre la fréquence de mycorhization et la conductivité électrique. En revanche, Pande et Tarafdar (2004) ont rapporté une négative corrélation avec le CaCO<sub>3</sub> attribuée à l'abilité du CaCO<sub>3</sub> d'altérer la morphologie et la différenciation des racines en augmentant la lignification et la subérisation de l'endoderme, d'où l'effet défavorable sur le taux de colonisation par les MA.

D'un autre coté, la relation entre le niveau de colonisation et les propriétés du sol est très variable (Puppi *et al.*, 1986). Elle est même faible selon Jacobson et Heidmann (1989) sauf pour le P et le pH. On note souvent que plus le niveau du phosphore assimilable est élevé, plus le pourcentage de colonisation est faible (Fraga-Beddiar & Le Tacon, 1990). Selon Kane

(1997), les taux élevés de colonisation ont lieu à une large fourchette de pH, de P et de salinité, mais il y a des différences parmi les espèces : certaines espèces sont limitées aux sols alcalins et autres aux sols acides alors que d'autres se rencontrent dans les deux types de sol.

### 3.2. Diversité sporale dans les 3 stations

La taxonomie des champignons a toujours été difficile et complexe, elle repose sur des critères morphologiques, surtout celle des spores (couleur et taille et structure de la paroi dans notre cas). Ainsi, nous avons jugé utile d'identifier les champignons MA indigènes aux sols étudiés, ne serait-ce qu'au rang générique en se basant sur les documents de Blaszkowski et INVAM.

La méthode du tamisage humide nous a permis d'isoler les spores des champignons endomycorhiziens présentes dans la rhizosphère du figuier de Barbarie et de noter la présence de plusieurs morphotypes. Les caractéristiques morphologiques des spores isolées permettent de les classer dans le genre *Glomus* de la famille des Glomacées (Planches 2-9).

Ce genre a été observé dans les 3 types de sol avec une présence plus marquée dans la station de Anba bien que le dénombrement des spores n'ait pas été effectué dans cette étude. Cette similarité dans la communauté fongique dans les 3 stations revient probablement à l'effet du vent dans les écosystèmes arides (Allen & Allen, 1992). Toutefois, nous avons remarqué que le genre *Glomus* est représenté par un grand nombre de morphotypes distingués par la couleur et la forme, ce qui suggère sans doute la présence de plusieurs espèces.

Il est notoire que les espèces fongiques qui colonisent la rhizosphère dépendent de l'espèce-hôte, de son âge, du type de sol (Garcia *et al.*, 2005), de l'écosystème et du climat (Pande & Tarafdar, 2004). Ceci est important quand il s'agit de décider de l'espèce capable de rétablir les sols dégradés des régions méditerranéennes.

D'après la littérature, les espèces du genre *Glomus* sont largement distribuées dans les différents habitats du monde et dominent les communautés dans les parties froides et tempérées, arides et semi-arides (Li & Zhao, 2005 ; Gai *et al.*, 2006 ; Uhlmann *et al.*, 2006), sous différentes conditions édaphiques et domine dans les sols alcalins et neutres (Pande & Tarafdar, 2004). Il est associé avec le genre *Gigaspora* aux cultures des zones arides. Ceci est peut être du à sa grande adaptabilité (Pande & Tarafdar, 2004).

Aussi, la présence de vésicules à l'intérieur du tissu cortical confirme en partie la prédominance des *Glomus* (Smith & Read, 2008) dans les sols des plantations puisque généralement c'est le seul genre apte à produire des vésicules dans les tissus de l'hôte alors que *Gigaspora* ne produit que des vésicules extra-radiculaires (même source).

A l'opposé de *Opuntia albicarpa*, dont la rhizosphère est colonisée par les genres *Glomus*, *Gigaspora* et *Acaulospora* (Estrada & Davis, 2001), la rhizosphère de *Opuntia ficus indica* est uniquement colonisée par le genre *Glomus*, avec plusieurs morphotypes, soit dans les échantillons de terrain des différentes stations, durant les différentes saisons, soit dans les échantillons de piégeage (résultats non introduits). Cet état indexe le degré de dégradation de ces écosystèmes (Azcon-Aguilar *et al.*, 2003 ; Ferrol *et al.*, 2004). Actuellement, il est admis que la faible richesse spécifique signalée dans les écosystèmes arides et semi arides par extraction des spores directement du terrain reflète la limitation de la sporulation dans les conditions de terrain (Ferrol *et al.*, 2004).

### 3.3. Variation saisonnière du MPN dans les 3 stations

Le potentiel mycorrhizogène infectieux (PMI) d'un sol caractérise non seulement la population de champignons mycorrhiziens présents dans le sol sous forme de spores, de mycélium et de morceaux de mycorhizes, mais aussi le fait que cette population est apte à former des mycorhizes dans les conditions du sol en question (Plenchette *et al.*, 1989). Ce paramètre permet de mettre en évidence un état biologique de la parcelle. Quand il est élevé, il reflète un bon état biologique du sol et est jugé acceptable au delà de 1500 propagules/ kg de sol et faible en dessous de 500 propagules (Chantelot, 2003).

D'après Caravaca *et al.*, (2003a), à l'opposé des écosystèmes terrestres non perturbés qui sont généralement plurispécifiques (Tokeshi, 1999), la perturbation du couvert végétal et l'érosion du sol conduisent à la perte ou à la réduction des propagules présentes dans le sol qui assurent la continuité spatio-temporelle de la symbiose (Michelsen & Rosendahl, 1989), et par conséquent la réduction du potentiel de l'inoculum pour la formation des mycorhizes qui sont les facteurs écologiques-clés qui gouvernent les cycles des éléments de la majorité des plantes particulièrement dans les milieux semi arides méditerranéens.

L'ensemble des résultats obtenus montrent que de façon générale, il y a une variation spatio-temporelle du MPN. Ceci peut dépendre de la végétation et des conditions de l'environnement (Requena *et al.*, 1996), sans oublier que les espèces fongiques ne sporulent pas simultanément

, ni avec le même degré et n'ont pas les mêmes réponses aux mêmes conditions du milieu (Guadarrama & Alvarez- Sanchez, 1999).

En comparant les parcelles entre elles, les aires plantées ont observé un nombre de propagules supérieur à celui des témoins dans les 3 stations durant les 3 saisons. Une exception est pourtant observée à M'zara durant le printemps où le nombre de propagules dans la rhizosphère du figuier est la moitié de celui observé chez les témoins, ceci revient probablement à la profondeur du prélèvement qui a été un peu plus importante et où le nombre de propagules baisse (Michelsen & Rosendahl, 1989). En observant les valeurs du MPN, à différentes saisons, il a atteint la valeur comprise entre 1800 et 2000 propagules dans les 3 stations dans la rhizosphère de l'*Opuntia*, alors qu'il est moindre dans les milieux libres entre 500 et 1500 propagules /kg. Azcon-Aguilar *et al.*, (2003), avancent une valeur de 240 propagules/kg dans les milieux libres ; 3780 propagules/kg pour *Retama sphaerocarpa* ; 2970 propagules/kg pour *Olea europea* et 410 propagules/kg pour *Pistachia lentiscus*. Cette différence pour les milieux libres peut être attribuée au fait que nos parcelles témoins ne sont pas complètement dénudées mais qu'elles possèdent une certaine couverture végétale même si elle est maigre, alors que la variation saisonnière peut être le fait que les spores ont différentes stratégies de survie sous les conditions de stress dans les milieux semi-arides (Mc Gee, 1989).

Mais quels que soient la saison et la station, le nombre enregistré est caractéristique des zones arides et semi arides, bien que comparé aux parcelles non plantées, une amélioration est notée, qui pourrait être probablement due à la présence du figuier de Barbarie. Selon Lovelock *et al.*, (2003), l'abondance et la composition des champignons mycorhiziens peuvent être directement influencées par l'espèce végétale, et d'après Moora et Zobel (2010), le MPN est élevé dans la rhizosphère des arbustes des zones arides. C'est le cas peut être du figuier de Barbarie, puisque le nombre de propagules s'est révélé plus important dans les parcelles plantées par rapport aux parcelles témoins, bien que le niveau d'inoculum dans les milieux semi arides soit entre faible (Caravaca *et al.*, 2005) et inconnu (Bashan *et al.*, 2000).

Donc au même titre que la biodiversité sporale, le MPN indique un état de dégradation des milieux bien que le figuier de Barbarie semble avoir une part de contribution dans l'amélioration du nombre de propagules comparé aux parcelles témoins et ce quelle que soit la saison ou la station. L'effet du végétal peut être direct vu la fréquence de mycorhization observée, comme il peut être indirect suite à la formation des îles de fertilité autour de lui et donc l'augmentation du nombre de plantes mycotrophes. Il est connu que dans les

écosystèmes arides et semi arides, la principale source d'inoculum peut être le mycélium s'étendant des racines mycorhizées (Azcon-Aguilar *et al.*, 2003) ou bien les hyphes provenant des annuelles ou des pérennes dont les racines couvrent entièrement la subsurface (Nobel, 1996). Il paraît également d'après Mukerji et Kapoor (1986), que dans une communauté mixte (annuelles et pérennes), les hyphes des pérennes colonisent les racines des annuelles. Les propagules peuvent aussi provenir des aires avoisinantes (Bashan *et al.*, 2000).

Nombreux sont les travaux qui ont montré que le MPN varie en fonction de plusieurs facteurs écologiques : le sol, le climat, la couverture végétale, la biomasse, l'espèce végétale, le type de champignons et les conditions du milieu (Michelsen & Rosendahl, 1989 ; Titus *et al.*, 2002 ; Jamil-Mohamed *et al.*, 2003 ; Sanon, 2009).

Sanon (2005) rapporte que la diversité végétale est généralement corrélée à un potentiel infectieux plus important. Ceci pourrait être le cas du figuier de Barbarie qui aurait contribué à l'amélioration de ce paramètre en stimulant la coexistence de plusieurs espèces végétales (formation des îles de fertilité) (Chen *et al.*, 2005).

Sous le climat méditerranéen, la perturbation de l'état de surface du sol par l'érosion entraîne une perte d'éléments nutritifs et des propagules de champignons mycorhiziens (Mosse, 1986), ce qui entraîne une diminution des propagules de ces sols. En réduisant les effets de l'érosion, le figuier de Barbarie réduirait également la perte des propagules. Il paraît même d'après (Azcon-Aguilar *et al.*, 2003) que le nombre de spores n'est pas significativement corrélé avec le potentiel mycorhizogène du sol.

Richter *et al.*, (2002) suggèrent que dans les situations de perturbation, le manque de l'inoculum est lié au manque de recouvrement végétal spontané et les propagules sont réparties de façon très hétérogène dans les milieux arides et semi arides (Estant *et al.*, 1997).

Le MPN varie au cours de l'année. Le nombre de spore décroît durant la saison de croissance et augmente à la fin de la saison (plante annuelle), alors que dans le cas de plante non annuelle, il y a tantôt une faible variation saisonnière (Sparling & Tinker, 1975) tantôt une variation bien marquée (Gay *et al.*, 1982). Chez les espèces aux racines longévives, la variation saisonnière de la colonisation est faible contrairement aux racines non longévives (Abbott & Robson, 1991).

Dans les écosystèmes naturels, il y a une corrélation étroite entre le taux de recouvrement et le nombre de spores (Abbott & Robson, 1991). Michelsen et Rosendahl (1989) corroborent ce résultat où il a été reconnu que la végétation avec un haut degré de recouvrement a un effet sur la densité des propagules comparé à un sol dégradé ou cultivé, alors que dans une autre étude (Abbott & Robson, 1991), dans les écosystèmes naturels dominés par les arbustes pérennes, le nombre de spore est généralement plus petit que celui d'un sol utilisé pour l'agriculture. Selon Richter *et al.*, (2002), même si des différences significatives sont signalées, elles ne sont pas liées au recouvrement naturel de la végétation, puisqu'il a été observé que le potentiel est plus élevé dans un sol abandonné que dans un sol cultivé. Ce fort MPN dans les sites abandonnés ne refléchit pas nécessairement la dominance ou non des mycotrophes ou des non-mycotrophes. Le MPN semble être affecté par un grand nombre de facteurs.

#### 4. Conclusion

Au terme de ce chapitre, il convient de rappeler les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus. Ce travail nous a permis de mettre en évidence plusieurs aspects biologiques. Les résultats obtenus ont montré que l'*Opuntia* sp avec ses 2 variétés (épineuse et inerme) est mycotrophe et peut améliorer même modérément le potentiel infectieux du sol.

L'activité microbiologique du sol influence la stabilité et la fertilité de l'écosystème et il est largement admis qu'un bon niveau d'activité microbiologique est essentiel pour maintenir la qualité d'un sol (Bastida *et al.*, 2006). En dépit de l'importance des champignons MA dans la physiologie et la nutrition des plantes, ainsi que la forme et la tournure de la communauté végétale, les facteurs affectant la présence, la diversité, la densité sporale et la colonisation racinaire par les CMA dans le sol sont mal compris. Ceci est l'une des raisons qui rend difficile d'établir une corrélation entre le sol, la plante et la population fongique. La seconde raison est que les CMA ont un large spectre d'hôtes présents dans les communautés des pâturages, mais la vitesse de la sporulation est dépendante de l'hôte (Escudero & Mendoza, 2005).

Les CMA ont une fonction-clé dans l'écosystème (Ferrol *et al.*, 2004) et l'approche de réhabilitation des parcours steppiques dégradés doit commencer par l'évaluation du statut mycorhizien, l'identification et la caractérisation des champignons MA dans les zones cibles comme base pour la production de l'inoculum MA.

Il est notoire que notre étude sur les mycorhizes du figuier de Barbarie n'est pas décisive, il convient de poursuivre l'étude sur la biodiversité sporale dans la rhizosphère de cet arbuste en identifiant les différentes espèces correspondant aux morphotypes rencontrés. En isolant certaines d'entre elles et en les multipliant, il serait possible d'envisager une mycorhization contrôlée des plantes destinées à la revégétalisation des milieux dégradés.

## *Conclusion générale et perspectives*

L'utilisation d'espèces arborescentes ou arbustives, peu exigeantes et capables de se développer dans des conditions d'aridité extrême et de marginalité absolue des sols peut représenter une solution significative au problème de la désertification. Parmi ces espèces figure *Opuntia ficus indica* L. qui de plus, possède des propriétés alimentaires et fourragères.

Cette étude avait comme objectif principal de déterminer la part de participation des plantations de figuier de Barbarie dans l'amélioration de l'écosystème steppique de l'Est algérien. Elle visait de mettre en évidence les effets de ces plantations sur quelques paramètres du sol, de la végétation et des mycorhizes.

Parmi les paramètres édaphiques auxquels nous nous sommes intéressés : la MO, l'azote, le pH, la CE, l'humidité, le calcaire total et actif, le phosphore total et assimilable et le rapport C/N. Ces paramètres semblent participer à l'explication de l'effet des plantations. Pour la végétation : le taux de recouvrement, l'abondance, la richesse et l'indice de diversité. Quant aux mycorhizes, nous avons essayé de voir le type d'association mycorhizienne développé par le figuier naturalisé, d'estimer la fréquence et l'intensité de mycorhization, la biodiversité sporale inféodée à la rhizosphère du végétal et la variation spatio-temporelle du potentiel mycorhizogène des parcelles plantées et témoins.

Les résultats évalués par des tests statistiques (analyses de la variance, le coefficient de corrélation de Pearson et l'analyse en composantes principales) ont permis de déceler certains avantages apportés par les plantations de cet arbuste aux sols steppiques dégradés.

Nous avons ainsi constaté que les parcelles plantées avaient enregistré des taux de MO plus importants que les parcelles non plantées, ceci étant dû particulièrement à l'accumulation de la litière, situation favorisée par la présence de l'arbuste qui joue le rôle de plante-refuge ou plante-ressource permettant le piégeage des semences qui ne peuvent s'établir ailleurs et favorisant ainsi un microclimat favorable qui réduit l'âpreté des espaces libres et dénudés. Ce résultat s'applique particulièrement aux stations de Sidi Fradj et Anba. Cet effet n'a pas été confirmé dans la station de M'zara plantée par la variété épineuse.

De même, l'analyse des effets des plantations sur les paramètres de végétation ont montré que les parcelles témoins ont dans chaque station des taux de recouvrement moins importants que les parcelles traitées.

Quant aux mycorhizes, cette étude a permis de déterminer le statut mycorhizien du figuier de Barbarie. Ce dernier développe une association endomycorhizienne de type arbusculaire. La fréquence de mycorhization s'est montrée importante atteignant même les 100 % en particulier chez la variété asperme, indépendamment de l'âge, de la saison ou de la station.

D'un autre côté, le MPN est dans la plupart des cas, plus important chez les traités par rapport au témoin, laissant avancer que le figuier de Barbarie pourrait contribuer à l'augmentation du nombre de propagules dans ces sols dégradés.

Quant à la biodiversité sporale, à partir des critères taxonomiques les plus couramment utilisés et qui sont basés essentiellement sur les caractères de la spore, nous avons caractérisé un seul genre fongique : il s'agit de *Glomus* avec probablement plusieurs espèces (*Glomus* sp<sub>1</sub>, *Glomus* sp<sub>2</sub>, etc...). Il est à signaler qu'aucune espèce n'a fait l'objet d'une identification formelle. Pour ce faire, l'utilisation de l'outil moléculaire s'avère nécessaire.

Il est vrai que le dénombrement sporal n'a pas été effectué mais nous avons constaté que le plus grand nombre caractérise la station de Anba durant toutes les saisons, ce qui suggère un certain rapport avec le recouvrement végétal.

Au terme de cette étude, il est intéressant de retenir que :

- (i) des recherches supplémentaires avec des plantations plus âgées semblent nécessaires pour mieux voir les effets sur les propriétés du sol. L'évolution de ce dernier étant un processus extrêmement lent en particulier dans un écosystème aussi fragile que celui de steppes. Ce sol est squelettique et son évolution exige un temps plus long. Une étude sur des plantations plus âgées pourrait être plus révélatrice que celles âgées de 20 ans et par conséquent pourrait donner des résultats plus significatifs. Aussi, le dosage des enzymes du sol s'avère donner de meilleures indications sur les changements qui s'opèrent dans le milieu ;
- (ii) Vu le rôle-clé des champignons mycorhiziens dans les sols pauvres des écosystèmes fragiles des zones arides et semi-arides, il serait judicieux de mieux découvrir « le stock génétique » inconnu que représentent les milieux semi arides et arides, comprendre et gérer cette symbiose par des pratiques agronomiques agricoles adaptées, y compris le cas échéant par l'inoculation des plantes. Ceci présente déjà un intérêt économique pour de nombreuses plantes pérennes, surtout si ces plantes ont déjà révélé leur rôle antiérosif et protecteur comme l'*Opuntia ficus indica*. Dans cette

perspective, la recherche de souches performantes et efficaces pourrait ajouter un autre avantage au figuier de Barbarie ;

- (iii) Vu le rôle économique du figuier de Barbarie, il serait intéressant pour l'Algérie à l'instar des pays voisins (le Maroc et la Tunisie) de mieux valoriser ce végétal dans les milieux ruraux :

\*soit sur le plan agroalimentaire par la densification des plantations pour la production et l'exportation du fruit qui a une valeur nutritionnelle semblable à celles de nombreux fruits comme les oranges, les cerises, les pommes, les poires et les abricots, et la production du fourrage pour le bétail surtout pour l'Algérie connu pour ses aléas climatiques qui peuvent engendrer des périodes successives de sécheresse. La valeur énergétique de la raquette étant proche de celle de la luzerne. Sans oublier, le carmin naturel qui est mondialement recherché par les industries alimentaire et cosmétique pour ses qualités naturelles et biochimiques. Il est produit par l'élevage des cochenilles *Dactylopius coccus* et *D. opuntiae* qui sont des insectes hôtes du figuier de Barbarie.

\* soit en tant que plante médicinale pour ses raquettes (remèdes pour les diabétiques, réductrices du taux du cholestérol dans le sang), ses fleurs (aux effets diurétiques), ou au mucilage (production des cosmétiques).

En d'autres termes, la valorisation du figuier de Barbarie en produits de haute valeur va améliorer le revenu des agriculteurs et le niveau de vie des populations locales, générer des emplois et en conséquence réduire l'exode rural.

- (iv) L'orientation de la recherche vers le développement de modèles qui permettent de simuler les actions de restauration des espaces dégradés de la steppe. Ceci aura pour impact de cibler les espèces et anticiper l'évolution des écosystèmes steppiques ;
- (v) Un complément de recherche est fondamental pour mieux comprendre l'effet des plantations d'*Opuntia* sp sur l'évolution des écosystèmes arides et semi arides particulièrement l'espacement et le type de plantation pour en apporter des éléments à la connaissance de cette relation surtout dans l'adaptation de cette espèce à la rareté de l'eau.

## *Références bibliographiques*

**A**

- Abd El- Ghani, M. & Amer, W. 2003.** Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 55: 607-628.
- **Abbott, L.K. & Robson, A.D. 1982.** In : **Khelfane-Goucem, K. 2001.** Contribution à l'étude des endomycorhizes à arbuscules chez l'olivier (*Olea europaea* L.) dans la région de Boghni (W. de Tizi ousou) : étude de l'efficacité des champignons endomycorhizogènes sur la croissance. Mémoire de Magister, Ecologie et Biologie des populations. Faculté des Sciences. Université Mouloud Maameri, Tizi ousou. Algérie.
- Abbott, L.K. & Robson, A.D. 1991.** *Factors influencing the occurrence of Vesicular arbuscular micorrhizas. Agriculture, Ecosystems and Environment*, 35: 121-150.
- Abule, E.; Snyman, H.A. & Smit, G.N. 2007.** Rangeland evaluation in the Middle Awash valley of Ethiopia: III. Relationships among soil and vegetation variables. *Journal of Arid environments*,70: 293-303.
- Adjoud-Sadadou, D. & Halli-Harrgas, R. 2000.** Occurrence of arbuscular mycorrhiza on aged *Eucalyptus*. *Mycorrhiza*, 9 : 287-290.
- **AFNOR, 1990.** Granulats, analyse granulométrique par tamisage. Norme P18-560.
- Aidoud, A. 1997.** Changement de végétation et changement d'usage dans les parcours steppiques d'Algérie. *Sécheresse*, 7: 187-193.
- Aidoud, A., Le Floc'h, E. & Le Houerou, HN. 2006.** Les steppes arides du Nord de L'Afrique. *Sécheresse*, 17: 19-30.
- **Allen, E.B. & Allen, M.F. 1992.** In: **Uhlmann, E. ; Gorke, C. ; Petersen, A. & Oberwinkler, F. 2006.** Arbuscular mycorrhizae from arid parts of Namibia. *Journal of Arid Environments*, 64 : 221-237.
- **Alexander, M. 1965.** In: **Meddad-Hamza, A. 2010.** Les mycorhizes de l'olivier (*Olea europaea* L.). Aspects écologiques, effet sur la croissance et exploitation en pépinière. Thèse de Doctorat en Biologie végétale et Environnement. Faculté des Sciences. Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie.
- **Araba, A. ; Collado, M. ; Boutouba, A. & Sahnoun, A. 2009.** Nouveaux aliments pour les ruminants à base de fruits de cactus. Transfert de Technologie en Agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, 176 : 1- 4.
- **Aranda, V. & Oyonarte, C. 2005.** Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment (Cabo de Gata-Nijar Natural Park, SE Spain). *Journal of Arid Environments*, 62 : 631-647.
- **Arba et al. 2000.** In : **Boujchagh, L. & Chajia, L. 2001.** Le cactus : outil de gestion de la sécheresse dans le sud marocain. *Terre et Vie*, 52 : 1-7.

-**Arba, M. 2009.** Le cactus, *Opuntia*, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. « Symposium International « Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED) », Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009.

- **Arnold, P. & Simon, L. 2007.** Géographie de l'environnement. Edition Berlin, 303p.

-**Aronson, J.; Floret, C.; Le Floc'h, E.; Ovalle, C. & Pontanier, R. 1995.** Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts. John Libbey Eurotext, Paris, 11-29.

-**Arshad, M.A. & Martin, S. 2002.** In: **Rezaei S. & Gilkes, R. 2005.** The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125: 167-176.

- **Augé, R.M. 2004.** Arbuscular mycorrhizae and soil /plant water relations. *Can. J. Soil. Sci*, 84: 373–381.

-**Azcon-Aguilar, C. ; Palenzuela, J. ; Roldan, A. ; Bautista, S. ; Vallejo, R. & Barea, J.M. 2003.** Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*, 22 : 29-37.

## B

-**Baize, D. & Jabiol, B. 1995.** Guide pour la description des sols : techniques et pratiques. INRA. Paris, 375 p.

-**Baize, D. 2000.** Guide des analyses en pédologie. 2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée. INRA. Paris, 257 p.

-**Bashan, Y. ; Anne-Davis, E. ; Carrillo-Garcia, A. & Linderman, R.G. 2000.** Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the *establishment of* cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. *Applied Soil Ecology*, 14: 165-175.

-**Barbera et al. 1992.** In: **Mulas, M. & Mulas, G. 2004.** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari. Groupe de recherche sur la désertification. Short and Medium -Term Priority Environmental Action Program (SMAP), 112 p.

-**Bastida, F. ; Moreno, J.L. ; Hernandez, T. & Garcia, C. 2006.** Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 3463-3473.

-**Bastida, F.; Moreno, J.L.; Hernandez, T. & Garcia, C. 2007.** The long-term effects of the management of a forest soil on its carbon content, microbial biomass and activity under a semi -arid climate. *Applied Soil Ecology*, 37: 53-62.

-**Bastida, F.; Barbera, G.C.; Garcia, C. & Hernandez, T. 2008.** Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions. *Applied Soil Ecology*, 38:62-70.

-**Bautista-Cruz, A.; Carrillo-Gonzalez, R.; Arnaud-Vinas, M.R.; Robles, C. & de Leon-Gonzalez, F. 2007.** Soil fertility properties on *Agave angustifolia* Haw. plantations. *Soil and Tillage Research*, 96: 342-349.

- Beddiar, A. 2003.** Les symbioses racinaires chez les principales essences forestières spontanées ou introduites dans le Nord-Est algérien (Etude particulière de la symbiose quadripartite chez l'aulne glutineux) Thèse de doctorat d'état, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- Beddiar, A. ; Dahmane, M.N. & Sahki-Boutamine, R. 2010.** Les possibilités d'associations symbiotiques d'*Acacia raddiana* (Savi) dans la région du Hoggar (Sud algérien). Revue des Régions Arides-Numéro spécial-24 (2/2010) Actes du 3<sup>ème</sup> Meeting International « Aridoculture et Culture Oasiennes : Gestion et Valorisation des Ressources et Applications Biotechnologiques dans les Agrosystèmes Arides et Sahariens » 15-16-17/12/2009, Djerba (Tunisie).
- Bedrani, S. & Elloumi, M. 1996.** Impact des politiques économiques sur la désertification: le cas des pays du Maghreb. Annuaire de l'Afrique du Nord. Tome XXXV. CNRS Editions.
- Bellot, J.; Maestre, F. ; Chrino, E. ; Hernandez, N. & de Urbina, J. 2004.** Afforestation with *Pinus halepensis* reduces native shrub performance in a Mediterranean semiarid area. Acta ecologica, 25: 7-15.
- Benabadji, N. ; Bouazza, M. ; Metge, G. & Loisel, R. 1996.** Description et aspect des sols en région semi-aride et aride au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Bull. Inst. Sci., 20 : 77-86.
- Benabdellah, M. ; Amrani, S.M. ; Elhaitoum, A. & Ollier, S. 2010.** Analyse phytoécologique des groupements à thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters) et à chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.) dans les monts de Tlemcen (Algérie occidentale). **Ecologia mediterranea**, 36(2): 97-115.
- Bensalem, H.; Nefzaoui, A. & Bensalem, L. 2002.** Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. Animal Feed Sciences and Technology, 96: 15-30.
- Bensouiah, R. 2003.** Du Nord au Sud: le recours à l'environnement, le retour des paysans? La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne: les raisons de l'échec de la politique environnementale les 15<sup>èmes</sup> journées de la Société d'Ecologie Humaine, Marseille, 11-12 décembre 2003.
- Berthe, Y. 1997.** In: **Mulas, M. & Mulas, G. 2004.** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari. Groupe de recherche sur la désertification. Short and Medium-Term Priority Environmental Action Program (SMAP), 112 p.
- Bever, J.; Schultz, P.; Pringle, A. & Morton, J. 2001.** Arbuscular Mycorrhizal Fungi : More Diverse than Meets the Eye, and the Ecological Tale of Why. BioScience, 51, 11: 923-932.
- Blaszkowski, J. 2008.**  
<http://www.agro.ar.szczecin.pl/jblaszkowski/SpeciesdescriptionsofAMF.html>.
- Bohrer, K.; Friese, C. & Amon, J. 2004.** Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. Mycorrhiza, 14: 329-337.
- Bolinder et al. 1999.** In: **Caravaca, F. ; Barea, J.M. ; Figuerola, D. & Roldán, A. 2002.** Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reforestation

with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Applied Soil Ecology*, 20 : 107-118.

-**Bonneau , M. & Souchier, B., 1994.** Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 665 p.

-**Boomsma, C. & Vyn, T. 2008.** Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* , 108 : 14-31.

-**Boyer, 1982.** In : **Hamouni, M. ; Touaf, L. & Chekired, Z. 2004.** Analyse du sol, intérêt agronomique. Institut National de l'irrigation et du drainage (INSID), Alger, 27 p.

-**Brady, N & Buckman, H. 1960.** Les sols : Nature et propriétés. Précis d'édaphologie Intercontinental éditions, INC, New York, 499.

-**Briggs, J.M.; Schaafsma, H. & Trenkov, D. 2007.** Woody vegetation expansion in a desert grassland: Prehistoric human impact. *Journal of Arid Environments*, 69: 458-472.

-**Brown, G. & Al-Mazrooei, S. 2003.** Rapid vegetation regeneration in a seriously degraded *Rantherium epapposum* community in northern Kuwait after 4 years of protection. *Journal of Environmental Management*, 68:387-395.

-**Brundrett, M. 1991.** In: **Gui, M. & Nobel, P. 1992.** Nutrient status, water uptake and gaz exchange for three desert succulents infected with mycorrhizal fungi. *New Phytol*, 122: 643-649.

-**Brundrett et al. 1996.** In: **Richter, B.S.; Tiller, R. & Stutz, J.C. 2002.** Assessment of arbuscular mycorrhizal fungal propagules and colonization from abandoned agricultural fields and semi-arid grasslands in riparian floodplains. *Applies Soil Ecology*, 20:227-238.

-**Brundrett, M.2000.** Introduction to Mycorrhiza. CSIRO Forestry and Forest Products. <http://www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza/vam.html>

-**Brundrett , M. 2004.** Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biol. Rev.*, 79: 473-495.

-**Brundrett, M.2008.** Mycorrhizal associations. The Web Ressource. Version 2. <http://www.mycorrhiza.Info/info.html>.

-**Bruno et al. 2003.** In: **Yang, L.; Liu, N.; Ren, H. & Wang, J. 2009.** Facilitation by two exotic Acacia: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *Forest Ecology and Management*, 257: 1786- 1793.

-**Burquez, A. & Quintana, M.A. 1994.** In : **Reyes-Olivas, A. ; Garcia-Mayo, E. & Lopez-Mata, L. 2002.** Cacti-shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 52: 431-445.

-**Buxbaum, C.A.Z. & Vam, K. 2007.** Soil heterogeneity and the distribution of desert and steppe plant species across a desert-grassland ecotone. *Journal of Arid Environments*, 69: 617-632.

## C

- Callaway, R.M & Walker, L.R. 1997. In: Reyes-Olivas, A.; Garcia-Mayo, E. & Lopez-Mata, L. 2002. Cacti-shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 52: 431-445.
- Callot, Y. 1987. In: Hadeid, M. 2009. Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, [En ligne], mis en ligne le 07 novembre 2008. URL : <http://vertigo.revues.org/index5368.html>. Consulté le 22 février 2009.
- Campbell, C.A. 1978. In: Riffaldi, R.; Saviozzi, A.; Levi-Minzi, R. & Cardelli, R. 2002. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil and Tillage Research*, 67:109-114.
- Canfield, R.H. 1941. Application of the line intercept methods in sampling range vegetation. *Journal of Forestry* 39, 384-388. In: Cook, C. W. & Stubbendieck, J. 1986. *Range Research: Basic problems and techniques*. Society of Range management, Denver, Colorado, 51-71.
- Cao, S.; Chan, L.; Xu, C. & Liu, Z. 2007. Impact of three soil types on afforestation in China's Loess Plateau: Growth and survival of six tree species and their effects on soil properties. *Landscape and Urban Planning*, 83: 208-217.
- Caravaca, F.; Barea, J.M. & Roldan, A. 2002. Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* (L.) seedlings afforested in a degraded semiarid soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 1139-1145.
- Caravaca, F.; Figueroa, D.; Azcon-Aguilar, C.; Barea, J. M. & Roldan, A. 2003a. Medium-term effects of mycorrhizal inoculation and composted municipal waste addition on the establishment of two Mediterranean shrub species under semiarid field conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environments*, 97: 95-105.
- Caravaca, F.; Alguacil, M.M.; Figueroa, D. ; Barea, J.M. & Roldan, A. 2003b. Re-establishment of *Retama sphaerocarpa* as a target species for reclamation of soil physical and biological properties in a semi arid Mediterranean area. *Forest Ecology and Management*, 182: 49-58.
- Caravaca, F.; Alguacil, M.M.; Barea, J.M. & Roldan, A. 2005. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded Mediterranean ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 37 :227-233.
- Carrillo-Garcia, A.; Leon de la Luz, J.L; Bashan, Y. & Bethlenfalvay, G.J. 1999. Nurse Plants, Mycorrhizae and Plant Establishment in a Disturbed Area of the Sonoran Desert Restoration Ecology, 7(4):321-335.
- Chafi , M.E. & Fortas, Z. 1999. Les mycorhizes des plantes des zones arides algériennes. *Bois et Forêts des Tropiques*, 262 (4) :77-79.
- Chantelot, E. 2003. L'activité biologique des sols. Méthodes d'évaluation. Institut Technique de l'Agriculture Biologique. [Www. Itab.asso.fr](http://www.itab.asso.fr).

-Chen *et al.* 2005. In : Sanon, A. 2005. Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la coexistence entre espèces végétales. D.E.A. Institut National des Sciences du Sol. Université Henry Poincaré. NancyI. France. 27 p.

- Chen, L.; Huang, Z.; Gong, J.; Fu, B. & Huang, Y. 2007. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena*, 70: 200-208.

-Collier, S. ; Yarnes, C. & Peter Herman, R. 2003. Mycorrhizal dependency of Chihuahuan Desert plants is influenced by life history strategy and root morphology. *Journal of Arid Environments*, 55: 223-229.

-Costa, R. ; Filho, E. ; de Medeiros, A. ; Givisiez, P. ; Queiroga, R. & Melo, A. 2009. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. *Small Ruminant Research*, 82:62-65.

## D

-Dai, F.; Su, Z. ; Liu, S. & Liu, G. 2011. Temporal variation of soil organic matter content and potential determinants in Tibet, China. *Catena*, 85: 288-294.

-Diaz-Medina, E.M.; Rodriguez, E.M. & Diaz Romero, C. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food chemistry*, 103: 38-45.

-Dalpé, Y. 1997. Biodiversité des champignons mycorhiziens. Rapport préparé pour la 3<sup>ème</sup> réunion du « Subsidiary Body On Scientific, Technical and Technological Advice (SBSTTA).

-Dalpé, Y. 2010. In : Lecomte, J. 2010. Etude de l'interaction entre le champignon mycorhizien *Glomus irregulare* et les bactéries du sol. Mémoire en Sciences Biologiques. Département des Sciences Biologiques. Faculté des Arts et des Lettres. Université de Montréal. 110 p.

- Davet, P. 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. Edition INRA. Paris, 380 p.

-Dean, W.R.J. & Milton, S.J. 2000. Directed dispersal of *Opuntia* species in the Karoo, South Africa: are crows the responsible agents? *Journal of Arid Environments*, 45: 305-314.

-De Kock, G.C. 1983. In: Mulas, M. & Mulas, G. 2004. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Université des études de Sassari. Groupe de recherche sur la désertification. Short and Medium -Term Priority Environmental Action Program (SMAP). 112 p.

-Dermech , Kh. ; Karouani, M. & El Belkhi, M. 1982. أساسيات علم التربة : L'essentiel en Pédologie. Direction des Publications Universitaires, Haleb, Syrie.

-Dexheimer, J. 1997. Etude structurale et fonctionnelle des interfaces entre le champignon et la plante hôte. *Rev. For.Fr.* XLIX, 43-56.

-Djebaili, S. 1984. Steppes algériennes : phytosociologie et écologie. Office des Publications Universitaires, Alger, 177 p.

-Dell'Abate *et al.* 1999. In : Aranda, V. & Oyonarte, C. 2005. Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment (Cabo de Gata-Nijar Natural Park, SE Spain). *Journal of Arid Environments*, 62 : 631-647.

-De Villiers, A.J. ; Van Rooyen, M.W. & G. K. Theron, G.K. 2001. The role of facilitation in seedling recruitment and survival patterns, in the Strandveld Succulent Karoo, South Africa. *Journal of Arid Environments*, 49 : 809-821.

-Dodd, J.C. 1994. In : Nouaim, R. & Chaussod, R. 1996. Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux en zones arides. Cahiers : Options Méditerranéennes, V 20, Séminaire du Groupe de Travail CIHEAM sur l'Utilisation des Mycorhizes pour la lutte contre la Désertification dans le Bassin méditerranéen (MYCOLUDESME), Zaragoza (Espagne).

-Douce, R. 2000. Le monde végétal du génome à la plante entière. Ed. Tec & Doc, 220 p.

-Dubeux, J.R. ; Ferreira dos Santos, M.V. ; de Andrade Lira, M. ; Cordeiro dos Santos, D. ; Farias, I., Lima, L.E. & Ferreira, R.L.C. 2006. Productivity of *Opuntia ficus indica* under different N and P fertilization and plant population in north –east Brazil. *Journal of Arid Environment*, 67: 357-372.

-Duchaufour, P. 1977. Pédologie. Pédogénèse et classification. Tome 1. Ed Masson & Cie, Paris, 477 p.

-Duchaufour, P. 2001. Introduction à la science du sol, végétation, environnement. Dunod, 6<sup>ème</sup> Ed, Paris, 331p.

-Duhoux, E. & Nicole, M. 2004. Biologie végétale, Association et interactions chez les plantes. IRD Ed., 166 p.

## E

-El Mourid *et al.* 2001. In: Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR. 112 p.

-Elsen *et al.* 2003. In : Andrade, S. ; Mazzafera, P. ; Schiavinato, M. A & Silveira, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Journal of Agricultural Science*, 147: 105-115.

-Erre, P.; Chessa, I.; Nieddu, G. & Jones, P.G. 2009. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 73: 1058-1066.

-Escudero, V. & Mendoza, R. 2005. Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. *Mycorrhiza*, 15 :291-299.

-Estant *et al.* 1997. In : Sanon, A. 2009. Le concept de niche écologique associé à la coexistence des espèces végétales : mise en évidence du rôle de la symbiose mycorhizienne et de sa microflore associée dans la structuration de la strate herbacée en milieu tropical. Thèse de Doctorat. Université de Nancy, 229 p.

-**Estrada-Luna, A.A. & Davies, J.R. 2001.** Mycorrhizal fungi enhance growth and nutrient uptake of prickly pear cactus (*Opuntia albicarpa* Scheinvar 'Reyna') plantlets after ex vitro transplantation. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 76 (6) : 739-745.

## F

-**Faurie, C. ; Ferra, Ch. ; Medori P. ; Dévaux J. & Hemptinne, J. L. 2003.** *Ecologie : approche scientifique et pratique.* Tec & Doc, Paris, 407 p.

-**Felker, P.; Rodriguez, S. ; Casoliba, R.M. ; Filippini, R. ; Medina, D. & Zapata, R. 2005.** Comparison of *Opuntia ficus indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 60 :405-422.

-**Fernandez, D.P.; Neff, J.C. & Reynolds, R.L. 2008.** Biogeochemical and ecological impacts of livestock grazing in semi-arid southeastern Utah, USA. *Journal of Arid Environments*, 72: 777-791.

-**Fernandez-Lugo, S.; de Nascimento, L.; Mellado, M.; Bermejo, LA. & Arévalo, J.R. 2009.** Vegetation change and chemical soil composition after 4 years of goat grazing exclusion in a Canary Islands pasture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132: 276- 282.

-**Ferrol, N.; Calvente, R.; Cano, C.; Barea, J.M. & Azcon-Aguilar, C. 2004.** Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 25: 123-133.

-**Forseth et al. 2001.** In: **Tracol, Y.; Gutiérrez, J.R. & Squeo, F.A. 2011.** Plant Area Index and microclimate underneath shrub species from a Chilean semiarid community. *Journal of Arid Environments*, 75:1-6.

-**Fraga-Beddiar, A. & Le Tacon, F. 1990.** Interactions between a V.A. mycorrhizal fungus and *Frankia* associated with alder (*Alnus glutinosa* L. Gaertn.). *Symbiosis*, 9 : 247-258.

-**Fraga-Beddiar, A. & Abda, S. 2002.** Statut mycorhizien du chêne-liège (*Quercus suber* L.) et dynamique de la symbiose au cours des saisons. *Synthèse*, 11(9): 108-114.

-**Franco, A.C & Nobel, P. 1989.** In: **Reyes-Olivas, A.; Garcia-Mayo, E. & Lopez-Mata, L. 2002.** Cacti-shrub interactions in the coastal desert of northern Sinaloa, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 52: 431-445.

## G

-**Gadkar, V.; David-Schwartz, R.; Kunik, T. & Kapulnik, Y. 2001.** Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonization. Factors Involved in Host Recognition. *Plant Physiology*, 127: 1493-1499.

-**Gai, J.P. ; Christie, P. ; Feng, G. & Li, X.L. 2006.** Twenty years of research on community composition and species distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: a review. *Mycorrhiza*, 16: 229–239.

- Galizzi, F.; Felker, P.; Gonzalez, C.; & Gardiner, D. 2004. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. *Journal of Arid Environments*, 59: 115-132.
- Gallo, M.; Porrás-Alfaro, A.; Odenbach, K. & Sinsabaugh, R. 2009. Photoacceleration of plant litter decomposition in an arid environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 1433-1441.
- Garcia, C.; Roldan, A ; & Hernandez,T. 2005. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma*, 193-202.
- Garner, W. & Steinberger, Y. 1989. A proposed mechanism for the formation of “Fertlie Islands” in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 16: 257-262.
- Garroucha, H. 1995. Techniques pratiques d’analyse du sol. OPU (manuscrit en arabe), 104 p.
- Gasque, M. & Garcia-Fayos, P. 2004. Interaction between *Stipa tenacissima* and *Pinus halepensis*: consequences for reforestation and the dynamics of grass steppes in semi-arid Mediterranean areas. *Forest Ecology and management*, 189: 251-261.
- Gay *et al.* 1982. In : Les mycorhizes : Aspects physiologiques et génétiques. Actes du 1<sup>er</sup> Symposium Europeen sur les mycorhizes.1986. Dijon, 1-5 Juillet. INRA.
- Gerdemann, J.M & Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc*, 46:235-244.
- Gibson, A.C. & Nobel, P. 1986. *The Cactus primer*. Harvard University Press Cambridge, Massachusetts, USA. 286 p.
- GIEC, 2007. In : Dorsouma, A. & Requier-Desjardins, M. 2008. Variabilité climatique, désertification et biodiversité en afrique : s’adapter, une approche intégrée », *VertigO - la revue électronique en sciences de l’environnement*, Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, [En ligne], mis en ligne le 07 novembre 2008. URL : <http://vertigo.revues.org/index5356.html>. Consulté le 22 février 2009.
- Giovannetti, M. & Sbrana, C. 1998. Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. *Mycorrhiza*, 8:123-130.
- Glenn, M.G.; Chew, F.S. & Williams, P.H. 1985. Hyphal penetration of *Brassica* spp (Cruciferae) roots by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytol.* 99 : 463-472.
- Gobat, J.M.; Aragno, M. & Matthey, W. 2003. *Le sol vivant*. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne, 568 p.
- Godfroy, O. 2008. Etudes génétique et moléculaire de deux gènes de *Medicago truncatula*, DMI3 et RPG, contrôlant l’établissement de symbioses racinaires. Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier.

- Gosselin et al. 2004.** In : **Cheikh Al Bassatneh, M. ; Fady, B. ; Simon-Teissier, S. & Tatoni, T. 2007.** Biodiversité floristique et gestion sylvicole dans les systèmes forestiers supraméditerranéens et montagnards de la montagne de Lure (Sud-Est de la France). *Ecologia mediterranea*, 33 : 29-42.
- Gratzfeld, J. 2004.** Industries extractives dans les zones arides et semi-arides. Planification et gestion de l'environnement. Collection gestion des écosystèmes, n° UICN, Gland (Suisse), et Cambridge (Royaumes Unies). 112 p.
- Griffith, D. 1914.** Revision in Prickly Pears. *Journal of Heredity*, 5: 222-225. In: **Griffith, M.P. 2004.** The original of an Important Cactus Crop, *Opuntia ficus indica* : New molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91: 1915-1921.
- Guadarrama, P. & Alvarez-Sanchez, F. 1999.** Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. *Mycorrhiza*, 8: 267-270.
- Gui, M. & Nobel, P. 1992.** Nutrient status, water uptake and gas exchange for three desert succulents infected with mycorrhizal fungi. *New Phytol*, 122: 643-649.
- Guzman et al. 2003.** In: **Reyes-Aguero, J.A.; Aguirre, J.R. & Valiente-Banuet, A. 2006.** Reproductive biology of *Opuntia* : A review. *Journal of Arid Environments*, 64: 549-589.

## H

- Habibi, Y. 2004.** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. Faculté Sciences et Géographie (Grenoble I) et Université Cadi Ayyad . Faculté des Sciences (Semlalia, Marrakech).
- Halitim, A. 1988.** Sols des régions arides. Office des Publications Universitaires, Alger, 384p.
- Hause, B. & Fester, T. 2005.** Molecular and cell biology of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plantae*, 221: 184-196.
- He, M.Z.; Zheng, J.G. ; Li, X.R. & Qian, Y.L. 2007.** Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 69: 473-489.
- Hernandez, A.; Orona-Castillo, I.; Murillo- Amador, B.; Garcia- Hernandez, J.L. & Troyo-Diequez, E. 2004.** Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp) cultivar under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 70: 97-107.
- Hopkins, 2003.** *Physiologie végétale*. Edition de boeck, 514 p.
- Huang, D.; Wang, K. & Wu, W. L. 2007.** Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation successions characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agropastoral transition zone in Northern China. *Journal of Arid Environments*, 70: 120-136.

## I

-**Inglese, P.; Barbera, G. & La Mantia, T. 1995.** Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) fruit quality and production. *Journal of arid Environments*, 29: 455-468.

-**I.N.V.A.M. 2004.** <http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/speciesID.htm>

## J

-**Jacob, C. 2001.** Etude des interactions entre métaux lourds et champignons ectomycorhiziens: mise en évidence de gènes impliqués dans la réponse au cadmium de *Paxillus involutus*. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I.

-**Jacobson, I. & Heidmann, T. 1989.** MPN estimates of VAM diaspores in cultivated spores. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 29:199-203.

-**Jamil-Mohammad, M.; Rushdi Hamad, S. & Issa Malkawi, H. 2003.** Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. *Journal of Arid Environments*, 53: 409-417.

-**Jenny, H. 1941.** In: **Rezaei, S. & Gilkes, R. 2005.** The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125: 167-176.

-**Jiao, F.; Wen, Z.M. & An, S.S. 2011.** Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China. *Catena*, 86:110-116.

## K

-**Kabas, O.; Ormerzi, A. & Akinci, I. 2006.** Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.) grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 73: 198-202.

-**Kane, A. 1997.** Effets de fongicides (Basamid, Cryptonol/Enzone) et des endomycorhizes sur la croissance et le développement de deux variétés d'Oignon (Red Créole et Early Yellow Texas Grano 502 PRR) cultivées sur un sol infesté par *Pyrenochaeta terrestris* au Nord-Ouest du Sénégal. D.E.A. Département de Biologie Végétale. Université Cheikh Anta Diop-DAKAR.

-**Kassogue et al. 1996.** In: **Wezel, A.; Rajot, J.L. & Herbrig, C. 2000.** Influence of shrubs on soil characteristics and their functions in Sahelian agroecosystems in semi arid Niger. *Journal of Arid Environments*, 44: 383- 398.

-**Khan, A.G. 2006.** Mycorrhizoremediation-an enhanced form of phytoremediation. *J. Zhejiang Univ. Science B*, 7: 503-514.

-**Khelfane-Goucem, K. 2001.** Contribution à l'étude des endomycorhizes à arbuscules chez l'olivier (*Olea europaea* L.) dans la région de Boghni (W. de Tizi ousou): étude de l'efficacité des champignons endomycorhizogènes sur la croissance. Mémoire de Magister, Ecologie et biologie des populations. Faculté des Sciences. Université Mouloud Maameri, Tizi ousou. Algérie.

-**Khresat, S.A. & Rawajfih, Z. & Mohammad, M. 1998.** Land degradation in north-western Jordan: causes and processes. *Journal of Arid Environment*, 39:623-629.

-**King, E.G. 2008.** Facilitative Effects of *Aloe secundiflora* shrubs in degraded semi-arid rangelands in Kenya. *Journal of Arid Environment*, 72: 358- 369.

-**Koide, R. & Mosse, B. 2004.** A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14:145-163.

## L

-**Lahsasni, S.; Kouhila, M. ; Mahrouz, M. & Jaouhari, J.T. 2004.** Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61: 173-179.

-**Land, S. & Schonbeck, F. 1991.** Influence of different soil types on abundance and seasonal dynamics of vesicular arbuscular mycorrhizal AM fungi in arable soils of North Germany. *Mycorrhiza*, 1 : 39-44.

-**Le Houerou, H.N. 1968.** In : **Nahal, B. 2004.** La désertification dans le monde. Hartman, 150 p.

-**Le Houerou, H.N. 1985.** In: **Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112 p.

-**Le Houerou, H.N. 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. CIHEAM, Options Méditerranéennes, Séries B, 10, 396 p.

-**Le Houerou, H. N. 1996.** The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 33: 135-159.

-**Li, F.M.; Song, Q.H.; Jjemba, P.K. & Shi, Y.C. 2004.** Dynamic of soil biomass microbial C and soil fertility in Cropland mulched with plastic film in a semi arid agro-ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1893-1902.

-**Li, T & Zhao, Z. 2005.** Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in South-West China. *Applied Soil Ecology*, 29: 135-141.

-**Li, Y.Y. & Shao, M.A. 2006.** Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Environments*, 64:77- 96.

-**Li, X.R.; Jia, X.H. & Dong, G.R. 2006.** Influence of desertification on vegetation pattern variation in the cold semi arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-West China. *Journal of Arid Environment*, 64: 505-522.

-**Li, J.; Zhao, C.; Zhu, H.; Li, Y. & Wang, F. 2007.** Effect of plant species on shrub fertile island at an oasis-desert ecotone in the South Junggar Basin China. *Journal of Arid Environments*, 71: 350-361.

-**Liu, S.R.; Li, X.M. & Niu, L.M. 1998.** The degradation of soil fertility in pure larch plantations in the northeastern part of China. *Ecol. Eng.*, 10: 75-86.

-**Lovelock, C.E. ; Andersen, K. & Morton, J.B. 2003** Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia*, 135, 268-297. In : **Sanon, A. 2005.** Rôle des champignons mycorrhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la

coexistence entre espèces végétales. D.E.A. Institut National des Sciences du Sol. Université Henry Poincaré. NancyI. France. 27 p.

-Luttge, M. ; Kluge, M. & Bauer, G. 2002. Botanique. 3<sup>ème</sup> Ed. Tec & Doc. Paris, 604 p.

## M

-Mabbutt, J.A. 1977. In: He, M.Z.; Zheng, J.G.; Li, X.R. & Qian, Y.L. 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 69: 473-489.

-Mc Gee, P.A. 1989. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil. *Mycol. Res.*, 92(1): 28-33.

-Maestre, F.T.; Cortina, J.; Bautista, S. & Bellot, J. 2003. Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in Mediterranean semi-arid afforestations ? *Forest Ecology and Management*, 176: 147-160.

-Maestre, F.T. & Cortina, J. 2004. Are *Pinus halepensis* plantations useful as restoration tool in semiarid Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management*, 198: 303-317.

-Malainine, M.; Dufresne, A.; Dupeyre, D.; Mahrouz, M.; Vuong, R. & Vignon, M. 2003. Structure and morphology of cladodes and spines of *Opuntia ficus indica*. Cellulose extraction and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 51: 77-83.

-Mandouri, T. 2000. Hydromasse et biomasse des *Opuntia*. *Cactus: (Opuntia à fruits comestibles)*. Actes de la journée nationale sur la culture du cactus. El Kelaa des Sraghna. Maroc.

-Manzano, M.G. & Navar, J. 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in North-Eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 44 :1-17.

-Martínez-García, L. ; Armas, C. ; de Dios Miranda, J.; Padilla, F. & Pugnaire, F. 2011. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi-arid environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 : 682- 689.

-Mathieu, C. & Pieltain F. 2003. Analyse chimique de sol : méthodes choisies. Tec & Doc, Paris, 388 p.

-M.E.A. (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. In: Dorsouma, A. & Requier-Desjardins, M. 2008 « Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, [En ligne], mis en ligne le 07 novembre 2008. URL : <http://vertigo.revues.org/index5356.html>. Consulté le 22 février 2009.

-Meddad-Hamza, A. 2010. Les mycorhizes de l'olivier (*Olea europaea* L.). Aspects écologiques, effet sur la croissance et exploitation en pépinière. Thèse de Doctorat en Biologie végétale et Environnement. Faculté des Sciences . Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie.

- Meddad-Hamza, A.; Beddiar, A.; Golotte, A.; Lemoine, M.C.; Kuszala, C. & Gianinazzi, S.** 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth of olive trees and their resistance to transplantation stress. *African Journal of Biotechnology*, Vol 9 (8): 1159-1167.
- Meddich, A.; Oihabi, A. ; Abbas, Y. & Bizid, E.** 2000. Rôle des champignons mycorrhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*Trifolium alexandrium* L.) au déficit hydrique. *Agronomie*, 20: 283-295.
- Michelsen, A. & Rosendahl, S.** 1989. Propagule density of a VA-mycorrhizal fungi in semi-arid bushland in Somalia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 29: 295-301.
- Mofßhammer, M.; Stintzing, F. & Carle, R.** 2006. Evaluation of different methods for production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7: 275-287.
- Montiel, S.D. & Olivarez, O. J.** 1997. In: **Estrada-Luna, A.A. & Davies, J.R.** 2001. Mycorrhizal fungi enhance growth and nutrient uptake of prickly- pear cactus (*Opuntia albicarpa* Scheinvar `Reyna') plantlets after ex vitro transplantation. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 76 (6) : 739-745.
- Monjauze, A. & Le Houerou, H.N.** 1965. Le rôle des *Opuntia* dans l'Economie agricole Nord Africaine. In: **Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112 p.
- Moora, M. & Zobel, M.** 2010. In: **Martinez-Garcia, L.; Armas, C. ; Miranda, D. ; Padilla, F. & Pugnaire, F.** 2011. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi arid environment. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 : 682-689.
- Morel, R.** 1996. Les sols cultivés. 2<sup>ème</sup> ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 389 p.
- Mosse, B.** 1986. In: **Sanon, A.** 2009. Le concept de niche écologique associé à la co-existence des espèces végétales : mise en évidence du rôle de la symbiose mycorrhizienne et de sa microflore associée dans la structuration de la strate herbacée en milieu tropical. Thèse de Doctorat. Université de Nancy, 229 p.
- Mukerji, K.G. & Kapoor, A.** 1986. Occurrence and Importance of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Semiarid Regions of India. *Forest Ecology and Management*, 16: 117-126.
- Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112 p.
- Mun, H.T. & Whitford, W.G.** 1998. Changes in mass and chemistry of plant roots during long -term decomposition on a Chihuahuan Desert watershed. *Biol. Fertil. Soils*, 26: 16-22.

## N

- Nahal, B. 2004.** La désertification dans le monde. Hartman ,150 p.
- Nedjraoui, D. 2004.** Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. Cahiers, Options méditerranéennes.
- Nedjraoui, D. & Bedrani, S. 2008.** La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* ; 8 [En ligne], mis en ligne le 07 novembre 2008. URL : <http://vertigo.revues.org/index5375.html>. Consulté le 16 décembre 2008.
- Nefzaoui, A. & Bensalem, H. 1998.** In: **Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR. 112 p.
- Nerd, A & Mizrahi, Y. 1994.** Effect of nitrogen fertilization and organ removal on rebudding in *Opuntia ficus indica* (L.). *Scientia Horticulturae*, 59 : 115-122.
- Nerd et al. 1991.** In : **Habibi, Y.2004.** Contribution à l'étude morphologique, ultra-structurale et chimique de la figue de Barbarie, les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modifications chimiques. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. Faculté Sciences et Géographie (Grenoble I ) et Université Cadi Ayyad . Faculté des Sciences (Semlalia, Marrakech).
- Nobel, P. 1996.** Responses of some North American CAM plants to freezing temperatures and doubled CO<sub>2</sub> concentrations: implications of global climate change for extending cultivation. *Journal of Arid Environments*, 34: 187-196.
- Nobel, P. & Hartsock, T.L. 1983.** In : **Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR. 112 p.
- Nouaim, R. & Chaussod, R. 1996.** Rolle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux en zones arides. Cahiers Options Méditerranéennes, V 20, Séminaire du Groupe de Travail CIHEAM sur l'Utilisation des Mycorhizes pour la lutte contre la Désertification dans le Bassin méditerranéen (MYCOLUDESME), Zaragoza (Espagne).
- Nultsch, W. 1998.** Botanique générale. Ed. de boeck. 624p.

## O

- Olsen, S.R. 1954.** In: **Mathieu, C. & Pieltain, F. 2003.** Analyse chimique de sol : méthodes choisies. Tec & Doc, Paris, 388 p.
- Orwa, C.; Mutua, A.; Kindt, R. ; Jamnadass, R. & Simons, A. 2009.** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 <http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>

## P

- Padilla, F.M. & Pugnaire, F.I. 2006. In : Tracol, Y.; Gutiérrez, J.R. & Squeo, F.A. 2011. Plant Area Index and microclimate underneath shrub species from a Chilean semiarid community. *Journal of Arid Environments*, 75:1-6.
- Paniagua *et al.* 1999. In: Jiao, F.; Wen, Z.M. & An, S.S. 2011. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China. *Catena*, 86:110-116.
- Pande, M. & Tarafdar, J.C. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in neem based agroforestry systems in Rajasthan. *Applied Soil Ecology*, 26: 233-241.
- Pansu, M.; Gautheyrou, J. & Loyer, J.Y. 1998. L'analyse du sol, échantillonnage, instrumentation et contrôle. Masson, Paris, 497 p.
- Pei, S.; Fu, H. & Wan, C. 2008. Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 124:33-39.
- Phillips, J.M & Hayman, D.S. 1970. In : Meddad-Hamza, A. 2010. Les mycorhizes de l'olivier (*Olea europaea* L.). Aspects écologiques, effet sur la croissance et exploitation en pépinière. Thèse de Doctorat en Biologie végétale et Environnement. Faculté des Sciences. Université Badji Mokhtar, Annaba. Algérie.
- Pimienta-Barrios, E. 1993. El nopal (*Opuntia* spp.) una alternativa ecologica productiva para las zonas aridas y semiaridas. In: Kabas O. Ozmerzi A. & Akinci I., 2006. Physical properties of cactus pear grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 73:198-202.
- Pimienta-Barrios, E. 1994. Prickly Pear (*Opuntia* spp.): a variable fruit crop for the semi -arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 28: 1-11.
- Pimienta-Barrios, E.; Pimienta-Barrios, E. ; Salas-Galvan, M. ; Zanudo-Hernandez, J. & Nobel, P. 2002. Growth and reproductive characteristics of the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis* and their relationships with environmental factors and colonization by arbuscular mycorrhizae. *Tree Physiology*, 22: 667-674.
- Ping *et al.* 1997. In: Rezaei, S. & Gilkes, R. 2005. The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125: 167-176.
- Plenchette *et al.* 1989. In : Sanon, A. 2009. Le concept de niche écologique associé à la coexistence des espèces végétales : mise en évidence du rôle de la symbiose mycorhizienne et de sa microflore associée dans la structuration de la strate herbacée en milieu tropical. Thèse de Doctorat. Université de Nancy, 229 p.
- Plenchette, C. 1989. In : Khelfane-Goucem, K. 2001. Contribution à l'étude des endomycorhizes à arbuscules chez l'olivier (*Olea europaea* L.) dans la région de Boghni (W. de Tizi ousou) : étude de l'efficacité des champignons endomycorhizogènes sur la croissance. Mémoire de Magister, Ecologie et Biologie des populations. Faculté des Sciences. Université Mouloud Maameri, Tizi ousou. Algérie.
- Plenchette, C. 2003. Mycorhizes et nutrition phosphatée des plantes. *Mem. Acad. Nat. Art. Lett. Sci*, 49: 217-225.

-Puppi, G.; Tabbachini, S.; Riess, S. & Sanvito, A. 1986. Seasonnal patterns in mycorrhizal associations in a maritime sand dune system (Castelporziano, Italy). In : Les mycorrhizes : physiologie et Génétique. Actes du 1<sup>er</sup> Symposium Européen sur les mycorrhizes.1986. Dijon, 1-5 Juillet. INRA.

## Q

-Quezel, P. 2000. In: Maestre, F.T. & Cortina, J. 2004. Are *Pinus halepensis* plantations useful as restoration tool in semiarid Mediterranean areas ? Forest Ecology and Management, 198:303-317.

## R

-Ramadan, F. & Morsel, J. 2003. Oil cactus pear (*Opuntia ficus indica* L.). Food Chemistry, 82: 339-345.

-Reyes-Aguero, J.A.; Aguirre, J.R. & Valiente-Banuet, A. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. Journal of Arid Environments, 64: 549-585.

-Rezaei, S. & Gilkes, R. 2005. The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. Geoderma, 125: 167-176.

-Requena, N.; Jeffries, P. & Barea, J.M. 1996. Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. Appl. Environ. Microbiol., 62: 842-847.

-Richter, B.S.; Tiller, R. & Stutz, J.C. 2002. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungal propagules and colonization from abandoned agricultural fields and semi-arid grasslands in riparian floodplains. Applies Soil Ecology, 20:227-238.

-Rillig, M. & Mummey, D. 2006. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologist, 171:41-53.

-Robert, D. & Catesson, A.M. 2000. L'organisation végétative. Ed. Doin, 356 p.

-Rodriguez, A.R.; Mora, J.L.; Arbelo, C. & Bordon, J. 2005. Plant succession and soil degradation in desertified areas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain). Catena, 59: 117- 131.

-Roldan-Fajardo & Barea, 1986. In : Les mycorrhizes : Physiologie et Génétiques. Actes du 1<sup>er</sup> Symposium Européen sur les mycorrhizes.1986. Dijon, 1-5 Juillet. INRA.

-Rojaz-Arechiga, M. & Vasquez-Yanes, C. 2000. Cactus seed germination: a review. Journal of Arid Environments, 44: 85-105.

-Romanya, J. & Rovira, P. 2007. Labile phosphorus forms in irrigated and rained semi arid Mediterranean grassy crops with long term organic or conventional farming practices. European Journal Agronomy , 27: 62-71.

-Ros, M.; Hernandez, M. & Garcia, C. 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendmets. Soil Biology and Biochemistry, 35: 463-469.

-Ruiz Pérez-Cacho, M.P. ; Galan-Soldevilla, H. ; Corrales Garcia, J. & Hernandez Montes, A. 2006. Sensory characterization of nopalitos (*Opuntia* spp.) Food Research International, 39: 285-293.

-Ruotsalainen, A.L. ; Vare, H. & Vestberg, M. 2002. Seasonality of root fungal colonization in low-alpine herbs. Mycorrhiza, 12: 29-36.

## S

-Saenz, C. 2000. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. Journal of Arid Environments, 46:209-225.

-Saenz, C.; Sepulveda, E. & Matsuhira, B. 2004. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. Journal of Arid Environments, 57: 275-290.

-Saleem, M.; Ja Kim, H.; Kyun Han, C; Jin, C. & Sup Lee, Y. 2006. Secondary metabolites from *Opuntia ficus indica* var. *saboten*. Phytochemistry, 67: 1390-1394.

-Sanon, A. 2005. Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la coexistence entre espèces végétales. D.E.A. Institut National des Sciences du Sol. Université Henry Poincaré. NancyI. France. 27 p.

-Sanon, A. 2009. Le concept de niche écologique associé à la coexistence des espèces végétales : mise en évidence du rôle de la symbiose mycorhizienne et de sa microflore associée dans la structuration de la strate herbacée en milieu tropical. Thèse de Doctorat. Université de Nancy. 229 p.

-Santa, S. & Quezel, P. 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Edition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 1169 p.

-Santana, P. 1992. In: Mulas, M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR. 112 p.

-Sarah, P. & Rodeh, Y. 2004. Soil variations under manipulations of water and vegetation. Journal of Arid Environments, 58: 43-57.

-Sarah, P. 2006. Soil organic matter and land degradation in semi-arid area, Israel. *Catena*, 67: 50-55.

-Shao *et al.* 1996. In: Jiao, F.; Wen, Z.M. & An, S.S. 2011. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China. *Catena*, 86:110-116.

-SCDB (Secrétariat de Convention sur la Diversité Biologique). 2010. Pastoralisme, conservation de la nature et développement : un guide des bonnes pratiques. Montréal, 40 +iii pages.

-Sepulveda, E.; Saenz, C.; Aliaga, E. & Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. Journal of Arid Environments, 68 : 534- 545.

-Sierra, M. ; Martinez, C. ; Sierra, C. & Aguilar, J. 2009. Correlations between pedological parameters in relation to lithology and soil type in Almeria (SE Spain). Journal of Arid Environments, 73: 493-498.

- Singh, S.K.; Singh, A.K.; Sharma, B.K. & Tarafdar, J.C. 2007. Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, India. *Journal of Arid Environments*, 68: 408-421.
- Sivakumar, M.V.K. 2007. Interactions between climate and desertification. *Agriculture and Forest Meteorology*, 142: 143-55.
- Skiredj, A. ; Walali, D.M.L. & El Attis, H. 1998. Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*). Institut Agronomique et Vétérinaire, Hassan II. Rabat.
- Smith *et al.* 2000. In: Bautista-Cruz, A.; Carrillo-Gonzalez, R.; Arnaud-Vinas, M.R.; Robles, C. & de Leon-Gonzalez, F. 2007. Soil fertility properties on *Agave angustifolia* Haw. plantations. *Soil and Tillage Research*, 96: 342-349.
- Smith, S.E. & Read, D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis, 3<sup>ème</sup> Ed. Clarendon Press, Oxford, 815 p.
- Snyman, H.A. 2006. A greenhouse study of root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus indica* and *O. robusta* . *Journal of Arid Environments*, 65:529-542.
- Sparling & Tinker, 1975. In: les mycorhizes : Physiologie et Génétiques. Actes du 1<sup>er</sup> Symposium Européen sur les mycorhizes. 1986. Dijon, 1-5 Juillet. INRA.
- Stintzing, F.C. & Carle, R 2004. In: Moßhammer, M. ; Stintzing, F. & Carle, R. 2006. Evaluation of different methods for production of juice concentrates and fruit powders from cactus pear. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7: 275-287.
- Su, Y. & Zhao, H. 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy land, North China. *Ecological Engineering*, 20: 223-235.
- Su, Y.Z.; Zhao, H.L.; Zhang, T.H. & Zhao, X.Y. 2004. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil & Tillage Research*, 75: 27-36.
- Su, Y.Z.; Zhao, W.Z.; Su, P.X.; Zhang, Z.H.; Wang, T. & Ram, R. 2007. Ecological effects of desertification control and desertified land reclamation in an oasis-desert in an arid region: A case study in Hexi Corridor, northwest China. *Ecological Engineering*, 29: 117-224.
- Sylvia, D.M. 1986. Spatial and temporel distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Uniola paniculata* in Florida foredunes. *Mycologia*, 78 : 728-734. In: Nouaim, R. & Chaussod, R. 1996. Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux en zones arides. *Cahiers Options Méditerranéennes*, V 20, Séminaire du Groupe de Travail CIHEAM sur l'Utilisation des Mycorhizes pour la lutte contre la Désertification dans le Bassin méditerranéen (MYCOLUDESME), Zaragoza (Espagne).

## T

- Tefera, S.; Snyman, H.A. & Smit, G.N. 2007. Rangeland dynamics in southern Ethiopia: (1) Botanical composition and soil characteristics in relation to land-use and distance from water in semi-arid Borana rangelands. *Journal of Environmental Management*, 85: 429-442.

-**Tegegne, F.; Kijora, C. & Peters, K. J. 2007.** Study of the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) supplementation to sheep and its contribution as source as water .Small Ruminant Research, 72: 157-164.

-**Titus, J.H.; Nowak, R.S & Smith , S.D. 2002.** Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. Journal of arid environments, 52: 269-292

-**Tokeshi, D. 1999.** Species coexistence: Ecological and Evolutionary Perspectives. Blackwell Science, New York, 450- In : **Sanon, A. 2005.** Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la coexistence entre espèces végétales. D.E.A. Institut National des Sciences du Sol. Université Henry Poincaré. NancyI. France. 27 p.

-**Tracol, Y.; Gutiérrez, J.R. & Squeo, F.A. 2011.** Plant Area Index and microclimate underneath shrub species from a Chilean semiarid community. Journal of Arid Environments, 75:1-6.

-**Trouvelot, A.; Kouche, J. & Gianinazzi-Pearson, V. 1986.** Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire : Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In : Les mycorhizes : Physiologie et Génétiques. Actes du 1<sup>er</sup> Séminaire Européen sur les mycorhizes. 1986. Dijon, INRA, Paris: 217-221.

-**Tucker et al. 1991.** In : **Wezel, A. & Rath, T. 2002.** Resource conservation strategies in agroecosystems of semi-arid West Africa. Journal of Arid Environments, 51: 383-400.

## U

-**Uhlmann, E.; Gorke, C.; Petersen, A. & Oberwinkler, F. 2006.** Arbuscular mycorrhizae from arid parts of Namibia. Journal of Arid Environments, 64: 221-237.

-**Urioste, A.M.; Hevia, G.G.; Hepper, E.N.; Anton, L.E.; Bono, A.A. & Buschiazzo D.E. 2006.** Cultivation effects of the distribution of organic carbon, total nitrogen and phosphorus in soils of the semiarid region of Argentinian Pampas. Geoderma, 136: 621-630.

## W

-**Wezel, A.; Rajot, J.L. & Herbrig, C. 2000.** Influence of shrubs on soil characteristics and their functions in Sahelian agroecosystems in semi arid Niger. Journal of Arid Environments, 44: 383- 398.

-**Wornall, L. 2000.** La desertification en Afrique . <http://www.ccds.charotte.nc.us/History/Africa/03/Wornall/Wornallhtml/>

-**Wu, G.L.; Li, W.; Zhao, L.P. & Shi, Z.H. 2011.** Artificial management improves soil moisture, C, N and P in an alpine sandy meadow of western China. Pedosphere, 21(3): 407-412.

## Y

-**Yang, H. ; Lu, Q. ; Wu, B. ; Yang, H. ; Zhang, J. & Lin, Y. 2006.**Vegetation diversity and its application in sandy desert revegetation on Tibetan Plateau. Journal of Arid Environment, 65: 619-631.

-Yang, L.; Liu, N.; Ren, H. & Wang, J. 2009. Facilitation by two exotic *Acacia*: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *Forest Ecology and Management*, 257: 1786- 1793.

-Yang, Z.P.; Zhang, Q.; Wang, Y. L. ; Zhang, J.J. & Chen, M.C. 2011. Spatial and temporal variability of soil properties under *Caragana microphylla* shrubs in the northwestern Shanxi Loess Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 75: 538-544.

## Z

-Zhang, J.; Zhao, H.; Zhang, T.; Zhao, X. & Drake, S. 2005. Community succession along a chronosequence of vegetation restoration on sand dunes in Horqin Sandy land. *Journal of Arid Environments*, 62: 555-566.

-Zhou, R.L.; Li, Y.Q.; Zhao, H. L. & Drake, S. 2008. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin , northern China. *Geoderma*, 145: 370-375.

-Zhao, H.L.; Zhou, R.L.; Zhang, T.H. & Zhao, X.Y. 2006. Effects of desertification on soil and crop growth properties in Horqin sandy cropland of Inner Mongolia, North China. *Soil and Tillage Research*, 87:175-185.

-Zhao, H.L.; Zhou, R.L.; Su, Y.Z.; Zhang, H.; Zhao, L.Y. & Drake, S. 2007. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. *Ecological Engineering*, 31: 1-8.

-Zhao, D. & Zhao, Z. 2007. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China. *Applied Soil Ecology*, 37 : 118-128.

## *Annexes*

## Annexe1 : Fiche technique et données climatiques

### 1-Annexe1.1. Exemple de fiche technique utilisée lors de l'enquête

Exemple : Station de Souk- Ahras

Localisation	Coordonnées Lambert
Wilaya :	Longitude :
Daira :	Latitude :
Commune :	Altitude :

Unité expérimentale n°1 :

Numéro ou nom de la parcelle	Date de prélèvement	Age de la parcelle	Surface plantée (ha)	Exposition	Pente(%)

#### 1- Le cultivar

Profil variétal	Date de plantation	Date de floraison	Date de fructification	Récolte	Niveau de la récolte, fréquence, âge.
Inerme					
Epineux					

#### 2-Intérêt

Pourquoi cet intérêt pour le figuier ?	Fourrage Protection (clôture) Générateur de revenus
--	---

#### 3-Choix des parcelles

Quels sont les morceaux de terre que vous choisissez pour planter le figuier ?	-Incultes ? -Marginalisées ou -Infertiles ?
--	---

#### 4-Techniques de propagation

Densité	Espacement interligne	Nombre de bouture
Fixe	Fixe	Fixe
Variable	Variable	Variable

### 5-Techniques culturales

Surface plantée	Préparation du terrain	Irrigation	fumier	Autres soins
Fixe	Oui	Oui	Oui :	Désherbage
Variable	Non	Quand ? Combien ? Non	Avant plantation : Après plantation : Non	Binage Labours Produits phytosanitaires

### 6-Techniques d'exploitation

Partie exploitée de l'arbuste	Usage de la raquette	Usage du fruit
Fruit :	Familial :	Commercialisé :
Raquette :	Fourrage :	Consommation familiale :
Les deux(02) à la fois :	Les deux (02) à la fois :	

### 7--Si usage fourrager

Catégorie	Nombre de raquettes /j	Quand	Comment
Ovins		Matin :	Séché :
Bovins		Soir	Haché ?
Caprins			

### 8-Autres observations

Végétation au niveau de l'interligne	Présence	Absence

## 2-Annexe 1.2 : Données climatiques des différentes stations d'étude

### A-Station Ouenza

#### a- Température

Mois \ Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
89-90	22.5	15.4	12.7	12.3	8.3	12.5	10.5	10.5	19.1	23.3	23.9	/
90-91	24.3	19.2	11.6	6.2	6.3	6.5	10.5	10.6	13.1	19.9	25.1	26.1
91-92	23.5	18.13	12.1	6.5	6.1	7.7	10.1	11.7	10.4	19.5	22.7	24.9
92-93	23	18.4	13.6	7.9	6.4	5.1	11	14	19	23	24.7	26.5
93-94	23.5	19.0	12.3	8.9	8.5	8.3	12	10.3	18.5	21	24.4	27.2
94-95	22.4	16.4	13.2	9.1	6.2	10.6	9.2	12.1	17.4	21.6	25.1	24.3
95-96	20.1	16.7	8.4	10	11	7.1	12.5	15.4	18.9	21.5	26.8	27.2
96-97	22	17.7	16.1	14.1	10.6	10.1	11	12.6	19.7	23.1	22.1	26.35
97-98	22.80	19	13.4	11.9	10.4	14.5	13.8	16	18.60	25.90	26.60	26.65
98-99	25.25	24.7	15.65	11.2	10.6	6.7	9.6	13.6	22	26	25.5	31
99-00	25.8	22.6	14.2	13.1	10.6	11.2	14.1	12.3	19.9	21.9	27.2	29.3
00-01	20.8	15.19	/	10.8	8.9	8.7	14.9	12.4	16.2	21.5	27.1	25
01-02	22.1	20.6	11	9	9.8	12.4	13.1	16.2	17.9	21.9	27.2	23.3
02-03	19.8	13.6	9.9	8.1	9.2	10.1	13.4	17.9	18.9	24.2	27.8	26.8
03-04	19.1	16	10.8	/	7.3	8.6	9.9	11.4	15.9	22	28.1	29.9
04-05	25	23.4	14	10.4	4.9	4.7	10.5	13.6	17.5	20.5	24.9	23.7
05-06	20	16.7	11.7	7.1	6.3	8.9	11.4	16.5	21.4	23	/	23.5
06-07	20.8	19.6	/	8.2	9.7	/	8.7	13.2	/	23.5	26	28.6
07-08	/	/	/	9.3	9.2	7.5	9.4	12.8	18.9			

#### b- Précipitations (mm)

Mois \ Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
87-88	7.5	20.5	17.9	1.7	14.5	3.9	11.3	34	78.9	34.2	14.1	10.6
88-89	8.3	17.5	22.7	38.7	6.5	19.2	3.7	16	20.8	36	30.2	24.5
89-90	30.4	11.5	24.4	6	55.1	0	58	33.6	79.1	11.5	17.8	69.5
90-91	29.8	15.2	78.5	51	20.7	28.1	51.1	41.5	33.3	18.3	0	1.5
91-92	16.8	18.3	11	14.7	19.3	20.3	31.5	26.6	97.2	0	0	0
92-93	5.5	14.3	32.7	37	3.6	18.4	19.1	0.5	17	12	0	0.8
93-94	0	5.3	0	7.7	1.2	5.1	6	4.3	6.5	0	2	0
94-95	2.4	9.7	1.6	0	28	0	15.8	6.3	0	62.3	3	33.5
95-96	120.8	51	8.3	5.6	21.3	56.7	38	24	23.7	8.5	41	14.8
96-97	36.9	5.3	0.7	7.6	28.2	5.3	17.7	79.9	17.8	21.7	6.1	36
97-98	48.9	4.1	56.2	35.4	4.2	8.8	13.4	36.5	25.9	19.5	0	22.8
98-99	56.5	16.1	71.2	0	51.5	6.2	26.2	5.5	23	22.7	24.6	1
99-00	90.7	5	24.2	13.2	2	8.5	4.5	8.7	146.4	56	0	17
00-01	12.7	19	0.6	5.3	37.2	17.9	6.4	15.7	39	0	0	0
01-02	64.6	19	11.4	0	2.1	5.3	0	15	20.6	21.7	18.9	18.8
02-03	4	6.4	46.3	19.1	88.6	15.5	15.8	30.8	19.9	7.5	5.4	3.2
03-04	13.8	55.4	1.7	81	5.2	3.7	35.8	18.6	75.9	64.1	2.9	49
04-05	12.5	17.5	80.8	73.6	17.4	40.9	12.8	18.5	0	6.5	2.6	3
05-06	20.6	14	4.8	2.3	39.5	3	0	12.4	91.9	1.5	3	2.6
06-07	0	45.3	1.7	17.9	4.3	6	18.1	40.9	5.2	15	1.5	6.4
07-08	16.9	7.7	3.6	14.7	0	1.4	9.5	5.6	45.8	9.2	0	10.2
08-09	30.3	19.0	12.8	15.4	58	2	27.6	129.2	24.4	0	23	6.4
09-10	43.4	12.1	0	3.8	38.2	13.1	24.7	78	56.2			

## B-Station Anba (1972-2011)

### a-Températures

Mois Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1972	5.55	7.87	10.23	9.82	13.98	21.81	24.17	23.30	19.82	14.08	10.69	5.72
1973	5.59	5.44	5.80	10.51	19.89	23.11	26.85	23.59	21.73	17.08	9.27	6.27
1974	6.22	6.43	9.77	10.78	18.57	23.45	24.17	24.13	20.75	13.32	9.09	5.88
1975	5.89	5.98	8.26	11.92	16.31	21.32	25.40	23.20	22.65	21.50	9.16	4.93
1976	5.19	6.61	7.35	11.75	15.95	20.042	24.25	23.79	19.78	15.20	7.78	8.04
1977	6.62	8.25	14.62	18.10	17.47	21.83	27.82	24.56	19.77	16.59	10.95	7.92
1978	5.07	9.82	9.22	12.73	17.03	23.07	25.42	24.41	20.43	12.55	7.89	9.60
1979	9.76	9.98	10.53	10.14	16.64	22.01	26.09	25.14	18.75	17.55	8.38	7.39
1980	5.76	7.30	9.04	10.29	14.90	22.69	25.07	25.67	21.24	14.17	11.01	4.53
1981	3.98	6.21	12.41	15.22	19.04	23.46	23.77	24.08	20.72	17.28	9.17	9.39
1982	9.70	7.45	9.23	11.96	17.02	24.22	27.97	25.93	21.53	15.89	8.09	10.63
1983	4.88	6.49	9.30	15.29	18.94	22.45	27.10	25.98	21.53	15.02	12.17	7.20
1984	6.36	5.98	8.50	12.96	16.91	23.07	25.83	25.08	20.58	14.42	11.99	6.34
1985	5.38	10.82	8.29	14.18	16.91	25.05	27.65	25.58	20.38	15.66	12.98	8.03
1986	6.26	8.11	9.40	13.68	19.86	22.03	24.94	26.79	21.02	16.56	10.17	6.34
1987	6.33	7.71	8.80	14.27	16.68	24.29	26.67	27.86	23.58	19.32	10.71	10.45
1988	8.15	7.42	9.93	14.76	20.54	22.48	28	26.71	20.57	18.17	11.58	5.75
1989	5.42	7.20	11.52	13.76	18.16	20.92	25.59	26.11	22.15	15.53	13.26	10.67
1990	6.74	10.44	10.43	12.69	17.20	25.13	24.85	22.28	24.10	19.94	11.45	8.23
1991	5.49	6.78	11.61	10.36	14.21	21.89	26.24	25.63	21.76	16.69	10.63	5.46
1992	4.68	6.69	9.35	11.81	16.31	20.93	23.92	25.74	21.87	18.01	12.13	7.83
1993	5.24	5.56	8.72	13.85	19.15	24.78	26.77	27	22.26	19.11	11.11	7.66
1994	7.48	8.91	11.93	11.75	21.89	24.19	26.98	28.63	23.58	16.65	13.15	8.10
1995	5.75	10.26	9.15	12.73	20.04	22.81	27.11	24.55	21.13	16.25	11.33	9.86
1996	9.02	6.31	10.07	12.43	18.12	20.45	25.89	26.61	20.32	15.02	12.35	10.23
1997	8.73	9.28	9.25	12.22	20.40	26.55	27.51	25.18	20.44	16.97	11.83	8.53
1998	7.11	8.23	9.79	15.50	17.67	24.58	27.85	25.69	23.18	15.01	10.22	6.33
1999	7.08	5.81	10.20	14.64	22.05	25.75	26.17	28.96	23.60	19.20	11.15	7.08
2000	4.07	7.75	11.72	16.03	21.02	22.43	27.48	26.81	22.14	15.85	12.79	9.36
2001	7.98	7.51	15.63	13.97	19.59	25.02	28.43	27.1	22.12	21.08	11.79	6.75
2002	6.32	9.03	12.47	15.01	19.41	25.09	26.55	24.86	21.20	17.83	12.19	8.78
2003	6.89	6.10	10	14.18	18.89	25.2	29.22	27.41	21.51	19.64	12.33	7.07
2004	6.90	9.62	11.24	12.82	20.98	22.34	26.18	27.08	20.84	20.58	10.27	8.13
2005	4.54	4.91	11.24	14.24	21.25	23.7	28.50	25.89	21.62	17.81	12.17	6.54
2006	5	7.22	11.87	16.6	21.3	24.8	26.6	25.8	21.4	19	12.1	7.99
2007	8.35	9.22	9.67	13.51	18.5	25.33	26.55	26.67	22.02	17.62	10.55	6.95
2008	7	8.3	10.91	15.58	19.31	23.41	28.7	27.3	22.2	16.9	10.12	6.30
2009	7.1	6.4	9.7	11.51	18	24.23	28.7	26.8	21	15.7	12.4	10.7
2010	8.3	10.1	13.1	16.3	17.4	23.9	27.0	27.2	21.9	16.8	12.1	7.06
2011	7.6	6.4	9.4	14.8	17.4	22.4	27.5					

**b-Précipitations (mm)**

Mois Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1972	71.9	25.10	34.90	187.60	26.4	47.70	11.10	8.40	36.40	66	11.2	34.90
1973	44.02	42.70	68.23	31.30	44.70	65.50	5.30	36.40	16.30	12.90	6.00	94.40
1974	13.10	28.30	29.20	50.21	10.40	24.80	4.50	12.10	27.10	37.90	18.50	14.20
1975	23.40	67.80	33.60	21.60	66.60	/	25.40	23.70	26.01	11	47.30	6.20
1976	22.40	38.20	56.30	21.60	35.80	59	27.30	39.30	26.10	23.10	134.50	10.30
1977	14.70	6.60	45.10	40.40	38.20	9.10	15	19.4	11.2	3.3	46.70	3.90
1978	3.90	54.70	102.50	23	23	3.90	/	50.10	5.40	26	20.40	3.60
1979	1.72	44.60	40.30	89.40	22.70	27.70	/	11.70	116.10	18.50	21.30	1.70
1980	33.70	29.80	76.80	28.10	41	4.30	0.20	3.40	65.80	2.50	24.10	47.50
1981	13.40	17.60	24.10	11.70	35.80	72.40	3.60	4.10	37.3	23	1.90	15.3
1982	21.80	45.6	12.4	56.2	83.2	8.5	3.7	15.5	11.1	58.5	24.7	50.3
1983	5.6	7.5	18.1	5.7	30.4	42.7	0.7	41.5	3.9	31.7	17.9	12.2
1984	18.9	92.40	24	21.70	4.30	6.80	0.20	15.40	27.20	26.20	19.10	51
1985	25.70	13	54.50	26.40	65.20	27.20	2.40	6	50.80	23.10	3.50	13.5
1986	31.10	14.10	83.10	2.50	35.80	15.20	51	13.10	24.40	28.70	44.70	20.70
1987	10.20	27.40	62.60	13.20	25.10	4.20	33.70	5	15.5	18.70	33.80	9.20
1988	23.70	4.20	35.80	31.60	55.60	62.10	8.30	6.50	21.10	20.60	35.10	35.40
1989	18.30	17.40	14	16.30	8.40	57.30	8.70	99.30	44.60	6.80	10.80	8.70
1990	89	0.20	34.80	43.10	66.90	17.10	10	136.60	53.30	22.40	97.50	64.90
1991	30.30	12.80	54	43	67.80	14.40	6.40	65.60	76.40	34.40	44.30	14.20
1992	34	29.90	24.30	43.60	82	23.20	13.40	4.50	58.40	28.40	61.60	48.40
1993	9.30	27.90	21.40	2.60	31.10	12.80	20.10	1.80	22.70	3.80	16.80	28.70
1994	14.17	23.90	19.40	23.30	41	2.40	4.50	11	7.20	66.80	0.60	6.80
1995	24.70	3	32.20	22.10	12.50	37.90	1.70	44.10	138	39.70	16.20	18.20
1996	24.90	72.90	56.30	49.80	30.20	38.90	13.20	30	12.40	4.10	1.20	15
1997	31.60	7.10	18.90	46.80	16.10	10.30	20.20	23.70	64	72.50	45.20	21.50
1998	22.30	10.20	28.70	29.20	16.70	31	/	15.10	55.56	36.20	55.10	14.50
1999	56.40	11.70	45.60	15.40	30.90	16.90	18.90	33.70	22.10	81.50	64.60	34.50
2000	3.70	4.10	10	14.70	86.50	6.20	21.60	18.80	51	16.20	17	13.70
2001	27.10	15.80	15.10	2.70	49.30	2.40	7.60	1.40	55	10.70	23.30	7.10
2002	17.00	11.80	5.20	29	40.60	13.30	56	84.70	36.50	38	76.40	30.30
2003	100.4	38.9	18	97.80	29.20	9.50	2.80	12.10	81.90	45.50	17.50	237.7
2004	20.60	3.20	72.60	14.50	39.40	91.6	16.4	44	19.10	15.40	117	66.9
2005	29.2	33.9	24	20.4	1.2	31.5	1.4	46.6	33.3	94.1	31.6	77.3
2006	34.9	14.4	5.5	43.6	37.6	26.9	8.40	26	6.4	11.7	3.7	63.2
2007	5.2	11	61	59.1	37.8	38.8	30.10	54.40	49.70	15.40	9.30	28.70
2008	6.10	7	36.4	28	12.9	12.9	4.3	18.7	84.5	52	11.8	47.10
2009	76.9	11.6	26.7	111.9	65.9	0	23	12.7	96.7	2	2	7.0
2010	38.7	3.1	13.1	79.3	35	25.9	20.2	2.4	77	17	55.1	5.5
2011	26.5	66.7	60.6	43.4	47.2	28.4	54.2					

**C-Station M'zara (1990-2005)**

**a- Température (°C)**

Mois Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
1990-1991	18.9	17.4	12.1	6.3	4.6	7.0	8.6	13.3	15.7	21.1	22.5	22.7	14.18
1991-1992	19.0	17.4	12.1	6.3	4.6	7.0	8.6	13.3	15.7	21.1	22.5	22.7	14.19
1992-1993	19.8	14.5	11.2	8.1	10.5	7.8	7.5	12.3	17.2	24.9	24.7	23.5	15.16
1993-1994	16.4	16.3	9.7	6.7	6.6	7.6	9.7	8.9	18.1	18.42	23.6	24.6	13.88
1994-1995	19.9	13.2	9.97	8.0	4.5	10.2	7.9	11.2	18.6	27.5	26.1	25.4	15.5
1995-1996	20.9	14.6	8.6	7.0	5.7	1.4	8.5	10.3	16.5	18.9	22.7	24.6	13.3
1996-1997	18.4	13.8	8.9	7.1	6.2	6.5	8	9.9	17.3	25	24.7	23.0	13.98
1997-1998	18.6	14.0	11.7	9.5	7.8	9.5	11.7	/	19	24.7	28.1	27.2	15.15
1998-1999	24.4	17.1	11.8	7.5	8.2	7.3	10	13.5	20.1	24.5	23.9	26.5	16.23
1999-2000	20.9	17.2	8.5	5.4	4.5	7.1	9.8	15.9	19.3	19	24.4	22.3	14.52
2000-2001	19.3	12.7	6.8	7.4	5.8	6.1	12.9	12.2	17.5	21.91	25.3	24.2	14.34
2001-2002	/	18.4	11.3	6.4	2.5	5.5	0.2	10.4	/	24.2	27.8	23.6	10.85
2002-2003	19.4	13.7	8	6.4	5.4	3.6	9	10.8	17.6	21.8	24.9	22.9	11.71
2003-2004	19.2	15	/	/	7.5	9	10.3	13.0	15.2	20.7	23.5	25.2	13.21
2004-2005	19.6	18.3	8.6	5.9	3	4.7	11.2	13.0	18.6	20.6	26.1	23.2	14.73

**b Précipitations (mm)**

Mois Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1986-1987	0	14,4	0	0	0	2	0	17	0	33,5	0	13.9
1987-1988	2.6	0	4.5	8	0	0	4.3	0	0	30.3	22	16.5
1988-1989	4.5	0	23.9	0	194.6	0	26.4	41.2	2	11.2	3.1	6.6
1989-1990	27.2	31.5	18.5	46.2	8.1	8.8	58	11.7	29	28.6	0	0
1990-1991	3.4	15.4	14.3	17	26.5	1.3	9	39.6	47.1	2.4	9.3	2.4
1991-1992	28.3	24	2.7	15.2	0	21.9	0.7	0	21.1	0	2.7	0
1992-1993	5.5	2	14	0.3	4.5	0.4	17.4	10.8	6.8	3.4	2.6	4.6
1993-1994	0.6	49.9	0	3	0	18.5	13.3	5.2	11.6	52.9	20.3	10.5
1994-1995	55	10.1	10.5	18.9	19	28.5	30.1	13.2	3.1	27	5.4	22.2
1995-1996	33.3	4.8	0	14.2	0	1.1	6.3	23.9	6	0	23.2	28.1
1996-1997	59.8	13.4	25.7	7.1	8.3	5.9	8.9	23.2	5.2	16	0	12.1
1997-1998	32.8	17.1	9.5	0.8	37.5	0	9.9	3.5	15.2	3.7	29.5	9
1998-1999	45.4	30.6	16.8	26	0	0.6	13.6	10	39.7	7.9	0	7.5
1999-2000	5.9	12.3	0	4.7	4.5	0.1	0	9	0	0	1.2	0
2000-2001	34	5.3	0	0.2	0	0	7.4	27.3	4	4	1	20.9
2001-2002	17.5	10.3	27.5	15.4	12.9	7	23	17	7	7	2.5	0
2002-2003	31	39.2	3.5	0	0	28.3	10.5	9.9	43.5	43.5	1.5	25.3
2003-2004	25.7	8.5	54.4	28	1.9	2	5	11	0	25.1	10.4	6.3
2004-2005	20	12.2	13.9	10.5	2.5	13.5	0	45.7	39.5	11.7	6.5	34
2005-2006	42.1	24.7	6.6	17	0.5	12.7	29	45.4	18.5	0	0	0

**2007-2008 : données manquantes**

**2008-2009 : Mai – Décembre :179.6 mm**

**2009-2010 : janvier 2009/ Déce 2010 : 200mm**

Sidi Fradj :159.2 mm ; Anba 321.7 et M'zara :données manquantes (année 2008/2009)

## Annexe 2. Sol : Méthodes d'analyses, Résultats et Statistiques

### 2.1. Les méthodes d'analyse du sol

#### 1- pH

La mesure du pH de la solution du sol est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un pHmètre de type pH720/WTW/Inolab.

#### **Référentiel pédologique (Baize & Jabiol, 1995)**

pH	Classe
<3.3	Hyperacide
3.5-4.2	Très acide
4.2-5	Acide
5 -6.5	Faiblement acide
6.5-7.5	Neutre
7.5-8.7	Basique
>8.7	Très basique

#### 2-Conductivité

La mesure de la teneur en sels dans le sol (la salinité globale) est effectuée sur l'extrait au 1/5 avec un conductimètre de type wtw/LF 330.

#### **Classification selon (Mathieux & Pieltain, 2003)**

Conductivité (mmhos/cm)	0.6	1	2	3	4
CE(1/5)	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé

#### 3- Dosage du calcaire total (Dermech *et al.*, 1982)

Ce dosage est basé sur la réaction acide-base avec l'HCl dilué au 1/3. Le volume du CO<sub>2</sub> dégagé permet de déterminer la quantité de CaCO<sub>3</sub>.

$$\% \text{ de Ca CO}_3 = \text{Poids du CO}_2 \text{ dégagé} \times 2,274 \times 100 / \text{pds du sol}$$

#### **Classification selon Baize & Jabiol (1995)**

Teneur en Ca CO <sub>3</sub>	%calcaire	Classification
Traces	<2	Hypocalcaire (moins de 15%)
Faible	2-10	
Moyenne	10-25	Hypercalcaire (plus de 40% de calcaire total et plus de 15% de calcaire actif)
Forte	25-55	
Très forte	>55	

#### **4- Dosage du calcaire actif (Mathieu & Pieltain, 2003)**

Il est réservé aux échantillons contenant plus de 5% de calcaire total. Il s'agit de doser la fraction chimiquement active du calcaire du sol. On pratique une réaction modérée qui n'intéresse que les particules calcaires fines.

##### **a-Principe :**

Ce dosage repose sur le titrage par oxydo-réduction qui utilise le permanganate de potassium et l'oxalate d'ammonium. On met en contact la terre avec un excès d'une solution d'oxalate de calcium ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ). Après filtration, on dose par retour l'oxalate qui reste, avec une solution de permanganate en milieu acide .

Pendant ce titrage, le  $\text{KMnO}_4$  ajouté se décolore en oxydant l'oxalate. Une persistance de la coloration violette du  $\text{KMnO}_4$  indique qu'il n'y a plus d'oxalate à oxyder et qu'on est arrivé au point d'équivalence.

##### **b- Mode opératoire :**

- introduire 2 g de terre fine dans une erlen de 250 ml.
- ajouter exactement 100ml de la solution d'oxalate 0.2N
- agiter pendant 2 heures à l'aide d'un agitateur avec une vitesse de 1 tour/seconde
- filtrer la solution dans une erlen de 250 ml
- prendre 10 ml du filtrat, ajouter 50 ml d'eau distillée, puis 5 ml d'acide sulfurique concentré.
- faire chauffer à 70°C
- titrer avec une solution de permanganate jusqu'à une couleur rose persistante(V)
- témoin sans sol (V')

$$\% \text{ de calcaire actif} = (V' - V) \times 0.2N \times 100/10 \times 50/1000 \times 100/2$$

#### **6- Dosage du carbone (Anne, 1945 in Bonneau & Souchier, 1996)**

##### **a- Principe :**

On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate de potassium en excès (en milieu acide). L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sels de Mohr (le sulfate ferreux). Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré, la diphenylamine qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit.

##### **b- Mode opératoire :**

- introduire 1 g de sol tamisé dans une erlen, y ajouter 10 ml de bichromate de potassium (8%) et 13 ml d'acide sulfurique.
- porter à ébullition pendant 5'. Laisser refroidir
- transvaser dans un ballon et ajouter à 100 ml les eaux de rinçage de l'erlen.
- prélever 20 ml et diluer à 100 ml avec l'eau distillée.
- ajouter 1 g de NaF et 3 à 4 gouttes de diphenylamine.
- titrer le sol avec le sel de Mohr à 0.2 N. la solution de couleur brun-noirâtre virera au vert (X ml de sel de Mohr).
- témoin (Y) : suivre les mêmes étapes sans le sol

$$\text{Carbone (\%)} = (Y-X) \times 0.615 \times (100/20) \times (100/p) \times 1/1000$$

Y= quantité de sels de Mohr ajouté

P= poids du sol(g)

$$\text{Matière organique (\%)} = \% \text{ de Cx } 1.72$$

#### Classification

Taux e matière organique(%)	Terre
<1	Très pauvre
1-2	Pauvre
2-4	Moyenne
>4	Riche

### 7- Dosage de l'azote (Kheldjal in Bonneau & Souchier, 1996 )

#### a-Principe :

On réalise l'oxydation d'un échantillon de terre par l'acide sulfurique porté à ébullition. L'acide sulfurique décompose la matière organique et transforme l'azote organique en sulfate d'ammonium ; l'hydrogène en eau et le carbone en CO<sub>2</sub>. On déplace ensuite l'ammoniac par addition de soude. Le mélange sulfate d'ammonium-soude est distillé. L'ammoniac est recueilli dans un excès d'acide titré.

#### b- Mode opératoire :

- introduire 5 g de terre dans un matras de 750ml
- ajouter 20 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré,
- ajouter 5 g de SO<sub>4</sub>K<sub>2</sub> et 5 g de CuSO<sub>4</sub>
- faire une attaque sous hôte, d'abord doucement, puis faire bouillir.
- poursuivre l'attaque pendant 1 heure après une décoloration légèrement verdâtre,
- refroidir, ajouter ensuite avec précaution de l'eau distillée dans le matras, laisser refroidir à nouveau et filtrer.
- recueillir le filtrat dans une fiole jaugée de 100 ml et ajouter les eaux de rinçage.
- introduire 10 ml (1/10) dans le microkeldjahl, ajouter 5ml de NaOH (60%) jusqu'à la formation d'un précipité de Cu (OH)<sub>2</sub>.
- distiller par entrainement à la vapeur et doser à l'aide de l'acide sulfurique (N/10) en présence du rouge de méthyl.
- faire un témoin dans les mêmes conditions

$$\% N = 14N (V' - V) / \text{prise d'essai} \times 100$$

### 8- Dosage du phosphore total ( Anonyme, Sd in Gharoucha, 1995)

#### a- Principe

Le phosphore total est extrait dans une solution de perchlorite à 60% ou 72%.

#### b- Mode opératoire

- prendre 2 g de sol broyé et tamisé,
- ajouter 4 ml d'acide perchlorique (HClO<sub>4</sub>) à 72% ou 6 ml si sa concentration est 60% .
- bien fermer l'eren et faire chauffer jusqu'à l'obtention d'une couleur blanchâtre.
- ajouter 30 ml d'eau distillée, filtrer.

- rincer l'eren et compléter jusqu'à 100 ml
- prendre 2 ml du filtrat dans une fiole de 100 ml, ajouter 4 ml de molybdate d'ammonium, puis 99,5 ml eau distillée puis 10 gouttes de SnCl<sub>2</sub> (chlorure d'étain).
- lire au spectrophotomètre à 660 nm.

**Témoin** : suivre les mêmes étapes sans sol.

La gamme d'étalonnage est réalisée par le phosphate de potassium .

La droite de régression :  $Y = 0,0805 + 0.0318X$  avec  $R^2 = 0.97$

## 9- Dosage du phosphore assimilable (Olsen, 1954)

### a- Principe

Le phosphore est extrait du sol avec une solution de NaHCO<sub>3</sub> à 0.5 M. Pendant l'extraction le pH de la solution d'extraction doit être constant (8,5).

### b- Réactifs

- Bicarbonate de sodium (Na HCO<sub>3</sub>), (0.5 M)
- Charbon actif
- Molybdate d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub> Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>, 4 H<sub>2</sub>O
- Solution concentrée de chlorure d'étain, Sn Cl<sub>2</sub>, 2H<sub>2</sub>O
- Solution diluée de chlorure d'étain
- Solution de phosphore standard

### c- Mode opératoire :

- mettre dans un erlenmeyer de 250 ml, 5 g de terre fine, une cuillère de charbon actif (pour bien filtrer) et 100 ml de la solution d'extraction (NaHCO<sub>3</sub> à 0.5M).
- agiter exactement 30 mn avec un agitateur mécanique (5 tours /mn).
- filtrer, refiltrer sur le même filtre si la solution n'est pas claire. Agiter l'erenmeyer avant de verser toute la solution.
- pipetter 5 ml du filtrat dans une fiole de 25 ml
- ajouter 5 ml de la solution de molybdate d'ammonium. Agiter, lorsque tout le dégagement du CO sera terminé, laver le col de la fiole avec de l'eau distillée pour éviter le contact de la solution de Sn Cl<sub>2</sub> avec la solution concentrée de molybdate d'ammonium
- diluer le contenu avec de l'eau distillée à 22 ml environ
- ajouter 1 ml de la solution diluée de SnCl<sub>2</sub>, remplir avec de l'eau distillée à 25 ml et agiter tout de suite
- comparer la couleur des échantillons de terre avec la gamme étalon ou mesurer l'extinction de la solution avec un colorimètre dix minutes après avoir ajouté la solution du SnCl<sub>2</sub>. La longueur d'onde est 660 nm.

### Classification (Olsen, 1954)

Teneur (ppm)	Classe
<10	Terre pauvre
10- 20	Terre moyenne
>20	Riche

## Annexe 2.2. Résultats des analyses

### A-Station de Sidi Fradj

#### 1- pH

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	8.17	8.07	8.13
R2	8.12	8.10	8.13
R3	8.09	8.16	8.38
R4	8.30	8.17	8.18
R5	8.22	8.11	8.11
R6	8.08	8.14	8.19
Moyenne $\pm\sigma$	<b>8.16<math>\pm</math>0.08</b>	<b>8.12<math>\pm</math>0.03</b>	<b>8.18<math>\pm</math>0.09</b>

#### 2- CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	762	773	770
R2	758	770	777
R3	752	808	758
R4	811	807	801
R5	824	821	896
R6	886	837	780
Moyenne $\pm\sigma$	<b>798.83<math>\pm</math>52.14</b>	<b>802.66<math>\pm</math>26.49</b>	<b>797<math>\pm</math>50.50</b>

#### 3- Calcaire total (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	5.45	13.46	15.46
R2	13.64	14.78	14.32
R3	14.32	14.09	14.32
R4	18.41	20.01	19.55
R5	18.87	20.23	20.46
R6	16.37	24.33	20.23
Moyenne $\pm\sigma$	<b>14.51<math>\pm</math>4.91</b>	<b>17.81<math>\pm</math>4.36</b>	<b>17.39<math>\pm</math>2.99</b>

#### 4- Calcaire actif (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	1.15	7.40	8.15
R2	7.65	8.65	7.15
R3	7.90	7.90	6.15
R4	5.65	9.15	9.65
R5	6.65	9.65	9.15
R6	4.15	14.15	12.65
Moyenne $\pm\sigma$	<b>5.52<math>\pm</math>2.54</b>	<b>9.48<math>\pm</math>2.42</b>	<b>8.81<math>\pm</math>2.27</b>

5- Taux d'humidité (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.7	2.93	1.1
R2	1.2	2.19	1.8
R3	2.9	2.2	0.9
R4	1.2	1.5	1.4
R5	1.8	2.9	1.4
R6	2.7	2.7	1.3
Moyenne±σ	<b>1.75±0.88</b>	<b>2.40±0.55</b>	<b>1.31±0.30</b>

6- Carbone (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.56	2.58	0.56
R2	1.58	1.94	0.61
R3	0.46	2.32	1.63
R4	0.82	1.04	1.41
R5	2.97	0.64	0.73
R6	0.73	1.90	0.52
Moyenne±σ	<b>1.18±0.95</b>	<b>1.73±0.74</b>	<b>0.91±0.48</b>

7- Azote (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.071	0.211	0.071
R2	0.127	0.197	0.050
R3	0.085	0.134	0.106
R4	0.106	0.148	0.162
R5	0.190	0.211	0.120
R6	0.043	0.204	0.078
Moyenne±σ	<b>0.103±0.05</b>	<b>0.184±0.03</b>	<b>0.09±0.04</b>

8- MO (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.96	4.43	0.96
R2	2.71	3.33	1.04
R3	0.79	3.99	2.80
R4	1.41	1.78	2.42
R5	5.10	1.10	1.25
R6	1.25	3.26	0.89
Moyenne±σ	<b>2.03±1.64</b>	<b>2.98±1.28</b>	<b>1.56±0.83</b>

9- C/N

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	7.88	12.22	7.88
R2	12.44	9.84	12.2
R3	5.41	17.31	15.37
R4	7.73	7.02	8.70
R5	15.63	3.03	6.08
R6	16.97	9.31	6.66
Moyenne±σ	<b>11.01±4.70</b>	<b>9.78±4.81</b>	<b>9.48±3.59</b>

10- Phosphore total (ppm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	85.68	82.15	68
R2	71.14	46.77	94.73
R3	100.23	95.51	81.36
R4	93.16	39.70	55.42
R5	135.61	215.01	56.21
R6	59.35	95.51	51.49
Moyenne $\pm\sigma$	<b>90.86<math>\pm</math>26.47</b>	<b>95.77<math>\pm</math>63.16</b>	<b>67.86<math>\pm</math>17.10</b>

11- Phosphore assimilable (ppm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.84	4.04	0.45
R2	1.80	0.62	6.61
R3	3.51	3.51	3.07
R4	2.00	3.00	3.08
R5	5.19	7.79	2.68
R6	5.81	4.79	2.56
Moyenne $\pm\sigma$	<b>3.19<math>\pm</math>1.99</b>	<b>3.95<math>\pm</math>2.35</b>	<b>3.07<math>\pm</math>1.99</b>

**B- Station Anba**

1- pH

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	8.04	7.96	8.10
R2	8.045	8.11	8.07
R3	8.05	8.07	8.06
R4	8.02	8.19	8.06
R5	8.06	8.17	8.08
R6	8.06	7.84	8.05
Moyenne $\pm\sigma$	<b>8.04<math>\pm</math>0.01</b>	<b>8.05<math>\pm</math>0.13</b>	<b>8.07<math>\pm</math>0.01</b>

2- CE ( $\mu$ S/cm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	772	748	733
R2	755	752	754
R3	756	746	744
R4	783	783	757
R5	806	793	782
R6	776	795	806
Moyenne $\pm\sigma$	<b>774.66<math>\pm</math>18.94</b>	<b>769.5<math>\pm</math>23.26</b>	<b>762.66<math>\pm</math>26.78</b>

### 3- Calcaire total (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	17.05	15.69	18.41
R2	16.37	17.28	17.28
R3	16.37	15.46	16.82
R4	17.28	21.37	22.05
R5	15.69	21.60	22.28
R6	16.6	21.60	25.92
Moyenne±σ	<b>16.56±0.56</b>	<b>18.83±3.01</b>	<b>20.46±3.55</b>

### 4- Calcaire actif (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	8.15	9.15	11.65
R2	7.15	10.15	12.4
R3	8.65	10.40	13.65
R4	6.15	10.65	11.15
R5	5.15	12.15	12.15
R6	6.15	11.65	14.65
Moyenne±σ	<b>6.9±1.33</b>	<b>10.69±1.07</b>	<b>12.60±1.30</b>

### 5- Taux d'humidité (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	2.1	3.6	1.7
R2	2.5	3.5	1.9
R3	2.6	2.6	2.3
R4	2.5	2.3	1.2
R5	2	3.1	1.8
R6	2.8	2	2.1
Moyenne ± σ	<b>2.41±0.30</b>	<b>2.85±0.65</b>	<b>1.83±0.37</b>

### 6- Carbone (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	1.84	3.192	1.228
R2	1.903	2.855	1.504
R3	1.749	1.903	2.056
R4	1.53	3.10	1.65
R5	1.68	3.65	1.65
R6	2.24	2.67	0.58
Moyenne±σ	<b>1.82±0.24</b>	<b>2.89±0.59</b>	<b>1.44±0.50</b>

### 7- Azote (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.141	0.155	0.113
R2	0.099	0.134	0.085
R3	0.113	0.190	0.190
R4	0.169	0.09	0.085
R5	0.197	0.113	0.071
R6	0.140	0.169	0.211

Moyenne $\pm\sigma$	<b>0.143<math>\pm</math>0.03</b>	<b>0.141<math>\pm</math>0.03</b>	<b>0.125<math>\pm</math>0.05</b>
---------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

#### 8- MO (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	3.16	5.48	2.09
R2	3.26	4.90	2.58
R3	2.99	3.26	3.52
R4	2.63	5.33	2.83
R5	2.88	6.27	2.83
R6	3.85	4.59	0.99
Moyenne $\pm$ $\sigma$	<b>3.12<math>\pm</math>0.41</b>	<b>4.97<math>\pm</math>1.01</b>	<b>2.47<math>\pm</math>0.86</b>

#### 9- C/N

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	12.90	20.58	10.79
R2	19.19	21.26	17.64
R3	15.39	10	10.78
R4	9.05	31.31	19.41
R5	8.52	32.30	23.23
R6	16	15.79	2.74
Moyenne $\pm$ $\sigma$	<b>13.50<math>\pm</math>4.17</b>	<b>21.87<math>\pm</math>8.69</b>	<b>14.0<math>\pm</math>7.41</b>

#### 10- Phosphore assimilable (ppm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	1.26	1.46	0.86
R2	1.25	2.04	0.91
R3	1.43	0.83	0.99
R4	5.63	2.26	1.73
R5	3.93	1.95	1.4
R6	1.69	1.40	1.67
Moyenne $\pm$ $\sigma$	<b>2.53<math>\pm</math>1.82</b>	<b>1.65<math>\pm</math>0.52</b>	<b>1.26<math>\pm</math>0.39</b>

#### 11- Phosphore total (ppm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	185.14	64.85	115.17
R2	101.80	102.59	139.54
R3	98.66	119.88	123.03
R4	108.09	112.81	446.14
R5	125.39	134.82	125.39
R6	131.68	123.03	79
Moyenne $\pm$ $\sigma$	<b>125.12<math>\pm</math>32.18</b>	<b>109.66<math>\pm</math>24.42</b>	<b>171.37<math>\pm</math>136.12</b>

## C-Station M'zara

### 1- pH

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	8.12	8.1	8.11
R2	8.12	8.06	8.19
R3	8.2	8.09	8.03
R4	8.11	8.15	8.08
R5	8.18	8.08	8.08
R6	8.12	8.10	7.94
Moyenne $\pm\sigma$	<b>8.14±0.03</b>	<b>8.09±0.03</b>	<b>8.07±0.08</b>

### 2- CE

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	742	871	745
R2	754	754	737
R3	739	783	776
R4	785	813	788
R5	808	978	768
R6	777	758	708
Moyenne $\pm\sigma$	<b>767.5±27.13</b>	<b>826.16±85.97</b>	<b>753.66±29.39</b>

### 3- Calcaire total(%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	14.76	11.82	10
R2	12.5	12.5	16.6
R3	17.05	14.32	21.60
R4	5.68	13.64	11.59
R5	10.23	14.55	14.32
R6	12.05	17.05	17.73
Moyenne $\pm\sigma$	<b>12.04±3.90</b>	<b>13.98±1.83</b>	<b>15.30±4.24</b>

### 4- Calcaire actif (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	6.65	4.65	3.65
R2	5.15	6.15	7.65
R3	6.15	7.15	10.15
R4	0.15	7.15	5.15
R5	4.15	8.65	8.15
R6	6.65	6.4	8.65
Moyenne $\pm\sigma$	<b>4.81±2.48</b>	<b>6.69±1.32</b>	<b>7.23±2.39</b>

5- Taux d'humidité (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	1.3	0.8	0.7
R2	0.7	0.7	0.6
R3	0.4	0.4	1.0
R4	0.6	0.8	0.7
R5	0.9	0.7	0.5
R6	0.4	0.5	5.8
Moyenne $\pm\sigma$	<b>0.71±0.34</b>	<b>0.6±0.18</b>	<b>1.55±2.08</b>

6- Carbone (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.122	0.214	0.245
R2	0.583	0.184	0.675
R3	0.245	0.399	0.214
R4	0.36	0.30	0.24
R5	0.73	0.12	0.06
R6	0.06	0.06	0.21
Moyenne $\pm\sigma$	<b>0.34±0.26</b>	<b>0.21±0.12</b>	<b>0.27±0.20</b>

7- Azote (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.071	0.015	0.155
R2	0.05	0.183	0.13
R3	0.078	0.197	0.18
R4	0.071	0.071	0.169
R5	0.043	0.134	0.085
R6	0.085	0.176	0.034
Moyenne $\pm\sigma$	<b>0.066±0.01</b>	<b>0.12±0.07</b>	<b>0.12±0.05</b>

8- MO (%)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	0.20	0.36	0.42
R2	1.00	0.316	1.16
R3	0.42	0.68	0.36
R4	0.61	0.51	0.41
R5	1.25	0.20	0.10
R6	0.10	0.10	0.36
Moyenne $\pm\sigma$	<b>0.59±0.45</b>	<b>0.36±0.21</b>	<b>0.46±0.35</b>

## 9 - C/N

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	1.69	14.26	1.6
R2	11.60	1.00	5.15
R3	3.07	2.05	1.16
R4	5.07	4.22	1.5
R5	16.97	0.89	0.75
R6	0.70	0.34	6.17
Moyenne ±σ	<b>6.52±6.41</b>	<b>3.79±5.30</b>	<b>2.72±2.31</b>

## 10- Phosphore total (ppm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	68.78	61.71	53.85
R2	68.00	46.77	70.36
R3	142.68	34.19	45.99
R4	28.69	36.55	28.69
R5	84.51	33.41	25.55
R6	27.12	54.63	17.68
Moyenne ±σ	<b>69.96±42.52</b>	<b>44.54±11.80</b>	<b>40.35±19.91</b>

## 11- Phosphore assimilable (ppm)

Répétition	< 5 ans	>20 ans	Témoins
R1	2.33	1.54	2,00
R2	1.13	1.18	1.32
R3	<b>1.80</b>	2.73	1.66
R4	1.54	1.06	0.99
R5	2.21	1.18	1.03
R6	1.80	0.94	0.83
Moyenne ±σ	<b>1.80±0.43</b>	<b>1.43±0.66</b>	<b>1.23±0.46</b>

## 2.3. Traitements statistiques

### 1. Analyse de la variance relative au pH

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	.045879	45	.005164	<b>8.88</b>	0.00056
Age	2	.002754	45	.005164	0.53	0.59
Station x âge	4	.005746	45	.005164	1.11	0.36

### 1.1-Comparaison des moyennes du pH

#### Facteur 1 : Station

Moyennes : groupes homogènes

-Sidi Fradj 8.15 A  
 -M'zara 8.10 B  
 -Anba 8.05 C

### 2- Analyse de la variance relative à la conductivité électrique

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	4220.35	45	1842.40	2.29	0.11
Age	2	3759.18	45	1842.40	2.04	0.14
Station x âge	4	2698.88	45	1842.40	1.46	0.22

### 3- Analyse de la variance relative au taux d'humidité

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	8.89	45	0.706	12.59	0.000045
Age	2	0.84	45	0.706	1.19	0.313
Station x âge	4	2.01	45	0.706	2.85	0.034

### 3.1-Comparaison des moyennes pour l'humidité

#### Facteur 1 : Station

Moyennes : groupes homogènes

-Anba : 2.36 A  
 -Sidi Fradj : 1.81 A  
 -M'zara : 0.97 B

#### Interaction : Station x âge

Station	Age	H (%)	1	2	3
M	2	0.65	C		
M	1	0.71	C		
S	T	1.31	C	B	
M	T	1.55	C	B	A
S	1	1.75	C	B	A
A	T	1.83	C	B	A
S	2	2.40		B	A
A	1	2.41		B	A
A	2	2.85			A

#### 4- Analyse de la variance relative au calcaire total

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	106.28	45	12.31	8.63	0.0006
Age	2	54.56	45	12.31	4.43	0.017
Station x âge	4	2.00	45	12.31	0.16	0.95

#### -Comparaison des moyennes du taux de calcaire total

##### Facteur 1 : station

Moyennes : groupes homogènes

-Anba : 18.61 A  
- Sidi Fradj : 16.57 A  
-M'zara : 13.77 B

##### Facteur 2 : âge

Moyennes : groupes homogènes

-Témoin : 17.71 A  
-Vieilles plantations : 16.87 A  
-Jeunes plantations : 14.37 B

#### 5- Analyse de la variance relative au calcaire actif

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	65.92	45	3.98	<b>16.54</b>	0.0000
Age	2	75.39	45	3.98	<b>18.91</b>	0.0000
Station x âge	4	5.91	45	3.98	1.48	0.2226

#### 5.1- Comparaison des moyennes du taux de calcaire actif

##### Facteur 1 : station

Moyennes : groupes homogènes

-Anba : 10.06 A  
-Sidi Fradj 7.94 B  
- M'zara 6.24 C

##### Facteur 2 : âge

Moyennes : groupes homogènes

-Témoins 9.55 A  
-Vieilles plantations 8.95 A  
-Jeunes plantations 5.94 B

## 6- Analyse de la variance relative au taux de matière organique

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	42.06	45	0.82	51.24	0.00000
Age	2	7.54	45	0.82	9.19	0.0004
Station x âge	4	2.87	45	0.82	3.50	0.014

### 6.1- Comparaison des moyennes pour le taux de matière organique

#### Facteur 1 : station

Moyennes : groupes homogènes

- Anba : 3.52 A
- Sidi Fradj : 2.19 B
- M'zara : 0.47 C

#### Facteur 2 : âge

Moyennes : groupes homogènes

- Vieilles plantations : 2.77 A
- Jeunes plantations : 1.92 B
- Témoins : 1.50 B

#### Interaction : station x âge

Station	Age	MO (%)	1	2	3	4	5	6
M	2	0.36	F					
M	T	0.46	F					
M	1	0.59	F	E				
S	T	1.56		E	D			
S	1	2.03			D	C		
A	T	2.47			D	C	B	
S	2	2.98				C	B	
A	1	3.12					B	
A	2	4.97						A

## 7- Analyse de la variance relative au taux d'azote

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	0.0042	45	0.0022	1.89	0.16
Age	2	0.010	45	0.0022	4.85	0.012
Station x âge	4	0.005	45	0.0022	2.46	0.058

#### - Comparaison des moyennes pour le taux d'azote

## **Facteur 2 : âge**

Moyennes : groupes homogènes

- Vieilles plantation : 0.15      A
- Témoins                    : 0.11              B
- Jeunes plantations : 0.10              B

## **8- Analyse de la variance relative à la teneur en phosphore assimilable**

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	18.63	45	2.007	9.27	0.0004
Age	2	1.92	45	2.007	0.95	0.3911
Station x âge	4	1.19	45	2.007	0.59	0.6672

### **- Comparaison des moyennes pour la teneur en phosphore assimilable**

#### **Facteur 1 : station**

Moyennes : groupes homogènes

- Sidi Fradj : 3.40              A
- Anba        : 1.81              B
- M'zara     : 1.51              B

## **9- L'analyse de la variance relative à la teneur en phosphore total**

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	32037.88	45	3054.37	10.48	0.0001
Age	2	738.08	45	3054.37	0.24	0.786
Station x âge	4	4159.52	45	3054.37	1.36	0.262

### **- Comparaison des moyennes pour la teneur en phosphore total**

#### **Facteur 1 : station**

Moyennes : groupes homogènes

- Anba :        135.40      A
- Sidi Fradj :   84.83        B
- M'zara    :   51.62        B

## **10- Analyse de la variance relative au rapport C/N**

Source de variation	Dl effet	Mc effet	Dl erreur	Mc erreur	F	Niveau p
Station	2	665.17	45	31.24	21.29	0.00000
Age	2	41.98	46	31.24	1.34	0.27

Station x âge	4	57.87	45	31.24	1.85	0.13
---------------	---	-------	----	-------	------	------

**- Comparaison des moyennes pour le rapport C/N**

**Facteur 1 : station**

Moyennes : groupes homogènes

Anba : 16.49 A  
 Sidi Fradj : 10.09 B  
 M'zara : 4.34 C

### Annexe 3. Végétation . Résultats et statistiques

#### **3.1. Résultats**

**I- Effet de l'âge des plantations sur les paramètres de végétations dans les 3 stations durant 3 années successives**

##### **I- Station de Sidi Fradj**

###### **a- Taux de recouvrement (%)**

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	41 ± 6.99	33.34 ± 13.69	10.79 ± 11.12
2009	86.13 ± 3.63	83.76 ± 13.42	61.27 ± 6.18
2010	54.52 ± 13.01	52.2 ± 9.99	12.29 ± 18.70

\*Les valeurs représentent la moyenne ± $\sigma$

###### **b- l'abondance**

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	18 ± 1	15.66 ± 1.52	5.66 ± 5.50
2009	28 ± 11.26	42.66 ± 7.76	25.66 ± 3.78
2010	21.66 ± 7.02	25.66 ± 11.06	5 ± 7.81

\*Les valeurs représentent la moyenne ± $\sigma$

###### **c- la richesse spécifique**

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	5.33 ± 1.15	4 ± 1	2.66 ± 2.51
2009	10.66 ± 3.78	11 ± 3.46	10.66 ± 2.88
2010	6 ± 1.73	6.33 ± 1.15	2 ± 2.64

\*Les valeurs représentent la moyenne ± $\sigma$

###### **d- l'indice de diversité**

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	2.54	1.66	2.17
2009	3.51	3.69	3.76
2010	3.11	2.18	1.69

###### **e- l'équitabilité**

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	0.70	0.64	0.77
2009	0.81	0.80	0.88
2010	0.81	0.61	0.65

**Tableau 1 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2008(Sidi Fradj)**

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1- <i>Plantago albicans</i> (L.)	8	12	0	Plantaginacées
2- <i>Thymus algeriensis</i> (B et R.)	0	3	0	Lamiacées
3- <i>Cynodon dactylon</i> (L.Pers)	1	23	28	Poacées
4- <i>Teucrium polium</i> (L.)	0	2	0	Lamiacées
5- <i>Stipa parviflora</i> (Desf.)	1	7	0	Poacées
6- <i>Anabasis articulata</i> (Forsk.)	0	1	0	Chenopodiacees
7- <i>Hordeum murinum</i> (L.)	1	1	10	Poacées
8- <i>Reichardia picrioides</i> (L.)	0	1	0	Asteracées
9- <i>Pallenis spinosa</i> (L. Coss)	0	1	0	Asteracées
10- <i>Medicago litoralis</i> (Rhode.)	1	1	0	Fabacées
11- <i>Anthemis arvensis</i> (L.)	0	1	3	Asteracées
12- <i>Zizyphus lotus</i> (L. Desf.)	0	0	1	Rhamnacees
13- <i>Raphanus raphanistrum</i> (L.)	1	0	4	Brassicacées
14- <i>Erodium moschatum</i> (Burm.)	0	0	1	Geraniacées
16- <i>Lolium sp</i>	2	0	0	Poacées
<b>Abondance totale</b>	15	54	46	
<b>Abondance moyenne</b>	5.66±5.5	18±1	15.66±1.52	
<b>Richesse totale</b>	7	12	6	
<b>Richesse moyenne</b>	2.66 ± 2.5	5.33 ± 1.15	4 ± 1	
<b>% de recouvrement</b>	10.7 ± 11.12	41 ± 6.99	33.34±13.69	
<b>H'</b>	2.17	2.54	1.66	
<b>E</b>	0.77	0.70	0.64	

NB. JP : Jeunes plantations ; VP : Vieilles plantations

**Tableau 2 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2009(Sidi Fradj)**

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1-Medicago litoralis	16	26	16	Fabacées
2- Hordeum murinum	5	5	13	Poacées
3-Anabasis articulata	0	3	0	Chenopodiacées
4-Borago officinalis (L.)	1	3	1	Boraginacées
5-Raphanus raphanistrum	6	3	31	Brassicacées
6- Plantago albicans (L.)	10	10	2	Plantaginacées
7-Teucrium polium (L.)	1	1	0	Lamiacées
8-Melilotus officinalis (L.)	0	2	0	Fabacées
9-Thymus algeriensis (B et R)	0	3	0	Lamiacées
10-Astragalus hamosus (L.)	5	10	11	Fabacées
11-Helianthemum apenninum (L.)	0	1	0	Cistacées
12-Anagallis monelli (L.)	1	3	2	Primulacées
13-Calendula arvensis (L.)	4	1	2	Asteracées
14-Sinapis arvensis (L.)	5	1	5	Brassicacées
15-Cynodon dactylon (L. Pers)	2	1	3	Poacées
16-Linaria reflexa (Desf.)	0	1	1	Scrophulariacées
17-Glaucium corniculatum (Curtis)	0	1	0	Papaveracées
18-Marrubium alysson (L.)	2	0	0	Lamiacées
19- Bromus madritensis (L.)	0	1	2	Poacées
20-Reichardia picrioides (L.)	0	3	10	Asteracées
21-Moricandia arvensis (L.)	0	2	0	Brassicacées
22-Malva sylvestris (L.)	1	1	0	Malvacées
23- Reseda alba (L.)	3	0	1	Resedacées
24-Erodium moschatum (Burm.)	3	0	13	Geraniacées
25- Peganum harmala (L.)	2	0	4	Zygophyllacées
26- Senecio leucanthemifolius (Poiret.)	0	0	1	Asteracées
27-Papaver rhoeas (L.)	0	0	1	Papaveracées
28- Anthemis arvensis	7	0	2	Asteracées
29-Urospermum dalechampii (L.)	0	0	1	Asteracées
30-Anthyllis tetraphylla (L.)	0	0	2	Fabacées
31-Coronilla scorpioides (Koch)	0	0	1	Fabacées
32- Pallenis spinosa (L. Coss.)	2	0	2	Asteracées
<b>Abondance totale</b>	76	84	128	
<b>Abondance moyenne</b>	25.66±3.78	28±11.26	42.66±7.76	
<b>Richesse totale</b>	20	21	24	
<b>Richesse moyenne</b>	10.66±2.28	10.66±3.78	11±3.46	
<b>% de recouvrement</b>	61.27±6.58	86.13±3.63	83.76±13.42	
<b>H'</b>	3.76	3.51	3.69	
<b>E</b>	0.88	0.81	0.80	

**Tableau 3 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2010 ( Sidi Fradj)**

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1- Reichardia tinginata (L.) Roth	0	1	0	Asteracées
2-Reichardia picrioides	1	5	10	Asteracées
3-Medicago litoralis	1	11	2	Fabacées
4- Paronychia argentea (Pourr.) Lamk	0	5	0	Caryophyllacées
5- Plantago albicans	0	11	2	Plantaginacées
7-Medicago sp2	0	7	0	Fabacées
8-Anthemis arvensis	0	1	0	Asteracées

9- <i>Daucus carota</i> (L.)	0	0	1	Apiacées
10- <i>Coronilla scorpioides</i> (Koch)	0	1	0	Fabacées
11- <i>Ziziphus lotus</i> (L.)	1	0	1	Rhamnacées
12- <i>Senecio leucanthemifolius</i> (Poiret)	0	0	1	Asteracées
13- <i>Thymus algeriensis</i>	1	0	0	Lamiacées
14- <i>Asteriscus aquaticus</i> (Less.)	0	1	0	Asteracées
15- <i>Avena sativa</i> (L.)	0	1	0	Poacées
16- <i>Moricandia arvensis</i> (L.)	0	3	0	Brassicacées
17- <i>Peganum harmala</i>	1	0	4	Zygophyllacées
18- <i>Cynodon dactylon</i>	10	14	45	Poacées
19- <i>Hordeum murinum</i>	0	3	1	Poacées
20- <i>Raphanus raphanistrum</i>	0	1	7	Brassicacées
21- <i>Sinapis arvensis</i>	0	0	1	Brassicacées
22- <i>Calendula arvensis</i>	0	0	1	Asteracées
<b>Abondance totale</b>	15	63	77	
<b>Abondance moyenne</b>	5 ± 7.81	21.66±7.02	25.66±11.06	
<b>Richesse totale</b>	6	14	12	
<b>Richesse moyenne</b>	2 ± 2.64	6 ± 1.73	6.33 ± 1.15	
<b>% de recouvrement</b>	12.29±18.7 0	54.52 ± 13.01	52.25 ± 9.99	
<b>H'</b>	1.69	3.11	2.18	
<b>E</b>	0.65	0.81	0.61	

## II- Station de Anba

### a-Taux de recouvrement (%)

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	74.58 ± 11.44	60.57 ± 19.99	36.42 ± 3.36
2009	97.88 ± 1.95	99.04 ± 0.86	56.21 ± 19.25
2010	75.77 ± 10.53	73.27 ± 18.77	29.45 ± 17.33

### b- l'abondance

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	45.33 ± 26.63	46 ± 23.06	19 ± 6
2009	74 ± 14.10	53.66 ± 11.67	24.66 ± 12.05
2010	29.66 ± 16.28	14.33 ± 8.73	20.33 ± 8.50

### c- la richesse spécifique

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	5.66 ± 1.52	6.66 ± 0.57	5.33 ± 2.08
2009	12.33 ± 2.88	13.33 ± 0.57	6.33 ± 2.30
2010	4.66 ± 2.51	3.33 ± 0.57	4 ± 1

### d- l'indice de diversité et d'équitabilité

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	2.22/ 0.74	2.23/0.64	2.01/ 0.67
2009	3.57 / 0.85	3.66/ 0.84	2.76 / 0.74
2010	2.11/ 0.66	1.53/ 0.59	1.93/0.64

**Tableau 4 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2008**

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1- <i>Hordeum murinum</i>	4	37	73	Poacées
2- <i>Artemisia campestris</i>	20	36	13	Astéracées
3- <i>Stipa parviflora</i> (Desf)	0	10	1	Poacées
4- <i>Thymus algeriensis</i>	5	0	0	Lamiacées
5- <i>Rosmarinus officinalis</i> (L.)	1	0	0	Lamiacées
6- <i>Plantago albicans</i> (L.)	20	43	17	Plantaginacées
7- <i>Reichardia picrioides</i>	1	5	14	Astéracées
8- <i>Ijuga iva</i> (L.)	0	1	0	Lamiacées
9- <i>Echinops spinosus</i> (L.)	2	3	5	Astéracées
10- <i>Malva sylvestris</i> (L.)	0	1	0	Malvacées
11- <i>Pallenis spinosa</i> (L.)	0	0	5	Astéracées
12- <i>Anthemis arvensis</i>	1	0	1	Astéracées
13- <i>Medicago litoralis</i>	0	0	1	Fabacées
14- <i>Calendula arvensis</i>	1	0	4	Astéracées
<b>Abondance totale</b>	55	137	134	
<b>Abondance moyenne</b>	19 ± 6	45.33±26.6 3	46 ± 23.06	
<b>Richesse totale</b>	8	8	11	
<b>Richesse moyenne</b>	5.33 ± 2.08	5.66 ± 1.52	6.66 ± 0.57	
<b>% de recouvrement</b>	36.42 ± 3.36	74.58 ±11.44	60.57±19.99	
<b>H'</b>	2.01	2.22	2.23	
<b>E</b>	0.67	0.74	0.64	

**Tableau 5: Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2009.**

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1- <i>Medicago litoralis</i>	22	42	14	Fabacées
2- <i>Hippocrepis unisiliquosa</i> (L.)	2	11	16	Fabacées
3- <i>Anthemis arvensis</i>	1	11	14	Astéracées
4- <i>Artemisia campestris</i>	22	30	6	Astéracées
5- <i>Anagallis monelli</i> (L.)	9	8	9	Primulacées
6- <i>Reichardia picrioides</i>	0	11	16	Astéracées
7- <i>Sinapis arvensis</i>	1	11	5	Brassicacées
8- <i>Reseda alba</i> (L.)	0	0	1	Résédacées
9- <i>Ononis variegata</i> (L.)	1	0	0	Fabacées
10- <i>Thymus algeriensis</i>	5	0	0	Lamiacées
11- <i>Globularia alypum</i> (L.)	1	0	0	Globulariacées
12- <i>Stipa parviflora</i>	0	8	0	Poacées
13- <i>Astragalus hamosus</i> (L.)	3	27	19	Fabacées
14- <i>Melilotus officinalis</i>	0	27	7	Fabacées
15- <i>Hordeum murinum</i>	0	12	32	Poacées
16- <i>Melica ciliata</i> (L.)	0	2	0	Poacées
17- <i>Medicago orbicularis</i> (L.)	0	3	4	Fabacées
18- <i>Lonchophora capiomontiana</i> (Dur.)	1	0	0	Brassicacées
19- <i>Euphorbia helioscopia</i> (L.)	0	1	1	Euphorbiacées
20- <i>Echinops spinosus</i> L.	1	1	0	Astéracées
21- <i>Plantago albicans</i>	5	5	1	Plantaginacées
22- <i>Malva sylvestris</i>	0	3	1	Malvacées

23- <i>Bromus madritensis</i> L.	0	4	9	Poacées
24- <i>Cynodon dactylon</i>	0	1	0	Poacées
25- <i>Aegilops</i> sp	0	4	0	Poacées
26- <i>Linaria reflexa</i> (Desf)	0	0	1	Scrophulariacées
27- <i>Calendula arvensis</i>	0	0	9	Astéracées
28- <i>Coronilla scorpioides</i> (Koch)	0	0	2	Fabacées
29- <i>Erodium moschatum</i> (Burm)	0	0	1	Géraniacées
<b>Abondance totale</b>	74	222	168	
<b>Abondance moyenne</b>	24.66±12.0 5	74 ± 14.1	53.66±11.67	
<b>Richesse totale</b>	13	18	20	
<b>Richesse moyenne</b>	6.33 ± 2.3	12.33±2.88	13.33 ± 0.57	
<b>% de recouvrement</b>	56.21 ± 19.25	97.88 ± 1.95	99.04 ± 0.86	
<b>H'</b>	2.76	3.57	3.66	
<b>E</b>	0.74	0.85	0.84	

Tableau 6 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2010.

Nom de l'espèce	Témoin	JP	VP	Famille
1- <i>Artemisia campestris</i>	3	49	3	Astéracées
2- <i>Globularia alypum</i> (L.)	6	0	0	Globulariacées
3- <i>Plantago albicans</i>	38	9	0	Plantaginacées
4- <i>Thymus algeriensis</i>	6	0	0	Lamiacées
5- <i>Hordeum</i> sp	2	15	7	Poacées
6- <i>Avena sativa</i>	0	2	0	Poacées
7- <i>Cynodon dactylon</i>	0	3	0	Poacées
8- <i>Reichardia picrioides</i>	3	2	29	Astéracées
9- <i>Asteriscus aquaticus</i> (Less.)	0	1	0	Astéracées
10- <i>Reseda alba</i> (L.)	1	0	0	Resédacées
11- <i>Rosmarinus officinalis</i> (L.)	1	0	0	Lamiacées
12- <i>Stipa parviflora</i>	0	6	0	Poacées
13- <i>Echinops spinosus</i>	0	2	0	Astéracées
14- <i>Sinapis arvensis</i>	0	0	1	Brassicacées
15- <i>Eryngium</i> sp	0	0	2	Umbellifères (Apiacées)
<b>Abondance totale</b>	61	89	42	
<b>Abondance moyenne</b>	20.33±8.50	29.66±16.2 8	14±8.18	
<b>Richesse totale</b>	8	9	6	
<b>Richesse moyenne</b>	4±1	4.66±2.51	3.33±0.57	
<b>% de recouvrement</b>	29.45±17.3 3	75.77±10.5 3	73.27±18.77	
<b>H'</b>	1.93	2.11	1.53	
<b>E</b>	0.64	0.66	0.59	

### III. Station de M'zara

#### a- Taux de recouvrement

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	45.65±8.90	39.79±9.34	25.61±21.61
2009	81.17±16.87	76.53±7.52	59.00±19.83
2010	25.26±5.21	31.84±7.09	11.53±3.84

#### b- l'abondance

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	19 ± 9.64	21.66 ± 8.02	15.66±12.66
2009	33.66±12.50	50.33±23.35	24±12.48
2010	11.66±3.51	15.66±2.51	5±1

#### c- la richesse spécifique

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	3.33±1.15	4±1	2.33±0.57
2009	10±2.64	12.33±2.08	5.66±3.05
2010	3.66±2.30	5 ±2.64	2.66±0.57

#### d- l'indice de diversité et d'équitabilité

Age (ans)	< 5	>20	Témoins
2008	1.49 / 0.57	2.13 / 0.71	1.26 / 0.54
2009	3.23 / 0.76	3.14 / 0.75	2.98 / 0.80
2010	1.73 / 0.57	2.65 / 0.79	2.57 / 0.91

Tableau 7 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2008

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1-Cynodon dactylon	35	35	23	Poaceés
2-Hordeum murinum	0	16	0	Poaceés
3-Sinapis arvensis	0	2	0	Brassicacées
4-Raphanus raphanistrum	0	1	0	Brassicacées
5-Plantago albicans	3	2	0	Plantaginacées
6-Asparagus stipularis	0	1	5	Liliacées
7-Astragalus armatus	6	0	8	Fabacées
8-Haloxylon scoparius	1	0	1	Chenopodiaceés
9-Artemisia campestris	0	0	1	Astéracées
10-Peganum harmala	0	0	26	Zygophyllacées
11-Echinops spinosus	2	0	1	Asteracées
<b>Abondance totale</b>	47	57	65	
<b>Abondance moyenne</b>	15.66 ± 12.66	19 ± 9.64	21.66 ± 8.02	
<b>Richesse totale</b>	5	6	8	
<b>Richesse moyenne</b>	2.33 ± 0.57	3.33 ± 1.15	4 ± 1	
<b>% de recouvrement</b>	25.61 ± 1.61	45.65 ± 8.90	39.79 ± 9.34	
<b>H'</b>	1.26	1.49	2.13	

E	0.54	0.57	0.71
---	------	------	------

Tableau 8 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2009

Nom de l'espèce	Témoin	JP	VP	Famille
1-Lonchophora capiomontiana	0	16	11	Brassicacées
2-Echiochilon fruticosum (??)	0	0	5	Boraginacées
3-Stipa capensis (Thumb)= S.tortilis (Desf)=S. rerorta(Cav)	0	25	39	Poacées
4-Melica ciliata	0	0	6	Poacées
5-Hippocrepis unisiliquosa L.	0	3	0	Fabacées
6-Anabasis articulate	0	0	3	Chenopodiacées
7-Anthemis arvensis	20	17	14	Astéracées
8-Asteriscus pygmaeus (Coss et Kral)	0	0	1	Astéracées
9-Calendula arvensis	0	2	1	Astéracées
10-Medicago litoralis	3	3	2	Fabacées
11-Diplotaxis eruroides (L.)	0	0	1	Brassicacées
12-Lotus sp <sub>1</sub>	0	0	1	Fabacées
13-Hippocrepis unisiliquosa (L.)	0	0	1	Fabacées
14-Raphanus raphanistrum	12	13	5	Brassicacées
15-Asparagus stipularis (Forsk)	0	1	0	Liliacées
16-Astragalus armatus (Willd)	1	0	1	Fabacées
17-Retama monosperma (L.) Boiss	1	1	1	Fabacées
18-Euphorbia guyoniana (B et R).	0	0	1	Euphorbiacées
19-Reseda alba	1	1	1	Résédacées
20- Erodium moschatum	0	2	0	Geraniacées
21-Lotus sp <sub>2</sub>	0	1	0	Fabacées
22 -Reichardia tangitana ( L.Roth)	0	1	0	Astéracées
23- Reichardia picrioides	1	3	2	Astéracées
24- Sinapis arvensis	3	1	4	Brassicacées
25-Cynodon dactylon	6	1	22	Poacées
26-Artemisia herba alba (Asso).	1	0	0	Astéracées
27-Plantago albicans	15	6	26	Plantaginacées
28- Bromus madritensis (L.)	3	0	0	Poacées
29- Linaria reflexa	0	1	0	Scrophulariacées
30-Astragalus hamosus	5	2	0	Fabacées
31- Echinops spinosus	0	1	0	Astéracées
<b>Abondance totale</b>	72	101	148	
<b>Abondance moyenne</b>	24±12.48	33.66±12.5	50.33±23.35	
<b>Richesse totale</b>	13	20	21	
<b>Richesse moyenne</b>	5.66+3.05	10+2.64	12.33+2.08	
<b>% de recouvrement</b>	59+19.83	81.17+16.8 7	76.53+7.52	
<b>H'</b>	2.98	3.23	3.14	
<b>E</b>	0.80	0.76	0.75	

**Tableau 9 : Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2010**

Nom de l'espèce	Témoïn	JP	VP	Famille
1-Astragalus armatus	0	2	8	Fabacées
2-Arthrophytum articulatum (Haloxylon scoparium) (Pomel.)	1	0	0	Chenopodiacees
3-Plantago albicans	1	1	14	Plantaginacées
4-Eryngium sp	4	3	1	Apiacées
5-Centaurea sp	0	1	0	Astéracées
6-Cynodon dactylon	0	24	9	Poacées
7-Retama monosperma	1	1	9	Fabacées
8-Hordeum murinum	0	1	0	Poacées
9-Echiochilon fruticosum (Desf)	2	0	0	Boraginacées
10-Asparagus stipularis	0	0	1	Liliacées
11-Reichardia picrioides	0	0	2	Asteracees
12-Stipa tenacissima (L.)	0	0	1	Poacées
13-Stipa parviflora	4	0	0	Poacées
14-Artemisia herba alba	2	0	1	Astéracées
15-Artemisia campestris	0	0	1	Astéracées
<b>Abondance totale</b>	15	33	47	
<b>Abondance moyenne</b>	5+1	11.66+3.51	15.66+2.51	
<b>Richesse totale</b>	7	8	10	
<b>Richesse moyenne</b>	2.66±0.57	3.66±2.3	5±2.64	
<b>% de recouvrement</b>	11.53±3.84	25.26±5.21	31.84±7.09	
<b>H'</b>	2.57	1.73	2.65	
<b>E</b>	0.91	0.57	0.79	

### **3.2. Statistiques**

#### **1- Analyse de la variance relative au taux de recouvrement**

Source de variation	Effet (F/A)	SC	ddl	Mc	F	Niveau p
Année	Aléatoire	24822.9	2	12411.44	<b>17.07</b>	0.006
Station	Fixe	8054.1	2	4027.04	6.16	0.06
Age	Fixe	15632.5	2	7816.24	61.67	0.000
Année x Station	Aléatoire	2613.7	4	653.44	12.48	0.0017
Année x Age	Aléatoire	506.9	4	126.73	2.38	0.137
Station x Age	Fixe	1437.2	4	359.30	<b>6.75</b>	0.011
Année x Station x Age	Aléatoire	425.5	8	53.19	0.32	0.95

#### **1.1-Comparaison des moyennes pour le taux de recouvrement**

##### **Facteur 1 : Année**

##### **Moyennes : groupes homogènes**

- Année 2009 : 77.91           A
- Année 2008 : 40.87           B
- Année 2010 : 40.69           B

##### **Facteur 3 : Age**

### Moyennes : groupes homogènes

Age 1 :	64.70	A
Age 2	61.15	A
Témoin	33.62	B

### Interaction : Année x station

Année	Station	%	1	2	3	4	5
2010	M'zara	22.88	E				
2008	S.Fradj	28.37	E	D			
2008	M'zara	37.02		D			
2010	S.Fradj	39.69		D			
2008	Anba	57.23			C		
2010	Anba	59.50			C		
2009	M'zara	72.24				B	
2009	S.Fradj	77.13				B	A
2009	Anba	84.38					A

### Interaction : Station x âge

Station	Age	%	1	2	3	4	5
S.Fradj	T	28.12	E				
M'zara	T	32.05	E	D			
Anba	T	40.69		D	C		
M'zara	A2	49.39			C	B	
M'zara	A1	50.69			C	B	
S.Fradj	A2	56.45				B	
S.Fradj	A1	60.63				B	
Anba	A2	77.63					A
Anba	A1	82.79					A

## 2-Analyse de la variance relative à l'abondance moyenne

Source de variation	Effet (F/A)	SC	ddl	Mc erreur	F	Niveau p
Année	Aléatoire	7694.62	2	3847.31	27.54	0.200
Station	Fixe	4055.58	2	2027.79	<b>8.56</b>	0.03
Age	Fixe	4247.58	2	2123.79	<b>14.91</b>	0.01
Année x Station	Aléatoire	947.01	4	236.75	0.98	0.46
Année x Age	Aléatoire	569.68	4	142.42	0.59	0.67
Station x Age	Fixe	1511.16	4	377.79	1.57	0.26
Année x Station x Age	Aléatoire	1916.02	8	239.50	1.6756	0.1257

### 2.1 -Comparaison des moyennes pour l'abondance moyenne

**Facteur 2** : station.

Moyennes : groupes homogènes

Anba	36.33	A
M'zara	21.88	B
Sidi Fradj	20.81	B

**Facteur 3** : âge.

Moyennes : groupes homogènes

Age 2	31.77	A
Age 1	31.14	A
Témoin	16.11	B

### 3-Analyse de la variance relative à la richesse moyenne

Source de variation	Effet (F/A)	SC	ddl	Mc	F	Niveau p
Année	Aléatoire	636.22	2	318.1	<b>98.72</b>	0.29
Station	Fixe	28.74	2	14.37	2.79	0.17
Age	Fixe	116.66	2	58.33	<b>8.89</b>	0.03
Année x Station	Aléatoire	20.59	4	5.14	<b>0.60</b>	0.66
Année x Age	Aléatoire	26.22	4	6.55	0.77	0.57
Station x Age	Fixe	9.25	4	2.31	<b>0.27</b>	0.88
Année x Station x Age	Aléatoire	67.85	8	8.48	1.89	0.07

#### **Facteur 3** : Age :

Moyennes : groupes homogènes

Age 2	7.40	A
Age 1	6.85	A
Témoin	4.62	B

## Annexe 4. Mycorhizes : Méthodes, résultats et statistiques

### 4.1. Méthodes d'études

#### **1- Estimation de l'infection**

Une fois colorées, les racines sont découpées en 15 ou 10 fragments, placés parallèlement sur une lame et observés au microscope photonique au grossissement (x 10) et (x 40). L'état de la mycorhization du système racinaire a été réalisé selon la méthode de Trouvelot *et al.*(1986).

Le taux de colonisation endomycorhizienne est estimé selon une grille d'évaluation remplie selon 2 échelles :

\* une 1<sup>ère</sup> échelle permettant d'évaluer l'intensité de colonisation du cortex racinaire et comportent 5 classes notées de 0 à 5. Chaque classe traduit le degré d'intensité de colonisation du cortex racinaire de chaque fragment observé.

\* la 2<sup>ème</sup> échelle permet l'évaluation de la présence des arbuscules et des vésicules. Elle est composée de 4 classes allant de A<sub>0</sub> à A<sub>3</sub> indiquant leur fréquence.

Les paramètres de l'infection estimés sont :

**F(%)** : fréquence de l'infection mycorhizienne. Elle exprime le pourcentage du nombre de fragments racinaires endomycorhizés), ce qui reflète l'importance de l'infection du système racinaire.

**M(%)** : intensité de colonisation du cortex racinaire. Elle traduit la proportion du cortex colonisé estimé par rapport au système racinaire entier.

**m(%)** : intensité de l'infection développé dans la partie endomycorhizée du système racinaire. Elle reflète la proportion du cortex colonisé dans la partie endomycorhizée du système racinaire.

**A(%)** : teneur arbusculaire de l'infection par rapport au système racinaire entier. C'est la proportion du système racinaire renfermant des arbuscules.

**a (%)** : teneur arbusculaire de l'infection dans la partie endomycorhizée du système racinaire. Elle traduit la proportion de l'infection renfermant les arbuscules.

Ces paramètres sont calculés en introduisant les résultats de chaque grille dans un programme informatique mycocal mis au point par Trouvelot et ses collaborateurs (1986), disponible sur le site [www.dijon.inra.fr](http://www.dijon.inra.fr) (INVAM).

#### **3. Méthode de calcul du MPN**

##### **a-Préparation et stérilisation du sol**

Le sol (environ 2 kg) est stérilisé trois (03) fois pendant 20 à 25 mn avec au moins 24 h entre chaque les stérilisations.

##### **b-Stérilisation des graines de la plante-piège**

La plante hôte est le sorgho (*Sorghum vulgare* (L.), famille des Poacées). Les graines sont stérilisées à l'hypochlorite de sodium, bien rincées à l'eau de robinet puis mises à germer pendant environ trois jours.

### c- Conduite de l'essai

Ce test nécessite la réalisation de cinq (05) niveaux de dilutions du sol non désinfecté allant de dix en dix, de 0 à  $10^{-5}$ . Les mélanges obtenus pour chaque dilution sont répartis sur des pots en plastique à raison de 50 g/ pot.

Les dilutions sont obtenues comme suit :

- dilution  $10^{-1}$  : 30 g de sol naturel + 270 g de sol stérilisé.
- dilution  $10^{-2}$  : 30g de sol de la dilution ( $10^{-1}$ ) + 270g de sol stérilisé
- dilution  $10^{-3}$  : 30g de sol de la dilution ( $10^{-2}$ ) + 270g de sol stérilisé
- dilution  $10^{-4}$  : 30g de sol de la dilution ( $10^{-3}$ ) + 270g de sol stérilisé
- dilution  $10^{-5}$ : 30g de sol de la dilution ( $10^{-4}$ ) +270g sol stérilisé.

Une fois rempli, chaque pot reçoit de 2 à 3 graines pré-germées. Cinq répétitions sont réalisées par dilution. L'essai est maintenu pendant six semaines. Les pots sont arrosés à l'eau de robinet selon les besoins. Aucun apport de solution nutritive n'a été effectué.

A la fin de la période, un plant est récupéré de chaque pot et est soigneusement lavé à l'eau de robinet puis coloré selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) qui consiste à immerger les racines dans une solution d'hydroxyde de potassium à 10% et placées dans un bain Marie à 90°C.

- laisser chauffer pendant 10 à 15mn
- rincer les racines à l'eau de robinet
- verser le noir de chlorazol sur les racines placées dans le bain Marie à 90°C pendant 10mn.

Le système racinaire de chaque plant est monté en entier entre lame et lamelle dans du glycérol et observé au microscope photonique (x 10) et (x 40).

- le comptage se fait selon l'absence ou la présence d'au moins un point d'infection, on lui attribue alors la valeur (1), la valeur (0) est attribuée lorsqu'elle est totalement absente.

### d-Méthode de calcul

La détermination du MPN se fait à l'aide de la table de Cochran (1950) à partir des résultats d'observation (mycorhizée ou non) obtenus pour les 5 répétitions de chaque dilution de sol. On dénombre pour chaque dilution le nombre de systèmes racinaires infectés et on détermine la dernière dilution pour laquelle la mycorhization est observée au niveau des 5 répétitions, ou dans laquelle, il y aura le maximum de plantes infectées ( $P_1$ ). Si ce cas ne se présente pas, la dernière dilution présentant le plus grand nombre plants mycorhizes est considéré.

### e-Composition du Noir de Chlorazol

Ingrédient	Quantité
Eau distillée	100 ml
Acide lactique	100 ml
Glycérol	100 ml
Noir de chlorazol	0.1 g

**f-Composition du PVLG**

Ingrédient	Quantité
Eau ultrapure	100ml
Acide lactique	100ml
Glycérol	10ml
Alcool de polyvinyl PVA	16.6g

**g- Réactif de Melzer**

Ingrédient	Quantité
Eau ultrapure	100ml
Hydrate de chloral	100g
Iode	1.5g
Iodure de Potassium	5.0g

**h- Grille d'évaluation de la colonisation**

	0	1				2				3				4				5			
		A3	A2	A1	A0																
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					

21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				
Tot																				

## 4.2. Résultats

### **a- Sidi Fradj : Fréquence de colonisation racinaire F (%)**

2008/ 2009	JP	VP
Printemps 2008	70±10	77.77±5.09
Eté 2008	87.58±11.73	91.11±7.69
Automne 2008	71.11±10.18	84.33±11.70
Hiver 2009	50.75±8.37	65.95±9.26

\*Les valeurs représentent la moyenne ±σ

JP : jeunes plantations : < 5ans ; VP : vieilles plantations ( > 20ans)

### **b-Anba : Fréquence de colonisation racinaire F (%)**

2008/ 2009	JP	VP
Printemps 2008	86.67±10	81.11±20.09
Eté 2008	95.55±5.09	92.22±8.39
Automne 2008	84.29±3.72	69.69±2.88
Hiver 2009	58.25±12.45	58.13±10.78

### **c-M'zara : Fréquence de colonisation racinaire F (%)**

2008/ 2009	JP	VP
Printemps 2008	81.11±27.14	67.78±8.39
Eté 2008	96.66±3.33	85.39±10.54
Automne 2008	100±0	73.33±6.66
Hiver 2009	100±0	86.03±14.29

**d- Sidi Fradj : Intensité de colonisation M(%)**

2008/ 2009	JP	VP
Printemps 2008	3.08±1.08	14.07±5.22
Eté 2008	12.02±12.16	16.52±15.21
Automne 2008	5.63±2.09	11.25±2.78
Hiver 2009	8.91±9.77	6.38±4.72

**e-Anba : Intensité de colonisation M(%)**

2008/ 2009	JP	VP
Printemps 2008	6.46±4.70	24.52±38.63
Eté 2008	34.76±16.09	17.19±9.78
Automne 2008	22.47±7.83	8.82±4.34
Hiver 2009	4.71±2.60	11.38±8.22

**f-M'zara : Intensité de colonisation M(%)**

2008/ 2009	JP	VP
Printemps 2008	11.83±10.12	3.54±2.15
Eté 2008	60.84±11.37	3.05±1.06
Automne 2008	70.19±14.4	18.22±14.13
Hiver 2009	75.22±2.24	24.76±9.68

**4.3. Statistiques**

**1- Analyse de la variance relative à la fréquence de mycorhization F (%)**

Source de variation	Dl effet	MC	Dl erreur	Mc erreur	F	P
Station	2	704.9	6.00893	632.253	1.1149	0.387436
Saison	3	1312.1	6.14297	648.659	2.0228	0.210223
Age	1	372.3	3.03182	68.946	5.3993	0.101823
Station x Saison	6	630.2	5.84661	50.902	12.3801	0.004102
Station x Age	2	997.7	5.89659	51.022	19.5543	0.002498
Saison x âge	3	68.4	5.91872	51.095	1.3380	0.348292
Station x Saison x Age	6	51.3	47.00000	117.309	0.4372	0.850212

**Comparaison des moyennes pour le F**

**a. Interaction : station x saison**

Station	Saison	F (%)	1	2	3	4	5
S2	H	58.19333	E				
S1	H	59.87200	E				
S1	P	73.88833		D			
S3	P	74.44500		D	C		
S2	A	76.99333		D	C	B	
S1	A	77.77667		D	C	B	
S2	P	83.89000		D	C	B	A
S3	A	86.66667			C	B	A
S1	E	89.34667				B	A
S3	E	91.03167					A
S3	H	93.01667					A
S1	E	93.88833					A

**b. Interaction : Station x âge**

Station	Age	F (%)	1	2	3
S1	A1	71.59727	C		
S2	A2	75.28833	C	B	
S3	A2	78.13583	C	B	
S1	A2	79.82167	C	B	
S2	A1	81.19417		B	
S3	A1	94.44417			A

**2- Analyse de la variance relative à l'intensité de mycorhization M(%)**

Source de variation	Dl effet	MC	Dl erreur	Mc erreur	F	P
Station	2	3550.35	5.99981	888.818	3.99447	0.078906
Saison	3	698.18	6.23310	1536.524	0.45439	0.723446
Age	1	3158.38	3.00438	849.844	3.71642	0.149354
Station x Saison	6	886.56	5.98951	201.035	4.40997	0.047072
Station x Age	2	3850.85	6.00994	200.997	19.15873	0.002468
Saison x âge	3	846.56	5.97533	200.328	4.22588	0.063420
Station x Saison x Age	6	200.14	47.00000	138.649	1.44353	0.218417

**a. Interaction : station x saison**

Station	Saison	Moy F	1	2	3	4	5
S1	H	7.39600	E				
S3	P	7.68833	E				
S2	H	8.04667	E				
S1	A	8.44167	E				
S1	P	8.57833	E				
S1	E	14.14000	E	D			
S2	P	15.49333	E	D			
S2	A	15.64667	E	D			
S2	E	25.97833		D	C		
S3	E	31.95000			C	B	
S3	A	44.20667				B	A
S3	H	49.99333					A

3- Table de Cochran

Table 100-1 Table du nombre le plus probable (MPN) avec 5 tubes par dilution (Cochran, 1950)

P1	P2	Most probable number for indicated values of P3					
		0	1	2	3	4	5
0	0	-	0.019	0.036	0.054	0.072	0.090
0	1	0.019	0.036	0.055	0.073	0.091	0.11
0	2	0.037	0.055	0.074	0.092	0.11	0.10
0	3	0.056	0.074	0.093	0.11	0.13	0.15
0	4	0.075	0.094	0.11	0.13	0.15	0.17
0	5	0.094	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19
1	0	0.020	0.040	0.060	0.090	0.10	0.12
1	1	0.040	0.061	0.081	0.10	0.12	0.14
1	2	0.061	0.082	0.10	0.12	0.15	0.17
1	3	0.093	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19
1	4	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22
1	5	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
2	0	0.045	0.068	0.091	0.12	0.14	0.16
2	1	0.068	0.092	0.12	0.14	0.17	0.19
2	2	0.093	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22
2	3	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.25
2	4	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.29
2	5	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.32
3	0	0.078	0.11	0.13	0.16	0.20	0.23
3	1	0.11	0.14	0.17	0.20	0.23	0.27
3	2	0.14	0.17	0.20	0.24	0.27	0.31
3	3	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31	0.35
3	4	0.21	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40
3	5	0.25	0.29	0.32	0.37	0.41	0.45
4	0	0.13	0.17	0.21	0.25	0.30	0.36
4	1	0.17	0.21	0.26	0.31	0.36	0.42
4	2	0.22	0.26	0.32	0.38	0.44	0.50
4	3	0.27	0.33	0.39	0.45	0.52	0.59
4	4	0.34	0.40	0.47	0.54	0.62	0.69
4	5	0.41	0.48	0.56	0.64	0.72	0.81
5	0	0.23	0.31	0.43	0.58	0.76	0.95
5	1	0.33	0.46	0.64	0.84	1.1	1.3
5	2	0.49	0.70	0.95	1.2	1.5	1.8
5	3	0.79	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5
5	4	1.3	1.7	2.2	2.8	3.5	4.3
5	5	2.4	3.5	5.4	9.2	1.6	-









# Effets de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) sur les propriétés du sol et la végétation à Tébessa (zone semi-aride de l'est algérien)

*Effects of the age of prickly pear (Opuntia ficus indica f. inermis) plantations on soil properties and vegetation at Tebessa (semi arid area of eastern Algeria)*

Souad NEFFAR<sup>1</sup>, Arifa BEDDIAR<sup>2</sup>,  
Noureddine REDJEL<sup>3</sup> et Jamal BOULKHELOUA<sup>1</sup>

1. Département de biologie, Faculté des sciences de Tébessa,  
Université de Tébessa, Algérie

Auteur correspondant : neffarsouad@yahoo.fr

2. Laboratoire de biologie végétale et environnement,  
Département de biologie, Faculté des sciences,  
Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

3. Direction générale pour le développement  
des zones arides et semi-arides,  
Ministère de l'Agriculture, Alger, Algérie

## Résumé

La réhabilitation des parcours steppiques algériens doit reposer sur le choix d'espèces végétales résistantes, notamment aux fortes sécheresses et faiblement exigeantes vis-à-vis des conditions édaphiques.

Le figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) est en ce sens une espèce potentiellement intéressante. Dans ce présent travail, nous nous sommes proposé d'examiner les effets des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) âgées de 5 et 20 ans sur les caractéristiques édaphiques et la biodiversité végétale. Ces plantations sont localisées dans la commune de Tébessa (zone semi-aride de l'est algérien). Dans chaque plantation, des échantillons de sol ont été prélevés et ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques telles que l'humidité, le pH, la conductivité électrique, les taux de calcaire total et calcaire actif, le taux de matière organique, les teneurs en azote et en phosphore assimilable. Quant à la végétation, le taux de recouvrement, l'abondance, la richesse spéci-

fique et la diversité ont été également estimés. Les résultats ont montré que l'âge des plantations avait des effets statistiquement significatifs sur le taux de matière organique, l'humidité, le taux de calcaire actif et le taux de recouvrement de la végétation. Ainsi, les plantations du figuier de Barbarie pourraient contribuer à l'amélioration de certains paramètres du sol et enrichir la biodiversité végétale des écosystèmes steppiques algériens.

## Abstract

Algerian steppes rangeland biological reclamation has to be based on the choice of plant species with ecological parameters requirement, such as drought tolerance and ability to grow in soils with low fertility and quality. Prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) is a potentially interesting species to be considered.

The aim of this study is to prospect the impact of prickly pear plantations (0, 5, and 20 years old) on soil characteristics and plant biodiversity.

**Mots clés :** steppes algériennes, désertification, réhabilitation, propriétés édaphiques, taux de recouvrement, diversité végétale.

**Keywords:** Algerian steppes, desertification, land reclamation, soil properties, plant cover, diversity.

*Plantations located in Tebessa, a semi arid zone of eastern Algeria, were chosen in which soil was sampled for physico-chemical analysis: pH, electrical conductivity, water content, the rates of total and active calcareous, organic matter, nitrogen and available phosphorus. Cover rates, abundance, specific richness and plant diversity were observed and evaluated.*

*Results of analysis of variance showed statistical significant effects of plantation age on organic matter, water content, active calcareous and soil cover rates.*

*These results suggest that *Opuntia ficus indica* plantations in semi arid zones could contribute to improve soil conditions and plant species abundance.*

## Version anglaise abrégée

The Algerian steppe is a large semiarid area of 20 millions hectares located between the annual isohyets of 100 mm and 400 mm (Djebaili 1984; Aidoud *et al.* 2006; Nedjraoui & Bedrani 2008). An important part of it reached a high level of erosion and degradation. Programs of its biological reclamation and rehabilitation must take into consideration the choice of plant species. Species those are able to grow in harsh conditions, such as low soil fertility, a small depth and a low capacity of water retention. They must also be drought tolerant. One of this species used in Algeria is *Opuntia ficus indica* L.

The aim of this study is to evaluate the impact of 0, 5, and 20 years old *Opuntia ficus indica* plantations on some soil physicochemical properties (*i.e.* pH, electrical conductivity, water content, organic matter, calcareous rates, nitrogen, phosphorus rates) and on vegetation characteristics (*i.e.* cover rates, abundance, specific richness and plant diversity).

Plantations of prickly pear were chosen in a semi arid zone of eastern Algeria, from which soil samples in the space between (interspace) shrubs were collected and analyzed. Except soil cover which was estimated during three seasons; abundance, richness and plant diversity were observed during spring 2008.

The results of statistical analysis consisting of ANOVA and comparison showed that the effect of *Opuntia ficus indica* plantations increased significantly the rate of organic matter from 2,47% to 4,97%, and of water content from 1,83% to 2,85%. Even though, the diversity was not affected, the abundance of plant species increased almost 2 fold and

half, from 56 individuals for control soil to 134 and 136 individuals for 5 and 20 years old plantations.

The results suggest that *Opuntia ficus indica* plantation, beside of the small amount of investment required for its establishment and high economical and ecological advantages, contributes on a long term significantly to improve soil conditions and spontaneous plant species abundance in semi arid zones.

## Introduction

Les steppes algériennes s'étendent sur une superficie de 20 millions d'hectares et sont situées entre les isohyètes 100 mm et 400 mm (Djebaili 1984 ; Aidoud *et al.* 2006 ; Nedjraoui & Bedrani 2008). Ces steppes sont à vocation essentiellement agropastorale à dominance pastorale.

Un certain nombre de facteurs, tels que la démographie croissante, les mauvaises pratiques culturelles et le surpâturage affectent le couvert végétal, la biodiversité et le sol de cet écosystème (Aidoud 1997) conduisant à sa dégradation et ainsi à la rupture des équilibres écologiques et socio-économiques. Comme dans la plupart des cas, la reconstitution du couvert végétal dans les parcours dégradés ne peut plus être assurée par des mécanismes de régénération naturelle, et donc nécessite le recours à des techniques d'aménagement et de gestion spécifiques avec un choix rigoureux d'espèces adaptées à ces régions. C'est le cas du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.), cactacée de type CAM (Gibson & Nobel 1986) qui présente de nombreux avantages tant sur le plan économique qu'écologique. En effet, cette espèce peu ou pas exigeante sur le plan pédologique et climatique, excepté les fortes gelées, requiert peu d'entretien (Mulas & Mulas 2004) et protège le sol contre l'érosion. En outre, elle possède une valeur alimentaire en tant que fruit (Pimienta-Barrios 1993 in Kabas *et al.* 2006) et comme complément fourrager pour le cheptel surtout durant la période de disette (Bensalem *et al.* 2002 ; Dubeux *et al.* 2006).

Le Houerou (1996) et Mendez *et al.* (2004) ont déjà signalé respectivement les effets positifs des barrières de figuier de Barbarie sur les teneurs en matière organique et les propriétés physiques du sol et leur rôle protecteur en tant que plante-nourrice, réduisant la consomma-

tion des plantules par les herbivores. Mais la plupart des études sur le figuier de Barbarie se sont focalisées sur sa distribution spatiale en Méditerranée (Erre *et al.* 2009), sa biologie (Snyman 2006 ; Reyes-Aguero *et al.* 2006) et sur la production et la qualité de son fruit (Parish & Felker 1997). Les travaux relatifs à l'impact des plantations sur les ressources naturelles des milieux dégradés particulièrement en Afrique du Nord sont plutôt rares.

C'est dans ce contexte que le Haut Commissariat au développement de la steppe (HCDS) a lancé dans les années 1990 plusieurs actions d'amélioration et de réhabilitation des parcours steppiques et des espaces marginaux par l'ensemencement et les plantations fourragères en partenariat avec les communautés agropastorales riveraines des périmètres communs et privés et par leur mise en défens. Parmi ces plantations, figurent celles de figuier de Barbarie. Cette opération vise comme objectifs principaux : (i) la réduction des superficies des terres défrichées, (ii) la valorisation des espaces marginaux, (iii) la génération d'une source supplémentaire de revenus pour les familles rurales qui permettrait la stabilisation des populations.

Dans le présent article, nous proposons d'évaluer les effets des plantations d'*Opuntia ficus indica* sur les propriétés du sol et la végétation en comparant des plantations âgées de moins de 5 ans et de plus de 20 ans avec des parcelles en friche dans une zone semi-aride de l'est algérien.

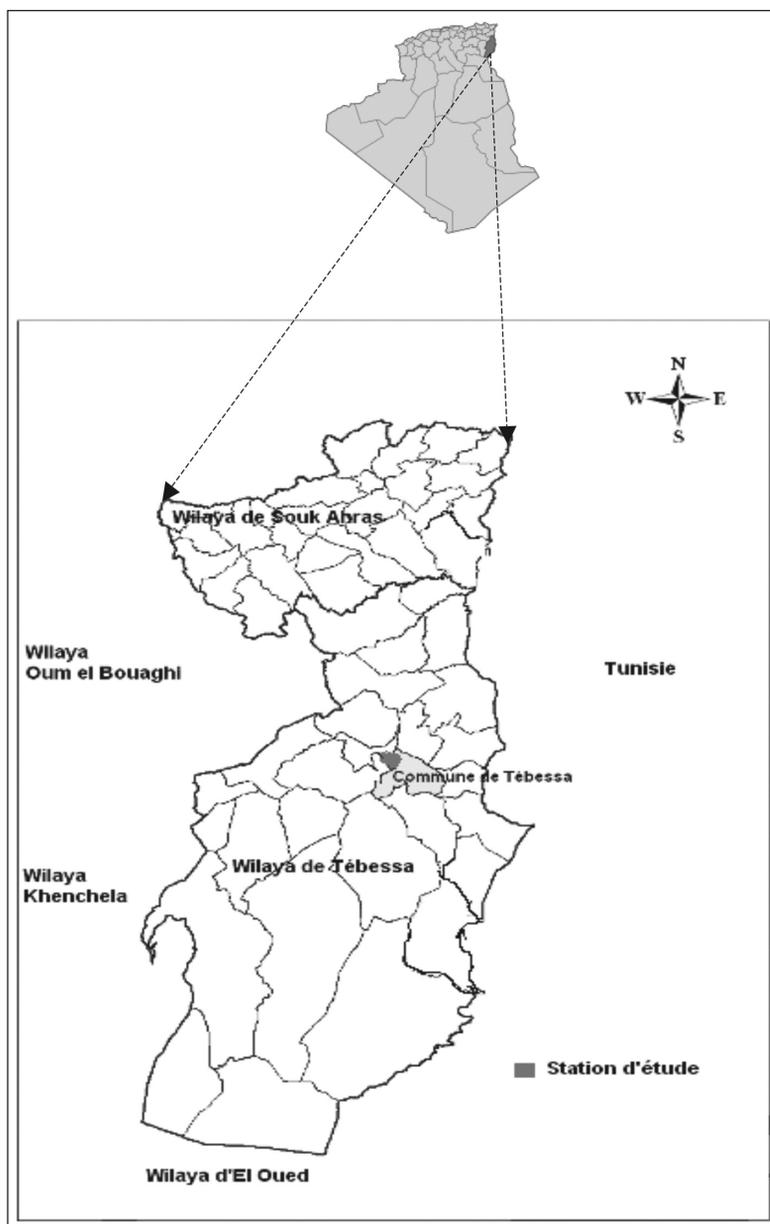


Figure 1 – Localisation de la zone et de la station d'étude.

Figure 1 – Location of the study area.

## Matériel et méthodes

### Description de la zone et de la station d'étude

L'étude a été conduite dans la station de Anba située à une altitude de 887 m, une latitude 35° 25' 08,3''N et une longitude 008° 09' 42,4''E. Cette station est localisée dans la commune de Tébessa, dans l'est algérien (figure 1). La commune de Tébessa fait partie du haut plateau tellien de l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par un hiver froid et sec et un été très chaud et sec. Les bases de données climatiques utilisées proviennent de la station météorologique de Tébessa et représentent une synthèse des données de 1972 à 2008.

Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 384 mm avec des variations intra, inter-saisons et interannuelles. La température annuelle moyenne, la température maximale au mois de juillet et la température minimale au mois de janvier sont respectivement de 15,80 °C, 26,43 °C et 6,18 °C (tableau 1). Le diagramme de Gaussen et Bagnouls (figure 2) révèle une période sèche s'étendant de la mi-mai jusqu'à la mi-octobre.

Les principaux types de roches ou de formations superficielles présentes dans la zone sont des calcaires. Ainsi les sols de la zone d'étude appartiennent à la classe des sols calcimagnésiques regroupant les sols carbonatés.

Tableau 1 – Données moyennes des précipitations et des températures de la période 1972-2008.

Table 1 – Average data of precipitations and temperatures during 1972-2008.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	6,18	7,64	10,20	13,29	18,83	23,28	26,43	25,70	21,46	17,00	12,02	7,62
P (mm)	26,44	24,77	37,80	35,33	38,83	39,91	13,47	29,28	40,37	30,46	33,30	34,37

Tableau 2 – Données moyennes des précipitations et des températures de l'année 2007-2008.

Table 2 – Average data of precipitations and temperatures during 2007-2008.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	22,02	17,62	10,55	6,95	7,00	8,30	10,91	15,58	19,31	23,41	28,70	27,30
P (mm)	49,70	15,40	9,30	28,70	6,10	7,00	36,40	28,00	67,40	12,90	4,30	18,70

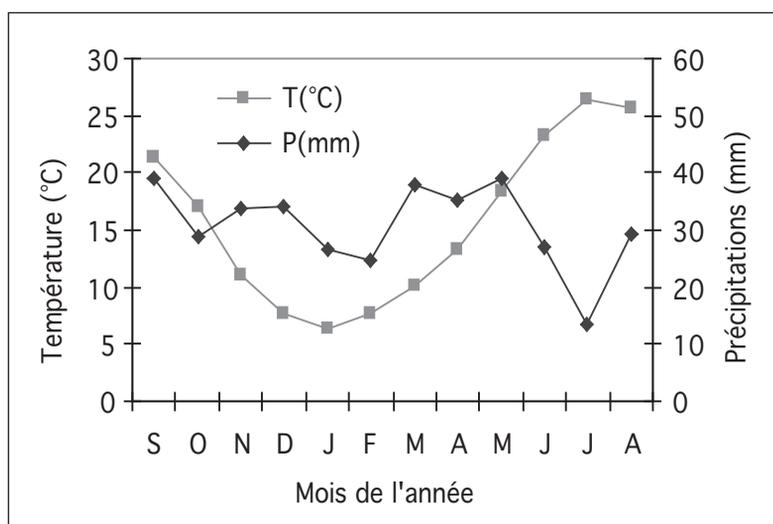


Figure 2 – Diagramme de Gaussen et Bagnouls de la station d'étude (1972-2008).

Figure 2 – Gaussen and Bagnouls diagramm of the study area (1972-2008).

La texture est en général argileuse et la charge caillouteuse est importante réduisant la profondeur de sol utile. L'évolution pédologique y est difficile en raison de l'aridité du climat. Ces sols sont squelettiques, pauvres en matière organique et sont sensibles à la dégradation (Djebaili 1984 ; Halitim 1988).

Des marques d'érosion sont observées régulièrement et témoignent de la nature orageuse des averses saisonnières que connaît la région.

Les espèces végétales qui prédominent sont : *Stipa tenacissima* (L), *Stipa parviflora* (Desf), *Thymus algeriensis* (B et R), *Artemisia herba alba* (Asso), *Artemisia campestris* (L), *Globularia alypum* (L) et *Anabasis articulata* (Forsk).

### Sélection des parcelles d'étude et échantillonnage des sols

L'étude a été menée dans des parcelles plantées d'*Opuntia ficus indica* âgées de moins de 5 ans et de plus de 20 ans et des parcelles voisines non plantées (témoin) (figures 3a, 3b, 3c). L'âge des plantations est obtenu suite à des enquêtes menées sur terrain et confirmées par le HCDS, promoteur du développement pastoral d'une manière générale et responsable du programme de réhabilitation et d'amélioration des parcours en particulier.

Afin de réduire et de contrôler les variations pédologiques et climatiques, toutes les parcelles ont été choisies proches les unes des autres, y compris les parcelles témoins qui sont en friche.

Trois parcelles, aux propriétés morphologiques et topographiques similaires, de superficie comprise entre 2 et 4 hectares chacune, ont été retenues pour chaque âge de plantation et le témoin. La technique de plantation est de deux types ; soit sous forme de dépôt de cladodes dans des potets ou le long de sillons parallèles aux courbes de niveaux avec un espace inter-sillons inversement proportionnel au degré de la pente. Le sol étant peu profond, la masse racinaire se retrouve par conséquent dans les couches les plus superficielles du sol avec un développement horizontal pouvant atteindre les 8 mètres (Sudzuki-Hill 1995 in Mulas et Mulas 2004).

### Analyses physico-chimiques du sol

En octobre 2008, quatre échantillons de sol d'une profondeur maximale de 20 cm ont été prélevés au milieu de l'espace interligne de chaque parcelle. Les sols ont été séchés à l'air,



Figure 3a – Plantation d'*Opuntia ficus indica* âgée de moins de 5 ans.

Figure 3a – Young plantation of *Opuntia ficus indica*.



Figure 3b – Plantation d'*Opuntia ficus indica* âgée de plus de 20 ans.

Figure 3b – Old Plantation of *Opuntia ficus indica*.



Figure 3c – Parcelle-témoin.

Figure 3c – Control-area.



Figure 3d – Établissement de la végétation herbacée autour du figuier de Barbarie (Cliché, Neffar 2008).

Figure 3d – Establishment of herbaceous vegetation around prickly pear (Photo, Neffar 2008).

tamisés à 2 mm et conservés dans des sacs en polyéthylène.

La granulométrie est déterminée par tamisage humide (AFNOR 1990) et la texture des sols a été déduite par projection des valeurs des fractions d'argiles, de limons et de sables sur un triangle textural. Le pH et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés sur une suspension sol-eau au rapport (1/5). Les teneurs en calcaire total ont été déterminées par la méthode de Dermech *et al.* (1982). Les teneurs en calcaire actif ont été déterminées par la méthode de Drouineau (Mathieu & Pieltain 2003). Les teneurs en carbone organique ont été déterminées par la méthode Anne (Bonneau & Souchier 1994). Les taux de matière organique ont été estimés en multipliant les teneurs en carbone organique par 1,72 (Mathieu & Pieltain 2003). Les teneurs

en azote total (N %) ont été déterminées par la méthode de Keldjahl décrite par Bonneau & Souchier (1994). Les teneurs en phosphore assimilable (Pa) ont été déterminées par la méthode Olsen (Mathieu & Pieltain 2003).

### Observations végétales

Vu le caractère steppique de la végétation, seul le taux de recouvrement a été évalué à chaque saison. L'établissement de la liste des espèces présentes et le relevé de leur abondance ont été réalisés durant la période de croissance optimale de la végétation. Les paramètres de la végétation (taux de recouvrement du sol, abondance et diversité spécifique) ont été estimés par la méthode linéaire de transect ou « line intercept » (Canfield 1941 *in* Cook & Stubbendiek 1986). Pour

chaque parcelle d'étude, quatre « transects » ont été choisis aléatoirement au niveau de l'espace interligne. La longueur de la corde dépendait de la largeur de l'espace interligne et variait de 2 à 8 mètres. Le long de la corde tendue, le relevé des paramètres de végétation a été effectué tous les 10 cm. Ces observations ont été effectuées durant le printemps 2008.

Le taux de recouvrement a été évalué par une estimation du pourcentage de sol couvert par la végétation comme étant le rapport de la longueur occupée par la végétation sur la longueur totale de la corde. Cette méthode bien qu'elle ne soit pas très précise, si le choix des « transects » n'est pas représentatif, a du moins l'avantage d'être rapide. La diversité spécifique a été évaluée par l'indice de Shannon ( $H'$ ) (Faurie *et al.* 2003).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \text{Log}_2 p_i$$

Avec  $p_i = n_i/N$  où  $n_i$  est le nombre d'individus de chaque espèce,  $N$  est le nombre total des individus de toutes les espèces et  $S$  étant le nombre d'espèces recensées.

L'équitabilité ( $E$ ) étant le rapport entre la diversité  $H'$  calculée et celle obtenue pour le nombre d'espèces inventoriées en cas d'équifréquence. Elle varie entre 0 et 1.

$$E = \frac{H'}{H_{max}} = H' / \text{Log}_2 S$$

### Analyses statistiques

L'analyse de la variance (ANOVA) à un critère de classification a été utilisée pour tester les effets d'une plantation de figuier de Barbarie sur les paramètres chimiques du sol, l'abondance et la richesse spécifique végétale. En fonction du résultat de l'ANOVA, un test de la PPDS (plus petite différence significative) de comparaison des moyennes a été effectué pour déterminer les différences statistiquement significatives entre les parcelles témoins, les plantations de moins de 5 ans et les plantations de plus de 20 ans. L'ANOVA à deux critères de classification a été utilisée pour tester les effets de l'âge d'une plantation et de la saison sur le taux de recouvrement de la végétation.

## Résultats

### Granulométrie et classes texturales

D'après les valeurs respectives des fractions argiles, sables et limons (tableau 3) projetées sur le triangle textural, les sols étudiés appartiennent aux classes texturales sablo-argileuses à limon-sablo-argileuse pour les jeunes plantations et argileuse pour les vieilles plantations et les parcelles témoins.

### Propriétés chimiques des sols

D'après les résultats consignés dans le tableau 3, les sols des différentes parcelles ont montré un pH proche de 8, une conductivité électrique inférieure à 1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , des teneurs en azote total de 0,10 %, des teneurs en phosphore assimilable inférieures à 2,53 ppm, des teneurs en calcaire total comprises entre 16 % et 20 % et un rapport C/N compris entre 13 et 21. Les analyses de variance effectuées sur ces paramètres n'ont pas révélé de différences significatives entre les parcelles plantées et les parcelles témoins.

Cependant, les taux d'humidité ( $p = 0,006$ ) des sols des parcelles plantées (2,41 % et 2,85 %) se sont avérés significativement plus élevés que le taux d'humidité des sols des parcelles témoins (1,83 %). Nous avons également mesuré des teneurs en calcaire actif dans les sols des parcelles plantées (entre 6 % et 10 %) significativement plus basses ( $p < 0,001$ ) que celles mesurées dans les sols des parcelles témoins (12 %). Différentes teneurs en matière organique ( $p = 0,0002$ ) ont été observées entre les parcelles témoins (2,47 %) et les jeunes plantations (3,12 %) et les plantations âgées de plus de 20 ans (4,97 %).

### Paramètres de la végétation

L'analyse de variance a révélé un effet significatif de la plantation de figuier de Barbarie ( $p = 0,0001$ ) sur le taux de recouvrement de la végétation qui se traduit par une augmentation particulièrement importante entre les parcelles témoins et les plantations âgées de moins de 5 ans et ceci pour les trois saisons d'observations (figure 4).

Nos résultats ont montré une absence d'effet significatif de la plantation sur l'abondance moyenne et la richesse spécifique moyenne (respectivement  $p = 0,26$  et  $p = 0,56$ ) (figures 5 et 6). Mais, si on prenait le nombre

Tableau 3 – Effet de l'âge des plantations sur les paramètres du sol.

Table 3 – Effect of the age of *Opuntia* plantation on soil parameters.

Âge des plantations (ans)	0	< 5	> 20
Sables (%)	34,25	54,94	41,61
Limons (%)	20,44	21,97	14,45
Argiles (%)	45,30	23,07	43,93
pH	8,07 ± 0,01a	8,04 ± 0,01a	8,05 ± 0,13a
Ce (µS/cm)	762,66 ± 26,78a	774,66 ± 18,94a	769,5 ± 23,26a
L'humidité (%)	1,83 ± 0,37b	2,41 ± 0,3a	2,85 ± 0,65a
Carbonates de calcium (%)	20,46 ± 3,55a	16,56 ± 0,56a	18,83 ± 3,01a
Calcaire actif (%)	12,60 ± 1,30a	6,9 ± 1,33c	10,69 ± 1,07b
Carbone (%)	1,44 ± 0,50b	1,82 ± 0,24b	2,89 ± 0,59a
Azote total (%)	0,10 ± 0,04a	0,13 ± 0,03a	0,13 ± 0,03a
C/N	14,09 ± 7,41a	13,43 ± 4,14a	21,87 ± 8,69a
Matière organique (%)	2,47 ± 0,86b	3,12 ± 0,41b	4,97 ± 1,01a
Phosphore assimilable (ppm)	1,26 ± 0,36a	2,53 ± 1,82a	1,65 ± 0,52a

Les valeurs représentent la moyenne de 6 répétitions. Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significatives au niveau  $p = 0,05$ . Les valeurs suivies de lettres différentes sont significatives au niveau  $p = 0,05$ .  
Values show the average of 6 repetitions. Means with different letters within a variable indicate significant difference at  $p = 0,05$ .

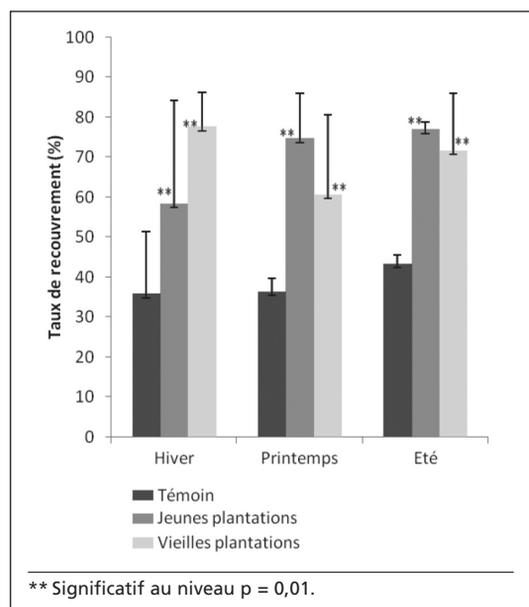


Figure 4 – Effet de l'âge des plantations sur le taux de recouvrement.

Figure 4 – Effect of the age of plantation on recovery.

total des individus recensés dans les trois parcelles confondues pour chaque niveau d'âge, on trouverait entre 134 et 136 individus dans les parcelles plantées contre 56 individus dans les parcelles témoins (tableau 4). Il en est de même pour la richesse totale qui a enregistré une valeur de 10 espèces dans les vieilles plantations, 8 espèces dans les plantations âgées de moins de 5 ans contre 9 espèces dans les parcelles témoins (tableau 4).

Le calcul de l'indice de Shannon a révélé des valeurs de diversité végétale très voisines entre les différentes parcelles comprises entre

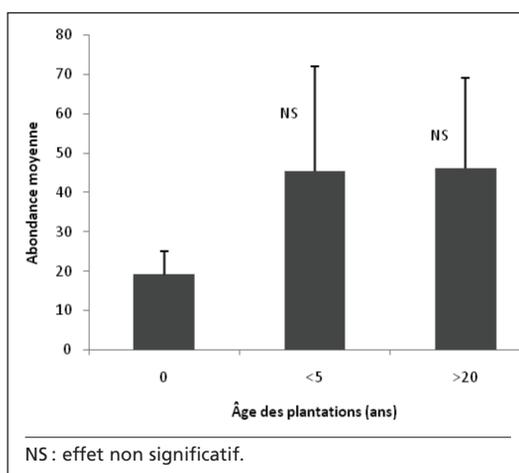


Figure 5 – Effet de l'âge des plantations sur l'abondance moyenne.

Figure 5 – Effect of the age of plantation on abundance.

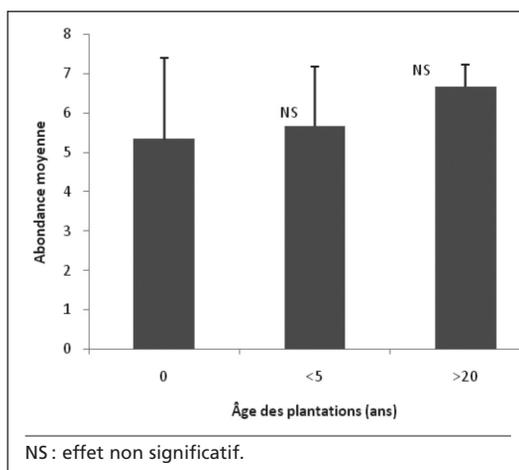


Figure 6 – Effet de l'âge des plantations sur la richesse spécifique moyenne.

Figure 6 – Effect of the age of plantation on species richness.

Tableau 4 – Liste des espèces recensées dans les différentes parcelles en 2008.

Table 4 – List of recensed species in different areas during 2008.

Nom de l'espèce	Témoins	Jeunes plantations	Vieilles plantations	Famille
1 – <i>Hordeum murinum</i> (L.)	4	37	73	Poacées
2 – <i>Artemisia campestris</i> (L.)	20	36	13	Asteracées
3 – <i>Stipa parviflora</i> (Desf.)	0	10	1	Poacées
4 – <i>Thymus algeriensis</i> (B et R)	5	0	0	Lamiacées
5 – <i>Rosmarinus officinalis</i> (L.)	1	0	0	Lamiacées
4 – <i>Plantago albicans</i> (L.)	20	43	17	Plantaginacées
5 – <i>Reichardia picrioides</i> (L.)	1	5	14	Asteracées
6 – <i>Ijuga iva</i> (L.)	0	1	0	Lamiacées
7 – <i>Echinops spinosus</i> (L.)	2	3	5	Asteracées
8 – <i>Malva sylvestris</i> (L.)	0	1	0	Malvacées
9 – <i>Pallenis spinosa</i> (L.) Coss	0	0	5	Asteracées
10 – <i>Anthemis arvensis</i> (L.)	1	0	1	Asteracées
11 – <i>Medicago littoralis</i> (Rhode)	0	0	1	Fabacées
12 – <i>Calendula arvensis</i> (L.)	1	0	4	Asteracées
<b>Abondance totale</b>	56	136	134	
<b>Richesse totale</b>	9	8	10	
<b>H'</b>	2,24	2,22	2,18	
<b>E</b>	0,70	0,74	0,65	

*NB*: sur ce tableau, vu le nombre réduit des espèces, nous avons considéré les relevés des 3 parcelles pour chaque niveau d'âge comme étant un seul relevé.

2,24 dans les témoins et 2,18-2,22 dans les plantations. L'équitabilité baisse légèrement dans les vieilles plantations ( $E = 0,65$ ) par rapport aux jeunes plantations et aux témoins qui ont enregistré respectivement les valeurs de 0,74 et 0,70 (tableau 4).

## Discussion

L'objectif de ce travail était de tester l'hypothèse selon laquelle les plantations de figuier de Barbarie pourraient améliorer les propriétés édaphiques et floristiques de milieux dégradés. Les résultats de cette étude permettent de retenir que ces dernières ont provoqué des effets variables sur les paramètres du sol et la végétation.

### Variation dans les propriétés du sol

L'effet de ces plantations, et ceci quel que soit leur âge s'est révélé statistiquement non significatif sur plusieurs variables : le pH, la CE, le taux de calcaire total, l'azote, le phosphore assimilable et le rapport C/N. L'importante variance dans chaque modalité testée suggère que d'autres facteurs sont plus influents que l'âge. Les sols des différentes parcelles ont montré dans l'ensemble un pH alcalin, moyennement calcaires (Baize & Jabiol 1995) et légèrement salés (Mathieu & Pieltain

2003). Les teneurs en phosphore assimilable sont faibles d'après la classification d'Olsen (Mathieu & Pieltain 2003).

L'ensemble de ces données amène à considérer d'une part les dépendances entre les teneurs en phosphore et celle du calcaire total et actif et d'autre part le pH. Ce dernier étant une variable principalement affectée par le matériel parental (Pansu *et al.* 1988 ; Rezaei & Gilkes 2005) et l'alcalinité enregistrée dans les différentes parcelles est certainement due à la nature calcaire de la roche mère de la région d'étude, d'où les valeurs de calcaire total et actif observées (Djebaili 1984 ; Halitim 1988). Par conséquent, cette situation réduit la teneur en phosphore assimilable dans le sol et donc sa disponibilité pour les plantes et les microorganismes (Khresat *et al.* 1988 ; Romanya & Rovira 2007). En outre, les faibles teneurs en phosphore assimilable peuvent être dues soit à la sécheresse, soit à l'érosion ou au prélèvement par les plantes (Li *et al.* 2004 ; Urioste *et al.* 2006), soit à la lenteur de la dégradation de la matière organique traduite par un ratio C/N élevé.

L'augmentation des ratios C/N dans les plantations âgées de plus de 20 ans suggère, malgré l'absence de différence significative entre les parcelles, une tendance à l'accumulation de la matière organique plus accrue dans les vieilles plantations (Boyer 1982 *in* Hamouni *et al.* 2004) exprimant ainsi une minéralisation plus lente du carbone que de l'azote (Urioste *et al.* 2006).

À l'opposé des paramètres précédents, le taux d'humidité et le taux de matière organique ont significativement augmenté sous les plantations. L'augmentation de la matière organique peut être corrélée au taux de recouvrement enregistré dans les plantations et engendrerait ainsi une augmentation de la capacité de rétention de l'eau des sols et donc des taux d'humidité (Su & Zhao 2003). Nous pensons qu'à l'instar des autres espèces utilisées dans la restauration des écosystèmes dégradés citées dans la littérature telles que *Caragana microphylla* (Su & Zhao 2003 ; Li *et al.* 2007 ; Zhao *et al.* 2007 ; Huang *et al.* 2007), *Retama sphaerocarpa* (Caravaca *et al.* 2003) et *Aloe secundiflora* (King 2007), l'*Opuntia ficus indica* n'a pas amélioré directement le taux de matière organique des sols. En effet, *Opuntia ficus indica* est une espèce non caduque qui ne perd que ponctuellement des raquettes âgées très lignifiées et donc à dégradation lente. Nous suggérons que le figuier de Barbarie aurait servi dans une certaine mesure de barrière piégeant les graines dispersées par le vent des espèces de la steppe. De ce fait, il faciliterait l'établissement d'une végétation herbacée qui contribuerait à augmenter les teneurs en matière organique dans les sols par son apport de la litière (Singh *et al.* 2001 in Su & Zhao 2003). Il en résulterait une augmentation du dépôt des nutriments et une réduction des eaux de ruissellement lors des averses, ainsi qu'une meilleure protection mécanique et une amélioration biologique de la surface du sol (Li *et al.* 2007). La matière organique est considérée comme l'un des plus importants paramètres d'apport des nutriments dans les sols pauvres (Zhou *et al.* 2008) et l'un des indicateurs les plus pertinents de la qualité du sol (Rezaei & Gilkes 2005).

### Variation dans les paramètres de végétation

Les espèces recensées sont majoritairement des herbes annuelles ou vivaces avec une dominance particulière de : *Hordeum murinum* (L.) et *Plantago albicans* (L.) rencontrées dans toutes les parcelles. Il a été retenu dans notre étude que le taux de recouvrement est significativement plus important dans les plantations par rapport aux témoins. En effet, cette variable est considérée par Yang *et al.* (2006) comme étant le meilleur indicateur du degré de restauration ou de désertification car il révèle fermement et sérieusement les chan-

gements dans les processus de restauration. L'absence de différence dans le taux de recouvrement entre les saisons est probablement due à la régularité pluviométrique qui a marqué les années 2007 et 2008 (tableau 2).

Bien que la diversité végétale demeure de façon controversée, une manière simple de mesurer la biodiversité (Gosselin *et al.* 2004 in Cheikh Al Bassatneh *et al.* 2007), nos résultats indiquent qu'elle ne doit pas être utilisée comme le seul indice de l'efficacité d'un procédé de restauration (Yang *et al.* 2006). Il en est de même pour l'abondance moyenne des individus, qui en dépit de la différence perceptible entre les différentes parcelles, ne semble pas être influencée significativement par l'âge des plantations. Si on considère l'abondance et la richesse totale (tableau 4), nos résultats ont clairement montré un doublement du nombre d'individus dans les plantations de figuier de Barbarie et ceci malgré une richesse identique entre les différentes parcelles.

Les valeurs d'indice de diversité végétale se sont avérées très voisines entre les différentes parcelles mais avec une équitabilité plus faible chez les vieilles plantations traduisant la dominance d'*Hordeum murinum* dont le nombre de plants a atteint 73 sur 134 individus toutes espèces confondues. Il n'est cependant pas possible de formuler des conclusions fermes sur ces résultats car nos observations ont été réalisées au cours d'une seule saison de croissance.

D'après Brown et Al-Mazrooei (2003), le taux de recouvrement est vu comme un processus lent dans les écosystèmes désertiques, mais dans notre cas, en étudiant la question dans un contexte d'amélioration, il est préférable de donner de l'importance à cette variable dans un premier temps au détriment des indices de structure (diversité et équitabilité) compte tenu de l'état de dégradation atteint par les parcours, leur faible stock de semences dans le sol et les espèces végétales majoritairement des annuelles dépendant des pluies saisonnières. En outre, la litière de ces herbacées pourrait constituer une source de matière organique intéressante dans ces plantations parce qu'elle se décompose plus facilement que celle des arbustes (Li *et al.* 2006). Par ailleurs, les herbacées annuelles possèdent une croissance rapide, un cycle de vie court (Mun & Whitford 1998 in Su & Zhao 2003) et une plus grande production annuelle des graines (Huang *et al.* 2007).

## Conclusion

Il découle de cette étude préliminaire que l'amélioration de la fertilité des sols dégradés des steppes par une plantation de figuier de Barbarie est un processus écologique complexe soumis à l'effet simultané et conjugué des différents facteurs biotiques et abiotiques (Liu *et al.* 1998 in Su & Zhao 2003). Nos observations sur le terrain ont montré que l'*Opuntia ficus indica*, arbuste arido-résistant (Tegegne *et al.* 2007), pourrait protéger le sol contre l'érosion avec son appareil racinaire étendu, piéger avec sa partie aérienne les limons éoliens riches en nutriments (Wezel *et al.* 2000 in Su & Zhao 2003), et créer des « îlots de fertilité » autour de lui (figure 3d) jouant ainsi le rôle de plante-refuge pour les graines incapables de s'installer dans les espaces ouverts.

Les plantations de figuier de Barbarie pourraient être une stratégie prometteuse de conservation des steppes algériennes et des espaces marginaux qui ont perdu toute vocation agropastorale.

## Références

- Afnor, 1990. Granulats, analyse granulométrique par tamisage. Norme P18-560.
- Aidoud A., 1997. Changement de végétation et changement d'usage dans les parcours steppiques d'Algérie. *Sécheresse*, 7 : 187-193.
- Aidoud A., Le Floc'h E. & Le Houerou H.N., 2006. Les steppes arides du Nord de l'Afrique. *Sécheresse*, 17 : 19-30.
- Baize D. & Jabiol B., 1995. *Guide pour la description des sols : techniques et pratiques*. Paris, INRA, 375 p.
- Bensalem H., Nefzaoui A. & Bensalem L., 2002. Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus indica* f. *inermis* L. Mill and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. *Animal Feed Sciences and Technology*, 96: 15-30.
- Bonneau M. & Souchier B., 1994. *Constituants et propriétés du sol*. Paris, Masson, 665 p.
- Boyer, 1982. In : Hamouni M., Touaf L. & Chekired Z., 2004. *Analyse du sol, intérêt agronomique*. Alger, Institut national de l'irrigation et du drainage (INSID), 27 p.
- Brown G. & Al-Mazrooei S., 2003. Rapid vegetation regeneration in a seriously degraded *Rantherium epapposum* community in northern Kuwait after 4 years of protection. *Journal of Environmental Management*, 68: 387-395.
- Caravaca F., Alguacil M.M., Figueroa D., Barea J.M. & Roldan A., 2003. Re-establishment of *Retama sphaerocarpa* as a target species for reclamation of soil physical and biological properties in a semi arid Mediterranean area. *Forest Ecology and Management*, 182: 49-58.
- Canfield R.H., 1941. In : Cook C.W. & Stubbendieck J., 1986. *Range Research: Basic problems and techniques*. Society of Range management, Denver, Colorado, 51-71.
- Dermech Kh., Karouani M. & El Belkhi M., 1982. *L'essentiel en pédologie*. Haleb, Syrie, Direction des publications universitaires.
- Djebaili S., 1984. *Steppes algériennes : phytosociologie et écologie*. Alger, Office des publications universitaires, 177p.
- Dubeux J.R., Ferreira dos Santos M.V., de Andrade Lira M., Cordeiro dos Santos D., Farias I., Lima L.E. & Ferreira R.L.C., 2006. Productivity of *Opuntia ficus indica* under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environment*, 67: 357-372.
- Erre P., Chessa I., Nieddu G. & Jones P.G., 2009. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, doi: 10. 1016/j. jaridenv.2009. 05.010.
- Faurie C., Ferra Ch., Medori P., Dévaux J. & Hemptinne J.L., 2003. *Ecologie : approche scientifique et pratique*. Paris, Tec & Doc, 407 p.
- Gibson A.C. & Nobel P., 1986. *The Cactus primer*. Cambridge, Harvard University Press.
- Gosselin *et al.*, 2004. In : Cheikh Al Bassatneh M., Fady B., Simon-Teissier S. & Taton T., 2007. Biodiversité floristique et gestion sylvicole dans les systèmes forestiers supraméditerranéens et montagnards de la montagne de Lure (sud-est de la France). *Ecologia mediterranea*, 33 : 29-42.
- Halitim A., 1988. *Sols des régions arides*. Alger, Office des publications universitaires, 384 p.
- Huang D., Wang K. & Wu W.L., 2007. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation successions characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agropastoral transition zone in Northern China. *Journal of Arid Environments*, 70: 120-136.
- Khresat S.A., Rawajfih Z. & Mohammad M., 1988. Land degradation in north-western Jordan: causes and processes. *Journal of Arid Environment*, 39: 623-629.
- King E.G., 2007. Facilitative effects of *Aloe secundiflora* shrubs in degraded semi-arid rangelands in Kenya. *Journal of Arid Environment*, doi:10.1016/j.jaridenv.2007.08.001.
- Le Houerou H.N., 1996. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, 33: 135-159.
- Li F.M., Song Q.H., Jjemba P.K. & Shi Y.C., 2004. Dynamic of soil biomass microbial C and soil fertility in Cropland mulched with plastic film in a semi arid agro-ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1893-1902.
- Li J., Zhao C., Zhu H., Li Y. & Wang F., 2007. Effect of plant species on shrub fertile island at an oasis-desert ecotone in the South Junggar Basin China. *Journal of Arid Environments*, 71: 350-361.
- Li X.R., Jia X.H. & Dong J.R., 2006. Influence of desertification on vegetation pattern variation in the cold semi arid grasslands of Qinghai – Tibet Plateau, Northwest China. *Journal of Arid Environment*, 64: 505-22.
- Liu S.R., Li X.M. & Niu L.M., 1998. The degradation of soil fertility in pure larch plantations in the nor-

- theastern part of China. In: Su Y. & Zhao H., 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy land, North China. *Ecological Engineering*, 20: 223-235.
- Mathieu C. & Pieltain F., 2003. *Analyse chimique de sol : méthodes choisies*. Paris, Tec & Doc, 388 p.
- Mendez E., Guevara J.C. & Estevez O.R., 2004. Distribution of cacti in *Larrea* spp. shrublands in Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environment*, 58: 451-462.
- Mulas M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR, 112 p.
- Mun H. T. & Whitford W. G., 1998. Changes in mass and chemistry of plant roots during long-term decomposition on a Chihuahuan Desert watershed. In: Su Y & Zhao H., 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy land, North China. *Ecological Engineering*, 20: 223-235.
- Nedjraoui D. & Bédrani S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement* ; 8 [en ligne], mis en ligne le 7 novembre 2008.  
URL : <http://vertigo.revues.org/index5375.html>. Consulté le 16 décembre 2008.
- Pansu M., Gautheyrou J. & Loyer J.Y., 1998. *L'analyse du sol, échantillonnage, instrumentation et contrôle*. Paris, Masson, 497 p.
- Parish J. & Felker P., 1997. Fruit quality and production of cactus pear (*Opuntia* spp.) fruit clones selected for increased frost hardiness. *Journal of Arid Environments*, 37: 123-143.
- Pimienta-Barrios E., 1993. El nopal (*Opuntia* spp.) una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas. In: Kabas O., Ozmerzi A. & Akinci I., 2006. Physical properties of cactus pear grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 73:198-202.
- Reyes-Aguero J.A., Aguirre J.R. & Valiente-Banuet A., 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, 64: 549-585.
- Rezaei S. & Gilkes R., 2005. The effect of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125: 167-176.
- Romanya J. & Rovira P., 2007. Labile phosphorus forms in irrigated and rained semi arid Mediterranean grassy crops with long term organic or conventional farming practices. *European Journal Agronomy*, 27: 62-71.
- Singh K.P., Mandal T.N. & Tripathi S.K., 2001. Patterns of restoration of soil physicochemical properties and microbial biomass in different land slide sites in the soil forest ecosystems of Nepal Himalaya. In: Su Y. & Zhao H., 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy land, North China. *Ecological Engineering*, 20: 223-235.
- Snyman H.A., 2006. A greenhouse study of root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus indica* and *O. robusta*. *Journal of Arid Environments*, 65: 529-542.
- Su Y. & Zhao H., 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy land, North China. *Ecological Engineering*, 20: 223-235.
- Sudzuki-Hills F., 1995. Anatomy and morphology. In: Mulas M. & 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 Environmental Action Programme (SMAP). Université des études de SASSAR.
- Tegegne F., Kijora C. & Peters K.J., 2007. Study of the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) supplementation to sheep and its contribution as source as water. *Small Ruminant Research*, 72: 157-164.
- Trieste A.M., Hevia G.G., Hepper E.N., Anton L.E., Bono A.A. & Buschiazzi D.E., 2006. Cultivation effects of the distribution of organic carbon, total nitrogen and phosphorus in soils of the semiarid region of Argentinian Pampas. *Geoderma*, 136: 621-630.
- Yang H., Lu Q., Wu B., Yang H., Zhang J. & Lin Y., 2006. Vegetation diversity and its application in sandy desert revegetation on Tibetan Plateau. *Journal of Arid Environment*, 65: 619-631.
- Zhao H.L., Zhou R.L., Su Y.Z., Zhang H., Zhao L.Y. & Drake S., 2007. Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. *Ecological engineering*, 31: 1-8.
- Zhou R.L., Li Y. Q., Zhao H.L. & Drake S., 2008. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin, northern China. *Geoderma*, 145: 370-375.
- Wezel A., Rajot J. L. & Herbrig C., 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their functions in Sahelian agroecosystems in semi arid Niger. In: Su Y. & Zhao H., 2003. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy land, North China. *Ecological Engineering*, 20: 223-235.

