

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR –

ANNABA

جامعة باجي مختار

عنابة



FACULTÉ DES SCIENCES

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

LABORATOIRE DE BIOSURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

Thèse En vue de l'obtention d'un Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Végétale

**Intitulé**

« **Potentiel de la flore rare et endémique dans le Nord-Est algérien : cas de la wilaya de Souk Ahras. Utilisation de champignons mycorhiziens sur *Opuntia maxima* Mill.** ».

**Présentée par : Mlle. TOUATI Leïla**

**Directeur de thèse : MEDDAD-HAMZA Amel** (MCA, Université Badji Mokhtar - Annaba)

**Co- Directeur de thèse : HAMEL Tarek** (MCA, Université Badji Mokhtar -Annaba)

**Devant un jury composé de :**

Pr. BELABED Adnène Ibrahim Président Université Badji Mokhtar - Annaba

Pr. SLIMANI Ali Examineur Université Chedli Bendjedid - El Tarf

Dr. BOUTABIA Lamia Examinatrice Université Chedli Bendjedid - El Tarf

Dr. HENNOUNI Nacera Examinatrice Université Chedli Bendjedid - El Tarf

Soutenue le 13/03/2022

## *Dédicaces*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance envers tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ma réussite, avec l'expression de ma reconnaissance à ceux qui, quels que soient les termes, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

### *À la mémoire de :*

- + L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir un jour, mon adorable cher père : **Khémis**. Toute l'encre du monde ne peut suffire pour exprimer mes sentiments pour toi. Tu as toujours été mon maître de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Tu étais et tu resteras pour moi ma référence et la lumière qui éclaire mon chemin.*
- + Ma mère **Bariza** qui a toujours voulu nous voir réussir, hélas, elle a quitté ce monde très tôt.*
- + Ma sœur aînée et deuxième mère **Amel** qui a toujours veillé à ma réussite et mon bonheur.*
- + Mon collègue et autre frère, **AOUADI Atef** qui a un jour souhaité me voir y arriver, malheureusement, il est parti bien avant.*

*Que dieu le tout puissant vous accueille dans son vaste paradis et vous accorde son infinie miséricorde.*

***LEÏLA.***

# Remerciements

À dieu le tout puissant, sans sa miséricorde, ce travail n'aurait jamais pu voir le jour.

- ✚ À ma directrice de thèse, **Dr. MEDDAD-HAMZA Amel**, Maître de conférences « A » à l'UBMA Annaba pour son aide immense, sa simplicité et ses valeurs uniques qui m'ont toujours soutenu tout au long de la réalisation de ce travail. Soyez rassurée, Madame de ma profonde gratitude, mes sincères remerciements et mon estime pour toujours.
- ✚ À mon co-directeur de thèse, **Dr. HAMEL Tarek**, Maître de conférences « A » à l'UBMA Annaba pour son aide précieuse et constante durant la réalisation de ce travail, il m'a orienté vers le succès avec ses conseils, ses encouragements et sans soutien moral tout au long de ces années. Je vous suis extrêmement reconnaissante pour tout ce que vous m'avez offert.
- ✚ Mes vifs remerciements iront au **Pr. BELABED Ibrahim Adnène** de l'UBMA Annaba de m'avoir honoré en acceptant de présider le jury de cet humble travail et pour son aide et son soutien moral précieux.
- ✚ Je tiens aussi à présenter mes sincères remerciements aux membres de jury, examinateurs : **Pr. SLIMANI Ali, Dr. BOUTABIA Lamia, Dr. HENNOUNI Nacera** de l'UCB El Tarf d'avoir eu la courtoisie d'accepter d'examiner ce modeste travail.
- ✚ Une très grande reconnaissance à Mr. **ALLALGA Mounir**, agriculteur dans la Mechta Ben Attia qui m'a beaucoup aidé en acceptant d'exploiter une partie de son terrain afin de réaliser mes expériences et ce, malgré ses engagements.
- ✚ Je tiens à remercier aussi et tout particulièrement, Mr. **SAKHRI Mohamed** pour sa présence et son soutien tout au long des moments difficiles de la réalisation de ce travail.
- ✚ Je tiens à présenter ma reconnaissance aux efforts déployés de Mr. **MECHENTEL El Hedi**, maitre-assistant « A » à l'ISAV-Taoura, université -Souk Ahras- d'avoir consacré du temps afin de m'aider à effectuer les analyses statistiques de ce travail.
- ✚ J'adresse mes vifs remerciements aux membres de ma famille grands et petits : mon neveu **Zakaria**, mes frères : **Mohamed Ali** et **Abdelaziz**, mes sœurs : **Sonia, Fatima** et **Nedjoua**, ma belle-sœur : **Mouna**, mes neveux : **Nizar, Islem, Wassim, Yacine, Mohcen** et ma nièce : **Sara**.
- ✚ Sans oublier de remercier mes anciens et actuels collègues de travail d'avoir participé à cette réussite : **Alitatar Brahem, Badouna Bahaeddine, Ramdani Kamel, Amara-Atamna Assila, Belahcene Soraya, Chaker Amina, Abdeltif Bisma, Abdelwaheb Katia**.
- ✚ Enfin, je n'oublierais de remercier mes adorables étudiantes et ex-étudiantes : **Makhloufi Sabrina, Sellah Amel, Bouakel Chaïma, Chabbi Roumaïssa, Khedara Imène, Loumaïzia Faïrouz, Samar Chaïma** et **Belaid Aya**, pour tout le soutien moral qu'elles m'ont offerts.

# *RÉSUMÉS*

**RÉSUMÉ :**

La rareté et l'endémisme sont les concepts les plus importants de la biodiversité d'une région qui revêtent une grande importance pour la conservation. Dans cette étude menée dans la wilaya de Souk Ahras (Nord-Est algérien), une liste complète de toutes les espèces patrimoniales, leur composition taxonomique et leur répartition géographique sont présentées.

L'artificialisation d'un habitat naturel causée par une modification anthropique, se réfère à des modes d'occupation et d'affectation des sols spécifiques. Ainsi, les milieux agricoles, qui, enrichis de nutriments ou cultivés n'abritent qu'une faible part la biodiversité naturelle. En effet, en vue de connaître l'impact de l'artificialisation des milieux naturels, une étude a été menée dans la Mechta Ben Attia au Sud-Est de la wilaya de Souk-Ahras. Pour cela, l'inventaire floristique loin et au périmètre du figuier de Barbarie (*Opuntia maxima* Mill.) cultivé, ainsi que l'impact de cette culture comme stimulateur de la vitalité du sol, notamment en mycorhizes ont été menés. Par ailleurs, l'apport de mycorhizes exogènes a été testé pour évaluer son effet à améliorer la mycorhization et la fertilité du sol (richesse en propagules mycorhiziens).

Un total de 119 espèces réparties dans les différents habitats appartenant aux deux secteurs phytogéographiques (C1 et H2) de la région de Souk Ahras a été inventorié. Ainsi, le taux de rareté et d'endémisme a augmenté le long d'un gradient de richesse en matière organique, ce qui fait que les zones forestières et pré-forestières abritent un nombre plus élevé de taxons.

La station d'étude de la Mechta Ben Attia à climat semi-aride et aux sols artificialisés par la culture d'*Opuntia maxima* Mill., a permis d'inventorier 79 espèces loin et 83 espèces au périmètre de cette culture, ce qui reflète une richesse spécifique assez importante malgré l'aridité du climat. La présence d'*Opuntia maxima* a permis une modification de la composante floristique à son périmètre et a favorisé l'installation de plus de Poaceae (102 individus répartis sur 12 espèces), qui sont majoritairement des espèces annuelles. Aussi, nous avons enregistré un seul taxon à statut protégé dans la liste algérienne (*Argyrolobium saharae* Pomel.), d'où il nous semble que la présence d'*Opuntia maxima* a été défavorable pour l'installation des endémiques strictes et rares.

*Cynodon dactylon* (L.) Pers. (49 plants) et *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams (31 plants) ont été les espèces les plus abondantes au périmètre du figuier de Barbarie, la première en raison de son appartenance aux Poaceae, famille la plus attirée par l'*Opuntia maxima* et la seconde, à cause de sa préférence pour les milieux cultivés.

Bien que la présence d'*Opuntia maxima* ait exercé un impact en attirant plus de végétation spontanée annuelle, elle a aussi amélioré la mycorhization de la végétation à son périmètre. L'apport de champignons mycorhiziens à arbuscules exogènes nous a permis d'observer une richesse du sol en propagules en présence de la matière organique d'une manière significative. Les essais en plein champ ont montré que l'utilisation de 5g d'*inoculum* et 100g de matière organique par plant est le traitement qui a présenté la meilleure efficacité biologique/économique durable (jusqu'à 3 ans). Cette efficacité s'est traduite par une augmentation de la colonisation mycorhizienne au niveau des racines d'*Opuntia maxima* et par la richesse du sol en propagules aptes à générer une mycorhization.

**Mots clés :** Rareté, endémisme, Souk Ahras (Nord-Est algérien), *Opuntia maxima*, inventaire floristique, sols, champignons mycorhiziens à arbuscules.

**ABSTRACT :**

Scarcity and endemism are the most important concepts of a region's biodiversity that are of great importance for conservation. In this study conducted in the wilaya of Souk Ahras (North-East Algeria), a complete list of all heritage species, their taxonomic composition and geographic distribution are presented.

Artificialization of a natural habitat caused by anthropogenic modification refers to specific soils use patterns and occupancy patterns. Thus, agricultural environments, which, enriched with nutrients or cultivated, shelter only a small part of the natural biodiversity. Indeed, in order to know the impact of the artificialization of natural environments, a study was conducted in the Mechta Ben Attia in the southeast of the wilaya of Souk-Ahras. For this purpose, the floristic inventory far from and at the perimeter of the prickly pear (*Opuntia maxima* Mill.) cultivated, as well as the impact of this culture as a stimulator of the vitality of the soil, especially in mycorrhizae were conducted. In addition, the addition of exogenous mychorizae was tested to evaluate its effect in improving mycorrhization and soil fertility (richness in mycorrhizal propagules).

A total of 119 species distributed in the different habitats belonging to the two phytogeographic sectors (C1 and H2) of the Souk Ahras region has been inventoried. Thus, the rate of scarcity and endemism increased alongside a gradient of organic matter richness, which means that forest and pre-forest areas shelter a higher number of taxa.

The study station of Mechta Ben Attia with a semi-arid climate and soils artificialized by the cultivation of *Opuntia maxima* Mill., has allowed to inventory 79 species far and 83 species at the perimeter of this culture, which reflects a fairly important specific richness despite the aridity of the climate. The presence of *Opuntia maxima* has allowed a modification of the floristic component at its perimeter and has favored installation of more Poaceae (102 individuals distributed over 12 species), which are mostly annual species. Also, we recorded only one taxon with protected status in the Algerian list (*Argyrolobium saharae* Pomel.), from which it seems to us that the presence of *Opuntia maxima* was unfavorable for the installation of strict and rare endemics.

*Cynodon dactylon* (L.) Pers. (49 plants) and *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams (31 plants) were the most abundant species at the perimeter of the prickly pear, the first one because of its belonging to the Poaceae, family most attracted by *Opuntia maxima*, and the second one, because of its preference for cultivated environments.

Although the presence of *Opuntia maxima* exerted an impact by attracting more annual spontaneous vegetation, it also enhanced the mycorrhization of the vegetation at its perimeter. The addition of exogenous arbuscular mychorizal fungi allowed us to observe a richness of the soil in propagules in presence of organic matter in a significant way. Field trials showed that the use of 5g of *inoculum* and 100g of organic matter per plant was the treatment that presented the best biological/economic efficiency (up to 3 years). This efficiency was reflected by an increase in mycorrhizal colonization at the level of *Opuntia maxima* roots and by the richness of the soil in propagules capable of generating mycorrhization.

**Key words :** Scarcity, endemism, Souk Ahras (North-East Algeria), *Opuntia maxima*, floristic inventory, soils, arbuscular mychorizal fungi.

**ملخص:**

تعتبر الندرة والتوطن من أهم مفاهيم التنوع البيولوجي لمنطقة والتي لها أهمية كبيرة في المحافظة على هذا التنوع. في هذه الدراسة التي أجريت في ولاية سوق أهراس (شمال شرق الجزائر)، تم تقديم قائمة كاملة بجميع الأنواع الموروثة، تركيبها التصنيفي وتوزيعها الجغرافي.

فقدان الطابع الطبيعي لموطن، الناجم عن التدخل البشري يشير إلى نسق استخدام وتخصيص نوعي للتربة، وبالتالي الأوساط الفلاحية، الغنية بالمغذيات أو المزروعة، لا تؤوي سوى جزء صغير من التنوع البيولوجي الطبيعي. من أجل معرفة تأثير تغيير النمط الطبيعي على الأوساط، تم إجراء دراسة على مستوى مشتة بن عطية الواقعة جنوب شرق ولاية سوق أهراس. لهذا الغرض، قمنا بجرد للنباتات المتواجدة بعيداً وفي محيط التين الشوكي (*Opuntia maxima* Mill.) المزروع، بالإضافة إلى تأثير هذه الزراعة كمحفز لحيوية التربة، لا سيما فيما يخص الميكوريزا. كما تم اختبار إضافة الفطريات الميكوريزية الشجيرية الخارجية لتقييم تأثيرها في تحسين التكاثر الفطري وخصوبة التربة (ثروة تكاثر الميكوريزا).

تم جرد ما مجموعه 119 نوعاً موزعة في المواطن المختلفة التي تنتمي إلى القطاعين الجغرافيين النباتيين (C1 وH2) في منطقة سوق أهراس. وبالتالي، فإن معدل الندرة والتوطن قد زاد على طول تدرج ثراء المادة العضوية، مما يعني أن المناطق الغابية وما قبل الغابية تحوي عدداً أكبر من الأصناف.

محطة الدراسة لمشتة بن عطية ذات المناخ شبه الجاف والتربة الخاضعة للممارسات الزراعية بواسطة زراعة *Opuntia maxima*، مكنت من جرد 79 نوعاً بعيداً عن هذه الزراعة و83 نوعاً في محيطها، مما يعكس ثراءً عالمياً إلى حد ما، بالرغم من جفاف المناخ. سمح وجود *Opuntia maxima* في الوسط بتعديل تركيبة الغطاء النباتي في محيطه مع دعم وجود عدد أكبر من النباتات التي تنتمي إلى فصيلة النجيليات (102 فرداً موزعين على 12 نوعاً)، وهي نباتات سنوية بشكل أساسي. أيضاً، سجلنا تصنيفاً واحداً فقط يتمتع بوضع محمي في القائمة الجزائرية (*Argyrolobium saharae* Pomel.)، بحيث يبدو لنا أن وجود *Opuntia maxima* كان غير مواتٍ لتواجد الأنواع المستوطنة الصارمة و النادرة.

*Rhodolsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams (31 نبتة)، و *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (49 نبتة) والأصناف الأكثر وفرة في محيط التين الشوكي، الأول بسبب انتمائه إلى النجيليات (Poaceae)، الفصيلة الأكثر انجذاباً إلى *Opuntia maxima* والثاني بسبب تفضيله للأوساط المزروعة.

على الرغم من أن وجود *Opuntia maxima* كان له تأثير من خلال جذب المزيد من النباتات العفوية السنوية، إلا أنه أدى أيضاً إلى تحسين التكاثر الفطري للنباتات في محيطه. سمحت لنا إضافة الفطريات الميكوريزية الشجيرية الخارجية بتسجيل ثراء التربة بتكاثر الفطريات بطريقة معنوية وهذا في وجود المادة العضوية. أظهرت التجارب في الحقل أن استخدام 5 غرام من اللقاح الميكوريزي و100 غرام من المادة العضوية لكل نبتة هو العلاج الذي أظهر أفضل فعالية بيولوجية / اقتصادية مستدامة (إلى غاية 3 سنوات). انعكست هذه الفعالية في زيادة استعمار الفطريات على مستوى جذور *Opuntia maxima* وفي ثراء التربة بالنسبة للتكاثر القادر على توليد الفطريات.

**الكلمات المفتاحية:** الندرة، التوطن، سوق أهراس (شمال شرق الجزائر)، *Opuntia maxima*، جرد النباتات، التربة، الفطريات الميكوريزية الشجيرية.

# *Table des matières*



## *Table des matières*

Résumé .....	<i>i</i>
Abstract .....	<i>ii</i>
ملخص .....	<i>iii</i>
Table des matières .....	<i>iv</i>
Liste des sigles et des acronymes .....	<i>viii</i>
Liste des figures .....	<i>x</i>
Liste des photos .....	<i>xii</i>
Liste des tableaux .....	<i>xiii</i>
<b>INTRODUCTION :</b> .....	<b>1</b>
<b>1. CONNAISSANCES BIBLIOGRAPHIQUES :</b> .....	<b>6</b>
1.1. Taxons floristiques patrimoniaux : .....	6
1.1.1. Hotspots et flore méditerranéenne : .....	6
1.1.2. État de la flore rare et endémique en Algérie : .....	7
1.1.3. Les plantes à intérêt fourrager : .....	8
1.1.3.1. Généralités : .....	8
1.1.3.2. Rôle des plantes à intérêt fourrager en agriculture : .....	10
1.1.3.2.1. Les Asteraceae : .....	10
1.1.3.2.2. Les Poaceae : .....	11
1.1.3.2.3. Les Fabaceae : .....	11
1.1.3.2.4. Les Lamiaceae : .....	11
1.1.3.2.5. Les Plantaginaceae : .....	11
1.1.3.2.6. Les Alliaceae : .....	11
1.1.3.2.7. Les Apiaceae : .....	12
1.1.3.2.8. Les Caryophyllaceae : .....	12
1.1.3.2.9. Les Brassicaceae : .....	12
1.1.3.2.10. Les Convolvulaceae : .....	12
1.2. Le figuier de Barbarie : <i>Opuntia maxima</i> Mill. ....	12
1.2.1. Généralités sur le figuier de Barbarie : .....	12
1.2.2. Description botanique et morphologique d' <i>Opuntia maxima</i> : .....	14
1.2.2.1. Description botanique : .....	14
1.2.2.2. Description morphologique d' <i>Opuntia maxima</i> : .....	15
1.2.2.2.1. Les raquettes : .....	15
1.2.2.2.2. Le système racinaire : .....	15
1.2.2.2.3. La fleur : .....	16
1.2.2.2.4. Le fruit : .....	16
1.2.3. Situation de l'espèce : .....	17
1.2.3.1. Dans le monde : .....	17
1.2.3.2. En Algérie : .....	18
1.2.4. Exigences écologiques de l'espèce : .....	19
1.2.4.1. Température : .....	19
1.2.4.2. Précipitations : .....	20
1.2.4.3. Sol : .....	20

1.2.5.	Utilisations : .....	20
1.2.5.1.	Usage alimentaire : .....	21
1.2.5.2.	Usage cosmétique : .....	21
1.2.5.3.	Usage médical : .....	22
1.2.5.4.	Usage agronomique : .....	22
1.3.	Les mycorhizes : .....	23
1.3.1.	Généralités : .....	23
1.3.2.	Les types de mycorhizes : .....	24
1.3.2.1.	Les ectomycorhizes : .....	24
1.3.2.2.	Les endomycorhizes : .....	25
1.3.2.3.	Les ectendomycorhizes : .....	25
1.3.2.4.	Les mycorhizes à arbuscules (MA) : .....	26
1.3.2.4.1.	Les structures des CMA : .....	27
1.3.2.4.2.	Rôles des CMA dans les écosystèmes : .....	30
1.3.3.	Place des mycorhizes dans l'agriculture : .....	32
1.3.3.1.	Place des CMA dans l'agriculture en Algérie : .....	33
1.3.4.	Impact des pratiques culturales sur les mycorhizes : .....	34
1.3.5.	Production d' <i>inocula</i> à base de mycorhizes : .....	35
2.	<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> : .....	38
2.1.	Présentation de la région d'étude : Souk Ahras .....	38
2.1.1.	Caractéristiques climatiques de la région d'étude : .....	40
2.1.1.1.	La température : .....	40
2.1.1.2.	Les précipitations : .....	40
2.1.1.3.	Synthèse bioclimatique de la région de Souk Ahras : .....	40
2.1.1.3.1.	Le diagramme ombrothermique de la région de Souk Ahras : .....	41
2.1.1.3.2.	Calcul du quotient pluvio-thermique d'Emberger (1955) : .....	41
2.1.2.	Présentation de la station d'étude pour <i>Opuntia maxima</i> : Mechta Ben Attia. ....	43
2.1.2.1.	Situation géographique et caractéristiques : .....	43
2.1.2.2.	Sol du site expérimental : .....	44
2.2.	Méthodologie de travail : .....	44
2.2.1.	Taxons floristiques patrimoniaux de la région de Souk Ahras : .....	44
2.2.1.1.	L'étude floristique : .....	44
2.2.1.2.	L'étude pédologique : .....	45
2.2.1.3.	Analyse statistique : .....	45
2.2.2.	La phytoécologie du figuier de Barbarie : <i>Opuntia maxima</i> .....	45
2.2.2.1.	Étude des communautés floristiques loin et au périmètre d' <i>Opuntia maxima</i> : ....	45
2.2.2.2.	Paramètres écologiques des communautés floristiques : .....	46
2.2.2.3.	Analyse statistique : .....	47
2.2.3.	Les mycorhizes : .....	47
2.2.3.1.	Mycorhization de la végétation spontanée dans les conditions naturelles et agricoles : .....	47
2.2.3.1.1.	Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne : .....	47
2.2.3.1.2.	Analyse statistique : .....	50
2.2.3.2.	La mycorhization d' <i>Opuntia maxima</i> en plein champ : .....	51
2.2.3.2.1.	Matériel fongique : .....	51
2.2.3.2.2.	Schéma expérimental et traitements sur terrain : .....	51
2.2.3.2.3.	Méthodes au laboratoire : .....	54
2.2.3.2.4.	Analyse statistique : .....	54

2.2.3.3.	Analyses physico-chimiques du sol avant et après essai : .....	54
2.2.3.4.	Mise en évidence du potentiel mycorhizogène des sols : .....	55
2.2.3.4.1.	Prélèvement des échantillons de sols : .....	55
2.2.3.4.2.	Préparation du dispositif pour MPN : .....	56
2.2.3.4.3.	Calcul du pouvoir mycorhizogène (MPN) : .....	57
2.2.3.4.4.	Analyse statistique : .....	58
3.	<b>RÉSULTATS</b> : .....	59
3.1.	Taxons floristiques patrimoniaux de la région de Souk Ahras : .....	59
3.1.1.	Rareté : .....	69
3.1.2.	Distribution biogéographique : .....	70
3.1.2.1.	Ensemble méditerranéen : .....	70
3.1.2.2.	Ensemble nordique : .....	70
3.1.2.3.	Ensemble endémique : .....	70
3.1.3.	Distribution biologique : .....	71
3.1.4.	Répartition des espèces rares et endémiques selon les types d'habitats : .....	71
3.1.5.	Influence des variables environnementales et édaphiques sur la richesse des plantes rares et endémiques : .....	71
3.2.	La phytoécologie du figuier de Barbarie dans la Mechta Ben Attia: .....	73
3.2.1.	Étude des communautés floristiques loin et au périmètre d' <i>Opuntia maxima</i> : .....	73
3.2.1.1.	Répartition en familles des espèces de la station d'étude : .....	73
3.2.1.2.	Nombre d'individus par famille des relevés de la station d'étude : .....	75
3.2.1.3.	Types biologiques des espèces rencontrées dans les relevés de la station d'étude: .....	76
3.2.1.4.	Types végétatifs des communautés floristiques de la station d'étude : .....	77
3.2.1.5.	Types biogéographiques des communautés floristiques de la station d'étude : .....	78
3.2.1.6.	Rareté au sein des relevés floristiques de la station d'étude : .....	80
3.2.1.7.	L'endémisme au sein des relevés floristiques de la station d'étude : .....	82
3.2.2.	Les paramètres écologiques : .....	85
3.3.	Statut mycorhizien et potentiel mycorhizogène : .....	86
3.3.1.	La mycorhization des plantes récoltées loin et au périmètre du figuier de Barbarie : .....	86
3.3.1.1.	La mycorhization des plantes récoltées loin du figuier de Barbarie : .....	86
3.3.1.1.1.	Les Asteraceae : .....	86
3.3.1.1.2.	Les Fabaceae : .....	86
3.3.1.1.3.	Les Lamiaceae : .....	87
3.3.1.1.4.	Les Poaceae : .....	87
3.3.1.1.5.	Les Plantaginaceae : .....	87
3.3.1.1.6.	Les Caryophyllaceae : .....	87
3.3.1.1.7.	Les familles à 3 espèces : .....	88
3.3.1.1.8.	Les familles à 2 espèces : .....	88
3.3.1.1.9.	Les familles à 1 espèce : .....	88
3.3.1.2.	La mycorhization des plantes issues du périmètre du figuier de Barbarie: .....	93
3.3.1.2.1.	Les Asteraceae : .....	93
3.3.1.2.2.	Les Poaceae : .....	93
3.3.1.2.3.	Les Fabaceae : .....	93
3.3.1.2.4.	Les Lamiaceae : .....	93
3.3.1.2.5.	Les Caryophyllaceae : .....	94
3.3.1.2.6.	Les familles à 3 espèces : .....	94
3.3.1.2.7.	Les familles à 2 espèces : .....	94

3.3.1.2.8.	Les familles à 1 espèce : .....	94
3.3.2.	La mycorhization d' <i>Opuntia maxima</i> :.....	100
3.3.2.1.	Étude des taux de mycorhization des racines d' <i>Opuntia maxima</i> dans les conditions expérimentales :.....	100
3.3.2.1.1.	La 1 <sup>ère</sup> année (2019) :.....	101
3.3.2.1.2.	La 2 <sup>ème</sup> année (2020) :.....	101
3.3.2.1.3.	La 3 <sup>ème</sup> année (2021) :.....	101
3.3.2.2.	Paramètres physico-chimiques du sol : .....	105
3.3.2.2.1.	Propriétés du sol avant essai : .....	105
3.3.2.2.2.	Propriétés du sol après essai : .....	105
3.3.2.3.	Évaluation du potentiel mycorhizogène des sols d'étude : .....	106
3.3.2.3.1.	Évaluation du potentiel mycorhizogène du sol témoin avant l'essai : .....	106
3.3.2.3.2.	Évaluation du potentiel mycorhizogène du sol témoin 2 années après l'essai : .....	106
3.3.2.3.3.	Évaluation du potentiel mycorhizogène du sol inoculé 2 années après l'essai : .....	107
4.	<b>DISCUSSION</b> :.....	109
	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b> :.....	128
	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> :.....	132

*Liste des sigles  
et acronymes*

## **Liste des sigles et acronymes**

**°C** : Degrés Celsius

**µS/cm** : microsiemens par centimètre

**A** : Assez

**Alg** : Algérie

**AR** : Assez Rare

**C** : Commun

**Ca<sup>++</sup>** : Calcium

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonates de calcium

**CE** : Conductivité électrique

**Ch** : Chaméphyte

**cm** : centimètre

**CMA** : Champignon Mycorhizien Arbusculaire

**CR** : en danger critique d'extinction

**Egy** : Egypt

**EN** : En danger

**End** : Endémique

**Esp** : Espagne

**g** : Gramme

**Géo** : Géophyte

**ha** :Hectar

**Hém** : Hémicryptophyte

**Hydr**: Hydrophyte

**I.C.** : *Inoculum* commercial

**Itl** : Italie

**J.O.R.A** : Journal Officiel de la République Algérienne

**K<sup>+</sup>** : Potassium

**kg** :Kilogramme

**KOH** :Potasse

**Lib** : Libye

**m** :Mètre

**M.O.** : Matière organique

**m<sup>2</sup>** :Mètre carré

**MA** : Mycorhizie Arbusculaire

**Mar** : Maroc

**Maur** : Mauritanie

**meq/100g** : Milliéquivalent par 100 grammes

**mg** : Milligramme

**Mg<sup>++</sup>** : Magnésium

**min** : Minute

**ml** : Millilitre

**mm** : Millimètre

**MPN** : Most Probable Number

**N** : Azote

**Na<sup>+</sup>** : Sodium

**Na<sup>+</sup>** : Sodium

**NT** : quasi menacé

**P** : Phosphore

**P** : Précipitations

**P** : Protégé

**Ph** : Phanérophyte

**pH** : potentiel Hydrogène

**ppm** : partie par million

**PTB** : Premier Tech Biotechnologies

**R** : Rare

**R1** : Relevés floristiques loin du périmètre du figuier de Barbarie

**R2** : Relevés floristiques au périmètre du figuier de Barbarie

**RR** : très rare

**T. Bio** : Type Biologique

**T°** : Température

**Th** : Thérophyte

**Tun** : Tunisie

**UICN** : Union internationale pour la conservation de la nature

**ZIP** : zones importantes pour les plantes

# *Liste des figures*



## **Liste des figures**

<b>Figure 01 :</b> Principales formes de mycorhizes associées aux racines des plantes supérieures . .....	<b>26</b>
<b>Figure 02:</b> Structures des mycorhizes arbusculaires. ....	<b>27</b>
<b>Figure 03:</b> Situation géographique des stations d'étude. ....	<b>39</b>
<b>Figure 04:</b> Diagramme ombrothermique de la région de Souk Ahras. ....	<b>41</b>
<b>Figure 05:</b> Positionnement de la région de Souk Ahras dans le climagramme d'Emberger selon les données climatiques (2012-2021). ....	<b>42</b>
<b>Figure 06:</b> Situation géographique de la station d'étude de Mechta Ben Attia (image satellitaire à partir de <b>Google Earth Pro</b> ). ....	<b>43</b>
<b>Figure 07:</b> Les étapes de coloration des fragments racinaires. ....	<b>48</b>
<b>Figure 08:</b> Catégories d'évaluation de la présence des arbuscules . ....	<b>50</b>
<b>Figure 09:</b> Représentation schématique du dispositif expérimental en blocs aléatoires. ....	<b>53</b>
<b>Figure 10:</b> Corrélations entre la richesse en espèces rares et endémiques et la matière organique ; la conductivité électrique ; la précipitation ; l'altitude ; le pH ; le calcaire total. .	<b>72</b>
<b>Figure 11:</b> Taux de répartition en familles des espèces issues des relevés floristiques 1 et 2. ....	<b>74</b>
<b>Figure 12:</b> Nombre d'individus par famille loin et au périmètre du figuier de Barbarie. ....	<b>75</b>
<b>Figure 13:</b> Graphique de l'Anova des interactions (répétitions, relevés, taxons) sur le nombre de plants des espèces communes entre relevés floristiques 1 et 2 (2021). ....	<b>76</b>
<b>Figure 14:</b> Types biologiques de la communauté floristique loin et au périmètre du figuier de Barbarie. ....	<b>77</b>
<b>Figure 15:</b> Types végétatifs des espèces des relevés floristiques 1 et 2. ....	<b>78</b>
<b>Figure 16:</b> Types biogéographiques des espèces des relevés floristiques loin et au périmètre du figuier de Barbarie. ....	<b>79</b>
<b>Figure 17:</b> Taux des espèces communes et rares dans les relevés floristiques effectués loin et au périmètre du figuier de Barbarie. ....	<b>80</b>
<b>Figure 18:</b> Taux du nombre d'individus des espèces rares rencontrées dans les relevés floristiques loin et au périmètre d' <i>Opuntia maxima</i> . ....	<b>81</b>
<b>Figure 19:</b> Taux des espèces endémiques dans les relevés floristiques 1 et 2. ....	<b>82</b>
<b>Figure 20:</b> Taux du nombre d'individus des espèces selon le type d'endémisme dans les relevés floristiques loin et au périmètre du figuier de Barbarie. ....	<b>83</b>

<b>Figure 21:</b> Taux du nombre des individus pour les espèces rares, endémiques et endémiques rares dans les relevés floristiques 1 et 2. ....	<b>84</b>
<b>Figure 22 :</b> Interaction entre Paramètres de mycorhization et Années du dispositif expérimental pour <i>Opuntia maxima</i> .....	<b>103</b>
<b>Figure 23:</b> Interaction entre Paramètres de mycorhization et Traitements du dispositif expérimental pour <i>Opuntia maxima</i> .....	<b>104</b>
<b>Figure 24:</b> Interaction entre Années et Traitements du dispositif expérimental pour <i>Opuntia maxima</i> . ....	<b>104</b>
<b>Figure 25:</b> Graphique des moyennes des MPN avant et après essai. ....	<b>107</b>
<b>Figure 26 :</b> Diagramme en bâtons des coefficients standardisés.....	<b>108</b>

# *Liste des photos*

## *Liste des photos*

<b>Photo 01:</b> Le figuier de Barbarie ( <i>Opuntia maxima</i> ) .....	<b>17</b>
<b>Photo 02:</b> Spores, structures caractéristiques des CMA .....	<b>28</b>
<b>Photo 03:</b> Vésicules, structures caractéristiques des CMA.....	<b>28</b>
<b>Photo 04:</b> Arbuscules, structures caractéristiques des CMA .....	<b>29</b>
<b>Photo 05:</b> Hyphes extra-radiculaires, structures caractéristiques des CMA.....	<b>30</b>
<b>Photo 06:</b> Observation des fragments de racines. ....	<b>49</b>
<b>Photo 07:</b> Dispositif expérimental sur terrain.	<b>52</b>
<b>Photo 08:</b> Dispositif expérimental du pouvoir mycorhizogène (MPN) des sols issus du dispositif expérimental.....	<b>56</b>

# *Liste des tableaux*

## ***Liste des tableaux***

<b>Tableau 01:</b> Échelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire. ....	<b>49</b>
<b>Tableau 02:</b> Échelle d'évaluation de la présence des arbuscules.....	<b>49</b>
<b>Tableau 03:</b> Liste des espèces patrimoniales de la wilaya de Souk Ahras. ....	<b>60</b>
<b>Tableau 04:</b> Liste des espèces protégées selon <b>J.O.R.A (2012)</b> et/ou évaluées selon l' <b>UICN (2021)</b> . ....	<b>69</b>
<b>Tableau 05:</b> Statut des taxons endémiques rares observés dans la station d'étude.....	<b>85</b>
<b>Tableau 06:</b> Les paramètres écologiques des relevés floristiques d'étude ( <b>S, H', H'max, E, IS</b> ).....	<b>86</b>
<b>Tableau 07:</b> Mycorhization des espèces issues des relevés floristiques loin du périmètre du figuier de Barbarie.....	<b>89</b>
<b>Tableau 08:</b> Mycorhization des espèces issues des relevés floristiques au périmètre du figuier de Barbarie. ....	<b>95</b>
<b>Tableau 09:</b> Suivi de la mycorhization du figuier de Barbarie dans les conditions expérimentales.....	<b>102</b>
<b>Tableau 10:</b> Propriétés physico-chimiques des sols de Ben Attia avant et après essai.....	<b>106</b>

# ***INTRODUCTION***

### **INTRODUCTION :**

Les phénomènes à l'origine de la distribution des espèces sont le centre des questions de l'écologie et de la biogéographie (**Huang *et al.*, 2016**). En effet, le concept d'endémisme, qui décrit qu'un taxon est limité dans sa distribution à une entité géographique (**Anderson, 1994**) est également considéré pareillement pour les plantes rares comme un critère important pour la conservation de la biodiversité à l'échelle mondiale, nationale et locale (**Myers *et al.*, 2000**; **Riemann et Ezcurra, 2005**).

En outre, les zones à forte concentration d'espèces, étroitement réparties, sont hautement prioritaires afin d'en préserver cette biodiversité (**Myers *et al.*, 2000**; **Médail et Diadema, 2006**), et l'identification de ces zones est la tâche fondamentale de la biogéographie de conservation (**Cañadas *et al.*, 2014**; **Morrone, 2018**).

La région méditerranéenne possède une richesse de 25000 espèces des plantes vasculaires, dont la moitié est endémique, ces espèces sont bien adaptées aux périodes sèches (**Quézel, 1995 ; Véla et Benhouhou, 2007**). De ce fait, le bassin méditerranéen est classé en tant que troisième hotspot le plus riche en diversité végétale (**Mittermeier *et al.*, 2004**) parmi les 34 hotspots de la planète (**Myers, 2003**), en plus de son caractère géologique, biologique et culturel complexe (**Blondel *et al.*, 2010**).

L'Algérie, par sa position géographique, détient 4 449 taxons dont 6,5% endémiques (**Dobignard et Chatelain, 2010-2013**). L'indice de rareté des endémiques au sens large est élevé (**Dobignard et Chatelain, 2010-2013**), à raison de 77,9% des taxons endémiques stricts (**Véla et Benhouhou, 2007**) et ceci, en l'absence d'explorations de différentes régions de ce pays qui sont jugées inaccessibles ou éloignées malgré leur appartenance aux hotspots de biodiversité (**Véla et Benhouhou, 2007**).

Afin de sauvegarder la biodiversité végétale de cette région menacée, il est impératif d'établir un point de référence, qui consisterait à la décrire (**Primach *et al.*, 2012**) en mettant à jour la nomenclature taxonomique de la flore d'Algérie (**Amirouche et Misset, 2009**). Cela peut se faire par la collaboration d'érudits et amateurs pour promouvoir le travail de terrain et aider à résoudre les problèmes taxonomiques (**Domina *et al.*, 2015**).

Les travaux sur la flore rare et endémique d'Algérie se réfèrent à l'étude de **Véla et Benhouhou (2007)** sur les plantes endémiques et/ou rares, celle-ci est basée sur les données de la flore de **Quézel et Santa (1962-1963)**. Sinon, en Algérie, très peu d'études variées du point de vue géographique s'intéressent à ces aspects.



L'Algérie a une importante richesse en biodiversité grâce à sa situation géographique et sa diversité pédoclimatique, notamment dans les régions arides et semi-arides. Cependant, en production agricole, les irrigations mal gérées accroissent les risques de destruction des sols et des eaux souterraines, car ces zones présentent un taux d'évaporation élevé pendant la saison sèche, ce qui conduit à une forte salinité secondaire du sol (**Badni, 2012**). En effet, les milieux qui ont gardé plus ou moins leur état naturel sont propices à être plus diversifiés que ceux qui ont subi des modifications anthropiques. Ce potentiel génétique important est soumis de manière permanente à un processus d'érosion qui cause les changements de paysages surtout dans les zones agricoles.

En Algérie, l'introduction de plantes tolérantes à la salinité est l'une des techniques utilisées pour la valorisation des sols marginaux. Ainsi, ces dernières années, la culture du figuier de Barbarie : *Opuntia maxima*, suscite un intérêt croissant, vu qu'il est bien adapté à ces milieux. Il fait partie du paysage aride des campagnes algériennes, à l'état sauvage ou planté. Les plantations d'*Opuntia* occupent une superficie de 52000 hectares ; avec un total de plus de quarante variétés dont six sont à fruit comestible (**Cherif, 2016**).

L'espèce *Opuntia maxima*, plante originaire des zones arides et semi arides du Mexique (**Habibi, 2004**), naturalisée, pourrait être une espèce adéquate pour la réhabilitation des milieux dégradés. Sa résistance à la sécheresse et au gel, son utilisation comme moyen de lutte contre la désertification sont parmi tant d'autres aspects qui offrent à cette espèce agricole une grande importance du point de vue écologique. Actuellement, l'espèce connaît un regain d'intérêt en raison de nombreux services qu'elle offre à l'humanité. La filière est très prometteuse en matière de revenus, création d'emplois, de renforcement des capacités de résilience des populations vulnérables (**Arba, 2009**). En plus de son utilisation dans l'alimentation de l'homme et du bétail, elle est utilisée pour la restauration des sols, et peut être valorisée en produits agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique qui sont à haute valeur socio-économique ajoutée pour l'agriculteur et les populations locales (**Arba, 2009**).

Dans certains pays, l'*Opuntia maxima* a fait l'objet d'une culture à part entière, pour l'exploitation fourragère et maraîchère. En effet, c'est une plante dont toutes les parties peuvent être consommées : les fleurs, les tiges (ou cladodes) et les fruits (**Hadj Sadok et al., 2014**). Vu la richesse de cette plante en nutriments, elle présente une valeur économique importante, mais qui reste très peu exploitée, en plus de son apport nutritionnel dû à sa richesse en sucres, protéines, vitamines et sels minéraux et son apport en substances bioactives (fibres, polyphénols et pigments) (**Stintzing et al., 2001; Kabas et al., 2006; Jana, 2012; Alimi et al., 2013**).

La figue de Barbarie cultivée en Algérie est non seulement réputée pour son goût succulent et sucré, mais contient aussi une grande quantité de graines comparée à celle du Maroc ou de la Tunisie (**Cherif, 2016**). Certains la classent parmi les meilleures de tout le bassin méditerranéen après celle de la Sicile (**Cherif, 2016**).

Ainsi, les graines de ce fruit permettent la production d'une huile plus riche en stérols et vitamine E que celle d'argan (**Site net 01**). Ses composants offrent à cette huile prodigieuse essentiellement un intérêt cosmétique prouvé non seulement pour son effet cicatrisant et hydratant, mais aussi pour son efficacité remarquable à effacer les rides et prévenir leur apparition, à lutter contre le relâchement de la peau, à nourrir les cheveux et à équilibrer la production de sébum. De plus, les déchets après extraction de ces pépins sont utilisés comme aliment très riche afin de nourrir le bétail (**Site net 01**).

Dans la wilaya de Souk Ahras, suite aux nombreux projets et plans de soutien lancés par le ministère de l'agriculture, une première unité de production a été installée depuis 2015 au sein de la commune de Sidi Fredj. Elle a été réalisée dans le cadre de la stratégie du ministère de l'agriculture visant le développement des produits du terroir. Celle-ci a été dédiée à la production des huiles extraites à partir des graines, des vinaigres, des jus et confitures, qui sont des produits à haute valeur socio-économique ajoutée pour l'agriculteur et les populations locales (**Arba, 2009**). Cette unité dispose d'une capacité de production de 20 quintaux par heure, emploie 30 travailleurs permanents et assure des emplois temporaires à 200 saisonniers. Ainsi, 10000 hectares ont été réservés à ce fruit dont 4 200 hectares au sein de la commune de Sidi Fredj. En mars 2016, une association de développement du figuier de Barbarie a été créée à Souk Ahras afin de contribuer au développement et à la culture de ce fruit en zones arides et semi-arides (**Site net 02**).

Par ailleurs, l'agriculture moderne fait face à de nombreux défis, la population mondiale en constante augmentation force les agriculteurs à rendre leurs terres de plus en plus productives. À l'heure actuelle, la productivité élevée de l'agriculture intensive est grandement dépendante des intrants chimiques, en particulier des engrais qui enrichissent les sols d'éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes (**Childers et al., 2011**). Ces procédés ont créé une dépendance aux intrants responsables de graves problèmes affectant l'environnement et la santé humaine (**Song et al., 2017**).

Les chercheurs reconnaissent qu'il n'existe pas de solution unique, mais selon plusieurs d'entre-eux, un virage vers une agriculture plus productive et moins dépendante des intrants chimiques phosphatés ne pourra se faire sans une meilleure gestion des interactions biologiques

dans les agrosystèmes, comme les mycorhizes (**Plenchette et al., 2005**). Les pratiques culturales intensives ont souvent altéré la communauté microbienne des sols, ne permettant plus aux plantes cultivées de profiter pleinement des propriétés de ces micro-organismes (**Fortin et al., 2008**).

Dans la nature, plus que 90 % des végétaux vivent de façons symbiotiques, il s'agit d'une association durable entre deux ou plusieurs êtres vivants hétérospecifics et dont chacun en tire bénéfice. Au cours des dernières années, une multitude de travaux ont clairement démontré l'intérêt scientifique et pratique de ces symbioses pour l'ensemble des végétaux (**Fortin et al., 2008**). Ces symbiotes s'aident mutuellement à se nourrir, se protéger ou se reproduire (**Taktek, 2015**). De par leur ubiquité et leurs caractéristiques physiologiques, les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) ont un rôle très important dans la lutte contre les conditions climatiques défavorables, entre autres la sécheresse (**Daniels et Trappe, 1980 ; Hepper, 1985**).

Les effets bénéfiques des CMA sur la performance des plantes et la santé des sols sont indispensables à la gestion durable des ressources et écosystèmes agricoles. Ainsi, des *inocula* mycorhiziens commercialisés ont été développés et appliqués comme solution pour renforcer les communautés de CMA déjà présentes dans les sols et pallier à leur carence. L'usage de ces *inocula* dans plusieurs pays développés et certains pays en voie de développement a montré le potentiel de cette biotechnologie à augmenter le rendement des cultures et à réduire les effets des stress environnementaux et la pollution engendrés par les engrais de synthèse (**Jochems-Tanguay, 2014**). Ces CMA transfèrent les éléments nutritifs en particulier le phosphore à la plante en échange de glucides (**Smith et Read, 2008 ; Bever et al., 2009 ; Kiers et al., 2011**).

Bien que des résultats spectaculaires ont été obtenus suite à l'utilisation des CMA exogènes sur des cultures maraîchères en plein champ comme l'oignon, la pastèque, la tomate industrielle, la pomme de terre et la vigne (**Sow et al., 2008 ; Hamza, 2014 ; Hamza et al., 2019 ; Ziane et al., 2017 ; Aouissi et al., 2018 ; Zerbib, 2020**), leur utilisation reste limitée.

Notre travail de recherche réalisé dans la wilaya de Souk Ahras a été effectué sur 18 stations à végétation spontanée dans les 3 étages bioclimatiques existants au sein de la région, en plus d'une station cultivée par *Opuntia maxima* au sein de la Mechta Ben Attia, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride de la région de Souk Ahras. Les travaux de recherches s'articulent autour de trois grands volets :

Le premier volet est dédié à une analyse de la flore rare et endémique dans 18 stations de la wilaya de Souk Ahras dans l'espoir que cela devienne un point de départ pour de nouveaux projets de conservation et recherches sur la flore locale. Le but désiré par ce volet est de faire un inventaire et une mise à jour globale de la flore spontanée de la région, ce qui a pu nous servir de base par la suite pour voir l'effet de l'introduction d'une espèce agricole comme pratiques culturelles de l'homme sur la végétation naturelle.

Le second volet concerne l'artificialisation d'un milieu naturel, modifié par l'homme localisé au Sud-Est de la région d'étude. Le but est de comparer la biodiversité naturelle et les caractéristiques biologiques des communautés floristiques entre un milieu avec sa végétation spontanée et un autre où il y a eu introduction d'*Opuntia maxima*, culture agricole d'intérêt socioéconomique pour la population locale. L'objectif étant de voir l'impact de l'introduction de cette espèce sur la composante floristique spontanée d'une part et sur les partenaires symbiotiques (CMA) endogènes de cette dernière d'autre part.

Le troisième volet de ce travail est orienté en vue de solliciter une culture bio d'*Opuntia maxima* pour un développement socioéconomique de cette richesse dans la région d'étude. Car, le recours à une production bio est indispensable à la santé humaine, vu que des extraits de cette plante sont destinés à l'utilisation cosmétique et pharmaceutique où l'intrant chimique ne peut avoir lieu. Pour ce faire, des essais en plein champ afin de développer l'utilisation d'une technologie d'*inoculum* à base de CMA exogènes ont été adoptés dans le but d'évaluer l'impact de ces CMA sur *Opuntia maxima* du point de vue économique, et sur la mycorhization du point de vue écologique en faisant le suivi de cet *inoculum* après deux années dans la culture et dans le sol où il a été testé.

# *Chapitre 01 :*

## *CONNAISSANCES BIBLIOGRAPHIQUES*

## **1. CONNAISSANCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

### **1.1. Taxons floristiques patrimoniaux :**

#### **1.1.1. Hotspots et flore méditerranéenne :**

Les 34 points chauds de la planète qui couvrent 2,3% de la surface de la terre, comprennent de manière endémique environ 42% des vertébrés terrestres (mammifères, oiseaux et amphibiens) et plus de 50% de plantes vasculaires (**Site net 03**).

Le bassin méditerranéen ayant une dizaine de «hotspots» régionaux caractérisés tant par leur richesse spécifique que par leur taux d'endémisme (**Myers et al., 2000 ; Myers, 2003**) et répartis sur trois rives : européenne, asiatique et africaine (**Médail et Quézel, 1997**). Un 11<sup>ème</sup> «hotspot » régional oublié est classé d'après **Médail et Diadema (2009)** ainsi que **Véla et Benhouhou (2007)**, il s'agit de celui des Kabylies-Numidie-Kroumirie localisé en Afrique du Nord (appellation phytogéographique la plus courante employée notamment par **Quézel et Santa (1962-1963)**).

L'endémisme est une caractéristique du bassin méditerranéen, à cause de l'existence d'un nombre élevé d'espèces végétales spécifiques à cette région et qu'on ne croise jamais ailleurs (espèces méditerranéennes), avec un taux exceptionnellement élevé, estimé à 52 % sur 22500 taxons (**Véla, 2017**). En effet, la conservation de la biodiversité végétale repose sur une étape cruciale, s'illustrant par une hiérarchisation des taxons par soucis de conservation. Le but étant d'établir un ordre de priorité et que ceci réussit à rationaliser les techniques d'applications (**I'UICN, 2006**). Les plantes rares ont une grande valeur en terme de conservation, que ce soit pour leur appartenance au patrimoine ou au risque d'extinction (**Pimm et al., 1988 ; Gaston, 1991**).

Bon nombre des espèces de la région méditerranéenne possèdent un potentiel résistant à la sécheresse (**Myers, 1988 & 1990 ; Véla et Benhouhou, 2007**) malgré les menaces anthropiques grandissantes (**Myers et al., 2000**). Cependant, la flore de la rive sud de la méditerranée reste assez méconnue, surtout en ce qui concerne l'ensemble montagneux du littoral algéro-tunisien, dénommé « Kabylies-Numidie-Kroumirie » qui montre qu'il existe une forte diversité végétale avec un taux d'endémisme élevé (**Véla et Benhouhou, 2007**). Cette flore est aujourd'hui très sérieusement menacée, en raison de la forte régression des milieux naturels sous l'action de l'homme, mais aussi parce que cette région serait l'une des plus exposées aux changements climatiques globaux (**Sala et al., 2000; Médail et Quézel, 2005**).

La liste des plantes rares et menacées du bassin méditerranéen comporte 129 espèces algériennes (UICN, 1980). Selon les estimations, sa flore présente entre 59% (Greuter, 1991) et 62% (Médail, 2007) d'endémisme. L'Algérie présente une richesse floristique importante, la liste rouge publiée en 1997 par l'UICN (Walter et Gillett, 1998) comporte 64 espèces algériennes.

### 1.1.2. État de la flore rare et endémique en Algérie :

Les ressources naturelles (faune, sol, végétation) d'Algérie ont fait l'objet de sollicitations précoces (Louni, 1994) pour différents types d'écosystèmes qui sont caractérisés par une grande diversité et une richesse floristique remarquable d'un intérêt mondial (Benabadji *et al.*, 2007). Depuis les grandes explorations botaniques datant de l'époque coloniale ou peu avant (Poiret, 1789 ; Desfontaines (1798-1799) ; Shaw, 1830 ; Mutel, 1835 ; Bory de Saint-Vincent, 1838 ; Legrand, 1854 ; Cosson (1883-1887) ; Battandier et Trabut, 1884 & (1888-1890); Maire (1952-1987) ; Quézel et Santa (1962-1963)), les recherches nouvelles en botanique systématique et phytogéographique demeurent malheureusement rares en Algérie. Mis à part les études de référence que nous avons cité auparavant, les travaux sur la flore rare et endémique de l'Algérie restent très localisés sur le plan géographique (Hamel *et al.*, 2013 ; Zedam, 2015 ; Miara *et al.*, 2017 & 2018; Mansouri *et al.*, 2018; Djebbouri et Terras, 2019; Gordo et Hadjadj-Aoul, 2019).

En Algérie, un appauvrissement des espèces endémiques est visiblement progressif depuis le littoral jusqu'à l'Atlas Saharien, ceci est en relation avec les conditions environnementales qui deviennent de plus en plus défavorables. Différentes régions de ce pays sont peu ou pas encore explorées sous prétexte d'être jugées éloignées, bien qu'elles soient classées comme hotspots du point de vue de la biodiversité (Médail et Quézel, 1997 ; Véla et Benhouhou, 2007), ou bien, zones importantes pour les plantes (ZIP) (Yahi *et al.*, 2012; Benhouhou *et al.*, 2018).

Toutefois, l'irrégularité d'actualisation des connaissances floristiques, laisse à penser que certains secteurs demeurent sous-évalués (Véla et Benhouhou, 2007). La prospection dans les bibliographies anciennes et récentes de la diversité floristique du Nord-Est algérien, permet de déduire qu'une biodiversité importante en espèces endémiques, rares et parfois très rares est observée au sein des régions les plus reculées (Coates et Atkins, 2001 ; Gauthier *et al.*, 2010). Ceci incite à revoir les modes d'analyse pour une meilleure optimisation des données car, une analyse mondiale des lacunes révèle qu'une grande partie de la biodiversité se trouve en dehors des aires protégées (Langhammer *et al.*, 2007).

Au nord de l'Algérie, on y retrouve deux hotspots régionaux de biodiversité : l'Arc betico-rifain et le Tell oriental qui appartient au point-chaud : «Kabylies-Numidie-Kroumirie» (Médail et Quézel, 1997 ; Véla et Benhouhou, 2007). Au sein de cette vaste zone à influence méditerranéenne, 22 (Yahi *et al.*, 2012) puis 39 (Benhouhou *et al.*, 2018) ZIP ont été recensées. En effet, dans ces zones biogéographiques, les fluctuations des conditions écologiques et l'hétérogénéité des habitats sont les facteurs déterminants de la richesse floristique (Touati *et al.*, 2020).

Les révisions taxonomiques récentes estiment que le nombre d'espèces endémiques pour le nord de l'Algérie (à l'exclusion du Sahara) dépasse les 300 taxons (Yahi *et al.*, 2012). Parmi les 406 endémiques du Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie), le secteur de l'Atlas tellien nommé O3 (*sensu* Quézel et Santa (1962-1963)) se classe comme l'un des secteurs les plus riches en endémiques d'Algérie avec 94 taxons (Véla et Benhouhou, 2007).

Bien que la plupart des espèces rares et endémiques méritent une protection sans laquelle elles disparaîtront, elles ne figurent pas toutes sur la liste des espèces protégées d'Algérie. Ainsi, un lot important de ces espèces rares et non protégées mérite une attention particulière et rend urgente la révision de la liste des taxons à protéger localement (Allem *et al.*, 2017). Depuis le 4 janvier 2012, 454 espèces réparties en 77 familles, ont été citées dans le Décret exécutif n° 12-03 qui fixe la liste des espèces végétales non cultivées protégées (J.O.R.A., 2012).

La rareté et l'endémisme sont les concepts les plus importants de la biodiversité d'une région et revêtent une grande importance pour la conservation. Néanmoins, notre compréhension des modèles de rareté et d'endémisme est encore limitée à une région à forte biodiversité, c'est le cas de la wilaya de Souk Ahras (Nord-Est algérien).

Dans le but de sauvegarder la biodiversité végétale de cette région menacée, il est impératif d'établir un point de référence, qui consisterait à décrire la biodiversité (Primach *et al.*, 2012) en mettant à jour la nomenclature taxonomique de la flore d'Algérie (Amirouche et Misset, 2009).

### **1.1.3. Les plantes à intérêt fourrager :**

#### **1.1.3.1. Généralités :**

En agriculture, les prairies sont des surfaces dont la végétation est utilisée pour la production de fourrage à récolter et /ou pour le pâturage d'animaux d'élevage. Celles-ci recouvrent les prairies naturelles à végétation spontanée et artificielle (Allen *et al.*,



2011 ; Peeters *et al.*, 2014). Malheureusement, l'agriculture, et particulièrement l'élevage, connaissent de nos jours une crise importante. L'élevage est critiqué pour son impact environnemental. Ainsi, il contribue au réchauffement climatique via des déforestations et émission de gaz à effets de serre, perte de biodiversité, eutrophisation des eaux, etc (Steinfeld *et al.*, 2006).

La végétation spontanée à intérêt fourrager est destinée à l'alimentation des animaux d'élevage, principalement des ruminants afin de répondre, en quantité et en qualité, à leurs besoins alimentaires. Cette végétation pousse au sein des prairies naturelles permanentes, que ce soit de plaines basses (littorales) ou des régions d'altitude (Laumont et Gueit, 1960), elle peut jouer un rôle très important dans la diversification des ressources fourragères et la réduction du déficit en fourrage. En outre, elle peut contribuer efficacement au maintien et à l'amélioration de la fertilité des sols ainsi qu'à leur protection contre l'érosion (Abdelguerfi et Hakimi, 1990). La diversité de la composante floristique des prairies peut changer selon la naturalité de la prairie, son âge, son mode d'exploitation, la zone géographique considérée, la nature du sol et du climat, etc (Maciejewsky et Osson, 2015). C'est dans les prairies permanentes et sur sols pauvres que la flore est la plus riche en nombre d'espèces. La présence de certaines espèces et leur fréquence relative, donnent des indications sur les caractéristiques du sol ainsi que sur le mode d'exploitation. Une analyse de cette flore, par un inventaire floristique, est nécessaire pour apprécier sa valeur et chercher le cas échéant à l'améliorer.

Dans le monde, par un passé assez récent, les productions fourragères et pastorales ont été l'élément clé de la révolution agricole et agro-industrielle. La production animale, pour sa part, prend une importance croissante dans les pays en développement. La demande en produits d'élevage a connu une croissance spectaculaire au cours des deux dernières décennies et devrait continuer à progresser, on parle de «révolution de l'élevage». Cette demande croissante ne peut être satisfaite que par une production animale accrue. Cependant, des considérations éthiques amènent à nourrir les ruminants avec des fourrages plutôt qu'avec des aliments à base de céréales concurrents de l'alimentation humaine (Pousset, 1974).

L'Algérie qui se caractérise par une vocation pastorale et fourragère, a gardé un caractère traditionnel d'élevage, basé avant tout sur le nomadisme et l'exploitation des ressources naturelles qui y participent énormément. Il s'agit de la steppe, la forêt, les parcours des hauts plateaux, de la jachère pâturée, etc. Cette vocation est due en premier à la diversité des milieux et des terroirs qui constituent un immense réservoir de plantes diverses en particulier d'intérêt pastoral et fourrager (Abdelguerfi *et al.*, 2008). Cependant, depuis la

période coloniale à nos jours, la superficie des parcours n'a fait que régresser et les cultures fourragères n'ont jamais eu la place qui leur est due. Le cheptel reste sous-alimenté, la production fourragère est très limitée et les ressources pastorales restent aléatoires et s'amenuisent d'année en année (**Abdelguerfi et al., 2008**).

Tout le Nord et particulièrement le Nord-Est de l'Algérie renferme des superficies importantes de terres à vocation prairiale à cause des précipitations importantes, mais qui sont en train de régresser sous l'effet du défrichement de ces terres et de leur mise en culture (**Abbas et al., 2005**).

### **1.1.3.2. Rôle des plantes à intérêt fourrager en agriculture :**

Selon **Janati (1990)**, le rôle des cultures à intérêt fourrager est lié en grande partie au rôle de l'élevage qui les valorise. Parmi les qualités bien connues des principaux fourrages, nous avons : le fort potentiel de production de la plupart des Poaceae (graminées) en raison de leur type de photosynthèse, et la qualité nutritionnelle généralement élevée des Fabaceae (légumineuses) grâce au pouvoir de fixation de l'azote et de la résistance à la sécheresse de la plupart de ces espèces (**Lachaux et al., 1987**).

Les pâturages et les plantes fourragères fournissent généralement une couverture permanente au sol, hormis bien sûr les espèces à cycle court qui permettent de préserver les sols contre l'érosion, ce qui offre une fertilité à ces derniers en préservant la matière organique de l'horizon superficiel du sol. Cette matière organique, joue un rôle de puits de carbone. Ainsi, la couverture permanente du sol n'est pas seulement favorable à une gestion appropriée des ressources naturelles, elle contribue aussi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et donc à limiter le réchauffement climatique.

Ci-dessous les caractéristiques générales de certaines familles à intérêt fourrager qui ont fait l'objet de notre étude :

#### **1.1.3.2.1. Les Asteraceae :**

Elles forment une grande famille de plantes dicotylédones (23 600 espèces), appelées aussi Composées, à cause de leurs fleurs composées de minuscules fleurs, sous forme des herbes érigées ou grimpantes, parfois arbustes ou arbres (**Spichiger et al., 2002**). Les feuilles sont alternées ou opposées, parfois en rosette basale ou terminales, simples, entières ou découpées. L'armoise qui est une plante fourragère appartient à cette famille.

### **1.1.3.2.2. Les Poaceae :** (graminées)

Ce sont des plantes monocotylédones et herbacées (ou très rarement ligneuses) dont les feuilles sont très rigides et raides, fines et piquantes à l'extrémité, leur inflorescence est composée de petits épis secondaires ou épillets (**Chehna *et al.*, 2004**).

### **1.1.3.2.3. Les Fabaceae :**

La famille des Fabaceae ou légumineuses est une très grande famille des plantes Magnoliophytiques qui comprendrait 12000 espèces réparties en plus de 650 genres (**Gilbert et Boutique, 1953**), parmi lesquelles on trouve la luzerne et le trèfle qui présentent un intérêt fourrager. Ce sont des plantes herbacées, des arbustes, des arbres ou des lianes. La famille est cosmopolite des zones froides à tropicales. La fonction chlorophyllienne est parfois transférée aux tiges, les racines sont riches en amidon et en sucre et pauvres en fibres, ce qui les rend particulièrement digestes pour le bétail (**Abdelguerfi et Laouar, 1997**).

### **1.1.3.2.4. Les Lamiaceae :**

La famille des Lamiaceae (labiées) signifie que les fleurs ont une forme caractéristique à deux lèvres (**Couplan, 2000 ; Naghibi *et al.*, 2005**). Ce sont généralement des plantes herbacées vivaces odorantes, à tiges quadrangulaires, feuilles en général opposées sans stipules. C'est une famille très importante dans la flore algérienne, certains genres sont de détermination délicate en raison de la variabilité extrême des espèces (**Quezel et Santa, 1963 ; Ozenda, 1977**). Elles sont surtout des plantes méditerranéennes qui sont plus largement répandues (**Carrubba *et al.*, 2006**), la lavande qui appartient à cette famille est une plante à intérêt fourrager.

### **1.1.3.2.5. Les Plantaginaceae :**

C'est la famille des plantes herbacées, rarement ligneuses à la base, portant des feuilles en rosette basale opposées ou alternes avec une inflorescence en épis denses plus ou moins allongés (**Quézel et Santa, 1963**).

### **1.1.3.2.6. Les Alliaceae :**

Ce sont des plantes herbacées à bulbes et à racines contractiles, tiges réduites et poils simples. Les feuilles alternes basilaires, simples, cylindriques, angulaires, ou aplaties. Les fleurs hermaphrodites, actinomorphes ou zygomorphes, sont souvent grandes (**Judd *et al.*, 2002**).

### **1.1.3.2.7. Les Apiaceae :**

La famille est relativement homogène et caractérisée notamment par son inflorescence typique, l'ombelle. Il s'agit de plantes herbacées, annuelles, bisannuelles ou vivaces, parfois arbustives. Les feuilles sont alternes, composées, rarement simples, la tige est souvent creuse. Les fleurs sont réunies en ombelles simples ou composées, les fruits sont formés de deux méricarpes accolés à un axe central (Imai *et al.*, 1989; Zhou *et al.*, 2000).

### **1.1.3.2.8. Les Caryophyllaceae :**

Plantes herbacées en général ; ayant des tiges parfois à anneaux concentriques de xylème et de phloème. Les feuilles opposées, simples, entières, souvent étroites, les fleurs généralement hermaphrodites, actinomorphes, parfois munies d'un androgynophore, les fruits généralement en capsule loculicide (Judd *et al.*, 2002).

### **1.1.3.2.9. Les Brassicaceae :**

Elles sont essentiellement des plantes herbacées, soit annuelles ou vivaces, rarement arbustives (Watson et Dallwitz, 1992 ; Stevens, 2001), leurs fleurs sont parfaites, incluant étamines et pistils (Chalandre, 2000), les fruits sont allongés (Dupond et Guignard, 2007).

### **1.1.3.2.10. Les Convolvulaceae :**

Ce sont des plantes herbacées grimpantes, souvent rhizomateuses, les feuilles sont alternes, entières ou lobées, les fleurs sont solitaires ou en glomérules. Les 5 étamines sont libres, alternant parfois avec des écailles intra-staminales, le fruit est capsulaire (Coste, 1937 ; Quézel et Santa, 1963 ; Battandier, 1988).

## **1.2. Le figuier de Barbarie : *Opuntia maxima* Mill.**

### **1.2.1. Généralités sur le figuier de Barbarie :**

Les Cactaceae sont des angiospermes dicotylédones dialypétales caliciformes de l'ordre des Caryophyllales (Cota et Wallace, 1997). Elles font partie des plantes xérophytes et succulentes. Les xérophytes sont des plantes qui ont réussi à développer une aptitude à se contenter de peu d'eau et qui peuvent donc survivre à de très longues périodes de sécheresse, telles que celles que l'on rencontre dans les régions arides et péri-désertiques. Ces adaptations se présentent sous diverses formes morphologiques et physiologiques. L'une d'entre elles réside dans la faculté

d'emmagasiner de l'eau dans des tissus végétatifs qui prennent un aspect spongieux (Cota et Wallace, 1997).

La famille des Cactaceae renferme 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale localisé au Mexique qui abrite 669 espèces (Guzman *et al.*, 2003). Parmi ces espèces, on cite : *Opuntia maxima* largement connue sous le nom de figuier de Barbarie et qui a fait l'objet de notre étude. Cette essence est potentiellement intéressante pour la réhabilitation des parcours dégradés dans les régions semi-arides complètement désertiques et pauvres de l'Algérie. De plus, une importante attention est accordée à cette essence à cause de son rendement du point de vue socioéconomique et de sa 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).

Les espèces de cactus les plus largement répandues dans les pays du Maghreb, sont *Opuntia dillenii*, *Opuntia vulgaris*, *Opuntia compressa* et *Opuntia maxima*. Cette dernière est la principale espèce qui produit les fruits comestibles (Arba *et al.*, 2000).

*Opuntia maxima* est une plante originaire du Mexique et du sud des États unis, qui a été introduite en Europe et en Afrique du Nord vers le 16<sup>ème</sup> siècle par des expéditeurs (Kavirindi *et al.*, 2010). Elle est bien adaptée aux zones arides et semi-arides (Arias *et al.*, 2003) et occupe une partie importante dans l'alimentation humaine et animale. Cette essence présente un grand intérêt en raison de son adaptation aux conditions climatiques extrêmes (Hernández Urbiola *et al.*, 2011). Le figuier de Barbarie commun de nos jours en agriculture est le résultat d'un long processus de sélection en culture. Reyes Aguero *et al.* (2005) montrent que la domestication de cette plante a eu lieu dans le sud des régions montagneuses méridionales du Mexique. C'est une espèce arborescente robuste (Halmi, 2015), grasse, appartenant à la famille des Cactaceae et plus précisément au genre *Opuntia*, cultivée dans les climats arides, comme dans les régions méditerranéennes et d'Amérique centrale (Ginestra *et al.*, 2009).

L'*Opuntia* présente des caractéristiques exceptionnelles qui lui permettent d'emmagasiner, dans les organes succulents, de grandes quantités d'eau. De courtes précipitations de quelques millimètres de pluie seulement peuvent être efficacement utilisées par cette plante grâce aux racines superficielles, mais très étendues, qui sont en mesure d'absorber l'eau dans le sol quand les niveaux d'humidité sont bas au point d'empêcher la vie de la plupart des espèces cultivées aux alentours (Mulas et Mulas, 2004).

Du point de vue écologique, même si on la trouve dans les zones où le climat est tempéré, l'*Opuntia maxima* présente une série d'adaptations morphologiques et physiologiques aux caractéristiques du milieu d'origine (Mulas et Mulas, 2004).

Deux formes d'*Opuntia maxima* poussent dans plusieurs steppes algériennes (Chaouche et Abdul-Hussain, 2008) :

- Les formes inermes présentent des différences au niveau de leurs pores, de la couleur du fruit et de la période de fructification. Les dimensions et le poids du fruit est influencés par la période sèche et par la période de précipitation.
- Les formes épineuses font partie des trois étages bioclimatiques différents et elles diffèrent des formes inermes par la couleur de la chaire et par la présence des épines (Su et Lin Zhao, 2003).

### **1.2.2. Description botanique et morphologique d'*Opuntia maxima* :**

#### **1.2.2.1. Description botanique :**

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 maxima*. *Opuntia megacantha* est synonyme d'*Opuntia maxima* et *Opuntia barbarica* alors que Griffith (2004) signale que notre espèce d'étude dérive d'*Opuntia megacantha* du Mexique central.

La position systématique du figuier de Barbarie est la suivante : (Site net 04)

**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 maxima* Mill.

### **1.2.2.2. Description morphologique d'*Opuntia maxima* :**

Les *Opuntia* sont des espèces qui ont des formes très variées depuis le plus petit arbuste jusqu'à l'arbre de 5 à 7 m et même jusqu'à 15m de hauteur (**Khouri, 1970**). Notre espèce est une plante arborescente (**Photo 01a**), robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 mètres de hauteur, elle est caractérisée par les plus importantes composantes suivantes :

#### **1.2.2.2.1. Les raquettes :**

Des articles aplatis de couleur vert mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm (**Photo 01b**), qui sont couverts ou pas d'épines (**Habibi, 2004**), appelés cladodes. Elles s'unissent les unes aux autres, formant une sorte de branches, recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration de la plante et la protège contre les prédateurs, tout en assurant la fonction chlorophyllienne à la place des feuilles (**Schweizer, 1997 ; Wallace et Gibson, 2002 ; Mulas et Mulas, 2004**). Leur surface est parsemée d'alvéoles au sein desquelles naissent, sur les cladodes en formation, des feuilles fragiles, éphémères et caduques. Elles portent de redoutables épines munies de minuscules aiguillons recourbés vers leur base, les cladodes de la base, en vieillissant, finissent par se lignifier pour former un véritable tronc (**Passioura, 1988**).

#### **1.2.2.2.2. Le système racinaire :**

Les racines du figuier de Barbarie sont superficielles et charnues, se développent à partir des aréoles, produisent avec le temps un vrai système racinaire, elles sont généralement fasciculées, particulièrement denses (**Monjauze et Le Houérou, 1966**). Dans tous les types de sols, la majeure partie de la masse de racines absorbantes se trouvent dans les centimètres superficiels, à une profondeur maximale de 30 cm, mais se répandant horizontalement sur 4 à 8 m en fonction des conditions offertes par le milieu, donc, la racine principale est courte, mais les racines latérales ont une très grande extension horizontale (**Lapeyronie, 1982**). La distribution racinaire peut dépendre du type de sol et de la gestion culturale (**Snyman, 2006**). Il a été observé que les plantes fertilisées périodiquement avec du fumier développent des racines succulentes non ramifiées, alors qu'elles développent normalement plus de racines latérales qui, rapidement forment une couche d'écorce de surface lâche s'exfoliant (**North et Nobel, 1992**). Des études au Mexique ont montré que les racines de plusieurs espèces d'*Opuntia* sont colonisées par des mycorhizes (**Kenny, 2002**).

Les racines des Cactaceae reçoivent peu d'attention, elles sont différentes de celles des autres plantes, puisqu'elles développent des caractéristiques xéromorphiques qui permettent à

la plante de survivre à des périodes prolongées de sécheresse, peuvent contribuer à la tolérance de cette dernière de différentes manières, via :

- La restriction de la surface racinaire et la diminution de leur perméabilité à l'eau ; les racines sont couvertes d'une couche relativement imperméable à l'eau, subissent une abscission laissant une cicatrice pour éviter la perte d'eau vers le sol sec (**Passioura, 1988**).

- La rapide absorption des petites quantités d'eau fournies par les légères pluies, des racines de pluie se développent en l'espace de quelques heures après une averse et disparaissent dès que le sol s'assèche, ou bien il y a une réduction de la surface racinaire de laquelle l'eau s'échappe (**Boullard, 1988**).

- La diminution de la transpiration des rameaux due au potentiel très négatif des racines (**Wallace et al., 1997**).

### **1.2.2.2.3. La fleur :**

À la base des feuilles se trouvent les aréoles (environ 150 par cladode) qui sont des bourgeons axillaires modifiés, typiques des Cactaceae. Leur méristème, selon les cas, produit des épines et des glochides, ou bien émet des racines adventives, de nouveaux cladodes ou des fleurs. À noter que même l'ovaire et donc le fruit est couvert d'aréoles susceptibles d'émettre à nouveau des fleurs ou des racines. Les épines proprement dites, blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées, sont longues de 1 à 2 cm. Les fleurs (**Photo 01c**) sont à ovaire infère, uniloculaire, le pistil est surmonté d'un stigmate multiple, les étamines sont très nombreuses, les sépales peu apparents et les pétales bien visibles de couleur jaune orange (**Schweizer, 1997 ; Reyes-aguero et al., 2006**). Les fleurs se différencient en général sur des cladodes âgés d'un an, le plus souvent sur les aréoles situées au sommet du cladode ou sur la face la plus exposée au soleil. En principe, une seule fleur apparaît dans chaque aréole, les jeunes fleurs portent des feuilles éphémères caractéristiques de l'espèce. Un cladode fertile peut porter jusqu'à une trentaine de fleurs, mais ce nombre varie énormément selon la position du cladode sur la plante, son exposition, et aussi selon des facteurs physiologiques (nutrition) (**Site net 05**).

### **1.2.2.2.4. Le fruit :**

Le fruit d'*Opuntia maxima* (**Figure 01d**) est une grosse baie charnue de forme oblongue ou ronde (**Araba et al., 2009**), de 5 à 9 cm de longueur, généralement couverts de courtes épines, contiennent de nombreuses graines de 5 mm environ, engluées dans un mucilage (**Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 2003**).



La taille du fruit dépend du nombre d'ovules fécondés et du nombre de graines qui avortent (Pimienta-Barrios, 1990 ; Barbera *et al.*, 1995). Son poids est de l'ordre de 100 à 150g affecté par l'ordre de la production du bourgeon floral et du nombre de fruits sur le cladode. Les fruits les plus lourds sont obtenus à partir des cladodes contenant seulement six fruits (Inglese *et al.*, 1995).

En général, le fruit d'*Opuntia maxima* est de couleur jaune clair ou rouge violacé, bien que, la couleur et la forme du fruit sont variables selon les variétés (Schweizer, 1997 ; Piga, 2004 ; Feugang *et al.*, 2006; Reyes Agüero *et al.*, 2006). Le fruit se conserve longtemps sur la plante après la période de cueillette (Rebours, 1968).



**a**



**b**



**c**



**d**

**Photo 01: Le figuier de Barbarie (*Opuntia maxima*) (Clichés Touati L., 2021):**

**a) plante, b) cladodes, c) fleurs, d) fruit**

### **1.2.3. Situation de l'espèce :**

#### **1.2.3.1. Dans le monde :**

On distingue plus de 400 espèces d'innombrables variétés de figuier de Barbarie dans le monde (Neffar, 2012). À partir de 1996, différentes institutions ont mis au point un projet appelé « the development of integrate Crop / live stock 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 (Neffar, 2012).

De nos jours, les *Opuntia* font partie de l'environnement naturel et des systèmes agricoles, *Opuntia maxima* est l'espèce ayant la plus grande importance économique au monde (Kiesling, 1999). Elle est cultivée en Amérique, en Afrique, en Asie, en Europe et en Océanie (Casas et Barbera, 2002). Le genre *Opuntia* originaire du Mexique (Orwa *et al.*, 2009), figure d'ailleurs sur l'emblème du drapeau mexicain. Sa distribution géographique est très large : Mexique, Sicile, Chili, Brésil, Turquie, Corée, Argentine et Afrique du Nord (Barbera *et al.*, 1992 ; Nerd et Mizrahi, 1994 ; Felker *et al.*, 2005 ; Kabas *et al.*, 2006 ; Saleem *et al.*, 2006).

Le figuier de Barbarie a été introduit d'abord en Espagne et plus tard 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 Houérou, 1996 ; Erre *et al.*, 2009). Il est 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). À 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 et Bensalem, 1998). Dans certains pays tels que l'Italie, l'Espagne, le Mexique, la culture du cactus est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche-développement pour la production du fruit ou de fourrage et même pour des usages industriels (Mulas et Mulas, 2004). En revanche, en Australie et en Afrique du Sud (Dean et Milton, 2000 ; Orwa *et al.*, 2009), ce végétal, en particulier la variété asperme est considérée comme invasive dans les zones ayant une saison de pluies caractérisée par des températures élevées à cause de la facilité avec laquelle, elle se propage. Dans les climats méditerranéens, l'invasion naturelle est limitée par l'humidité et les températures froides d'hiver qui contrastent avec les conditions chaudes et sèches des étés (Barbera *et al.*, 1995).

### 1.2.3.2. En Algérie :

La culture algérienne du cactus est largement représentée dans le paysage rural en plantations plus ou moins régulières, en haies limitant les parcelles de culture ou de vergers. La culture de cactus se trouve parfaitement intégrée dans le système d'exploitation traditionnel (Arba *et al.*, 2000). L'Algérie déploie ces dernières années un effort important pour encourager

la culture du figuier de Barbarie, pour son importance socioéconomique et écologique (Temagoult, 2017). Historiquement, l'introduction du cactus en Algérie a été similaire à celle du Maroc et de la Tunisie.

Dans le Nord d'Algérie, les plantes d'*Opuntia maxima* sont utilisées pour les clôtures autour des maisons et des petites villes, mais aussi pour la production de fruits destinés à la consommation humaine ou vendus sur les marchés locaux. Ces derniers sont utilisés comme source de fourrage en saison sèche. Dans le sud du pays, les cladodes d'*Opuntia maxima* émergent comme aliment pour les petits ruminants et les dromadaires (Agence Ecofin, 2015).

Cette espèce introduite est abondante dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra, Bordj-bou-Arrérij, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres à Ain-Sefra (Neffar, 2012). Elle est aussi plantée à Mostaganem, Tébessa, Béjaïa, Annaba, Oran, Chlef, Sétif, etc (Neffar, 2012). Elle occupe une superficie dépassant les 25000 hectares, la meilleure cueillette des figues de Barbarie est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailleux (in Khedara et Loumaizia, 2019).

Aujourd'hui, les zones dédiées à la culture du figuier de Barbarie au sein de la wilaya de Souk Ahras s'étendent sur 10000 ha dont plus de 40% dans la commune de Sidi Fredj (45 km au nord de la wilaya) et le reste à Ouled Moumène, Taoura, Dréa et Ouilène (Chambre d'agriculture Taoura, 2019). D'ailleurs, l'usine de transformation représente un moyen important pour améliorer les revenus des habitants de la wilaya de Souk Ahras.

#### **1.2.4. Exigences écologiques de l'espèce :**

Les caractéristiques écologiques du figuier de Barbarie, dépendent principalement des facteurs climatiques qui contrôlent sa croissance et sa distribution :

##### **1.2.4.1. Température :**

Le genre *Opuntia* est xérophyte (Gibson et Nobel, 1986), il est adapté aux conditions les plus hostiles (aridité du climat, salinité du sol, terrains de faible potentiel agricole). *Opuntia maxima* présente une remarquable variabilité génétique qui lui procure une forte adaptabilité écologique, ce qui lui permet de vivre sous différentes conditions climatiques (Stintzing et Carle, 2004). D'ailleurs, il croit dans les plaines, les régions côtières et les plateaux (Lahsasni et al., 2004), craint les fortes gelées et peut supporter des températures minimales jusqu'à -10°C

pour quelques heures (Nerd *et al.*, 1991). Ses besoins en chaleur durant la phase de croissance du fruit se situent entre 15 et 25 °C, tandis qu'il peut supporter les fortes chaleurs excédant les 50 à 58 °C à Aziziya en Libye (Habibi, 2004).

### **1.2.4.2. Précipitations :**

Les exigences en précipitations sont variables en fonction de la nature des sols. En effet, pour des sols sableux et profonds, le minimum de précipitation requis tourne autour de 300 à 400 mm/an, alors que sur des sols vaseux et limoneux, la moyenne des précipitations minimales requise est de 200 mm/an. Avec une pluviosité comprise entre 150 et 400 mm/an et en l'absence de fertilisation, la variété inerme peut produire jusqu'à 100 tonnes de raquettes/ha/an (Monjauze et Le Houérou, 1966), cette production est en fonction des régions (Habibi, 2004).

### **1.2.4.3. Sol :**

Bien que cette espèce ait une large faculté d'adaptation pour différents sols, elle a une préférence pour les sols très perméables, sableux ou caillouteux et à faible taux d'argiles (< 20%) (Nerd *et al.*, 1991 ; Skiredj *et al.*, 1998). Elle redoute des sols lourds et mal drainés et supporte aussi bien les sols acides que les sols très calcaires, voire salins (moins de 70 mol de NaCl /cm<sup>3</sup>) (Pimienta-Barrios, 1994). Elle s'accommode mal des sols hydromorphes et asphyxiants, ses sols préférés sont les sols légers, sablonneux limoneux, il s'agit de sols légèrement pauvres en matière organique (0,1 à 1,8 %), ayant des pH légèrement acides (5,1 à 6,7). Pour plusieurs espèces d'*Opuntia* le pH du sol est un facteur limitant, mais l'*Opuntia maxima* est rencontré même sur des sols calcaires (Nerd *et al.*, 1991).

### **1.2.5. Utilisations :**

L'adaptation du figuier de Barbarie aux conditions désertiques et semi désertiques lui offre beaucoup d'avantages en ce qui concerne les conditions offertes par le milieu et permet de constituer une culture à intérêts écologique et socio-économique indéniables. En effet, il est capable de constituer un bouclier contre la désertification et l'érosion des sols, il est également cultivé pour la régénération des terres, et ne demande pas de pratiques culturales spécialisées ni d'apport de fertilisants (Sáenz, 2000).

### **1.2.5.1. Usage alimentaire :**

Les fruits du figuier de Barbarie sont appréciés et donnent lieu à plusieurs produits, dont quelques-uns sont connus et d'autres sont récemment développés ou en cours de recherche. Le jus est obtenu du fruit sans adjonction d'eau ni de sucre, donne une délicieuse boisson qu'il faut boire fraîche, le plus rapidement possible après sa production (**Schweizer, 1997**). Ces fruits sont aussi utilisés afin de préparer des boissons alcoolisées à partir de la pulpe tamisée (**Espirad, 2002**).

**El-Samahy et al. (2008)** ont formulé du nectar à base de pulpe de la figue de Barbarie en rajoutant du sucre, de l'eau, en plus d'une solution d'acide citrique à 10% pour ajuster le pH.

La confiture de la figue de Barbarie produite à l'échelle industrielle a commencé au Chili, (**Corrales-Garcia et Flores-Valdez, 2003**), elle est aussi produite au Mexique, aux États-Unis, en Italie, en Argentine et récemment en Algérie.

Les jeunes pousses d'*Opuntia*, sont consommées aussi comme légume au Mexique et au sud des États Unis, elles sont riches en vitamine C et en Calcium (**Habibi, 2004**).

Les fleurs sont comestibles, les mexicains les mangent à la manière des asperges, accompagnées d'une sauce blanche, d'huile et de vinaigre, ou avec une sauce tomate aux piments (**Schweizer, 1997**).

### **1.2.5.2. Usage cosmétique :**

Depuis des décennies, le figuier de Barbarie est utilisé par les femmes berbères et indiennes du continent américain pour ses vertus cosmétiques afin de protéger leur peau.

Aujourd'hui, les industriels s'intéressent de plus en plus à la production de l'huile des graines d'*Opuntia maxima* (**Bhira, 2012**). Considérée comme le remède de jeunesse de tout temps, elle est également reconnue pour son efficacité antioxydante, cicatrisante, hydratante, nourrissante et raffermissante. Cette huile nécessite entre 800 et 1000 kg de fruit de figue de Barbarie et 30 kilos de pépins pour extraire 1 litre d'huile. Étant rare, le prix du litre de cette huile peut varier selon les conditions de cueillette, il oscille entre 800 et 1000 euro (**Barthes, 2016**).

### **1.2.5.3. Usage médical :**

En Afrique du Nord comme au Mexique, on utilisait les raquettes hachées sous forme de cataplasmes dans le pansement des foulures, des entorses et dans la réduction des fractures. Les médecins coloniaux préconisaient l'*Opuntia maxima* dans le traitement des abcès, des cors, des durillons, des furoncles et de toutes les inflammations digestives et cutanées (**Faiveley, 1920**). Les jeunes pousses de cette espèce sont aussi consommées dans certaines communes de Souk Ahras en préparation culinaire afin de réguler la glycémie chez les personnes diabétiques non dépendantes de l'insuline, le mucilage isolé des raquettes permet de réduire le taux de cholestérol dans le sang selon la population locale.

Les fleurs sont aussi utilisées à des fins médicinales (**Forni et al., 1992**), selon une enquête faite avec certains agriculteurs de Taoura et de Sidi Fredj, cette fleur est séchée, puis, utilisée en infusion ou en préparation avec du miel pour traiter les maladies respiratoires ou les rhumes en période hivernale. La recherche moderne a non seulement confirmé les vertus de cette essence végétale que la médecine traditionnelle seule reconnaissait jusqu'à nos jours, mais découvre chaque année de nouvelles propriétés.

### **1.2.5.4. Usage agronomique :**

Le cactus est considéré comme une réserve fourragère sur pied, il peut constituer un appoint alimentaire pour les périodes de transition en été et en automne et lors des années de sécheresse (**Shoop et al., 1977**). Un certain nombre de pays : Mexique, USA, Brésil, Pérou,... produisent des quantités importantes de cladodes en tant qu'aliment pour le bétail en raison de leur richesse en eau, en fibre, en protéine et en éléments minéraux ; leur consommation permet d'améliorer la saveur du lait et la couleur du beurre, etc (**Arba, 2009**).

Pour le figuier de Barbarie, rien n'est à jeter, que ce soient les résidus des raquettes ou des fruits, chaque partie de la plante constitue un excellent fertilisant. Par sa présence, l'*Opuntia maxima* aide à la régénération des sols épuisés par la culture. Il fixe les terrains ravinés par les pluies ou sujets aux éboulements, stabilise les terres sablonneuses et les dunes des rivages maritimes (**Inglese et al., 1995**). La dispersion autour du pied de certaines plantes d'articles d'*Opuntia maxima* broyés, éloigne les parasites et empêche la prolifération des mauvaises herbes (**Inglese et al., 1995**).

### 1.3. Les mycorhizes :

#### 1.3.1. Généralités :

Le sol est défini comme étant un support de vie de tant d'organismes vivants parmi lesquels une vie microbienne se développe intensément, c'est aussi le milieu où germent les graines de la grande majorité des végétaux en puisant l'eau et les sels minéraux qui leur sont nécessaires. De ce fait, il est considéré comme un siège privilégié des échanges entre les composantes biotiques qui y habitent (**Davet, 1996**).

De nombreuses interactions entre racines des plantes avec d'autres plantes, microbes, vers de terres, etc, peuvent exister au sein de la rhizosphère, certaines interactions plantes-plantes et plantes-microorganismes peuvent être positives tandis que d'autres peuvent avoir un effet négatif au moins pour certains (**Bae et Huh, 2006**). Parmi les interactions positives plantes-microbes, il y a ce qu'on appelle : les associations mycorhiziennes.

Le terme «mycorhize» provient du grec Mykēs et Rhiza, qui veut dire champignon et racine, cette appellation a été employée pour la première fois en 1885 par le phytopathologiste allemand Frank (**Frank, 1885**). Les mycorhizes sont le résultat d'une association ou union durable dont l'intérêt est basé sur des échanges réciproques entre les racines des végétaux et certains champignons du sol. Ces relations symbiotiques sont caractérisées par un état d'équilibre physiologique permettant aux symbiotes impliqués, d'en tirer des bénéfices mutuels. Le champignon transfère directement à partir du sol de l'eau, du phosphore, du zinc, du cuivre et d'autres minéraux aux racines de la plante, cette dernière quant à elle, fournit par photosynthèse, du carbone organique au champignon (**Hopkins, 2003 ; Smith et Read, 2008 ; Hodge et al., 2010; Raven et al., 2017**).

Les mycorhizes ont apparu sur terre il y a environ 400 millions d'années (**Simon et al., 1993**) et sont considérées comme étant à l'origine de la flore terrestre (**Selosse et Le Tacon, 1997**). Ils constituent des éléments essentiels pour enrichir la relation sol-plantes-microorganismes, en effet, certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans s'associer à un partenaire fongique (**Gobat et al., 2003**).

Les champignons des associations mycorhiziennes fonctionnent comme des prolongements du système racinaire, leurs hyphes augmentant d'une façon extraordinaire le contact avec le sol et la surface totale d'absorption (**Garbaye, 2013**). Les champignons se développent aussi bien à l'intérieur des racines

qu'autour d'elles en formant un réseau de filaments qui amplifie considérablement la surface du contact entre les racines et le sol (**Garbaye, 2013**).

Le monde des champignons est extrêmement diversifié : on estime le nombre d'espèces fongiques existantes actuellement sur la planète à 1,5 million, mais guère plus de 100000 (soit à peine 7%) ont jusqu'à ce jour été décrites et nommées. Cependant, seuls 3 groupes de champignons sont concernés par l'association symbiotique avec les plantes : Les Basidiomycètes, les Ascomycètes et les Glomeromycètes (**Garbaye, 2013**).

Parmi ces interactions, les champignons les plus abondants dans les sols cultivés sont les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) qui constituent 5 à 50 % de la biomasse microbienne des sols (**Olsson, 1999**) et qui intéressent plus de 90 % des plantes terrestres (**Sanders et al., 1995**). Ils sont connus depuis la fin du dix-huitième siècle (**Veresoglou et al., 2010**) et se rencontrent chez presque toutes les familles de plantes, depuis les Bryophytes jusqu'aux Angiospermes (**Boullard, 1990**) et particulièrement les plantes à valeurs économiques importantes à l'exception des Brassicaceae, Chénopodiaceae, Amaranthaceae, Cyperaceae, Urticaceae, Juncaceae et quelques espèces de Caryophyllaceae et Plantaginaceae (**Barea et al., 2005; Cardoso et Kuyper, 2006; Zubek et al., 2008; Vosatka et Albrechtova, 2009**).

### **1.3.2. Les types de mycorhizes :**

Les associations mycorhiziennes elles-mêmes peuvent être classées dans l'un des types différents de mycorhizes, sur la base du type de champignon en cause et la gamme de structures produites par la combinaison racine-champignon, d'après la morphologie, on distingue les trois types de mycorhizes suivants (**Figure 01**) :

#### **1.3.2.1. Les ectomycorhizes :**

Les ectomycorhizes (ECM) comme leur nom l'indique sont des mycorhizes externes, par le fait que les hyphes restent à l'extérieur des cellules racinaires de la plante hôte, ils apparaissent entre celles-ci (dans l'espace intercellulaire) (**Figure 01**). Le champignon forme un manteau qui enveloppe les racines, et présente un réseau d'hyphes, appelé « réseau de Hartig », qui pénètre entre cellules épidermiques et corticales sans jamais traverser la paroi cellulaire (**Dickie, 2006**). Ils sont visibles soit à l'œil nu ou bien à l'aide d'une loupe (**Garbaye, 1990**).



On compte entre 20000 et 25000 espèces de champignons formant cette catégorie de mycorhizes qui appartiennent essentiellement aux Basidiomycètes et aux Ascomycètes et plus rarement à des Gloméromycètes (**Bâ et al., 2011 ; Maiti, 2012**). Il y a apparition de sporocarpes (fructifications portant les spores) chez les champignons supérieurs de cette catégorie (**Brundrett, 2002**).

Ce type d'associations est représenté surtout chez les essences forestières des régions tempérées et de la forêt boréale, mais il a été décrit aussi chez quelques espèces tropicales de la famille des Dipterocarpaceae, Euphorbiaceae, Cesalpiniaceae, Myrtaceae et Fagaceae (**Redhead, 1980**).

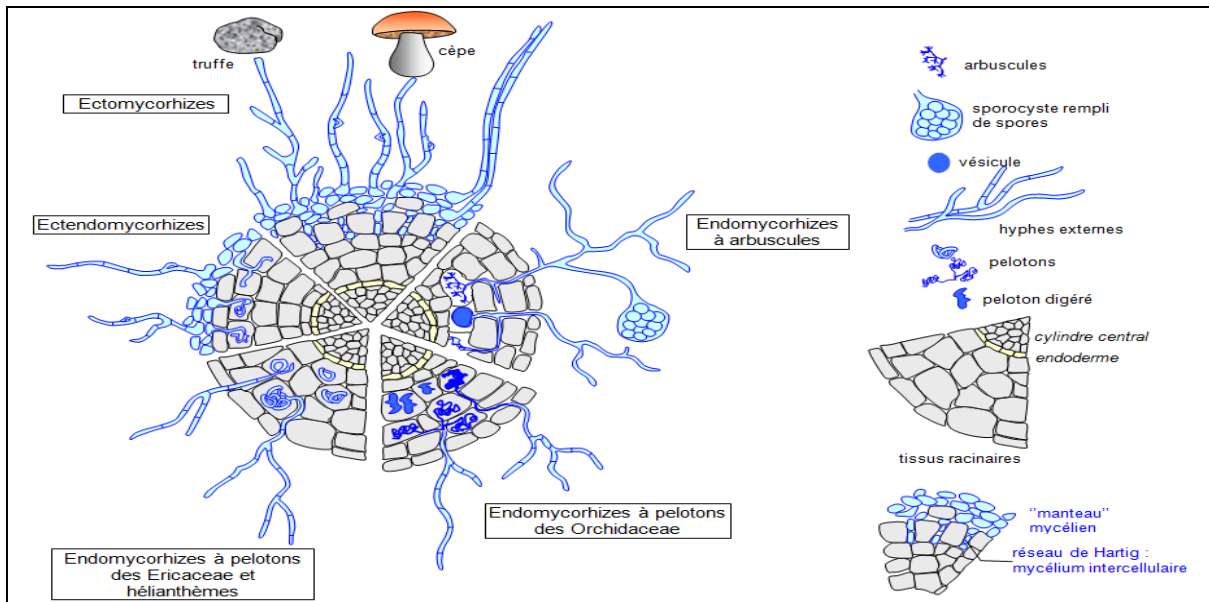
### **1.3.2.2. Les endomycorhizes :**

C'est la forme la plus répandue des mycorhizes, à l'inverse des ectomycorhizes, ces champignons se développent plutôt à l'intérieur des cellules (**Figure 01**), seul un réseau lâche d'hyphes entoure la racine. Le manteau fongique est absent et les poils absorbants peuvent se développer (**Nultsch, 1998**).

Il existe plusieurs formes d'endomycorhizes qui diffèrent en de nombreux points où leur prolifération conduit à la formation d'arbuscules ou de pelotons, les endomycorhizes arbusculaires sont la forme la plus répandue. Le champignon forme dans l'écorce de la racine des vésicules elliptiques et des hyphes intracellulaires finement ramifiées en arbuscules qui représentent des suçoirs (**Dar, 2010**).

### **1.3.2.3. Les ectendomycorhizes :**

Elles sont caractérisées à la fois par la présence du manteau mycélien et le développement d'hyphes inter et intracellulaires (**Figure 01**). Cependant et contrairement aux ectomycorhizes et pareil que les endomycorhizes, les hyphes du réseau d'Hartig pénètrent à l'intérieure des cellules racinaires, se ramifient et se contournent occupant toute la cellule, offrant ainsi une grande surface d'échange symbiotique (**Garbaye, 2013**), elles se rencontrent chez les Arbutaceae, les Monotropaceae et sont formées par des Basidiomycètes (**Mikola, 1988**).



**Figure 01 : Principales formes de mycorhizes associées aux racines des plantes supérieures (Hallé, 2008, figure modifiée de Le Tacon, 1985).**

#### 1.3.2.4. Les mycorhizes à arbuscules (MA) :

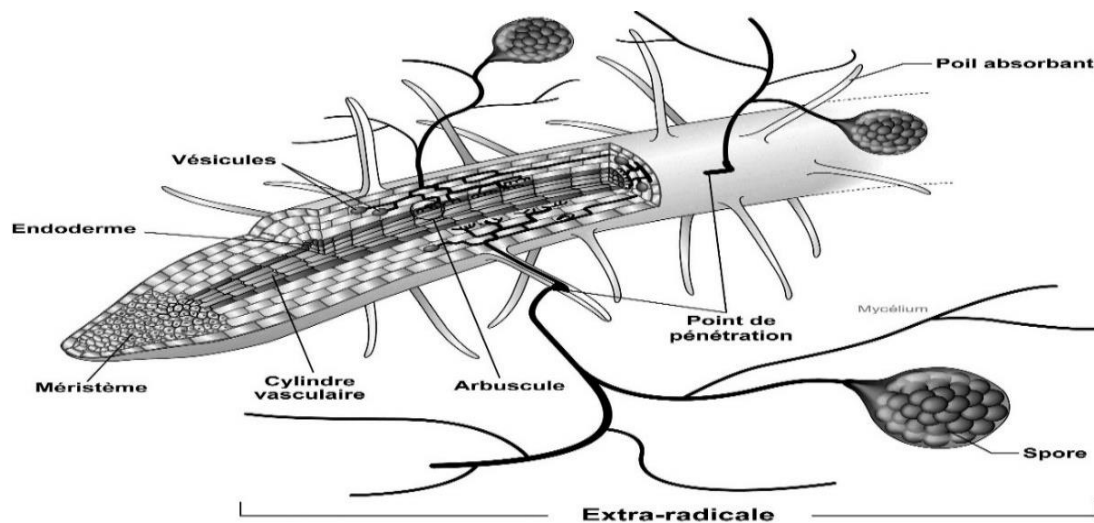
Les mycorhizes à arbuscules (Figure 02) sont parmi les associations endomycorhiziennes les plus communes et répandues entre les champignons du sol et les racines des plantes, elles sont aussi les plus anciennes et ont apparu il y a 400 à 500 millions d'années avec les toutes premières plantes qui ont commencé à coloniser la terre ferme (Garbaye, 2013). Leur taux de colonisation est d'environ 80 % de toutes les plantes terrestres (Smith et Read, 2008 ; Spatafora *et al.*, 2016) ligneuses, herbacées, mousses, fougères, gymnospermes et angiospermes, plusieurs conifères et la majorité des plantes à fleurs.

Elles ne se différencient pas à l'œil nu et ne sont visibles qu'au microscope après un traitement approprié des racines colonisées. Ceci, peut être obtenu après traitement par la méthode de Phillips et Hayman (1970). Leur croissance est essentiellement souterraine, et leur reproduction est asexuée, assurée par les spores (Driai, 2016).

Le terme arbuscule, qui désigne ce type de mycorhize, est dû aux structures formées par la ramification des hyphes à l'intérieur des cellules prenant la forme d'un petit arbre d'où le nom d'arbuscule (arbres nains). La colonisation s'effectue à partir des propagules fongiques présentes dans le sol, ces structures sont appelées ainsi car elles servent à la propagation de l'espèce (Fortin *et al.*, 2008). Elles sont viables et sont responsables de garder en vie le champignon et ce jusqu'à la

colonisation des racines. Les hyphes pénètrent à l'intérieur des racines par voie intercellulaire le plus souvent et rarement par les poils absorbants, puis, leur propagation se fait entre les cellules corticales pour différencier deux types de structures caractéristiques des MA : les arbuscules et les vésicules.

La division dichotomique d'une hyphe produit des arbuscules intracellulaires, c'est le lieu d'échanges nutritifs entre les deux partenaires ; des vésicules, différenciées à l'extérieur des cellules tout comme à l'intérieur servent d'organes de stockage de ces nutriments, elles se présentent sous la forme de renflements des terminaisons hyphales (**Fortin et al., 2008**).

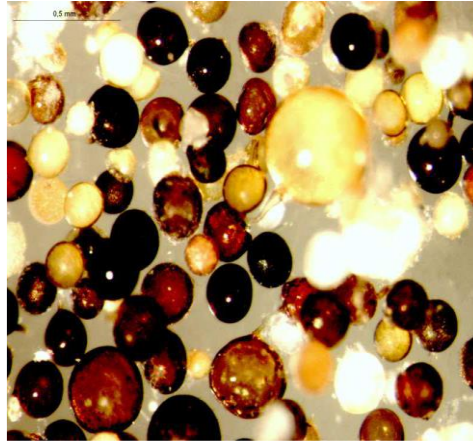


**Figure 02:** Structures des mycorhizes arbusculaires (**Fortin et al., 2008**).

### 1.3.2.4.1. Les structures des CMA :

#### A. Spores :

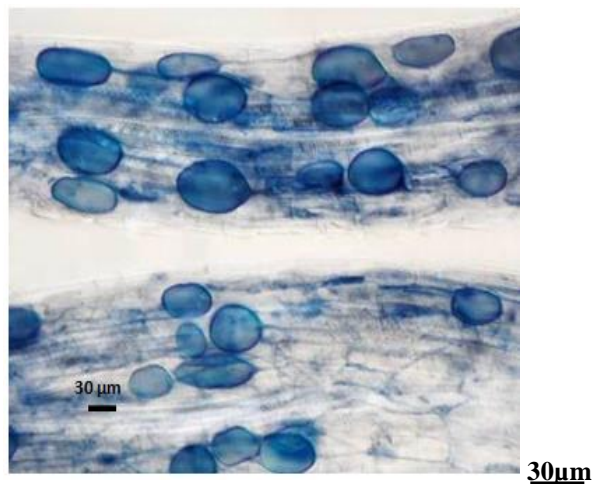
Ce sont des structures servant à l'identification morpho-anatomique des espèces (**Photo 02**), elles sont unicellulaires, globoïdes, à paroi de plusieurs couches en liaison avec le réseau de filaments grâce à un hyphe suspenseur (**Dia et Duponnois, 2012**). Certaines espèces de CMA produisent des sporocarpes (**Redecker et al., 2007**). La spore asexuée constitue la seule forme de reproduction des CMA (**Walker et Trape, 1993**). Cette structure est capable de germer et donne des filaments mycéliens. Ces derniers, quand ils sont en contact avec une racine, forment ce qu'on appelle : un *appressorium* (**Hepper, 1985**), lui permettant de pénétrer, de se ramifier et de se différencier à l'intérieur des cellules en arbuscules et dans certains cas en vésicules.



**Photo 02: Spores, structures caractéristiques des CMA (Meddad-Hamza, 2010).**

### **B. Vésicules :**

Les vésicules (**Photo 03**) sont formées en général dans les couches superficielles de la racine dans les espaces intercellulaires (**Harley et Smith, 1983**), certains champignons n'en forment jamais (**Peyret-Guzzon, 2014**). Les vésicules ont un contenu lipidique, de formes variées et sont caractéristiques de l'espèce fongique, elles s'observent aussi bien entre les cellules racinaires des plantes qu'au sein de ces dernières, ayant probablement un rôle dans le stockage des réserves et dans la propagation du champignon (**Raven et al., 2000**).



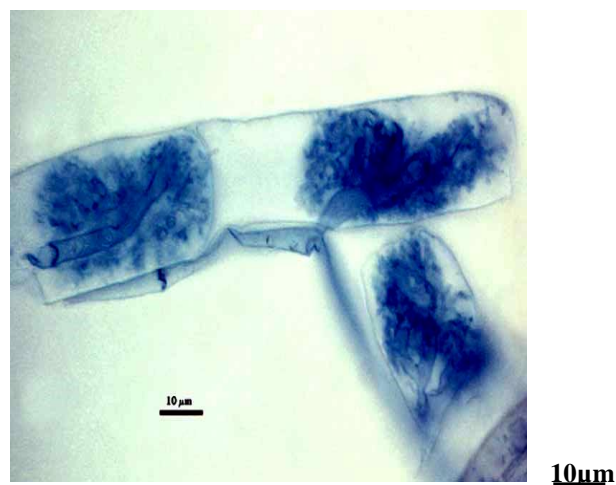
**Photo 03: Vésicules, structures caractéristiques des CMA (Hamza, 2020).**

### **C. Arbuscules :**

Les arbuscules sont des structures fongiques endocellulaires très ramifiées qui se forment dans les cellules corticales de la racine hôte (**Photo 04**), ayant la forme d'un petit arbre, les nombreuses digitations de l'arbuscule sont limitées par une membrane péri-arbusculaire

d'origine végétale qui entoure une paroi fongique très mince. Il se crée ainsi une très grande surface de contact où les deux partenaires sont très proches, elle constitue le siège privilégié d'une intense relation bidirectionnelle et biotrophique (**Smith et Gianinazzi-Pearson 1988 ; Harrison, 1999**). Les arbuscules ont une durée de vie assez courte, généralement inférieure à 15 jours (**Cox et Tinker, 1976**), dégénèrent laissant la cellule hôte reprendre sa forme initiale avant la colonisation (**Alexander et al., 1989**).

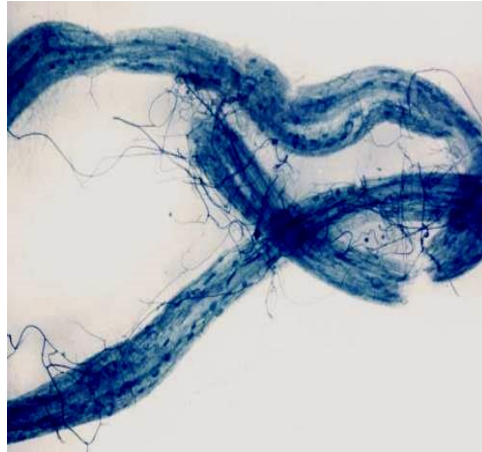
La paroi fongique subit un amincissement graduel depuis l'*appressorium* jusqu'aux phases intra-radiculaires qui se traduit par une modification de son ultra-structure et de ses propriétés physico-chimiques (**Bonfante-Fasolo et Grippiolo, 1982**).



**Photo 04: Arbuscules, structures caractéristiques des CMA (Hamza, 2020).**

### **D. Hyphes :**

Les hyphes formant les arbuscules se développent à l'extérieur de la racine sur plusieurs centimètres, explorant le sol aux alentours du système racinaire de la plante hôte formant un réseau mycélien (**Photo 05**), ils se développent à des propagules, et forment au contact de la racine des *appressorium* (**Hepper, 1985**). Le réseau mycélien peut avoir des prolongements pouvant atteindre jusqu'à plusieurs dizaines de mètres par gramme de sol (**Leake et al., 2004**), ces derniers agissent comme des extensions du système racinaire afin d'absorber les éléments nutritifs à partir du sol, ce réseau mycélien sera capable de coloniser une autre plante hôte (**Peyret-Guzzon, 2014**).



**Photo 05:** Hyphes extra-radicales, structures caractéristiques des CMA (Hamza, 2020).

### **1.3.2.4.2. Rôles des CMA dans les écosystèmes :**

#### **A. Une fonction de bio-fertilisation :**

La structure du sol réfère à l'agrégation de ses particules aussi bien qu'aux pores, le maintien de la structure du sol est d'une importance capitale pour la préservation des fonctions des sols et la fertilité (Fortin *et al.*, 2008).

Les CMA sont aussi des composantes essentielles pour le fonctionnement des écosystèmes naturels, ayant comme rôle de participer à l'amélioration et le maintien des agrégats de sols dans les zones érodées (Tisdall, 1991) en contribuant à acquérir les bonnes propriétés physiques, chimiques et biologiques.

Selon Wright et Andersen (2000), les CMA produisent de la glomaline, une glycoprotéine qui agit par ses propriétés hydrophobes pour stabiliser les agrégats. D'après Bearden et Petersen (2000), le mécanisme impliqué dans la stabilisation des agrégats est basé sur la fixation des particules du sol par les hyphes et les racines et sur l'exsudation des polysaccharides.

Les moindres recoins de terre disponibles fournissent ainsi la nourriture et l'eau utiles aux plantes (Smith et Read, 2008 ; Lambers *et al.*, 2009; Gianinazzi et Wipf, 2010). L'absorption de l'eau et des éléments nutritifs constitue la toute première fonction attribuée aux mycorhizes, notamment l'absorption des éléments peu mobile du sol. Les plantes pourvues de mycorhizes arbusculaires résistent beaucoup plus longtemps à la sécheresse que celles qui en sont dépourvues (Wu et Xia, 2006 ; Subramanian *et al.*, 2006).

Le phosphore est un élément nutritif très important pour la croissance des plantes puisqu'il intervient dans de nombreux processus métaboliques : biosynthèse des acides

nucléiques et des membranes, photosynthèse, respiration et régulation des enzymes. C'est aussi l'élément dont la concentration dans la plante est la plus fortement augmentée par la symbiose endomycorhizienne (**Bolan, 1991 ; Smith et Read, 1997**).

L'azote est un élément indispensable à la vie de la plante, il entre dans la synthèse de nombreuses molécules telles que les phospholipides, les coenzymes, les nucléotides et les acides aminés. Les CMA prélèvent l'azote sous sa forme d'ammonium (**López-Pedrosa et al., 2006**) et acides aminés (**Cappellazzo et al., 2008**) en utilisant des transporteurs spécifiques localisés au niveau des hyphes extra-racinaires. Il peut également accélérer la dégradation de la matière organique afin d'en augmenter la biodisponibilité pour les plantes (**Hodge et al., 2001**). Une fois prélevé, l'azote est transporté jusque dans les hyphes intra-racinaires sous forme d'arginine (**Jin et al., 2005**).

**Marschner et Dell (1994)** et **Clark et Zeto (2000)** ont trouvé que les CMA peuvent améliorer la nutrition des plantes en potassium, calcium et magnésium. Cette mycorhization produit des végétaux plus vigoureux tout en augmentant l'établissement des plantes et leur survie lors du semis ou de la transplantation, d'où une amélioration de la floraison, de la fructification ainsi que la tolérance à la sécheresse, permettant alors un accroissement du rendement et de la qualité des récoltes (**Gianinazzi-Pearson et al., 1989**). L'efficacité d'un système racinaire mycorhizé par rapport à un système non mycorhizé peut-être mise en évidence non seulement par une amélioration de la valeur absolue de la croissance, mais aussi par la comparaison des rapports partie racinaires/partie aériennes (**Gianinazzi-Pearson et al., 1989**).

### **B. Une fonction de bio-régulation :**

Les CMA présentent des importances physiologiques dans les plantes hôtes traduites par des réponses hormonales. L'acide jasmonique, une hormone végétale, ainsi que l'éthylène interviennent dans le processus de colonisation et entraînent des modifications biochimiques dans toutes les parties de la plante. Ces modifications hormonales se produisent dans les mécanismes contrôlant le degré de colonisation de la plante hôte (**Fortin et al., 2016**). Les réponses des plantes peuvent être variables et différent selon les CMA, qui peuvent soit altérer les taux d'hormones ou les élever (**Arora et al., 2016**).

### **C. Une fonction de bio-protection :**

Les CMA présentent une grande importance dans la résistance des plantes contre les différents stress biotiques et abiotiques. Sous stress de la sécheresse, ils stimulent l'amélioration de la croissance des plantes et augmentent leur survie (**Wu et Zou, 2017**). Sous stress salin, les CMA améliorent leur croissance et leur rendement et semblent leur apporter nombreux avantages lorsqu'elles sont soumises au stress osmotique (**Augé, 2014**). Les CMA atténuent les effets des métaux lourds sur la croissance des plants, aident à leur survie (**Miransari, 2011**) et améliorent leur tolérance au stress de la température (**Zhu et al., 2017**).

Le second mécanisme permettant aux plantes mycorhizées de mieux résister aux maladies est lié à des modifications des activités physiologiques dans la racine. Les plantes agressées par un agent pathogène réagissent en produisant des substances antibiotiques contre ces organismes (**Fortin et al., 2008**). En nature, les plantes sont continuellement soumises à des agressions de la part des bactéries, champignons, nématodes, insectes et maladies fongiques. Il a été prouvé expérimentalement que les plantes inoculés avec des champignons mycorhiziens à arbuscules sont plus résistantes aux attaques de champignons pathogènes et l'exposition à des toxines du sol (**Moser et Haselwandter, 1983 ; Schüepp et al., 1987**).

Plusieurs études ont montré le rôle joué par les CMA dans la protection des plantes sous stress biotiques tels que la salinité (**Giri et al., 2008**), la température (**Abdel Latef et Chaoxing, 2011**), le calcaire (**Labidi et al., 2010**), la sécheresse (**Ruiz-Sánchez et al., 2010**) et le compactage du sol (**Miransari et al., 2008**).

### **1.3.3. Place des mycorhizes dans l'agriculture :**

Les mycorhizes qui sont des associations symbiotiques chez grand nombre de végétaux selon la bibliographie, présentent comme déjà décrit des pouvoirs miraculeux que ce soit en bio-régulation, bio-protection ou bio-fertilisation des plantes sur lesquelles elles sont utilisées. Ce qui, leur offre le pouvoir exercé par un engrais biologique et ce, sans avoir à recourir aux intrants chimiques qui restent néfastes quelque soient le degré. Ceci, pourrait constituer aussi une barrière protectrice contre les stress environnementaux, garantissant un retour vers une agriculture biologique saine et durable, qui se plie au respect de la santé humaine et de l'environnement.



La culture biologique semble être le seul espoir si l'agriculteur veut prospérer de sa terre, être prolifique dans sa localité et assurer la pérennité des ressources aux générations futures. Pour l'agriculture (durable), notamment biologique, la qualité du sol est un des facteurs de réussite le plus important. Il est reconnu qu'une plante a plus de succès quand le sol est riche et friable, qui respire et draine bien, offrant en retour des fruits juteux, des légumes, noix et grains de qualité, succulents et en abondance.

Dans le but d'améliorer les rendements agricoles, certaines firmes internationales produisent des additifs biologiques commercialisés sous forme de supports à base naturelle tout en respectant le maintien de la santé publique et l'intégrité de l'environnement. Ces nouvelles mesures sont adoptées afin d'augmenter le potentiel productif tout en assurant la durabilité et le maintien de l'agriculture et des services écosystémiques (Tilman *et al.*, 2002). Cela signifie l'intégration du développement de stratégies de gestion des cultures qui optimisent l'impact des microbes bénéfiques, comme les champignons mycorhiziens à arbuscules, dans la production végétale (Gianinazzi *et al.*, 2010 ; Ziane *et al.*, 2017 ; Hamza *et al.*, 2019) et ce, du fait que ces associations mycorhiziennes concernent plus de 95% des plantes terrestres dont la plupart sont des plantes agricoles et horticoles (Barea *et al.*, 1980).

### **1.3.3.1. Place des CMA dans l'agriculture en Algérie :**

En Algérie, il n'existe pas de plan national pour l'agriculture biologique, les textes législatifs spécifiques à ce secteur ne se sont mis en place que tardivement (Abdellaoui, 2012). Cette question est abordée dans les textes portant sur la Stratégie Nationale de Développement Durable (Cheriet, 2010), sans pour autant qu'elle soit liée aux différents enjeux (alimentaires, climatiques et environnementaux, commerciaux, etc.) dans une approche intégrée et globale.

L'agriculture couvre 8,5 millions d'hectares dans notre pays, les cultures sont essentiellement céréalières, arboricoles et maraichères (Bessaoud *et al.*, 2019). L'utilisation de produits à base de CMA en agriculture est quasiment inexistante et très peu connue, un petit nombre d'études a concerné ces produits. Des travaux publiés ont montré l'effet positif des CMA en situation de production agricole, ces études ont montré le potentiel bénéfique de l'inoculation par des CMA exogènes commerciaux pour certaines cultures citées auparavant. Cependant, aucune étude n'a été faite concernant leurs applications sur les cultures du figuier de Barbarie en Algérie ou ailleurs.

Dans les pays développés, les applications de ce genre de produits sont de plus en plus répandues et sont très encouragées. Tandis qu'en Algérie, la majorité des cultures, surtout celles

destinées au maraichage, dépendent fortement des engrais chimiques et des produits phytosanitaires. Cette agriculture reste exposée au problème de sécheresse et de salinité accentuées qui en résultent du changement climatique et des dépendances accrues de ces apports chimiques.

L'agriculture algérienne standard souffre d'une sous compétitivité durable et d'une faible intégration aux marchés extérieurs. Les politiques traditionnelles et les plans de développement agricole successifs n'ont produit que de maigres résultats au regard des potentialités et des besoins du pays. Face à un tel constat, l'agriculture biologique peut s'avérer comme une alternative intéressante pour valoriser les ressources locales, d'autant plus que le marché mondial ne cesse de croître pour faire face aux crises alimentaires. La durabilité, la rentabilité de cette agriculture et la proximité des marchés en croissance (Europe) sont également des facteurs favorables à l'épanouissement de ce modèle agricole en Algérie (**Hadjou et al., 2013**).

L'Algérie est en fin de compte est le pays qui enregistre le plus grand retard en matière de développement de l'agriculture biologique comparé à la Tunisie et au Maroc. Ainsi, la Tunisie est comme le pays le plus avancé parmi ceux de l'Afrique du Nord, à la fois en termes de surfaces converties au biologique et du nombre d'exploitations agricoles bio (**Hadjou et al., 2013**). Le Maroc quant à lui, est le pays qui a enregistré la plus forte croissance en termes de surface convertie au bio entre 2009 et 2010 avec l'huile d'Argan et l'huile d'olive comme produits emblématiques (**Hadjou et al., 2013**).

Une très faible surface s'est convertie depuis les années 2000 grâce à l'implication de jeunes agriculteurs dynamiques, ayant souvent des relations avec la diaspora algérienne établie en France. C'est le cas dans le secteur phonicole qui a vu ses premières dattes biologiques certifiées grâce à une entreprise créée par un chercheur franco-algérien (**Hadjou et al., 2013**). La situation actuelle des surfaces converties en bio alerte sur leur faiblesse, ceci, en raison du manque de politique nationale claire et encourageante de soutien en faveur de cette agriculture biologique, d'autant plus que comme au Maroc, il existe des surfaces importantes de culture biologique non certifiées (**Hadjou et al., 2013**).

### **1.3.4. Impact des pratiques culturales sur les mycorhizes :**

Les pratiques culturales intensives détruisent de plus en plus la composante microbienne des sols de culture, ce qui réduit de plus les bienfaits offerts par ce type de communautés (**Fortin et al., 2008**).

Pour augmenter la croissance et le rendement des cultures, les agriculteurs pratiquant une agriculture conventionnelle ont souvent recours aux engrais minéraux phosphatés. Ces pratiques donnent une concentration du phosphore biodisponible en dessus du besoin de la plante, ce qui réduit la dépendance de celles-ci aux mycorhizes sur le plan nutritionnel. De ce fait, dans les sols fortement concentrés en phosphore, il est montré que la colonisation des racines des plantes est réduite, voire inhibée (**Grant et al., 2005; Hijri et al., 2006**). L'interaction entre phosphore et azote affectent différemment la germination des spores, la croissance et la longueur des racines colonisées (**Bressan, 2001**). L'usage des pesticides et notamment les fongicides, peut avoir un impact direct sur la colonisation et la sporulation des CMA et même aboutir à leur disparition (**Fortin et al., 2008**).

Les monocultures conduisent à la sélection d'un nombre réduit d'espèces de CMA (**Burrows et Pflieger, 2002**) qui sont spécifiques, ce qui ne sélectionne que des espèces peu ou pas avantageuses pour la culture. Ceci, se traduit sur le potentiel productif agricole réduit (**Johnson et al., 1992**), d'où l'intérêt de faire des rotations de cultures afin d'enrichir le sol en biodiversité des communautés des CMA. Ceci pourrait être réalisé en choisissant des espèces à forte dépendance mycorhizienne comme est l'exemple de la carotte (**Gosling et al., 2006; Plenchette et al., 2005**) tout en réduisant l'apport des intrants chimiques qui sont susceptibles de modifier les interactions mycorhizes à arbuscules-plantes .

De plus, le labour comme travail de sol a un grand pouvoir de modifier les communautés de CMA (**Jansa et al., 2002a; Jansa et al., 2003**) soit en enfouissant les spores en profondeur (**Abbott et Robson, 1991**) ou en détruisant certains groupes taxonomiques ou au contraire, en augmentant leur nombre (**Abbott et al., 1992; Klironomos et Hart, 2002**). Ces perturbations physiques réduisent l'abondance des CMA de la couche supérieure du sol, là où se trouvent majoritairement les racines des plantes hôtes (**Oehl et al., 2005**). Les sols stables (non perturbés) présentent une abondance des Acaulosporaceae et Gigasporaceae, par contre, dans les sols perturbés, il y a une propagation des Glomeraceae (**Daniell et al., 2001**).

### **1.3.5. Production d'*inocula* à base de mycorhizes :**

Le nombre d'entreprises productrices d'*inocula* à base de champignons mycorhiziens a augmenté dans le monde pendant la dernière décennie. En Europe, approximativement 15 entreprises produisent les champignons mycorhiziens (**Vosatka et al., 2012**). Ces produits sont souvent sous forme de supports granulés faits de tourbe, compost, vermiculite, perlite, sable, et/ou d'argile et contiennent des spores, des racines colonisées, des segments d'hyphes, ou le

mélange des trois. Des préparations liquides peuvent être aussi utilisées, elles sont composées de spores uniquement. Les genres *Glomus* et *Rhizophagus* sont les plus utilisés dans les productions de ces *inocula* (Arora *et al.*, 2016) car, ils sont très répandus dans les écosystèmes et peuvent coloniser une grande variété de plantes hôtes (Dalpé et Monreal, 2004; Fortin *et al.*, 2008).

Le premier *inoculum* rhizobial a été produit aux États-Unis et commercialisé par une entreprise privée dans les années 1930. Les rhizobiums qui sont des bactéries du sol se caractérisant par leur faculté unique d'infecter les poils absorbants des légumineuses et de produire sur les racines des nodules, siège de la fixation d'azote atmosphérique (Franche *et al.*, 2009). Les rhizobactéries sont définies comme des bactéries qui colonisent les racines ou la rhizosphère du sol et qui sont bénéfiques aux cultures (Beauchamp, 1993), ces bactéries sont actuellement commercialisées sous forme d'*inoculum*. Elles semblent promouvoir la croissance des cultures par plusieurs mécanismes qui sont ; la suppression des maladies des plantes par des bio-protecteurs, l'amélioration de l'acquisition de biofertilisants, ou la production de biostimulants (Franche *et al.*, 2009).

Certains pays en voie de développement, tel que Cuba, se sont intéressés au développement des biotechnologies d'*inocula* afin de pouvoir rehausser les potentiels productifs tout en augmentant la fertilité des sols et de s'en passer des engrais importés désormais non disponibles (Febles-González *et al.*, 2011). Pour ce faire, des recherches ont testé l'efficacité de différentes souches mycorhiziennes selon les types de sol et les cultures (Hamel et Plenchette, 2007), l'objectif étant de développer des *inocula* mycorhiziens mieux adaptés aux conditions culturales. L'Inde a aussi adopté cette biotechnologie à base de *Rhizophagus irregularis* à cause de l'état des sols qui sont devenus stériles, des sécheresses accrues et de l'augmentation constante de la demande alimentaire dans ce pays (Jochems-Tanguay, 2014).

Dans les pays développés, le principal producteur d'*inocula* mycorhiziens se trouve au Canada, il s'agit de l'entreprise québécoise « Premier Tech Biotechnologies : PTB » sous la marque Myke Pro, qui est reconnue comme un leader mondial dans la production et la commercialisation d'*inocula* mycorhiziens (PTB, 2013). Ses produits sont principalement vendus en Amérique du Nord et un peu en Europe (Jochems-Tanguay, 2014). Au Québec, la commercialisation des *inocula* mycorhiziens destinés à l'agriculture a débuté en 2011 et vise principalement les productions de pomme de terre et de soja (Gagné et Le Quéré, 2014). Myke Pro se trouve sur le marché sous différentes formules, granulaire, en poudre ou liquide, et à

différentes concentrations selon les cultures cibles (**Gagné et Le Quéré, 2014**). Les *inocula* sont vendus pour leur capacité à augmenter les rendements, améliorer l'absorption des éléments nutritifs, stimuler la croissance du système racinaire, augmenter la tolérance à la sécheresse et augmenter la qualité des récoltes (**PTB, 2013**).

Cette partie renseigne sur le large spectre d'activité des biofertilisants qui varie en fonction des micro-organismes, ceci rend le choix des produits en fonction des données agronomiques, climatiques où ils vont être utilisés. Dans cette étude, nous avons utilisé l'*inoculum* commercialisé « Symbivit » comme apport de CMA exogènes. C'est un *inoculum* produit par Symbiom , une firme tchèque fondée en 1999, de plus de 20 ans d'expérience dans la recherche, le développement, la production et l'application de produits à base de composants naturels de haute qualité et d'alternatives aux engrais chimiques en vue de viser un système durable de nutrition et de protection des plantes (**Site net 06**). Son développement est basé sur une offre de solutions durables de nutrition des plantes qui propose des mycorhizes de très haute qualité, grâce notamment à un système de production spécifique. Ses produits s'adressent à tous les types d'agricultures, ils sont reconnus depuis de nombreuses années pour leurs hauts niveaux de performance et s'inscrivent dans le respect des attentes sociétales et agronomiques actuelles et futures (**Site net 06**). Depuis sa fondation, la société a progressivement développé 4 produits différents à base de champignons mycorhiziens : ECTOVIT®, RHODOVIT®, TURFCOMP® et SYMBIVIT® (**Site net 06**), ce dernier a fait l'objet de très peu de travaux en Algérie et dans certains autres pays du monde sur différentes cultures.

*Chapitre 02 :*  
*MATÉRIEL*  
*ET MÉTHODES*

## **2. MATÉRIEL ET MÉTHODES :**

### **2.1. Présentation de la région d'étude : Souk Ahras**

La wilaya de Souk Ahras ( $36^{\circ}17'15''\text{N}$ ,  $7^{\circ}57'15''\text{E}$ ,  $Z = 653\text{m}$ ) (**Figure 03**) est située à l'extrême Nord-Est de l'Algérie, elle est limitée au nord et à l'ouest par les wilayas d'El Tarf et Guelma, au Sud-Ouest par la wilaya d'Oum el Bouaghi, au Sud-Est par la wilaya de Tébessa et à l'Est par la Tunisie, occupant une surface globale d'environ  $4360 \text{ km}^2$  avec une population de 440.300 habitants répartis à une densité de  $101 \text{ habitants/ km}^2$ .

Cette région fait partie du onzième point névralgique «hotspot» régional de biodiversité en Méditerranée, dénommé «Kabylies–Numidie–Kroumirie» (**Véla et Benhouhou, 2007**). Elle couvre la Zone Importante pour les Plantes (ZIP) nommée « El Kala 2 » (**Yahi et al., 2012; Benhouhou et al., 2018**).

Deux ensembles hétérogènes déterminent la configuration géomorphologique de cette wilaya. Le nord (C1) est représenté par des montagnes et des forêts et composé de 12 communes d'une superficie totale de  $1880 \text{ km}^2$ . Il est caractérisé par un bioclimat humide et sub-humide avec une moyenne de précipitations de l'ordre de  $730 \text{ mm/an}$ . Cependant, le sud (H2) constitué de hautes plaines et de pâturages, englobant 14 communes s'étendant sur une superficie de  $2480 \text{ km}^2$  et caractérisé par un bioclimat semi-aride, avec une moyenne de précipitations de l'ordre de  $350 \text{ mm/an}$  (**Hamaidia et Berchi, 2018**).

Les moyennes journalières de températures varient selon les saisons (de  $10^{\circ}\text{C}$  en janvier jusqu'à  $45^{\circ}\text{C}$  en août). Les températures mensuelles moyennes sont de  $15^{\circ}\text{C}$  en janvier et  $35^{\circ}\text{C}$  en juillet (**Seltzer, 1946**). La superficie boisée de la wilaya totalise  $82\,375 \text{ ha}$ , elle comprend deux parties bien distinctes, séparées par l'Oued Medjerda : au nord, des forêts de Chêne liège (*Quercus suber* L.) et de Chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) et au sud, la zone du Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) (**Boukehili et al., 2018**). Les écosystèmes sont ceux du reste de la Numidie (forêts, maquis, pelouses et rochers), sans le littoral et les complexes dunaires (cf. **de Bélair et al., 2005**).

Nos 18 stations choisies pour l'étude du potentiel de la flore rare et endémique de cette région et dont les informations sont inscrites dans l'**Annexe 01** se répartissent sur deux secteurs biogéographiques du Nord-Est algérien, le C1 au nord et le H2 au sud avec les 3 étages bioclimatiques existants au sein de la wilaya, nos stations se répartissent de la sorte :

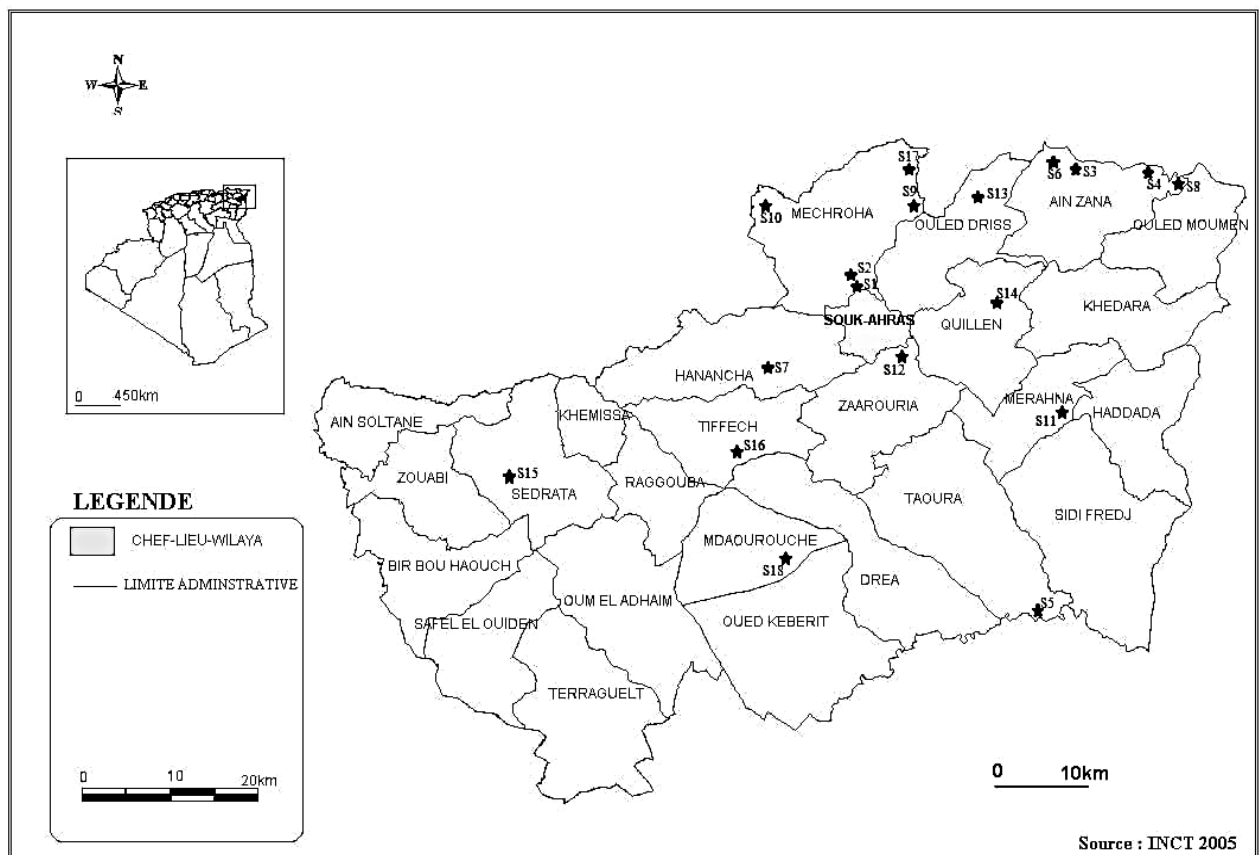
Le secteur **C1** comprend deux étages : (**CONM, 1990-2020**).

- **Le sub-humide** : à Hannencha, caractérisé par une végétation de type : maquis.
- **L'humide** : caractérisé par une végétation de type maquis à Aïn Talhi, Aïn Zena, et Djebel Msid ; végétation de milieu humide à Aïn Trab, Mare Aïn Zena et Majen Matlag ; une subéraie à Machroha et Ouled Bechih ; une zénaie à Mazeraa et une pelouse à Aïn Seynour.

Le secteur **H2** comprend aussi deux étages : (**CONM, 1990-2020**).

- **Le sub-humide** : caractérisé par une végétation de milieu humide à Oued Medjarda, maquis à Tarja et une pelouse à Tiffech.
- **Le semi-aride** : caractérisé par une végétation purement steppique au sein des stations : Ben Attia, M'daourouche, Merahna et Sedrata.

Notre terrain agricole choisi afin d'effectuer une étude plus poussée sur le figuier de Barbarie est situé au sein de la Mechta Ben Attia dans la commune de Taoura, au Sud-Est de la wilaya de Souk Ahras. Cette station est caractérisée par son appartenance à l'étage bioclimatique semi-aride, avec une végétation steppique, ce milieu s'accommode bien aux adaptations de cette espèce agricole.



**Figure 03:** Situation géographique des stations d'étude (INCT, 2005).



### **2.1.1. Caractéristiques climatiques de la région d'étude :**

Le climat est le résultat du comportement de l'atmosphère de point de vue humidité, pluie, température, éclaircissement et vent (**Boudy, 1952**). Il joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants, car ces derniers ne peuvent se maintenir en vie qu'entre certaines limites précises des différents facteurs climatiques (**Dajoz, 1996**).

#### **2.1.1.1. La température :**

Les températures interviennent dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique (**Davide, 1956**). Les données sur les températures permettent de dégager certaines caractéristiques climatologiques de la région, à savoir : la division de l'année en saisons thermiques distinctes et le seuil des températures minimales et maximales influençant directement les besoins en eau de la région, surtout en période sèche et humide. Notre analyse des variations mensuelles des températures de la région de Souk Ahras selon les données de la station météorologiques de la wilaya, de la période entre **2012 à 2021 (Annexe 02)** a montré que la moyenne mensuelle la plus élevée a été observée en Août **2019** avec **37°C**, tandis que la plus faible moyenne mensuelle a été enregistrée en Février **2015** avec **3,85°C (Annexe 02)**.

#### **2.1.1.2. Les précipitations :**

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance des saisons (**Ramade, 1984**). Dans les pays méditerranéens, la distribution des pluies est très inégale avec, en particulier, une forte déficience en période estivale au moment où le pouvoir évaporant de l'air est le plus élevé (**Emberger, 1952 ; Lacoste et Salanon, 2001**).

Des mesures pluviométriques mensuelles de la période (**2012-2021**) ont été prises d'après la station météorologique de Souk Ahras, elles sont inscrites dans l'**Annexe 03**. L'analyse des variations mensuelles des précipitations de notre région d'étude durant cette période montre que le mois de Décembre **2015** est le plus arrosé de la période, avec une moyenne mensuelle de **310 mm**, bien que les mois d'Août **2017** et de Juillet **2020** ont enregistré des précipitations moyennes mensuelles nulles (**0 mm**).

#### **2.1.1.3. Synthèse bioclimatique de la région de Souk Ahras :**

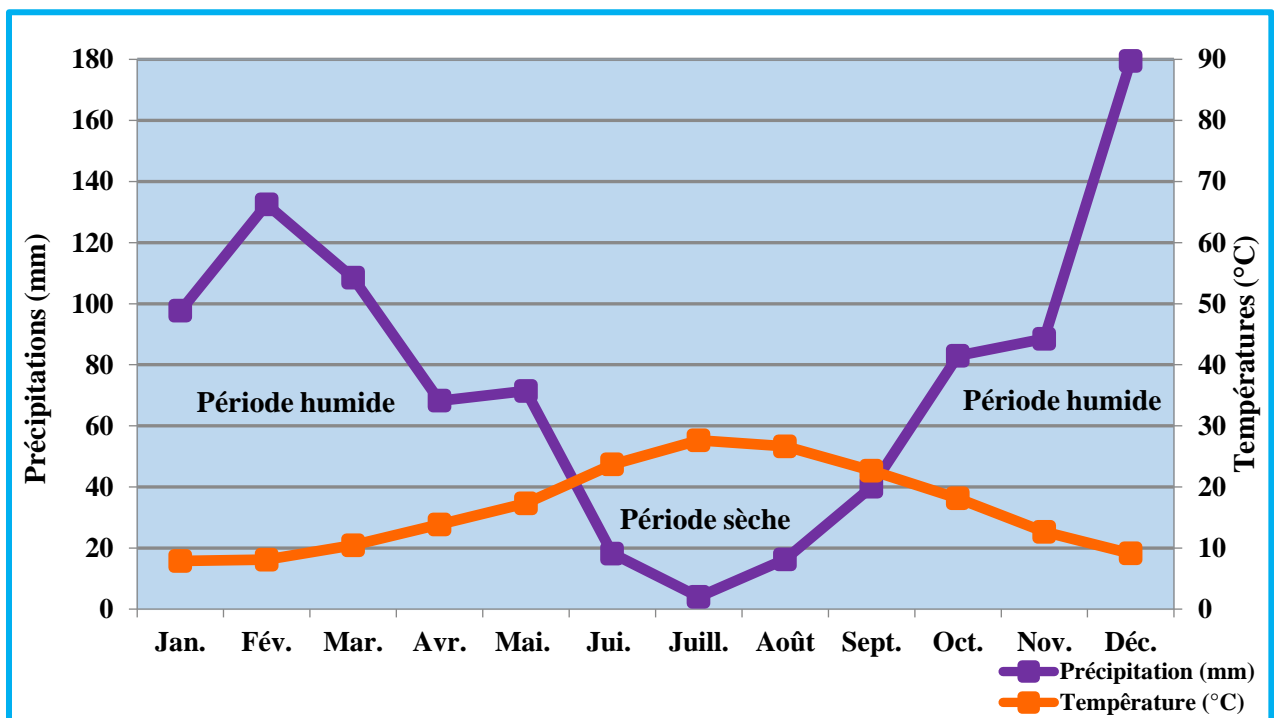
Le climat d'une région d'étude résulte de l'interaction de nombreux facteurs et essentiellement les températures et les précipitations. De nombreux indices et formules ont été élaborés pour le caractériser, ce qui permet de classer une zone d'étude dans le contexte

climatique global. Le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gausson (1953)** et le quotient pluviométrique d'**Emberger (1955)** permettent de synthétiser ces données.

### 2.1.1.3.1. Le diagramme ombrothermique de la région de Souk Ahras :

Le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gausson, 1953** permet de définir les conditions bioclimatiques d'une région, par l'importance de la saison sèche (**Mutin, 1977 ; Duvigneaud, 1980 ; Dajoz, 2000**). **Bagnouls et Gausson (1953)**, définissent un mois sec comme étant celui où les précipitations, exprimées en millimètres, sont inférieures ou égales au double de la température moyenne exprimée en degré Celsius.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de notre région d'étude durant la période allant de 2012 à 2021 (**Figure 04**) montre que la période sèche s'étend du mois de juin jusqu'à la mi-septembre, et la période humide, de la mi-Septembre à la fin du mois de Mai (**Figure 09**). Notre région d'étude se situe au Nord-Est algérien appartenant au bassin méditerranéen ; selon **Quézel (1979)**, cette région appartient au domaine méditerranéen Nord-Africain.



**Figure 04:** Diagramme ombrothermique de la région de Souk Ahras (2012-2021).

### 2.1.1.3.2. Calcul du quotient pluvio-thermique d'Emberger (1955) :

Le système d'**Emberger (1955)** permet la classification des différents climats méditerranéens (**Dajoz, 2003**). C'est un quotient qui est en fonction de la température moyenne

maximale (M) du mois le plus chaud ( $34,25^{\circ}\text{C}$  dans notre cas) calculée en Kelvin, de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid ( $3,96^{\circ}\text{C}$  dans notre cas) en Kelvin et de la pluviosité moyenne annuelle (P) en mm ( $907,72\text{mm}$  dans cette étude). Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat est plus humide (Stewart, 1969 ; Dajoz, 1985 ; Faurie *et al.* 1998). Il est obtenu par la formule suivante :

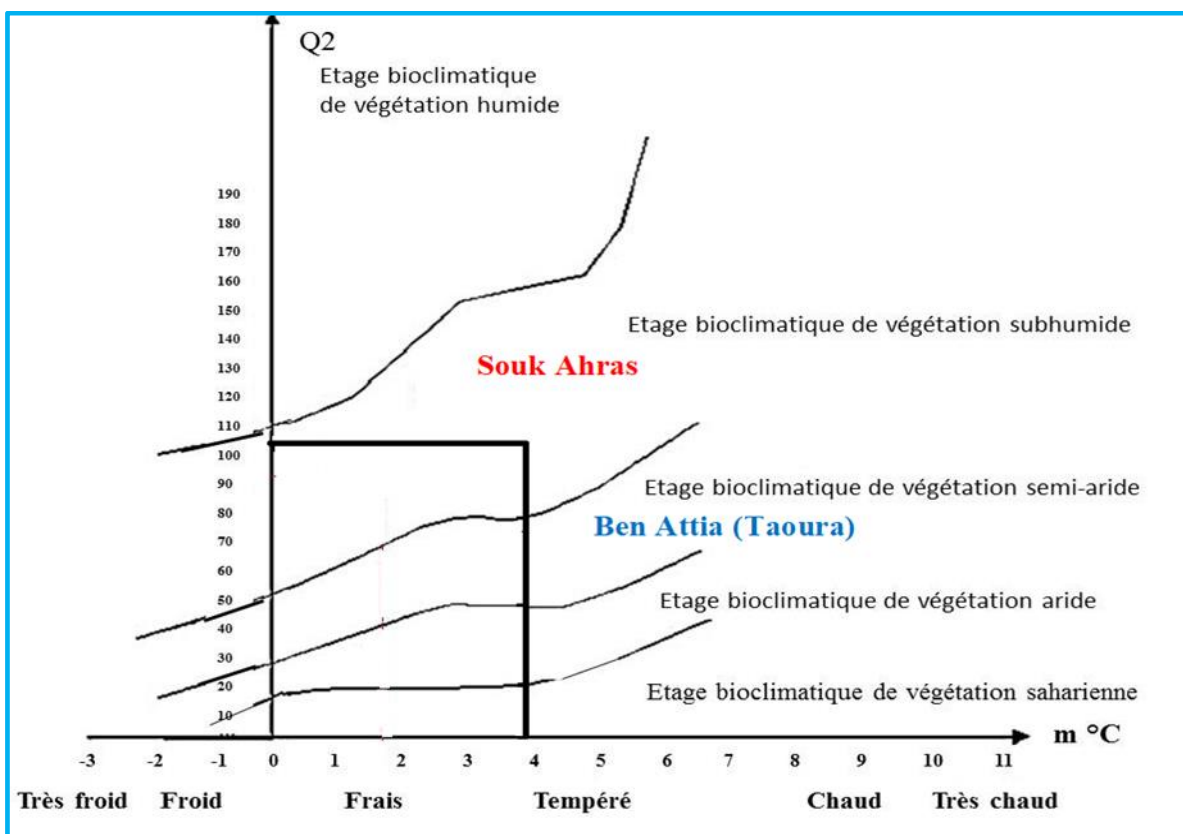
$$Q2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

**P**: Moyenne des précipitations annuelles des années prises en considération exprimées en **mm**

**M** : Moyenne des maxima du mois le plus chaud exprimée en **Kelvin**.

**m**: Moyenne des minima du mois le plus froid exprimée en **Kelvin**.

À partir de la valeur obtenue  $Q2 = 102,54$ , nous dirons que la région de Souk Ahras prend une place dans l'étage bioclimatique de végétation subhumide à hiver frais sur le climagramme d'Emberger (**Figure 05**).



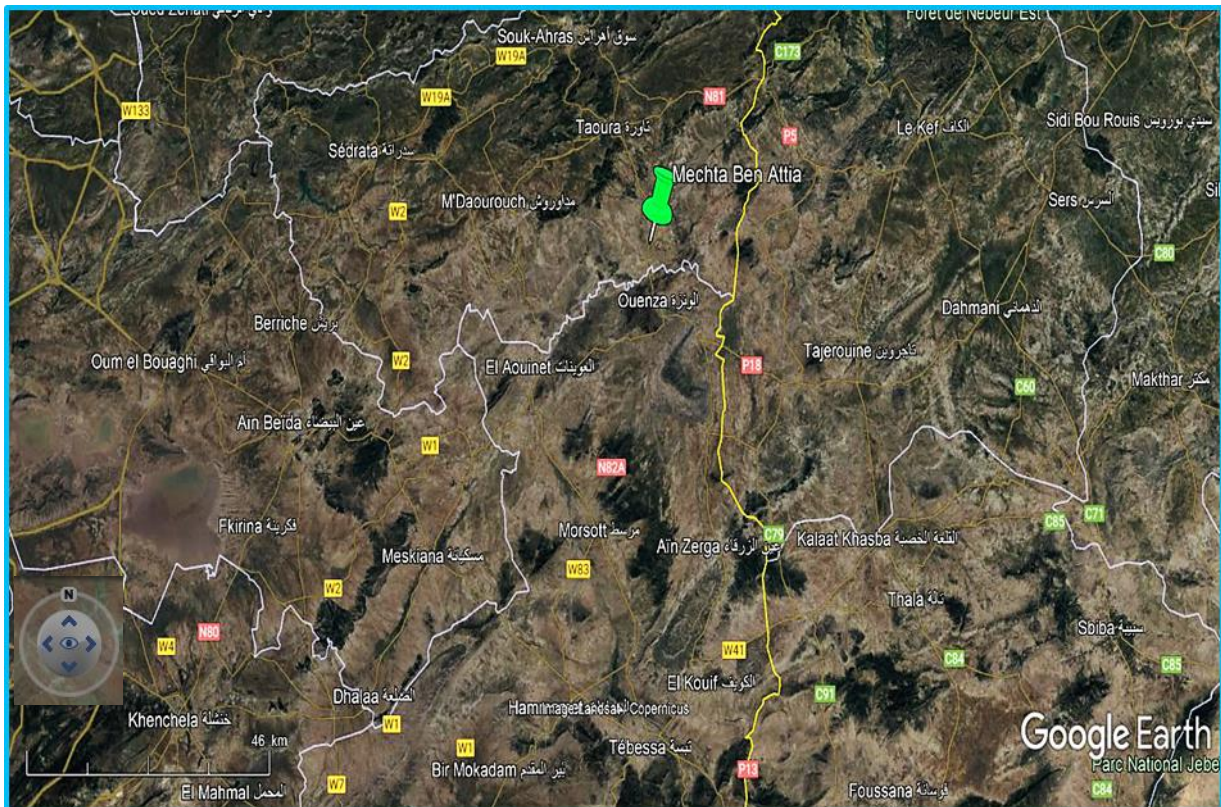
**Figure 05:** Positionnement de la région de Souk Ahras dans le climagramme d'Emberger selon les données climatiques (2012-2021).

**2.1.2. Présentation de la station d'étude pour *Opuntia maxima* : Mechta Ben Attia.**

**2.1.2.1. Situation géographique et caractéristiques :**

Notre travail de recherche sur le figuier de Barbarie a été effectué dans les parcelles privées d'**Allalga Mounir**, qui s'étendent sur une superficie de 22ha environ, dont 5ha sont occupés par cette espèce agricole. Ces parcelles se localisent dans la Mechta Ben Attia (**36°01'-31''N, 8°06'- 38.0''E, Z=589m**) (**Figure 06**), située dans la commune de Taoura, au Sud-Est de la wilaya de Souk Ahras, cette station fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride.

La commune de Taoura se limite au nord par celle d'Ouillen, au sud par la wilaya de Tébessa, à l'Est par la commune de Sidi Fredj et à l'ouest par la commune de Dréa (**Senani, 2011**).



**Figure 06: Situation géographique de la station d'étude de Mechta Ben Attia (image satellitaire à partir de **Google Earth Pro**).**

Cette commune détient un patrimoine forestier très important, la superficie forestière totale est estimée à 11.610 ha ; les principales espèces sont le Pin d'Alep, l'Eucalyptus, le chêne-liège, le chêne zéen, l'Alfa, l'armoise blanche, le romarin, le pistachier d'atlas, l'olivier, etc (**DGF Taoura, 2019**).

Au sein de cette commune, les activités agricoles sont considérées comme la base essentielle, la superficie totale de la commune est de 25091 ha dont 19331 ha de la surface

agricole, la superficie irriguée est de 300 ha, elle ne représente que 1,6% du total (**Chambre d'agriculture Taoura, 2019**). L'agriculture principale de cette région est la céréaliculture à 68%, suivie des jachères à 28,40%, le maraîchage à 1,20%, l'arboriculture et le fourrage à 1% chacun, les légumes secs à 0,40% (**Bousnoubra, 1982**). En matière de production animale, elle est représentée par l'élevage ovin qui occupe une place importante dans cette région. Outre les petits élevages (poulet de chair, lapin, apiculture), la commune de Taoura enregistre des effectifs de bovins qui sont faibles, ce qui est normal vu les conditions climatiques difficiles et vu la faiblesse des aires fourragères paradoxalement (**Chambre d'agriculture Taoura, 2019**).

Par sa situation (les hauteurs de l'Atlas tellien), la commune de Taoura est exposée aux influences climatologiques, d'une part méditerranéenne, et d'autre part semi-aride (les frontières avec la wilaya de Tébessa). Le sol de la zone de Ben Attia est généralement peu développé, à dominance calcaire humifère 50% et des sols calciques à 50% (**DGF Taoura, 2019**). Le réseau hydrologique de cette région est très développé autrement dit très favorable pour la mobilisation des eaux superficielles. La région est alimentée par l'Oued Mellegue (**35°58'27.29"N 8°4'16.12"E**) qui est considéré comme le principal affluent de la Medjerda (**Belloula, 2008**).

### **2.1.2.2. Sol du site expérimental :**

Pour identifier les caractéristiques du sol, des analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire agronomique de la société Fertial (Annaba) à partir d'un échantillon de composite de sol prélevé à une profondeur de 30 centimètres.

Le choix de la station d'étude s'est porté sur la présence en abondance d'une espèce cultivée (*Opuntia maxima*), de l'importance de ses surfaces et de la bonne gestion et des connaissances de la part de l'agriculteur dans le domaine.

## **2.2. Méthodologie de travail :**

### **2.2.1. Taxons floristiques patrimoniaux de la région de Souk Ahras :**

#### **2.2.1.1. L'étude floristique :**

La liste des espèces rares et endémiques a été établie selon un échantillonnage systématique durant les années (**2017-2020**) et à partir de relevés floristiques effectués au niveau des groupements forestiers de Chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.), de Chêne liège (*Quercus suber* L.), de maquis à oléo-lentisque, des zones rocailleuses, des plans d'eau, des pelouses avoisinantes et de steppe (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth et *Artemisia herba-alba* Asso) selon la méthode phytosociologique sigmatiste de **Braun-Blanquet (1952)**. Au niveau

de chaque station étudiée, des paramètres écologiques ont été étudiés, à savoir la richesse spécifique en espèces rares et endémique, l'altitude et la précipitation.

Les taxons sont identifiés selon les flores de **Battandier (1888-1890)** ; **Battandier et Trabut (1895)** ; **Maire (1952-1987)** ; **Quézel et Santa (1962-1963)** ; **Pignatti (1982)** ; **Blanca et al. (2009)**. La nomenclature a été actualisée selon l'index synonymique de l'Afrique du Nord (**Dobignard et Chatelain, 2010-2013**) et le site web de la base de données de l'Afrique du Nord (**CJB, 2020**). La rareté des taxons est référée selon la flore de **Quézel et Santa (1962-1963)** et selon nos observations sur terrain. Les types biologiques (*sensu* **Raunkiaer, 1934**) des différents taxons ont été attribués à partir des indications de **Pignatti (1982)** ; **Blanca et al. (2009)** et pour certains endémiques selon **Quézel et Santa (1962-1963)**. La caractérisation chorologique a été réalisée selon la flore d'Andalousie (**Blanca et al., 2009**) et pour les endémiques selon **Pignatti (1982)** et l'index synonymique de **Dobignard et Chatelain (2010-2013)**.

### **2.2.1.2. L'étude pédologique :**

Les variables pédologiques mesurées pour chaque station échantillonnée sont : la conductivité électrique et le pH selon **Mathieu et Pielain (2003)** et la matière organique selon **ISO AFNOR (1998)**.

### **2.2.1.3. Analyse statistique :**

L'examen d'une éventuelle relation entre la richesse en taxons rares et endémiques et les données physiographiques et pédologiques des différentes stations a été prévu par une étude des régressions simples ou le calcul des coefficients de corrélation ( $r^2$ ). Cette analyse a été effectuée en utilisant le langage informatique R (package *ade4*, version 3.0.2) (**R Development Core Team, 2013**).

## **2.2.2. La phytoécologie du figuier de Barbarie : *Opuntia maxima***

### **2.2.2.1. Étude des communautés floristiques loin et au périmètre d'*Opuntia maxima* :**

La méthode d'analyse floristique reste un facteur prépondérant afin de mieux déterminer la situation actuelle d'une région. L'analyse de la structure végétale prend en compte la méthode des relevés floristiques qui se résument à une liste exhaustive de toutes les espèces végétales présentes. Cette liste floristique change d'une station à une autre et d'une année à une autre dans la même station en fonction des conditions environnementales.

La liste des espèces a été établie selon la méthode d'échantillonnage systématique durant les années (2020-2021), avec laquelle nous avons pu recenser en identifiant toutes les espèces rencontrées dans 3 relevés de 25m<sup>2</sup> chacun et ce pour les deux types de relevés floristiques de la présente étude : loin et au périmètre d'*Opuntia maxima*. La méthode phytosociologique sigmatiste de **Braun-Blanquet (1952)** a été utilisée. Les inventaires ont été effectués pour le mois d'Avril de 2020 et 2021, période de l'année où la végétation est très abondante. L'identification des taxons de la composante des deux types de relevés floristiques de la station d'étude a été faite sur terrain par Dr. **Hamel T.** puis confirmée et complétée sur la base des clés de détermination citées précédemment.

À la fin, nous avons classé les espèces inventoriées selon leur appartenance aux types biologiques, types biogéographiques et rareté par les clés de détermination auparavant citées. Tandis que, pour les familles, elles ont été classées selon nos propres observations et avec des confirmations par **Dobignard et Chatelain (2010-2013)** et le site web de la base de données de l'Afrique du Nord **CJB (2020)**. Les types végétatifs de nos relevés floristiques ont été identifiés selon **Blanca et al. (2009)**.

### **2.2.2.2. Paramètres écologiques des communautés floristiques :**

Que ce soit pour les relevés floristiques effectués loin ou au périmètre de notre espèce agricole, des listes d'espèces avec leurs effectifs ont été établies, ceci, nous a permis de calculer certains paramètres écologiques afin de pouvoir faire des comparaisons. Les paramètres qui ont été mesurés sont : la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et weaver, l'équitabilité et l'indice de Sorensen.

La richesse floristique d'un territoire est le nombre des espèces recensées à l'intérieur de ses limites (**Schnell, 1970**).

Selon **Blondel et al. (1973)**, l'indice de la diversité de Shannon et weaver est le meilleur indice que l'on puisse adopter. La diversité  $H'$  augmente au fur et à mesure que s'accroît le nombre d'espèces (**Legendre et Legendre, 1984**). Cet indice mesure la composition en espèces des peuplements en tenant compte du nombre d'espèces et de leur abondance relative (**Laurie et al., 2006**). Cet indice est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité (E) de **Pielou, 1966**.

La mesure de la similarité de la composition floristique entre les deux types de relevés floristiques de la présente étude a été faite par le coefficient de similarité (IS) de **Sorensen (1948)**. Il permet aussi de caractériser objectivement et quantitativement le degré de

ressemblance de deux listes d'espèces (**Gounot, 1969**) et de connaître la sociabilité des espèces, c'est à dire, savoir si des espèces ou groupes d'espèces se retrouvent toujours ensemble dans des systèmes écologiques différents ou pas (**Fayolle, 2008**).

### **2.2.2.3. Analyse statistique :**

L'analyse statistique s'est portée en utilisant l'outil d'ANOVA à trois facteurs de classifications avec le logiciel **XLSTAT (2014)**, afin de chercher à déterminer s'il existe une influence significative de la répétition (parcelle), des relevés floristiques, de taxon, et éventuellement de leurs interactions sur le nombre de plants des espèces communes entre les deux relevés floristiques.

### **2.2.3. Les mycorhizes :**

#### **2.2.3.1. Mycorhization de la végétation spontanée dans les conditions naturelles et agricoles :**

##### **2.2.3.1.1. Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne :**

La détection de la colonisation nécessite un traitement et une coloration préalable des racines. Pour cela, la méthode de **Philips et Hayman (1970)** a été utilisée selon les étapes suivantes :

##### **A. Préparation des solutions :**

En vue de mettre en évidence la colonisation mycorhizienne, nous avons commencé par la préparation des solutions de fixation et de coloration (**Annexe 04**).

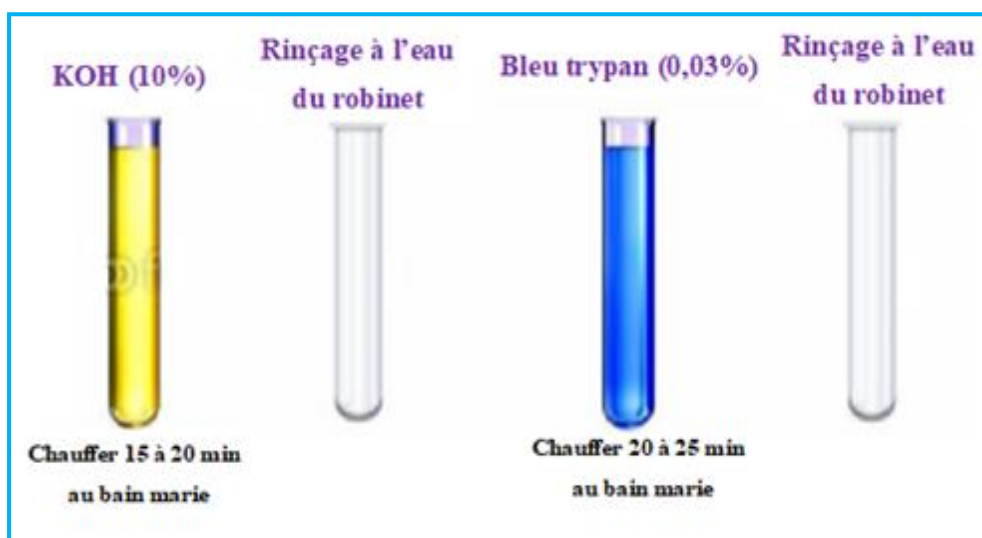
##### **B. Préparation des échantillons, fixation et coloration des fragments racinaires au laboratoire :**

Des échantillons racinaires à partir de la végétation spontanée inventoriée loin et au périmètre d'*Opuntia maxima* ont été récupérés le **02 Avril** de **2020** et **2021**. Les racines ont été conservées dans de la terre humide au réfrigérateur à 4°C pour servir à nos observations.

Afin de pouvoir les observer, nous avons commencé par laver délicatement les échantillons racinaires à l'eau du robinet pour les débarrasser de la terre, puis, les placer dans des tubes à vices (**Philips et Hayman, 1970**). Ces fragments ont subi un traitement à la KOH à 10% au bain marie à 60°C pendant 15 à 20 minutes. On se débarrasse du liquide, on rince à l'eau, puis, on laisse égoutter les tubes sur du papier absorbant (**Philips et Hayman, 1970**).



À ce moment, vient l'étape de la coloration des fragments préalablement lavés et fixés, on leur fait subir un traitement au bleu trypan (0,03%) au bain marie à 60°C pendant 20 à 25 minutes (**Figure 07**), puis, on passe à l'observation afin d'estimer les taux des CMA. La mycorhization se visualise par une coloration bleu foncée des structures fongiques (**Philips et Hayman, 1970**). Une trentaine de fragments racinaires d'environ 1 cm de longueur prélevés de chaque échantillon coloré ont été disposés parallèlement entre lame et lamelle, à raison d'une quinzaine de fragments par lame dans une goutte de glycérol (**Philips et Hayman, 1970**), deux lames forment une répétition à raison de 5 répétitions au total.



**Figure 07:** Les étapes de coloration des fragments racinaires.

### C. Observation des fragments racinaires :

Le taux de la colonisation a été estimé selon la méthode de **Trouvelot et al. (1986)**. L'examen au microscope optique (x40, x100) (**Photo 06**) permet de les annoter selon un barème de classe, ce barème permet d'estimer le degré de la colonisation mycorhizienne de chaque fragment au moyen de 6 classes notées de 0 à 5 (**Tableau 01**) et la richesse arbusculaire par 4 classes notées A0, A1, A2 et A3 (**Tableau 02, Figure 08**).



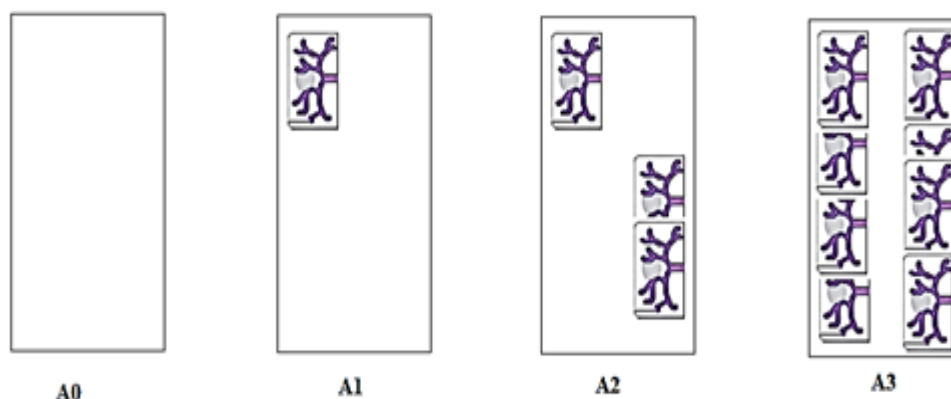
**Photo 06:** Observation des fragments de racines.

**Tableau 01:** Échelle d'intensité de colonisation du cortex racinaire (Trouvelot *et al.*, 1986).

Classes	Pourcentage de colonisation
0	Absence de colonisation
1	Moins de <b>1%</b> de la surface est colonisée
2	Moins de <b>10%</b> de la surface est colonisée
3	Entre <b>11%</b> et <b>50%</b> de la surface est colonisée
4	Entre <b>50%</b> et <b>90%</b> de la surface est colonisée
5	Plus de <b>90%</b> de la surface est colonisée

**Tableau 02:** Échelle d'évaluation de la présence des arbuscules (Trouvelot *et al.*, 1986).

Classes	Pourcentage de présence des arbuscules
A0	Absence d'arbuscules
A1	Peu d'arbuscules ( <b>10%</b> )
A2	Arbuscules fréquentes ( <b>50%</b> )
A3	Arbuscules abondantes ( <b>100%</b> )



**Figure 08:** Catégories d'évaluation de la présence des arbuscules (Trouvelot *et al.*, 1986).

Ces observations servent à remplir une grille d'évaluation (**Annexe 05**) qui permet d'estimer la colonisation en utilisant le programme informatique MYCOCALC disponible sur le **Site net 07**.

Cette méthode calcule cinq paramètres de la colonisation :

**F %** : Fréquence de la colonisation mycorhizienne (% du nombre de fragments racinaires mycorhizes), elle reflète l'importance des points de pénétration de la colonisation du système racinaire.

**M %** : Intensité de la colonisation du cortex racinaire (proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier et exprimée en %). elle reflète l'importance de la colonisation du système racinaire.

**m %** : Intensité de la colonisation développée dans la partie mycorhize du système racinaire (proportion du cortex colonisé dans la partie mycorhizée du système racinaire exprimé en %).

**A %** : Teneur arbusculaire de la colonisation ramené au système racinaire entier (proportion du système racinaire renfermant des arbuscules, exprimée en %).

**a %** : Teneur arbusculaire de la colonisation dans la partie mycorhizée du système racinaire (proportion colonisée renfermant des arbuscules).

### **2.2.3.1.2. Analyse statistique :**

L'analyse statistique a été effectuée par le biais du logiciel **IBM SPSS (2016)** selon une ANOVA à trois facteurs (Paramètres de mycorhization, familles, relevés) afin de chercher s'il existe ou pas un effet de l'introduction d'*Opuntia maxima* sur les paramètres de la colonisation

des espèces communes entre les relevés floristiques effectués loin et au périmètre de cette espèce.

### **2.2.3.2. La mycorhization d'*Opuntia maxima* en plein champ :**

Afin de voir l'efficacité de l'*inoculum* commercial Symbivit sur *Opuntia maxima* dans les conditions en plein champs du point de vue écologique et économique, un apport de cet *inoculum* a été suivi dans les racines de cette espèce entre 2019 et 2021. Un protocole en blocs aléatoires utilisant ce matériel fongique et la matière organique (fumier) à différentes doses a été adopté dont l'objectif est de développer l'utilisation d'une technologie d'*inoculum* à base de CMA exogènes.

#### **2.2.3.2.1. Matériel fongique :**

L'*inoculum* commercial utilisé dans nos essais est le Symbivit, c'est un granulé facile à utiliser et qui accompagne la plante pour toute sa vie. Il est utilisé comme un biofertilisant chez la majorité des plantes à fleurs, plantes grimpantes, plantes ornementales, les plants potagers, les arbres fruitiers. Il est aussi recommandé chez certains feuillus, en plus de son utilisation très fréquente dans l'implantation de pelouses, gazons et parcours sportifs (**Site net 06**). L'*inoculum* Symbivit peut être utilisé en mélange avec du substrat/compost (**Site net 06**).

C'est un support à base d'argile naturelle, 6 espèces de champignons mycorhizogènes à arbuscules du genre *Glomus*, *Rhizophagus* et *Funneliformis* (*G. etunicatum*, *G. microaggregatum*, *G. claroideum*, *R. irregularis*, *F. mosseae* et *F. geosporum*), ingrédients naturels favorisant les mycorhizes (minéraux naturels, extraits d'organismes marins). Produit utilisable en agriculture biologique (conformément au règlement (CE) N° 834/2007 – Certified product, approved by UK Soil Association Certification Limited). Dans un kilogramme du biofertilisant Symbivit, il y a 20.000 propagules de CMA (**Site net 06**).

#### **2.2.3.2.2. Schéma expérimental et traitements sur terrain :**

Le sol a été auparavant préparé et bêché à 30 cm par l'agriculteur. Un lot de raquettes de figuier de Barbarie (variété inerme) bien charnues et sans tâches a été collecté selon un échantillonnage aléatoire. L'emplacement des plantations a été choisi en plein soleil et abrité des vents dominants. Nous avons procédé par creuser des trous de 40 cm de profondeur, placer au fond un lit de galets puis de gravillons, par la suite, on couvre d'une couche de terre. Le contenant de la raquette a été découpé à l'aide d'un couteau bien aiguisé en extrayant la plante. Installer les raquettes au centre des trous et remplir les espaces de terre en tassant. L'utilisation

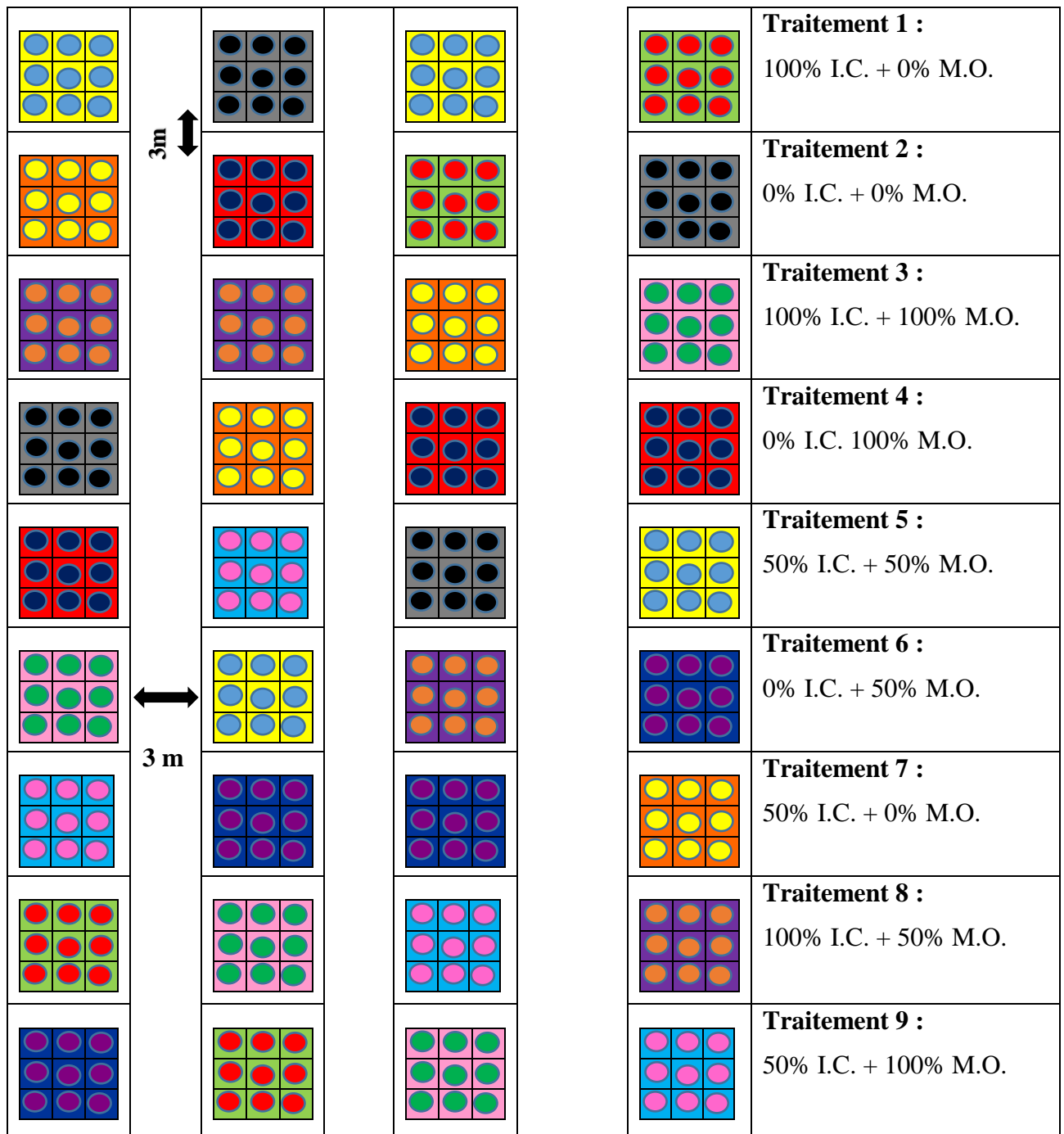
des tuteurs en périphérie est préférable afin de soutenir les raquettes le temps que les racines s'établissent. On laisse 15 jours pour la formation des racines, puis, on rajoute les doses de matière organique (fumier) et d'*inoculum* Symbivit selon le protocole expérimental suivant.

L'inoculation a eu lieu en Décembre 2018 en utilisant un dispositif en blocs aléatoires (**Photo 07**).



**Photo 07:** Dispositif expérimental sur terrain.

Ce dispositif est composé de trois (3) blocs correspondant au nombre de répétition, chaque bloc contient tous les traitements ; la répartition des traitements au sein d'un même bloc s'est faite selon une randomisation simple par tirage au sort (**Figure 09**). Le dispositif expérimental contient 9 traitements de 9 plants chacun répétés sur les 3 blocs pour un total de 243 plants. 10 g par plant (soit 200 propagules) de Symbivit ont constitué la dose 100% I.C. et 200g a constitué la dose 100% de M.O., les traitements ont été effectués selon les doses mentionnées dans la **Figure 09**.



**Figure 09:** Représentation schématique du dispositif expérimental en blocs aléatoires.

Afin de faire un suivi de la colonisation des plants du dispositif expérimental, une expérience visant à identifier puis calculer les paramètres de mycorhization des racines du figuier de Barbarie a été effectuée sur 3 années consécutives (entre 2019 et 2021). Pour ce, nous avons effectué des récupérations racinaires en mois Avril de chaque année. Ces récupérations ont été faites sur des plants sélectionnés au hasard des différents traitements de la manière suivante :

Après avoir dégagé la litière, des prélèvements de racines fines ont été effectués dans les 20 premiers centimètres du sol. Chaque plant a fait l'objet de prélèvements en trois points au minimum qui ont été par la suite mélangés convenablement pour ne former qu'un seul échantillon représentatif du plant. Les racines ont été conservées dans de la terre humide au réfrigérateur à 4°C pour servir à nos observations au laboratoire.

### **2.2.3.2.3. Méthodes au laboratoire :**

La même méthode utilisée pour la mise en évidence de la colonisation mycorhizienne de la végétation spontanée loin et au périmètre du figuier de Barbarie (en paragraphe 2.2.3.1.1.) a été adoptée pour étudier celle des plants issus du dispositif expérimental de cette espèce agricole (préparation des échantillons, fixation, coloration et observation des fragments racinaires).

### **2.2.3.2.4. Analyse statistique :**

L'analyse statistique s'est portée sur les 9 traitements du dispositif expérimental précédemment décrits en utilisant l'outil d'ANOVA à trois facteurs de classifications avec **XLSTAT (2014)**. L'objectif étant de chercher à déterminer s'il existe une influence significative des paramètres de mycorhization, des années et des traitements, et éventuellement de leurs interactions sur le taux de mycorhization en plus de savoir quelles sont les doses d'*inoculum* et de M.O. qui nous donnent le meilleur rendement (de mycorhization) sur la culture d'*Opuntia maxima*.

### **2.2.3.3. Analyses physico-chimiques du sol avant et après essai :**

Un prélèvement d'environ un (1) kg de sol a été effectué pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques du substrat de culture avant essai, la même chose a été faite pour le sol après inoculation à 100%. Les échantillons de sol sont séchés à l'air, tamisés à l'aide d'un tamis sol à 2 mm et conservés afin de servir à des analyses au niveau du laboratoire agronomique de la société Fertial (Annaba).

Les paramètres mesurés sont :

- $pH_{\text{eau}}$  et la conductivité électrique (CE) sur une suspension sol-eau de 1/2,5 et 1/5 respectivement ;
- La granulométrie qui est déterminée par tamisage humide (**AFNOR, 1990**) ;

- La teneur en matière organique dans le sol, estimée à partir du taux de carbone organique (C) qui peut être déterminé par titrage par la méthode Anne (**Bonneau et Souchier, 1994**) ;
- La teneur en carbonates de calcium par la méthode **Dermech et al., 1982** ;
- La teneur en calcaire total déterminée 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.
- La teneur en calcaire actif est déterminée par la méthode Drouineau (**Mathieu et Pielain, 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.
- L'azote total (N%), déterminé par la méthode de Kjeldahl 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 est obtenu par la méthode **Olsen (1954)** ;
- Le dosage des cations échangeables sur extrait à l'acétate d'ammonium se fait par un auto-analyseur colorimétrique (SKALAR).

### **2.2.3.4. Mise en évidence du potentiel mycorhizogène des sols :**

#### **2.2.3.4.1. Prélèvement des échantillons de sols :**

Afin d'évaluer l'efficacité de l'inoculation d'*Opuntia maxima* par Symbivit du point de vue écologique et économique, une évaluation du potentiel mycorhizogène (MPN) du sol a été effectuée. Pour ce faire, nous avons fait l'essai du MPN sur deux sols issus des neuf traitements précédemment décrits : celui qui a reçu 100% I.C. +100% M.O. entant que sol inoculé et celui du (0% I.C. +100% M.O.) entant que témoin. Le choix des sols a été fait dans le but de respecter les habitudes culturales de l'agriculteur utilisant 100% de M.O., qui équivaut à 200g par plant. Pour ce faire, nous avons utilisé le sorgho comme plante hôte pour la mycorhization, le choix de cette plante est en raison de son système racinaire puissant et dense.

Le potentiel mycorhizogène traduit la richesse du sol en propagules que sont : les spores, mycélium, fragments de racines colonisés, aptes à générer une mycorhization. Des prélèvements de sols rhizosphériques ont été effectués dans les 10 à 30 premiers centimètres du sol témoin avant et après 2 années de l'essai (2019 et 2021) et celui du sol traité après deux



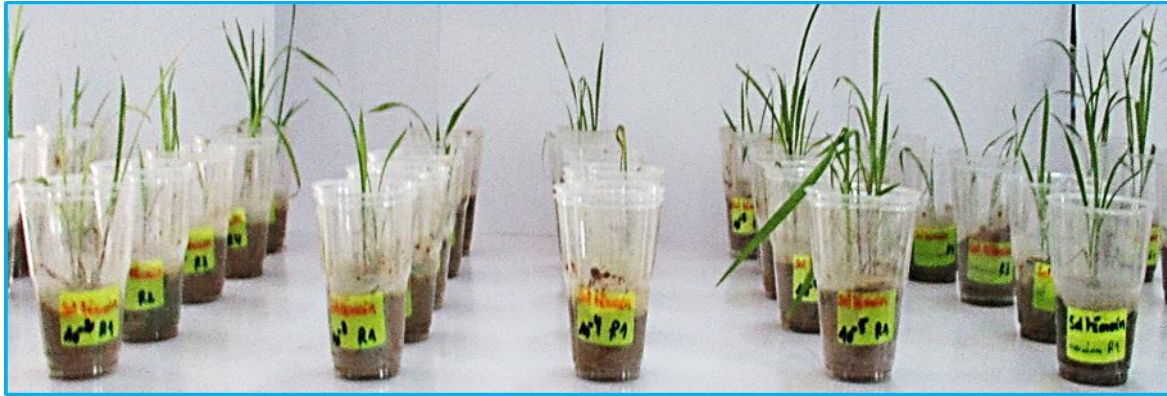
années de l'essai (2021). Tous les prélèvements d'échantillons du même sol ont été mélangés convenablement pour ne former qu'un seul échantillon représentatif. Ces échantillons ont servi par la suite à la détermination du potentiel mycorhizien, en utilisant la technique du nombre le plus probable (Most Probable Number : MPN) d'**Alexander, 1965**. Cette technique adaptée aux CMA est basée sur l'utilisation d'une série de dilutions successives de sol au 10<sup>ème</sup> en épuisant progressivement le milieu et cerner la dilution limite dans laquelle il n'y aura plus ou presque plus de propagules. Cette expérience a été faite pour les deux types de sol.

### **2.2.3.4.2. Préparation du dispositif pour MPN :**

Nous avons ramené les échantillons récupérés sur terrain d'étude au laboratoire, les sécher à l'air libre puis, les tamiser séparément à l'aide d'un gros tamis afin d'éliminer les graviers et les débris. Une partie de chaque échantillon a été désinfectée à la vapeur avec un passage à l'autoclave à 120 °C deux fois pendant une heure de temps à 24 heures d'intervalle. La mesure du potentiel mycorhizogène d'un sol est réalisée par cinq dilutions successives au 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000 et 1/100000. Les dilutions sont préparées en prenant soin de bien mélanger le sol d'origine et le même sol stérilisé à l'autoclave (**Gianinazzi-Pearson et al., 1985**). Les dilutions ont été mises dans des pots à raison de 5 répétitions par niveau de dilution. Des témoins de sols stériles et des témoins de sols non stériles (à raison de 5 répétitions de chaque type) ont été prévus (**Photo 08**). Les dilutions ont été effectuées de la manière suivante :

1. Dilution  $10^{-1}$  : 60 g de sol non stérile + 540 g de sol stérile = 600g (1).
2. Dilution  $10^{-2}$  : 60g (1) + 540g de sol stérile = 600g (2) ;
3. Dilution  $10^{-3}$  : 60g (2) + 540g de sol stérile = 600g (3) ;
4. Dilution  $10^{-4}$  : 60g (3) + 540g de sol stérile = 600g (4) ;
5. Dilution  $10^{-5}$  : 60g (4) + 540g de sol stérile = 600g (5).

Les graines de sorgho ont été désinfectées à l'eau de javel (3 %) pendant 3 minutes puis rincées abondamment à l'eau distillée stérile. Elles ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri sur papier filtre imbibé d'eau stérile, placées à l'obscurité à l'étuve à 25 °C. Les graines pré-germées ont été repiquées dans les pots selon les dilutions précédentes (pour les deux sols), à raison d'une plantule par pot, transférées en conditions contrôlées en serre (sous la lumière normale du jour, température moyenne quotidienne : 18-22°C, humidité relative : 60-70%). Les plantules ont été arrosées quotidiennement à l'eau distillée pendant les six semaines.



**Photo 08:** Dispositif expérimental du pouvoir mycorhizogène (MPN) des sols issus du dispositif expérimental.

Après 6 semaines, le système racinaire entier est récolté et coloré selon la technique de **Philips et Hayman (1970)** précédemment utilisée pour la préparation des échantillons, leur fixation et leur coloration (voir paragraphe 2.2.3.1.1.). Étant donné l'âge jeune des plantules, 15 minutes au KOH et 10 minutes au Bleu trypan suffisent pour mettre en évidence la mycorhization. Le système racinaire de chaque plant, a été mis dans une boîte de Pétri est observé à la loupe binoculaire (stéréomicroscope). La plante est jugée mycorhizée lorsque le système racinaire présente au moins un point de colonisation (présence d'un mycélium ou pénétration d'un hyphes dans la racine). La notation est 1 ou 0 selon qu'il y a ou pas d'infection mycorhizienne visible.

#### **2.2.3.4.3. Calcul du pouvoir mycorhizogène (MPN) :**

Cette estimation se fait par l'intermédiaire de la table d'**Alexander (1965)** (**Annexe 06**) à partir des racines mycorhizées ou non, obtenues pour chacun des niveaux de dilution et pour les 5 répétitions de chacun des sols (2019 et 2021). La lecture de la table se fait en définissant la dilution la moins concentrée (P1) pour laquelle la mycorhization est observée dans les cinq répétitions et si ce cas ne se présente pas, on prend celle où se trouve le maximum de plants mycorhizés. Le nombre de plants colonisés dans les deux dilutions successives représente donc P2 et P3. Les trois valeurs P1, P2 et P3 seront reportées sur la table d'**Alexander (1965)**. Pour en déduire un nombre qui servira à la détermination du nombre le plus probable (MPN) pour 60 g de sol initial, en multipliant ce nombre par le facteur de dilution P2, le nombre de propagules par kilogramme de sol est alors calculé.

### **2.2.3.4.4. Analyse statistique :**

Les résultats obtenus ont été traités statistiquement par l'analyse de la variance à un critère (MPN) et les comparaisons des moyennes des paramètres mesurés entre les différents traitements avec intervalle de confiance à 95 % par le test de **Tukey HSD** (Honestly Significantly Different) avec le logiciel **XLSTAT (2014)**.

*Chapitre 03 :*  
*RÉSULTATS*

### 3. RÉSULTATS :

#### 3.1. Taxons floristiques patrimoniaux de la région de Souk Ahras :

Notre étude sur la flore rare et endémique de la région de Souk Ahras s'est portée sur 18 stations qui englobent les 3 étages bioclimatiques existants au sein de cette région. Ces stations ont été réparties selon les étages de la manière suivante :

- 4 stations (Hannench, Oued Medjarda, Tarja et Tiffech) qui figurent dans l'étage bioclimatique sub-humide de la région d'étude. Ces stations sont caractérisées par une végétation de type maquis, pelouse et milieu humide.
- L'étage bioclimatique humide a concerné dix stations, il s'agit de : Aïn Seynour, Aïn Talhi, Aïn Trab, Aïn Zena, Djebel Msid, Machroha, Majen Matlag, Mare Aïn Zena, Mazeraa et Ouled Bechih. Ces stations se caractérisent par une végétation variant entre pelouse, maquis, milieu humide, subéraie et zénaie.
- Enfin, pour l'étage bioclimatique semi-aride qui s'est porté sur 4 stations : Ben Attia, M'daourouche, Merahna et Sedrata, où la végétation est purement steppique.

Cette étude s'est étalée durant les années (2017-2020) au sein de groupements forestiers de Chêne zéen, Chêne liège, de maquis à oléo-lentisque, des zones rocailleuses, des plans d'eau, des pelouses avoisinantes et de steppe (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth et *Artemisia herba-alba* Asso). Elle a permis d'inventorier 119 espèces remarquables dites « patrimoniales ou des espèces de grande valeur écologique », c'est à dire rares et/ou endémiques (**Tableau 03**). Ces espèces sont réparties en 35 familles et 93 genres. L'**Annexe 07** représente quelques photos des espèces rares et endémiques inventoriées dans la wilaya de Souk Ahras.

D'après la liste globale, les familles les plus représentées sont les Orchidaceae (15 espèces), les Asteraceae (13 espèces), les Lamiaceae (11 espèces), les Apiaceae (10 espèces), les Brassicaceae et les Fabaceae avec 9 espèces pour chacune. Sept familles sont représentées par deux espèces et 26 familles sont représentées par une seule espèce. Les genres les plus représentés sont *Ophrys* avec 7 taxons, *Orchis*, *Genista* et *Geranium* avec 3 taxons pour chacun.

Tableau 03: Liste des espèces patrimoniales de la wilaya de Souk Ahras.

Taxons	Famille	T.Bio	Biogéographie	Localité	Habitat	Rareté
<i>Achillea ligustica</i> All.	Asteraceae	Hém	Méditerranéen	Mazeraa	Zénaie	RR
<i>Allium porrum</i> subsp. <i>polyanthum</i> (Schult. & Schult. f.) Jauzein & J.-M. Tison	Amaryllidaceae	Géo	Euro-méditerranéen	Ben Attia, Tiffech	Steppe, pelouse	R*
<i>Althaea hirsuta</i> L.	Malvaceae	Th	Euro-méditerranéen	Aïn Seynour	Pelouse	R
<i>Ambrosinia bassii</i> L.	Araceae	Géo	Subend. Tyrrhénien	Mazeraa, Ouled Bechih	Zénaie, subéraie	C
<i>Anacamptis pyramidalis</i> (L.) Rich.	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen	Aïn Talhi	Maquis	R*
<i>Anarrhinum pedatum</i> Desf.	Plantaginaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Aïn Zena	Falaise	C
<i>Antirrhinum tortuosum</i> Bo ex Vent	Plantaginaceae	Ch	Méditerranéen	Aïn Zena, Hannench	Falaise, maquis	R
<i>Arabis pubescens</i> (Desf.) Poir. subsp. <i>pubescens</i>	Brassicaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Aïn Zena	Zénaie	AC
<i>Arenaria cerastioides</i> Poir.	Caryophyllaceae	Th	End Alg-Tun-Mar	Aïn Zena	Zénaie	AC
<i>Argyrolobium saharae</i> Pomel	Fabaceae	Ch	End Alg-Mar-Egy	Ben Attia	Steppe	R
<i>Aristolochia paucinervis</i> Pomel	Aristolochiaceae	Géo	Subend. Tyrrhénien	Aïn Trab	Milieu humide	R
<i>Armeria choulettiana</i> Pomel	Plumbaginaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Aïn Talhi	Maquis	AR
<i>Barnardia numidica</i> (Poir.) Speta	Asparagaceae	Géo	End Alg-Tun-Lib	Mazeraa, Ouled Bechih, Aïn Zena	Zénaie, subéraie, falaise	C
<i>Bellevalia mauritanica</i> Pomel	Asparagaceae	Géo	End Alg-Tun-Mar- Lib-Egy	Tarja	Maquis	AC
<i>Biscutella raphanifolia</i> Poir.	Brassicaceae	Hém	End Alg-Tun-Itl	Aïn Talhi, Tiffech	Maquis, pelouse	AR

<i>Brassica procumbens</i> (Poir.) O. E. Schulz	Brassicaceae	Th	End Alg-Tun	Aïn Talhi, Aïn Zena, Ben Attia, Ouled Bechih, Mazeraa	Maquis, falaise, steppe, subéraie, zénaie	C
<i>Bunium crassifolium</i> (Batt.) Batt.	Apiaceae	Géo	End Alg-Tun	Machrouha, Aïn Zena	Subéraie, falaise	R
<i>Cachrys libanotis</i> L.	Apiaceae	Hém	Méditerranéen	Hannecha	Maquis	R
<i>Calamintha menthifolia</i> Host	Lamiaceae	Hém	Méditerranéen	Mazeraa	Milieu humide	R
<i>Calendula suffruticosa</i> subsp. <i>boissieri</i> Lanza	Asteraceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Hannecha, Aïn Zena	Maquis, falaise	R
<i>Cardopatum amethystinum</i> Spach	Asteraceae	Hém	End Alg-Tun	Merahna	Steppe	AR
<i>Castanea sativa</i> Mill.	Fagaceae	Ph	Méditerranéen	Mazeraa	Zénaie	RR
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière	Pinaceae	Ph	End Alg-Mar	Djebel Msid	Maquis	AC
<i>Centaurea involucrata</i> Desf.	Asteraceae	Th	End Alg-Mar	Ben Attia	Steppe	AR*
<i>Centaurea solstitialis</i> subsp. <i>schouwii</i> (DC.) Gugler	Asteraceae	Hém	End Alg-Tun-Itl	Tiffech	Pelouse	RR
<i>Chaerophyllum temulum</i> L.	Apiaceae	Hém	Eurasien	Majen Matlag	Milieu humide	R
<i>Convolvulus durandoi</i> Pomel	Convolvulaceae	Géo	End Alg-Tun	Aïn Talhi, Aïn zena	Maquis, falaise	R
<i>Cosentinia vellea</i> (Aiton) Tod. subsp. <i>vellea</i>	Sinopteridaceae	Hém	Euro-méditerranéen	Aïn Zena	Falaise	R*
<i>Cyclamen africanum</i> Boiss. & Reut.	Primulaceae	Géo	End Alg-Tun-Mar	Mazeraa, Mechrouha, Ouled Bechih, Aïn Zena	Zénaie, subéraie, falaise	C
<i>Cynosurus polybracteatus</i> Poir.	Poaceae	Th	End Alg-Tun	Mazeraa	Zénaie	C
<i>Dactylorhiza elata</i> (Poir.) Soo	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun	Aïn Trab	Milieu humide	R
<i>Daucus gracilis</i> Steinh.	Apiaceae	Th	End Alg-Tun-Mar	Mechrouha, Aïn Zena	Subéraie, falaise	AR

<i>Daucus virgatus</i> (Poir.) Maire	Apiaceae	Hém	End Alg-Tun	Aïn Seynour, Aïn Zena	Maquis, falaise	R
<i>Deverra scoparia</i> Coss. & Durieu subsp. <i>scoparia</i>	Apiaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar- Lib-Mau	Ben Attia, Merahna	Steppe	C
<i>Diatelia tuberaria</i> (L.) Demoly	Cistaceae	Ch	Méditerranéen	Mechrouha	Subéraie	R
<i>Drimia anthericoides</i> (Poir.) Véla & De Bélair	Asparagaceae	Géo	End Alg	Aïn Talhi	Maquis	R*
<i>Drimia numidica</i> (Jord. & Fourr.) J.C. Manning & Goldblatt	Asparagaceae	Géo	End Alg-Tun-Esp	Aïn Talhi, Aïn Seynour, Mechroha, Mazeraa, Mare Aïn Zena, Aïn Zena, Tarja, Djebel Msid, Ouled Bechih, Aïn Trab, Majen Matlag	Maquis, pelouse, zénaie, falaise, milieu humide, subéraie	C
<i>Ebenus pinnata</i> Aiton	Fabaceae	Hém	End-Alg-Tun-Mar- Lib	Tarja, Tiffech, Ben Attia, Sedrata, M'daourouche	Maquis, steppe	C
<i>Echinops bovei</i> Boiss.	Asteraceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Aïn Talhi, Aïn Zena, Tiffech	Maquis, falaise, pelouse	C
<i>Eryngium pusillum</i> L.	Apiaceae	Hém	Méditerranéen	Mare Aïn Zena, Majen Matlag	Milieu humide	R
<i>Euphorbia cuneifolia</i> Guss.	Euphorbiaceae	Th	End Alg-Tun-Itl	Majen Matlag	Milieu humide	AR



<i>Galactites mutabilis</i> Durieu	Asteraceae	Th	End Alg-Tun	Aïn Seynour, Aïn Talhi, Mechroha, Aïn zena, Tarja, Ouled Bechih, Tiffech	Maquis, pelouse, falaise subéraie, zénaie	AR
<i>Genista ferox</i> (Poir.) Dum. Cours. subsp. <i>ferox</i>	Fabaceae	Ph	End Alg-Tun-Itl	Aïn Talhi, Mechroha, Tarja, Aïn Zena, Ouled Bechih, Mazeraa	Maquis, subéraie, falaise, zénaie	C
<i>Genista tricuspida</i> Desf. subsp. <i>tricuspida</i>	Fabaceae	Ph	End Alg-Tun-Mar	Mechrouha	Subéraie	C
<i>Genista ulicina</i> Spach	Fabaceae	Ph	End Alg-Tun	Aïn Talhi, Mechrouha, Ouled Bechih, Aïn Zena, Djebel Msid	Maquis, subéraie, falaise	AR
<i>Geranium atlanticum</i> Boiss.	Geraniaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Djebel Msid	Maquis	C
<i>Geranium columbinum</i> L.	Geraniaceae	Th	Paléotempéré	Majen Matlag	Milieu humide	R
<i>Geranium dissectum</i> L.	Geraniaceae	Th	Paléotempéré	Majen Matlag, Aïn Trab	Milieu humide	R
<i>Hedera algeriensis</i> Hibberd	Araliaceae	Ph	End Alg-Tun	Mazeraa	Zénaie	C
<i>Helosciadium crassipes</i> W.J. Koch	Apiaceae	Hydr	Méditerranéen	Mare Aïn Zena, Aïn Trab, Majen Matlag	Milieu humide	RR
<i>Hertia cheirifolia</i> (L.) Kuntze	Asteraceae	Ph	End Alg-Tun	Ben Attia, Merahna, Sedrata, M'daourouche	Steppe	C
<i>Hippocrepis atlantica</i> Ball	Fabaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Aïn Zena	Falaise	C
<i>Hyacinthoides lingulata</i> (Poir.) Rothm.	Asparagaceae	Géo	End Alg-Tun-Mar	Mechrouha, Mazeraa	Subéraie, zénaie	C

<i>Hypericum androsaemum</i> L.	Hypericaceae	Ch	Paléotempéré	Mazeraa, Ouled Bechih	Zénaie, subéraie	R
<i>Hypericum montanum</i> L.	Hypericaceae	Hém	Euro-méditerranéen	Djebel Msid, Ouled Bechih	Maquis, subéraie	R
<i>Illecebrum verticillatum</i> L.	Caryophyllaceae	Th	Méditerranéen	Mare Aïn Zena	Milieu humide	RR
<i>Iris unguicularis</i> Poir.	Iridaceae	Géo	End Alg-Tun	Mechrouha, Mazeraa	Subéraie, zénaie	C
<i>Jonopsidium albiflorum</i> Durieu	Brassicaceae	Th	End Alg-Tun-Itl	Djebel Msid, Tarja	Maquis	R
<i>Juncus heterophyllus</i> Dufour	Juncaceae	Hydr	Méditerranéen	Mare Aïn Zena, Majen Matlag	Milieu humide	R
<i>Lathyrus latifolius</i> L. subsp. <i>algericus</i> (Ginzb.) Dobignard	Fabaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Aïn Talhi	Maquis	R*
<i>Lepidium rigidum</i> Pomel	Brassicaceae	Hém	End Alg-Tun	Aïn Seynour	Pelouse	AC
<i>Linaria virgata</i> subsp. <i>algeriensis</i> Murb.	Plantaginaceae	Ch	End Alg-Tun	Sedrata	Steppe	C
<i>Linum corymbiferum</i> Desf. subsp. <i>corymbiferum</i>	Linaceae	Hém	End Alg-Tun	Mechrouha	Subéraie	C
<i>Linum tenue</i> Desf. subsp. <i>tenue</i>	Linaceae	Th	End. Alg.Mar-Esp	Mechrouha	Subéraie	R
<i>Lithospermum tenuiflorum</i> L. f.	Boraginaceae	Ch	Méditerranéen	Tarja	Maquis	R
<i>Lonchophora capiomontana</i> Durieu	Brassicaceae	Th	End Alg-Tun-Lib	Sedrata	Steppe	AC
<i>Mandragora officinarum</i> L.	Solanaceae	Hém	Méditerranéen	Ben Attia	Steppe	R
<i>Moricandia suffruticosa</i> (Desf.) Coss. & Durieu	Brassicaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Ben Attia	Steppe	C
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> DC.	Haloragaceae	Hydr	Méditerranéen - Atlantique	Majen Matlag	Milieu humide	R

<i>Neotinea maculata</i> (Desf.) Stearn	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen - Atlantique	Mechrouha	Subéraie	R
<i>Oenanthe virgata</i> Poir.	Apiaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Mare Aïn Zena, Oued Medjarda, Majen Matlag	Milieu humide	C
<i>Ononis angustissima</i> subsp. <i>polyclada</i> Murb.	Fabaceae	Ch	End Alg-Tun-Mar	Ben Attia	Steppe	AC
<i>Ononis aragonensis</i> Asso	Fabaceae	Ph	Ibéro-maghrébin	Sedrata	Steppe	RR
<i>Ophioglossum lusitanicum</i> L.	Ophioglossaceae	Géo	Méditerranéen	Mechrouha, Djebel Msid	Subéraie, maquis	R
<i>Ophrys joannae</i> Maire	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun	Aïn Talhi	Maquis	RR*
<i>Ophrys atlantica</i> Munby subsp. <i>atlantica</i>	Orchidaceae	Géo	Ibéro-maghrébin	Sedrata	Steppe	AR
<i>Ophrys atlantica</i> subsp. <i>hayekii</i> (H. Fleischm. ex Soó) Soó	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen	Sedrata	Steppe	R
<i>Ophrys iricolor</i> Desf. subsp. <i>iricolor</i>	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen	Aïn Talhi, Mechrouha	Maquis, subéraie	R*
<i>Ophrys marmorata</i> subsp. <i>caesiella</i> (P. Delforge) Véla	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen	Hannench, Mechrouha	Maquis, subéraie	R*
<i>Ophrys numida</i> Devillers-Tersch. & Devillers	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun	Aïn Talhi, Hannench, Aïn Seynour	Maquis, pelouse	R*
<i>Ophrys subfusca</i> subsp. <i>battandieri</i> (E. G. Camus) Kreutz	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun-Mar	Hannench, Aïn Seynour	Pelouse, maquis	R
<i>Orchis anthropophora</i> (L.) All.	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen - Atlantique	Tarja	Maquis	R*

<i>Orchis laeta</i> Steinh.	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun	Aïn Talhi	Maquis	RR*
<i>Orchis patens</i> Desf. subsp. <i>patens</i>	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun-Itl	Aïn Talhi	Maquis	RR*
<i>Origanum vulgare</i> subsp. <i>glandulosum</i> (Desf.) Ietsw.	Lamiaceae	Ch	End Alg-Tun	Djebel Msid, Hannench, Aïn Zena	Maquis, falaise	C
<i>Orobanche rapum-genistae</i> Thuill.	Orobanchaceae	Géo	Euro-méditerranéen	Mazeraa	Zénaie	RR
<i>Phlomis bovei</i> de Noé	Lamiaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Hannench	Maquis	R
<i>Phlomis herba-venti</i> subsp. <i>pungens</i> (Willd.) Maire ex De Filippis	Lamiaceae	Hém	Méditerranéen	Hannench, Aïn Zena	Maquis, falaise	R
<i>Pilularia minuta</i> Durieu	Marsileaceae	Hydr	Méditerranéen	Majen Matlag	Milieu humide	RR
<i>Pistacia atlantica</i> Desf.	Anacardiaceae	Ph	End Alg-Tun-Mar	Ben Attia, Sedrata	Steppe	AC
<i>Plagius grandis</i> (L.) Alavi & Heywood	Asteraceae	Ch	End Alg-Tun	Aïn Seynour, Tiffech, Aïn Zena	Pelouse, falaise	C
<i>Plagius maghrebinus</i> Vogt & Greuter	Asteraceae	Ch	End Alg-Tun-Mar	Mazeraa, Mechrouha, Oued Medjarda, Majen Matlag	Zénaie, subéraie, milieu humide	C
<i>Psychine stylosa</i> Desf.	Brassicaceae	Th	End Alg-Tun-Mar	Ben Attia, Sedrata	Steppe	AC
<i>Ranunculus bulbosus</i> subsp. <i>aleae</i> (Willk.) Rouy & Foucaud	Ranunculaceae	Th	Méditerranéen	Majen Matlag	Milieu humide	R
<i>Reichardia tingitana</i> subsp. <i>discolor</i> (Pomel) Jahand. & Maire	Asteraceae	Th	Méditerranéen	Ben Attia	Steppe	R
<i>Rhaponticum acaule</i> (L.) DC.	Asteraceae	Hém	Subend. Tyrrhénien	Aïn Seynour, Tiffech	Pelouse	C

<i>Romulea ligustica</i> Parl.	Iridaceae	Géo	Méditerranéen	Aïn Talhi, Mare Aïn Zena, Aïn Zena, Ouled Bechih, Djebel Msid	Maquis, milieu humide, falaise, subéraie	R
<i>Rosmarinus eriocalyx</i> Jord. & Fourr. subsp. <i>eriocalyx</i>	Lamiaceae	Ch	End Alg-Tun	Hannecha	Maquis	R
<i>Rupicapnos numidica</i> (Coss. & Durieu) Pomel	Papaveraceae	Hém	End Alg-Tun	Aïn Zena	Falaise	AC
<i>Sambucus ebulus</i> L.	Adoxaceae	Hém	Euro-méditerranéen	Aïn Trab, Oued Medjarda	Milieu humide	R
<i>Sambucus nigra</i> L.	Adoxaceae	Ph	Euro-méditerranéen	Oued Medjarda	Milieu humide	R
<i>Santolina africana</i> Jord. & Fourr.	Asteraceae	Ch	End Alg-Tun-Mar	Ben Attia, Merahna, M'daourouche	Steppe	AC
<i>Scrophularia tenuipes</i> Coss. & Durieu ex Coss.	Scrophulariaceae	Hém	End Alg-Tun	Mazeraa	Zénaie	R
<i>Scutellaria columnae</i> All. subsp. <i>columnae</i>	Lamiaceae	Hém	Méditerranéen	Mazeraa	Zénaie	R
<i>Sedum cepaea</i> L.	Crassulaceae	Th	Méditerranéen-Atlantique	Mazeraa, Ouled Bechih	Zénaie, subéraie	R
<i>Sedum pubescens</i> Vahl	Crassulaceae	Th	End Alg-Tun	Tarja	Maquis	AC
<i>Serapias lingua</i> L. subsp. <i>lingua</i>	Orchidaceae	Géo	Méditerranéen	Aïn Talhi, Mare Aïn Zena	Milieu humide	R*
<i>Serapias stenopetala</i> Maire & T. Stephenson	Orchidaceae	Géo	End Alg-Tun	Mare Aïn Zena	Milieu humide	RR*
<i>Sideritis incana</i> L. subsp. <i>incana</i>	Lamiaceae	Ch	Méditerranéen	Ben Attia, M'daourouche	Steppe	R*

<i>Sinapis pubescens</i> L. subsp. <i>indurata</i> (Coss.) Batt.	Brassicaceae	Hém	End Alg	Aïn Zena, Hannencha, Djebel Msid	Falaise, maquis	R
<i>Smyrniium perfoliatum</i> L.	Apiaceae	Hém	Euro-méditerranéen	Mazeraa	Zénaie	R
<i>Stachys duriaei</i> de Noé	Lamiaceae	Th	End Alg-Tun	Hannencha, Aïn Zena	Maquis, falaise	AC
<i>Teucrium atratum</i> Pomel	Lamiaceae	Ch	End Alg-Tun	Mechrouha	Subéraie	R
<i>Thymus algeriensis</i> Boiss. & Reut.	Lamiaceae	Ch	End Alg-Tun-Mar	Hannencha, Aïn Zena, Ben Attia, Djebel Msid, M'daourouche, Aïn Seynour, Tiffech	Maquis, falaise, pelouse, steppe	C
<i>Thymus munbyanus</i> subsp. <i>coloratus</i> (Boiss. & Reut.) Greuter & Burdet	Lamiaceae	Ch	End Alg-Tun-Mar	Mecherouha, Ouled Bechih, Aïn Zena	Subéraie, falaise	C
<i>Veronica montana</i> L.	Plantaginaceae	Hém	Européenne	Mare Aïn Zena	Milieu humide	AR
<i>Vinca major</i> L.	Apocynaceae	Ch	Méditerranéen	Mechrouha	Subéraie	R*
<i>Viola munbyana</i> Boiss. & Reut.	Violaceae	Hém	End Alg-Tun-Mar	Djebel Msid	Maquis	AC
<i>Viola riviniana</i> Rchb.	Violaceae	Hém	Méditerranéen	Mezeraa, Mechrouha	Zénaie, subéraie	R

\* : rareté modifiée selon nos observations.

### 3.1.1. Rareté :

Sur les 119 espèces recensées dans la région d'étude, 9 taxons sont assez rares, 55 sont rares et 13 très rares. Les endémiques assez rares sont au nombre de 14 taxons. Les espèces observées dans la région d'étude n'ont pas toujours la même valeur patrimoniale, en effet, 33 espèces peuvent être à la fois endémiques et rares (ex. *Bunium crassifolium*, *Convolvulus durandoi*, *Dactylorhiza elata*, *Ophrys subfusca* subsp. *battandieri*). Cette relation entre la rareté et l'endémisme est remarquable dans la flore étudiée. Environ la moitié des taxons endémiques, au sens large, est rare. Vingt-huit taxons endémiques, largement distribuées sur le territoire national (*Anarrhinum pedatum*, *Stachys duriaei*, *Bellevalia mauritanica*, *Rupicapnos numidica*, etc). Ajoutons 40 taxons méditerranéens (*sensu lato*) sont rares à très rares, trois taxons paléotempérés qui sont rares et un taxon eurasiens est rare. Sur l'ensemble des taxons étudiés, dix sont inscrits sur la liste rouge de l'UICN (2021), tandis que 13 sont protégés par le Décret exécutif n°12-03, des espèces végétales non cultivées protégées en Algérie (J.O.R.A, 2012) (Tableau 04).

**Tableau 04:** Liste des espèces protégées selon J.O.R.A (2012) et/ou évaluées selon l'UICN (2021).

Taxons	J.O.R.A (2012)	UICN (2021)
<i>Argyrobium saharae</i> Pomel	P	
<i>Bunium crassifolium</i> (Batt.) Batt.	P	
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière	P	EN
<i>Convolvulus durandoi</i> Pomel	P	NT
<i>Cyclamen africanum</i> Boiss. & Reut.	P	
<i>Dactylorhiza elata</i> (Poir.) Soo		NT
<i>Drimia anthericoides</i> (Poir.) Véla & De Bélair		EN
<i>Illecebrum verticillatum</i> L.	P	
<i>Juncus heterophyllus</i> Dufour		NT
<i>Mandragora officinarum</i> L.	P	
<i>Ononis aragonensis</i> Asso	P	
<i>Orchis laeta</i> Steinh.		NT
<i>Orchis patens</i> Desf. subsp. <i>patens</i>	P	
<i>Phlomis bovei</i> de Noé	P	
<i>Pilularia minuta</i> Durieu		EN
<i>Pistacia atlantica</i> Desf.	P	NT
<i>Scrophularia tenuipes</i> Coss. & Durieu ex Coss.	P	NT
<i>Serapias stenopetala</i> Maire & T. Stephenson		CR
<i>Teucrium atratum</i> Pomel	P	

### 3.1.2. Distribution biogéographique :

Trois ensembles biogéographiques ont été identifiés dans la flore étudiée :

#### 3.1.2.1. Ensemble méditerranéen :

Cet ensemble regroupe 39 espèces soit (32,77%), de la flore répertoriée, dont 27 pour l'élément de liaison méditerranéen (*sensu stricto*), huit pour l'élément de liaison Euro-méditerranéen et quatre pour l'élément de liaison méditerranéen atlantique. Dans cet ensemble, les familles les plus riches sont celles qui sont les mieux représentées dans la flore étudiée. La famille des Orchidaceae compte sept taxons, celle des Apiaceae et Lamiaceae avec 4 taxons pour chacune.

#### 3.1.2.2. Ensemble nordique :

Cet ensemble est représenté par trois taxons paléotempérés (*Hypericum androsaemum*, *Geranium dissectum* et *Geranium columbinum*), un taxon eurasien (*Chaerophyllum temulum*) et un européen (*Veronica montana* L.)

#### 3.1.2.3. Ensemble endémique :

Avec 75 espèces (63,02%), il est l'ensemble le plus important de la flore étudiée. Vingt-six familles présentent des taxons endémiques, les Asteraceae sont les mieux représentées avec leurs 11 endémiques, suivies par les Fabaceae et les Brassicaceae (9 endémiques chacune). Le genre *Ophrys* est le plus diversifié avec 4 taxons suivi par le genre *Genista* avec 3 taxons.

Ces espèces appartiennent à 8 sub-éléments d'endémismes :

- **Endémiques de l'Algérie :** deux taxons endémiques stricts de l'Algérie ont été identifiés dans notre liste (*Drimia anthericoides* et *Sinapis pubescens* subsp. *indurata*) ;

- **Endémiques algéro-tunisiennes :** Le nombre de taxons endémiques algéro-tunisiennes est le plus important de tous, avec 27 espèces, soit 36 % de la flore endémique de la région. Ce nombre peut être jugé comme assez intéressant pour une région qui se localise aux frontières de la Tunisie ;

- **Endémiques algéro-marocaines :** Cet élément est composé de deux taxons (*Cedrus atlantica* et *Centaurea involucrata*) ;

- **Endémiques de l'Algérie, Tunisie et l'Italie :** Six taxons endémiques sont notés entre l'Algérie-Tunisie et s'étendant jusqu'à l'Italie (*Biscutella raphanifolia*, *Jonopsidium albiflorum*, *Orchis patens* subsp. *patens*, *Euphorbia cuneifolia*, *Centaurea solstitialis* subsp. *schouwii* et *Genista ferox* subsp. *ferox*) ;



- **Ibéro-maghrébines** : Les espèces appartenant à cet ensemble sont au nombre de deux (*Ononis aragonensis* et *Ophrys atlantica* subsp. *atlantica*) ;
- **Endémiques de l'Afrique du Nord** : Le nombre de taxons appartenant à cet élément est appréciable, avec 31 espèces, soit 41,33 % de la flore endémique de la région. Il s'agit souvent de taxons rencontrés dans au moins trois pays de l'Afrique du Nord (Algérie, Tunisie, Maroc, Libye) et s'étendant parfois jusqu'à l'Égypte et la Mauritanie ;
- **Sub-endémiques tyrrhéniens** : Trois taxons sont partagés entre la Numidie, la Kroumirie et le bloc corso-sarde et/ou l'ensemble insulaire tyrrhénien ;
- **Endémiques bético-maghrébins** (Algérie, Tunisie et l'Espagne ou Algérie, Maroc et l'Espagne) est représenté par deux taxons.

### **3.1.3. Distribution biologique :**

D'après la liste globale des espèces recensées, la composition du spectre biologique global montre que les hémicryptophytes, avec 38 espèces (31,93%) sont prédominantes sur les autres formes de vie. Les géophytes sont assez bien représentées avec 30 espèces (25,21%), suivies par les thérophytes, chaméphytes et les phanérophytes avec respectivement 20 (soit 16,8%), 17 (14,28%) et 10 (8,40%) espèces. Les hydrophytes sont faiblement représentées avec seulement 4 espèces (3,36%). Cette distribution biologique des espèces est stable dans les unités biogéographiques recensées, tandis que les quatre taxons hydrophytes sont typiquement méditerranéens.

### **3.1.4. Répartition des espèces rares et endémiques selon les types d'habitats :**

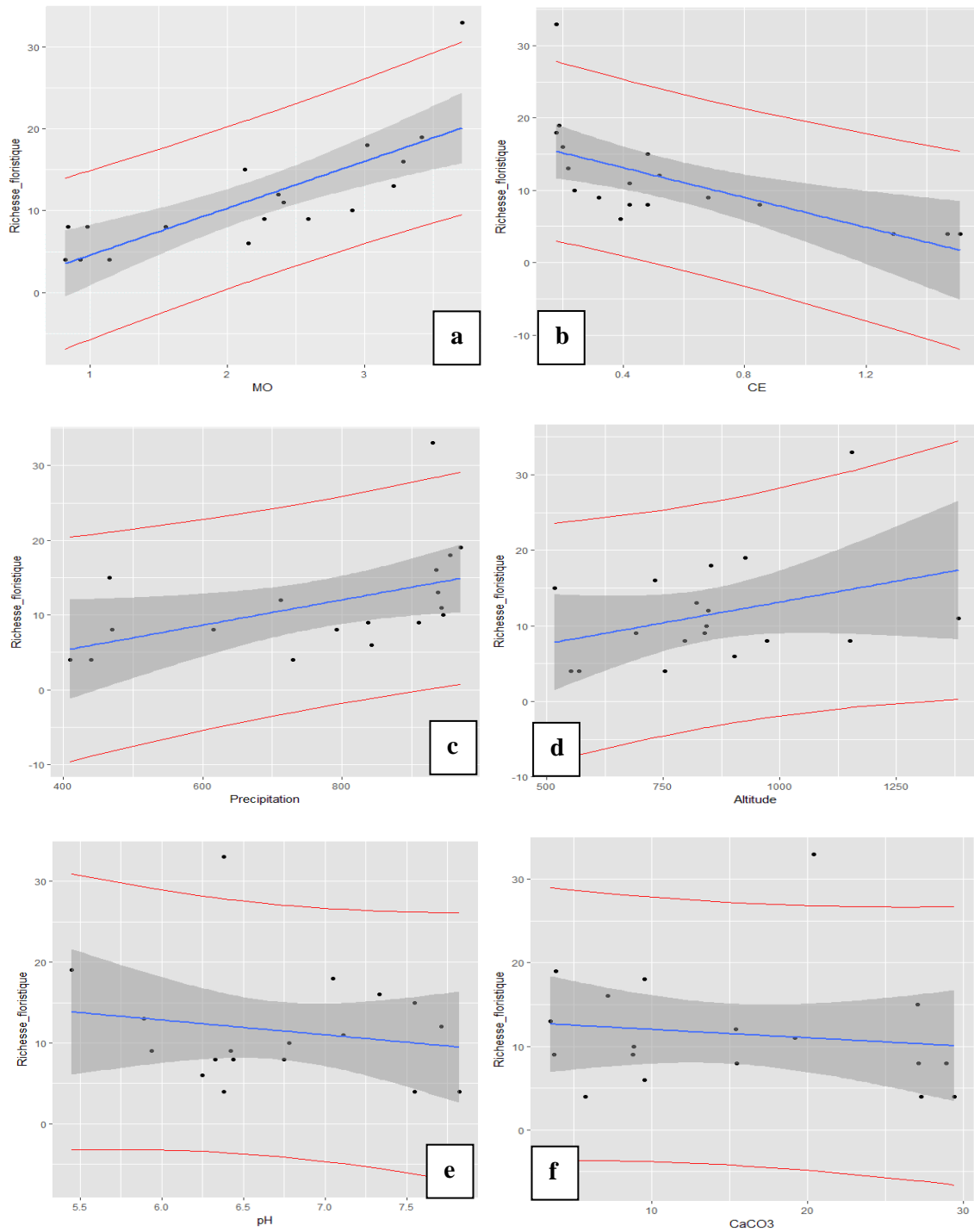
Les maquis, les milieux humides et les subéraies sont les plus riches en espèces rares (plus de 15 espèces chacun), tandis que les pelouses sont les plus pauvres avec sept espèces uniquement. Quant à l'endémisme, il est le plus fréquent dans les maquis avec 31 taxons, suivi de près par les falaises avec 22 taxons. Les zénaies, les steppes et les subéraies sont en situation intermédiaire (respectivement 14, 17 et 18 espèces). Les pelouses et les milieux humides sont les plus pauvres en endémiques (respectivement 11 et 7 espèces).

Du point de vue bioclimatique, les taxons rares et endémiques se rencontrent dans les trois étages bioclimatiques de la région d'étude, depuis l'humide jusqu'au semi-aride.

### **3.1.5. Influence des variables environnementales et édaphiques sur la richesse des plantes rares et endémiques :**

Pour toutes les stations étudiées, les résultats des régressions entre richesse spécifique et variables topographiques (altitude), climatiques (précipitation) et édaphiques (pH,

conductivité électrique, calcaire total et matière organique) ne sont pas tous significatifs. Deux variables sont significatives, à savoir la matière organique ( $r^2 = 0,6101$  ;  $p = 0,0001$ ) et la conductivité électrique ( $r^2 = 0,4103$  ;  $p = 0,0041$ ) (**Figure 10 a & b**). Les autres variables ne semblent pas influencer la composition floristique et donc la distribution des plantes rares et endémiques dans les stations étudiées (**Figure 10 c, d, e & f**).



**Figure 10:** Corrélation entre la richesse en espèces rares et endémiques et (a) la matière organique ; (b) la conductivité électrique ; (c) la précipitation ; (d) l'altitude ; (e) le pH ; (f) le calcaire total.

### **3.2. La phytoécologie du figuier de Barbarie dans la Mechta Ben Attia:**

#### **3.2.1. Étude des communautés floristiques loin et au périmètre d'*Opuntia maxima* :**

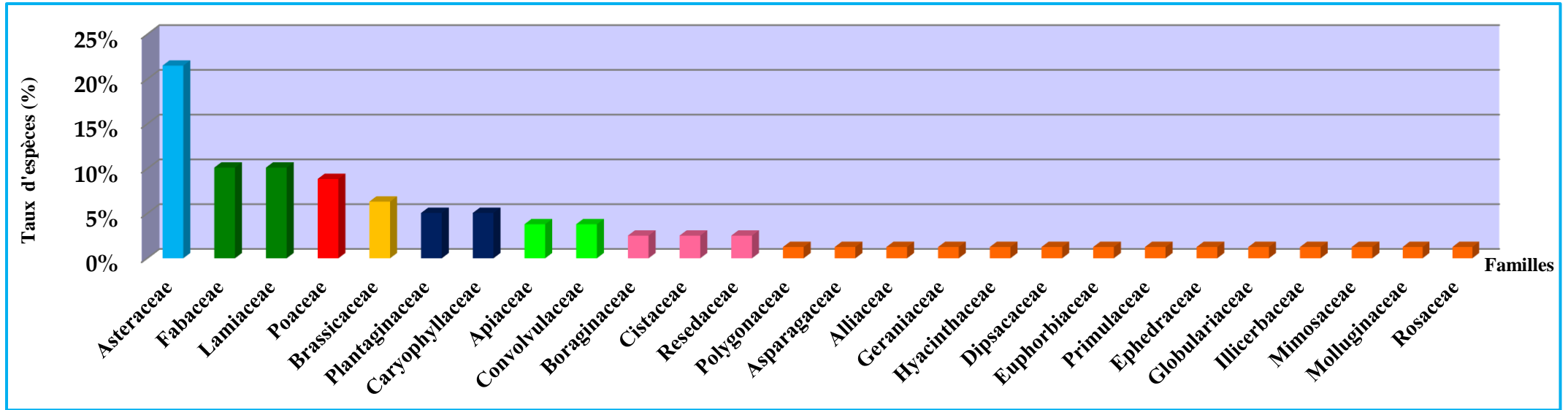
Les relevés floristiques effectués dans la station d'étude de la Mechta Ben Attia nous ont permis d'inventorier un total de 126 espèces durant les années (2020-2021). Ces espèces ont été réparties en fonction des relevés en 79 espèces (242 individus) loin du périmètre du figuier de Barbarie et 83 (299 individus) à son périmètre. L'Annexe 08 représente quelques photos des espèces inventoriées au sein de la station d'étude.

36 espèces sur le total inventorié dans cette station, ont été communes entre les relevés floristiques 1 et 2. Parmi les espèces rencontrées, *Stipa parviflora* Desf, *Paronychia arabica*, *Thymus algeriensis* et *Artemisia campestris* ont été les plus abondantes dans les relevés effectués loin du périmètre du figuier de Barbarie. Tandis qu'au périmètre de cette espèce, *Cynodon dactylon* a été la plus abondante avec *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams et *Stipa parviflora* Desf.

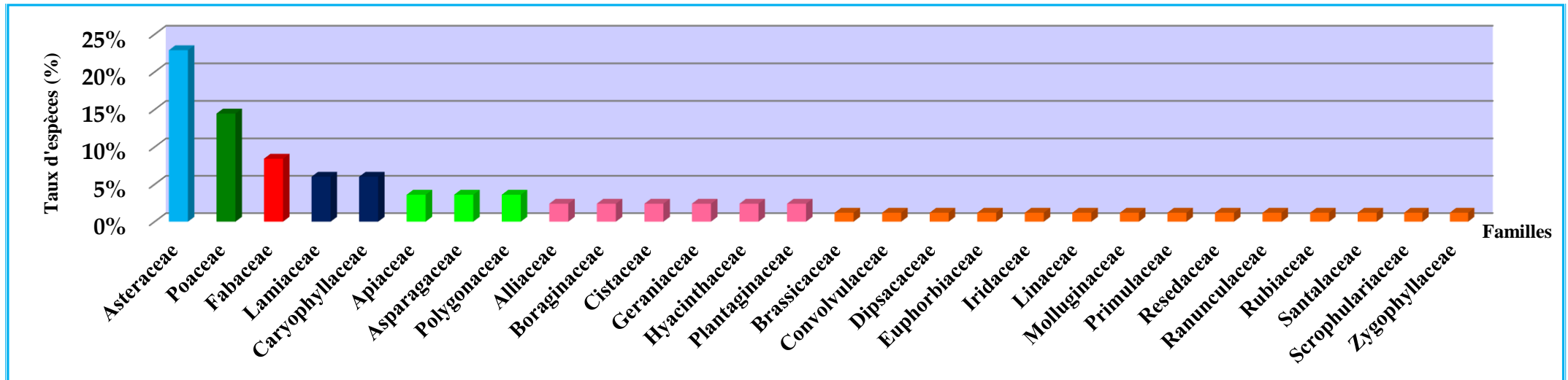
##### **3.2.1.1. Répartition en familles des espèces de la station d'étude :**

Notre étude de la composante floristique loin du figuier de Barbarie a abouti à 26 familles avec une prédominance du nombre des espèces pour la famille des Asteraceae avec un taux de 21,52% suivies par les espèces appartenant aux Fabaceae et Lamiaceae à 10,13% chacune, puis les Poaceae avec 08,86% ; le reste des 22 familles ont présenté des taux variant entre 1,26% et 6,33% chacune (Figure 11 a).

Pour les 28 familles issues des relevés floristiques du périmètre du figuier de Barbarie, le taux des espèces appartenant à la famille des Asteraceae reste en tête de classement avec 22,89% suivies par celles appartenant aux Poaceae à 14,46%, puis, les Fabaceae (08,43%) et les Lamiaceae et Caryophyllaceae à 06,02% chacune. Tandis que pour les 23 familles restantes, elles ont présenté des taux variant entre 01,20% et 04,82%, soit entre une et quatre espèces pour chacune (Figure 11 b).



a

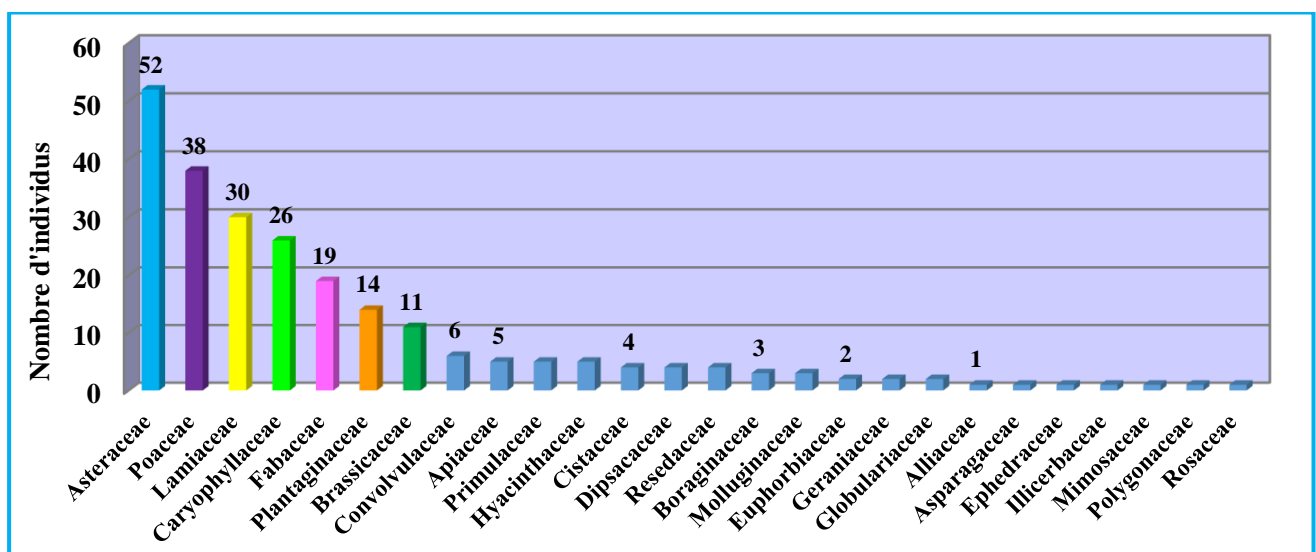


b

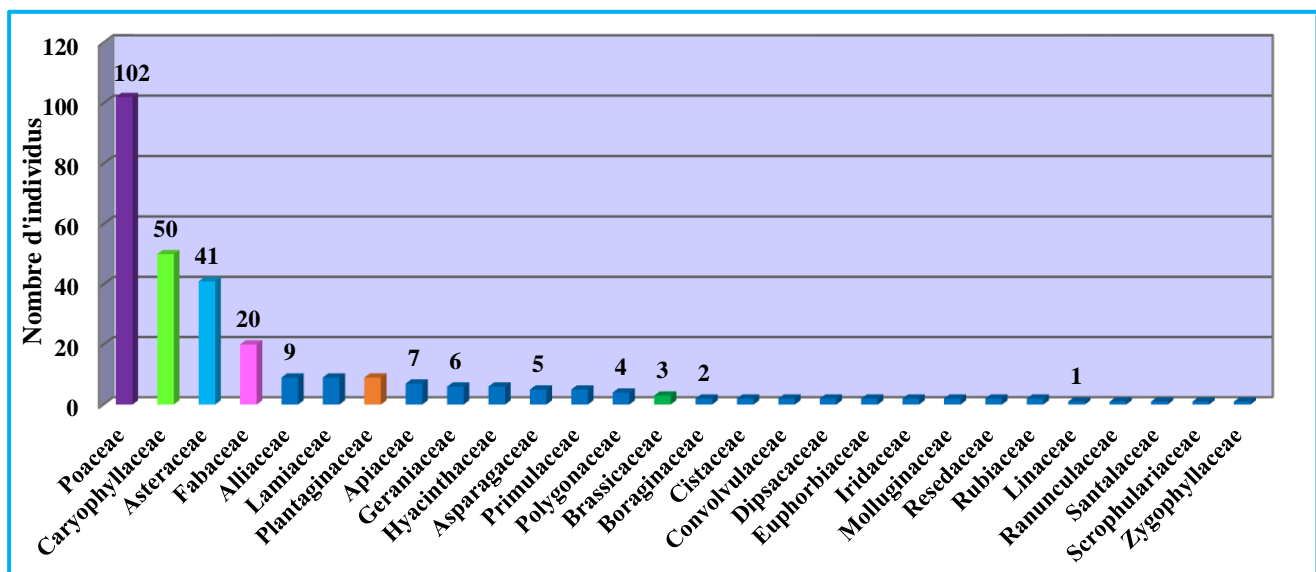
Figure 11: Taux de répartition en familles des espèces issues des relevés floristiques 1 (a) et 2 (b).

**3.2.1.2. Nombre d'individus par famille des relevés de la station d'étude :**

Loin du figuier de Barbarie, les Asteraceae présentent le nombre le plus élevé d'individus (52), suivies des Poaceae (38), Lamiaceae (30), Caryophyllaceae (26), Fabaceae (19), Plantaginaceae (14) et Brassicaceae (11), le reste des espèces (des 19 autres familles) se présentent avec entre 1 et 6 individu chacune (**Figure 12 a**). Au périmètre du figuier de Barbarie, les Poaceae se sont présentées avec 102 individus dont 49 pour l'espèce *Cynodon dactylon*, puis, les Caryophyllaceae (50), les Asteraceae (41), les Fabaceae (20), 1 à 9 individus pour les espèces des 24 familles restantes (**Figure 12 b**).



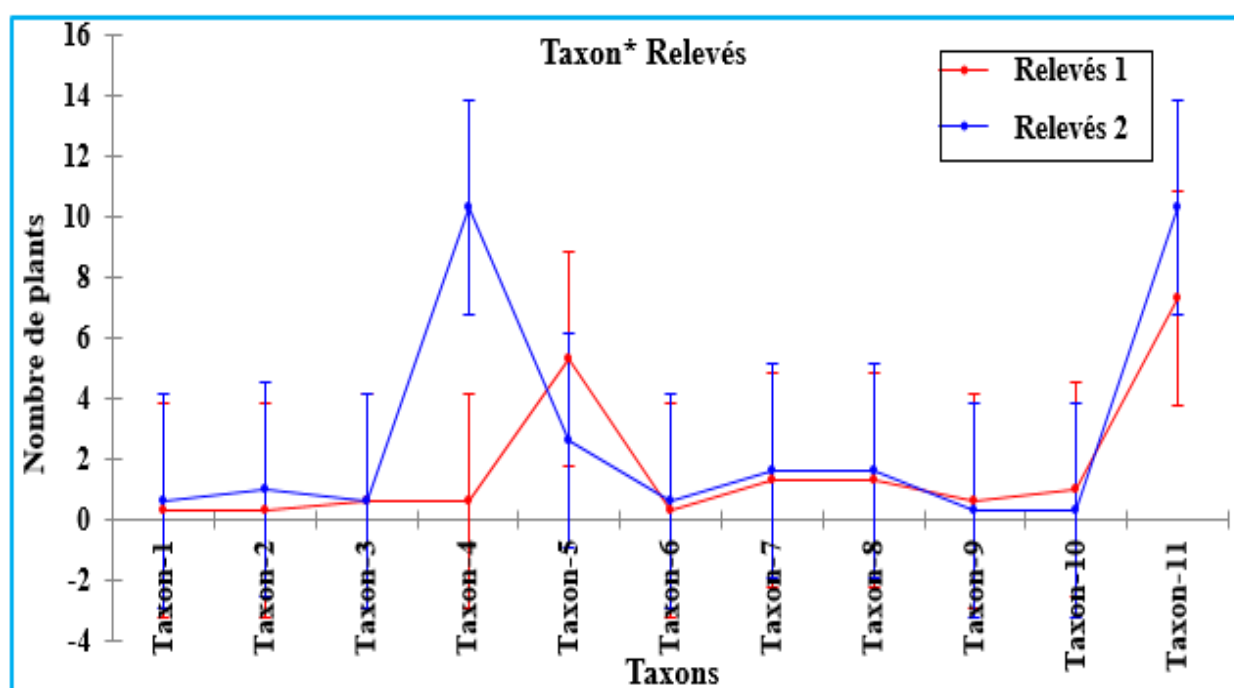
a



b

**Figure 12:** Nombre d'individus par famille loin (a) et au périmètre du figuier de Barbarie (b).

L'analyse statistique effectuée sur les espèces communes entre R1 et R2 en 2020 et 2021 a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre le nombre de plants des 17 espèces communes pour les relevés de 2020 (**Annexe 09**). La même chose a été enregistrée pour les relevés floristiques de 2021 (11 espèces communes), à l'exception de la Caryophyllaceae : *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams (taxon 4 dans la figure) dont la différence est très significative entre R1 (2 plants) et R2 (31 plants) (**Figure 13**). Bien que cette espèce a été présente dans les deux relevés mais elle n'a pas présenté de répartition équitable.



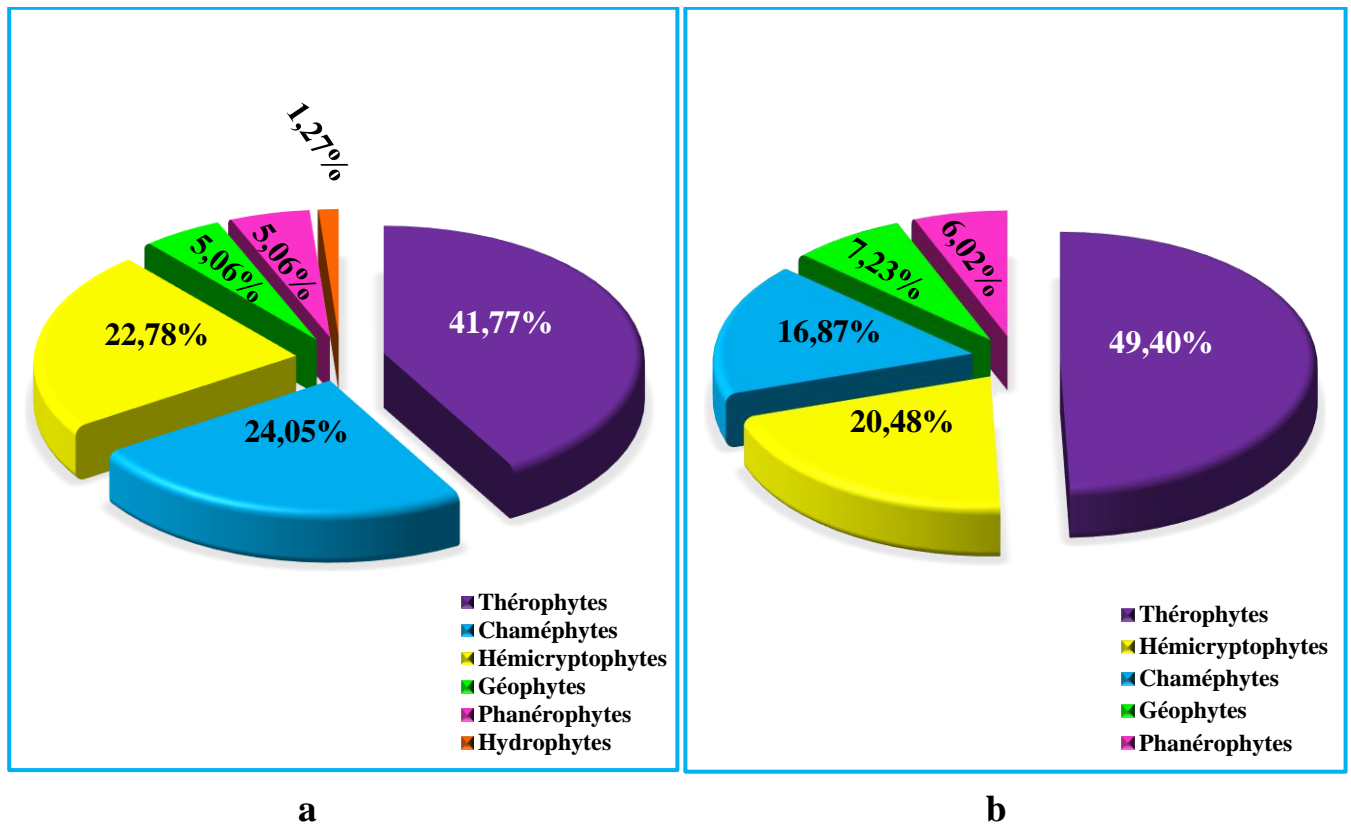
**Figure 13:** Graphique de l'Anova des interactions (répétitions, relevés, taxons) sur le nombre de plants des espèces communes entre relevés floristiques 1 et 2 (2021).

### 3.2.1.3. Types biologiques des espèces rencontrées dans les relevés de la station d'étude :

L'analyse des types biologiques des espèces rencontrées loin du périmètre d'*Opuntia maxima* nous a montré que 41,77% des espèces inventoriées, appartiennent aux thérophytes, 24,05% aux chaméphytes, 22,78% aux hémicryptophytes, 05,06% pour chacune des géophytes et les phanérophytes et une seule espèce appartenant aux hydrophytes (**Figure 14 a**).

Sur les espèces recensées au périmètre du figuier de Barbarie, les thérophytes occupent la moitié des taux avec 49,40%, les hémicryptophytes ont été aussi importantes pour ces relevés que pour les précédents avec 20,48%, tandis que le taux des chaméphytes a diminué (16,87%).

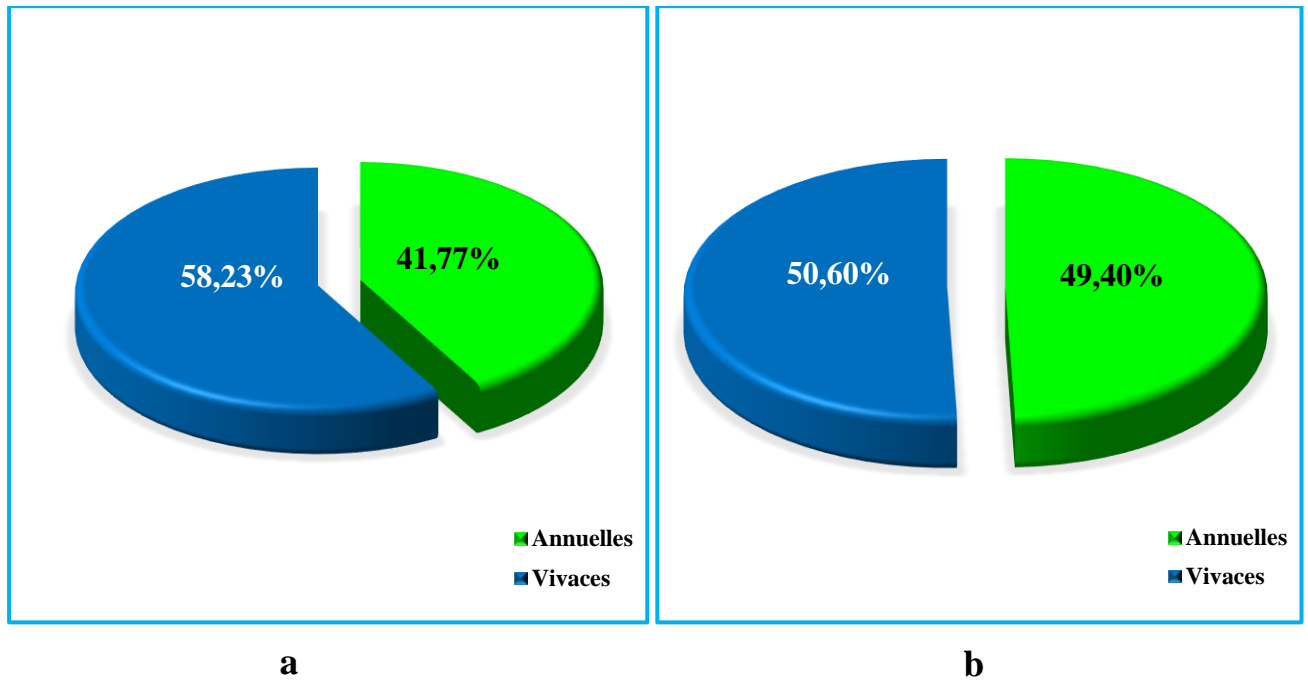
Pour le reste des géophytes et phanérophytes, des taux presque semblables à ceux des relevés 1 ont été enregistrés (**Figure 14 b**).



**Figure 14:** Types biologiques de la communauté floristique loin (a) et au périmètre (b) du figuier de Barbarie.

#### 3.2.1.4. Types végétatifs des communautés floristiques de la station d'étude :

Loin des plantations du figuier de Barbarie, une prépondérance numérique est attribuée aux espèces vivaces avec un taux de 58,23% par rapport aux annuelles qui ont présenté 41,77% (**Figure 15 a**). Pour les relevés effectués au périmètre de notre espèce agricole, presque une égalité a été enregistrée entre les taux des vivaces (50,60%) et des annuelles (49,40%) (**Figure 15 b**).



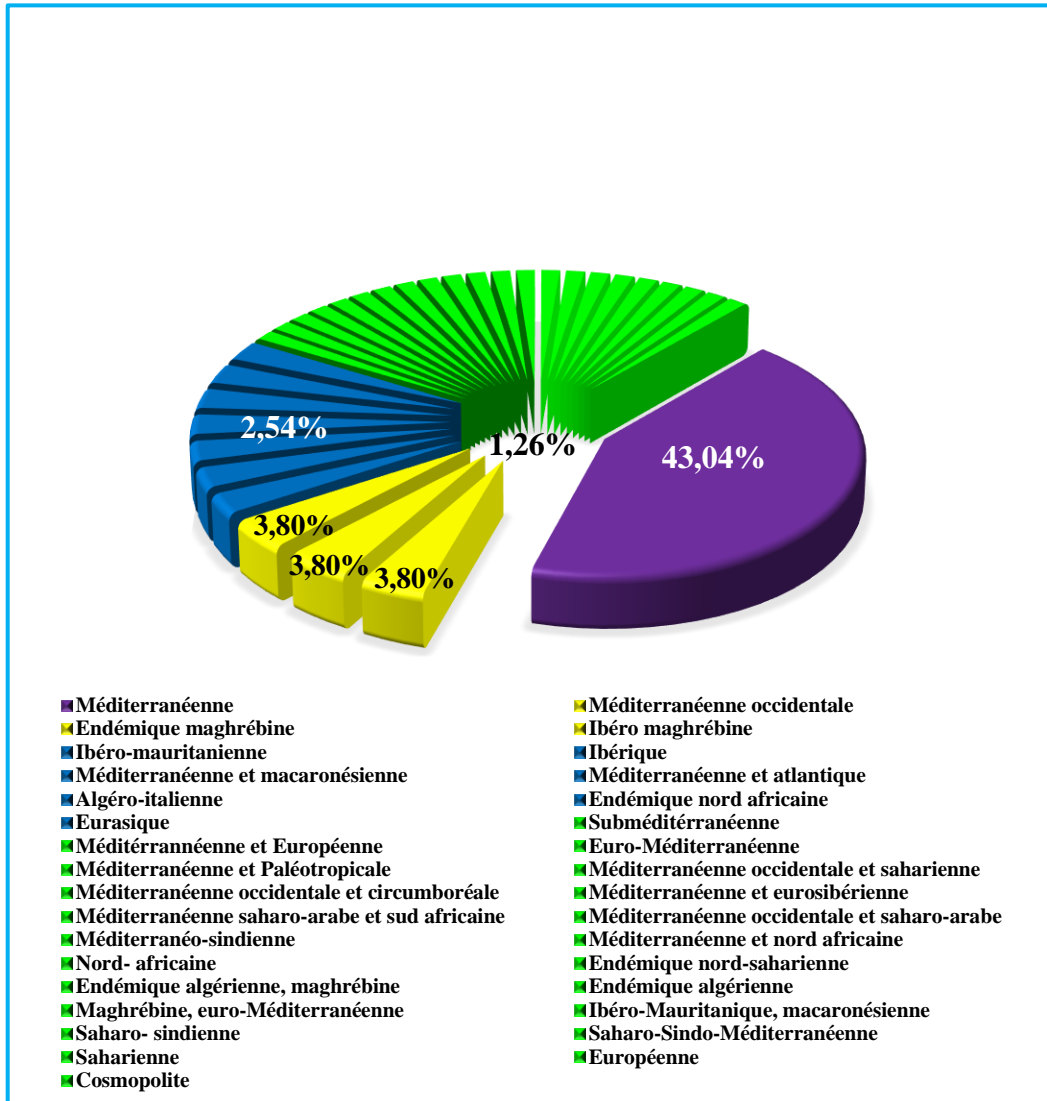
**Figure 15:** Types végétatifs des espèces des relevés floristiques 1 (a) et 2 (b).

### **3.2.1.5. Types biogéographiques des communautés floristiques de la station d'étude :**

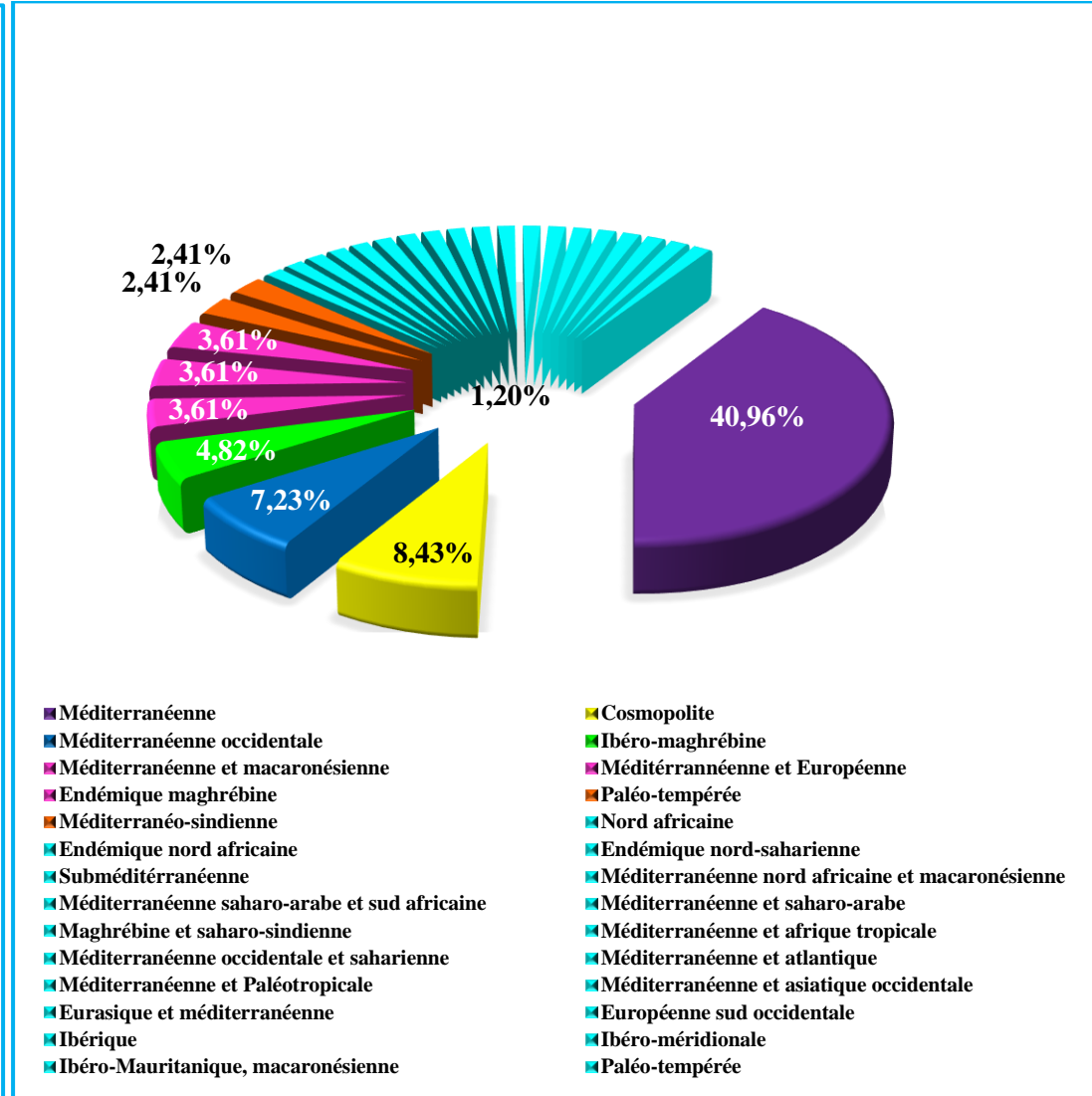
Les relevés floristiques effectués dans cette étude abritent une composante très riche sur le plan types biogéographiques avec 33 types loin du figuier de Barbarie (**Figure 16 a**). Nous remarquons que les espèces à biogéographie méditerranéenne stricte représentent presque la moitié des taux avec 43,04% (soit 34 espèces), le reste des 45 espèces de ces relevés floristiques présentent des taux qui varient de 01,26% à 03,80% pour chacun des 32 types restants (1 à 3 espèces par type biogéographique).

Pour les relevés de la végétation spontanée rencontrée au périmètre de notre espèce agricole, 28 types biogéographiques ont été recensés. Les espèces à biogéographie méditerranéenne restent les plus abondantes avec 40,96% du total (34 espèces), en seconde position viennent les espèces cosmopolites avec 08,43% (7 espèces recensées), puis les espèces à répartition méditerranéenne occidentale (07,23%), le reste des 25 types biogéographiques de ces relevés se présentent avec 1 à 4 espèces par type, soit de 01,20% à 04,82% des taux (**Figure 16 b**).





a

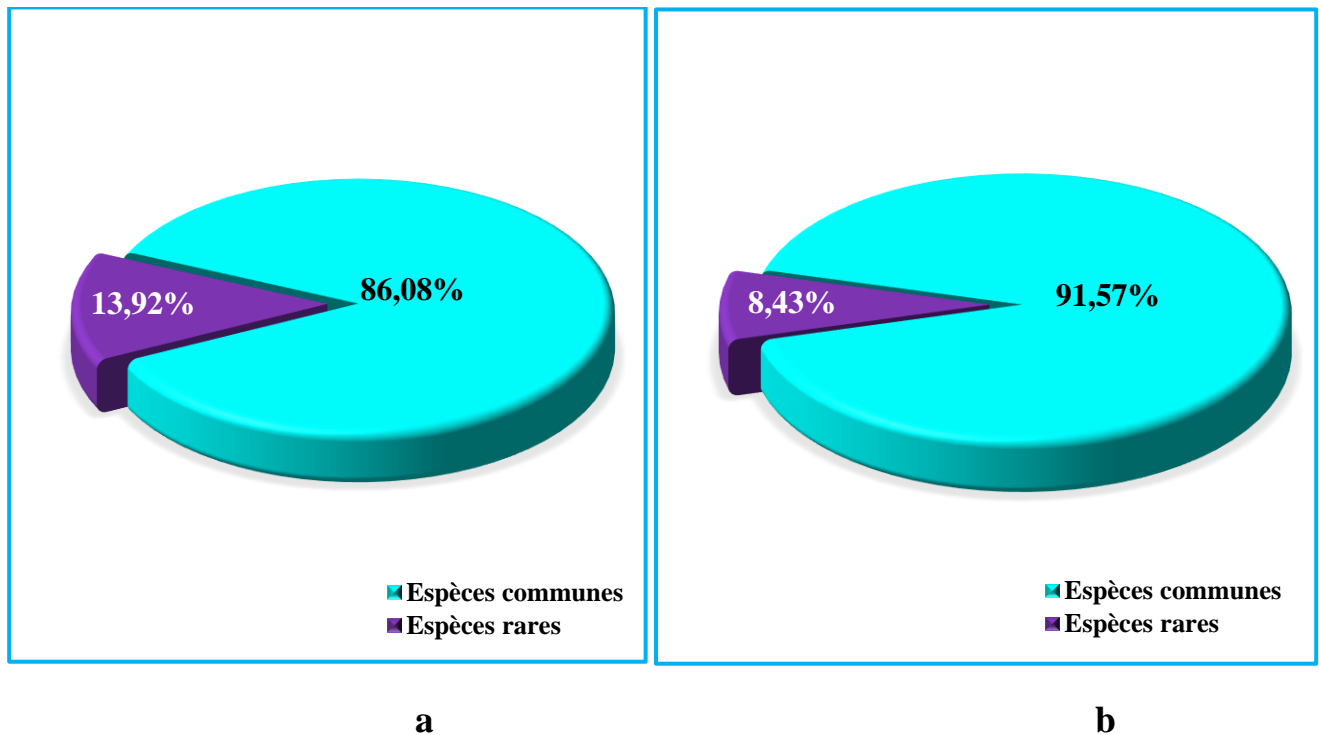


b

Figure 16: Types biogéographiques des espèces des relevés floristiques loin (a) et au périmètre (b) du figuier de Barbarie.

### 3.2.1.6. Rareté au sein des relevés floristiques de la station d'étude :

Des 79 espèces issues des relevés floristiques loin du périmètre du figuier de Barbarie, 68 sont communes, soit 86,08% du total, et 11 de type rare avec 13,92% (**Figure 17 a**). Pour les 83 espèces inventoriées au périmètre du figuier de Barbarie, 76 d'entre elles sont communes, soit 91,57% et 7 espèces (08,43%) sont de type rare en général (**Figure 17 b**).

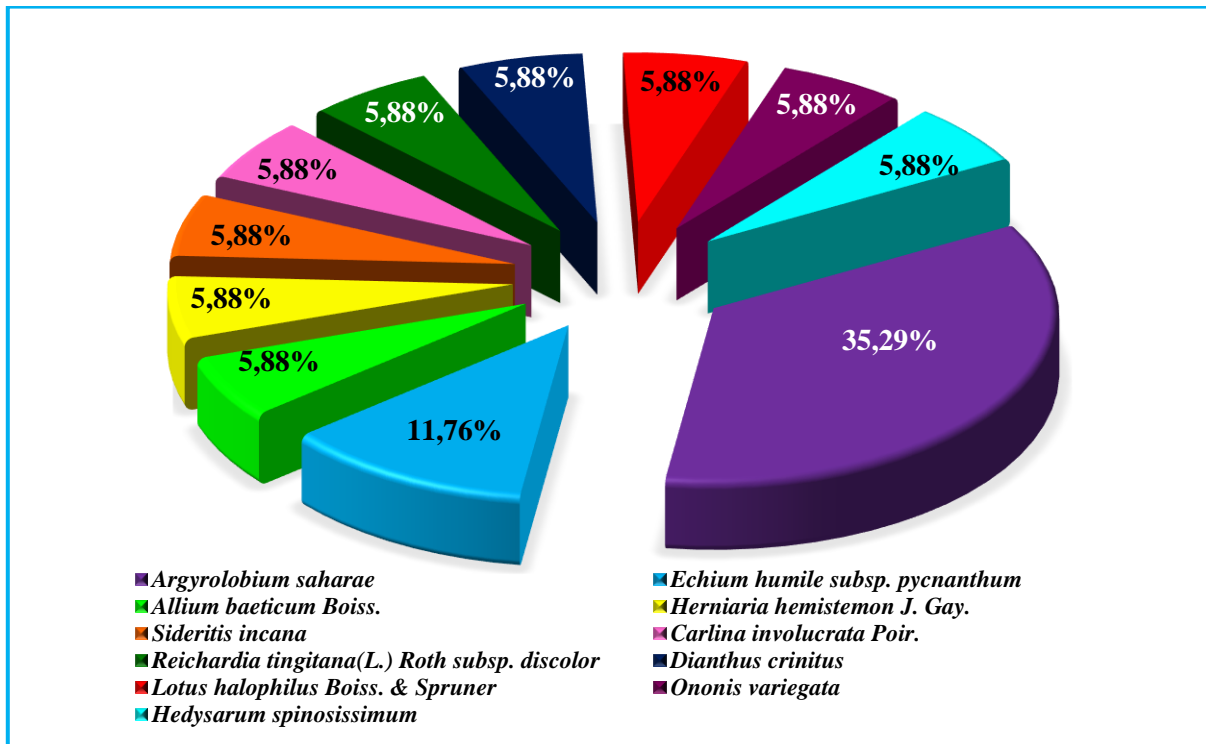


**Figure 17:** Taux des espèces communes et rares dans les relevés floristiques effectués loin (a) et au périmètre (b) du figuier de Barbarie.

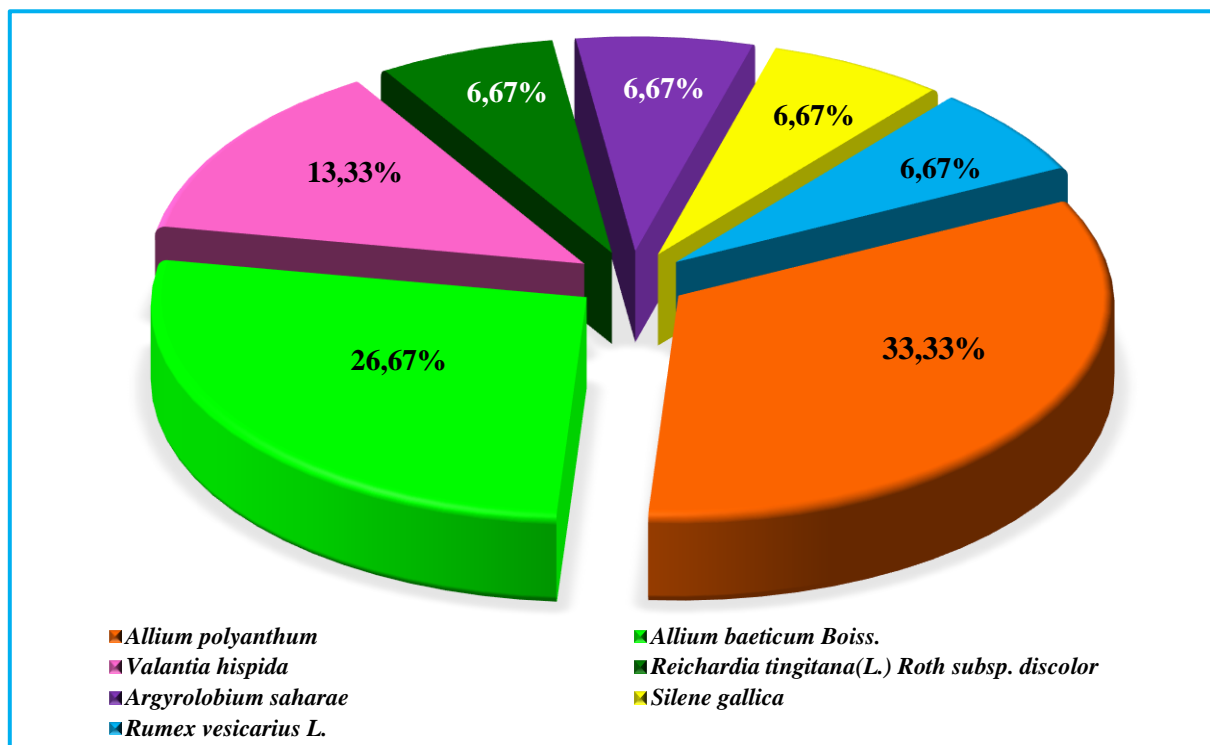
Pour ce qui est des 11 espèces de la catégorie rare présentes dans les relevés floristiques loin du périmètre du figuier de Barbarie, 4 d'entre elles sont assez rares, 6 rares, et une seule espèce est très rare, avec un total de 17 individus. La Fabaceae : *Argyrolobium saharae* Pomel. (rare) occupe plus du tiers du nombre des individus avec 35,29%. Pour les 10 autres espèces, elles ont présenté entre 1 et 2 individus chacune, soit entre 05,88% et 11,76% (**Figure 18 a**).

Des 7 espèces présentes avec 15 individus dans les relevés floristiques du périmètre d'*Opuntia maxima*, 6 d'entre-elles ont été de type rare, parmi lesquelles, les deux Alliaceae : *Allium polyanthum* et *Allium baeticum* Boiss. Ces dernières ont présenté 33,33% et 26,67% respectivement des taux du nombre d'individus, les 4 autres espèces ne se présentent chacune que par 06,67% à 13,33% des taux. Une seule espèce a été de type très rare, il s'agit de la

Polygonaceae : *Rumex vesicarius* L. qui a enregistré 06,67% des taux du nombre d'individus (Figure 18 b).



a



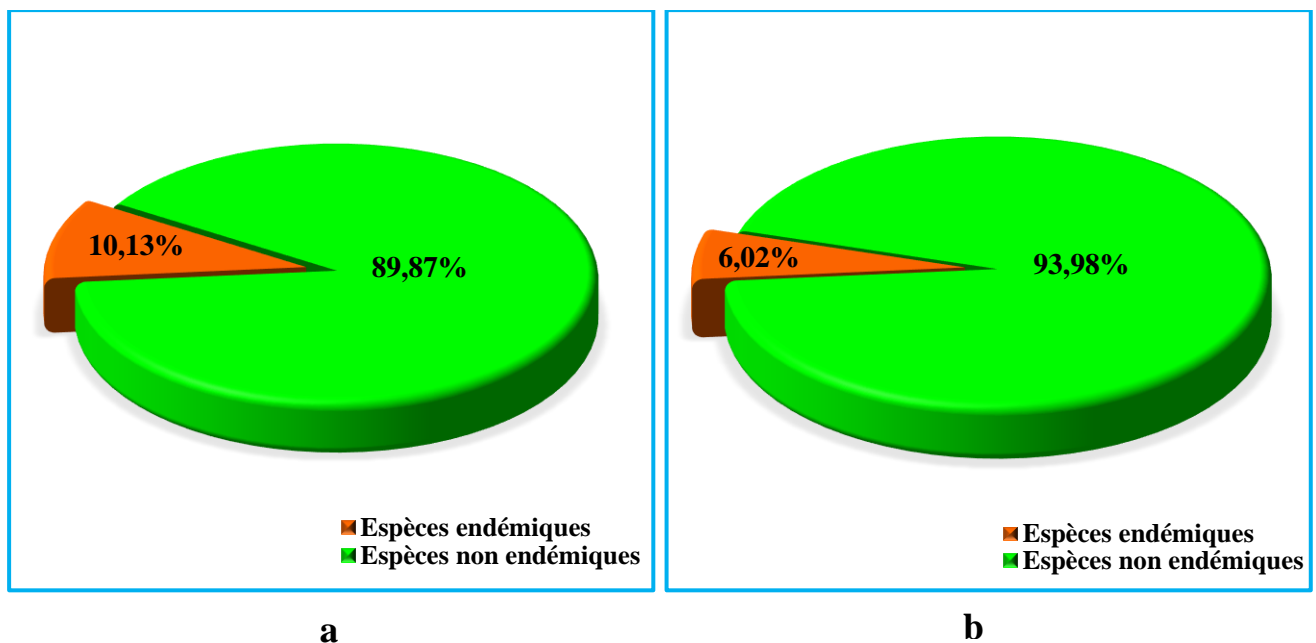
b

**Figure 18:** Taux du nombre d'individus des espèces rares rencontrées dans les relevés floristiques loin (a) et au périmètre (b) d'*Opuntia maxima*.

### 3.2.1.7. L'endémisme au sein des relevés floristiques de la station d'étude :

Sur les relevés floristiques effectués loin du périmètre du figuier de Barbarie, 8 des espèces inventoriées espèces sont endémiques (10,13%), les 71 autres espèces (89,87%) ne le sont pas (Figure 19 a).

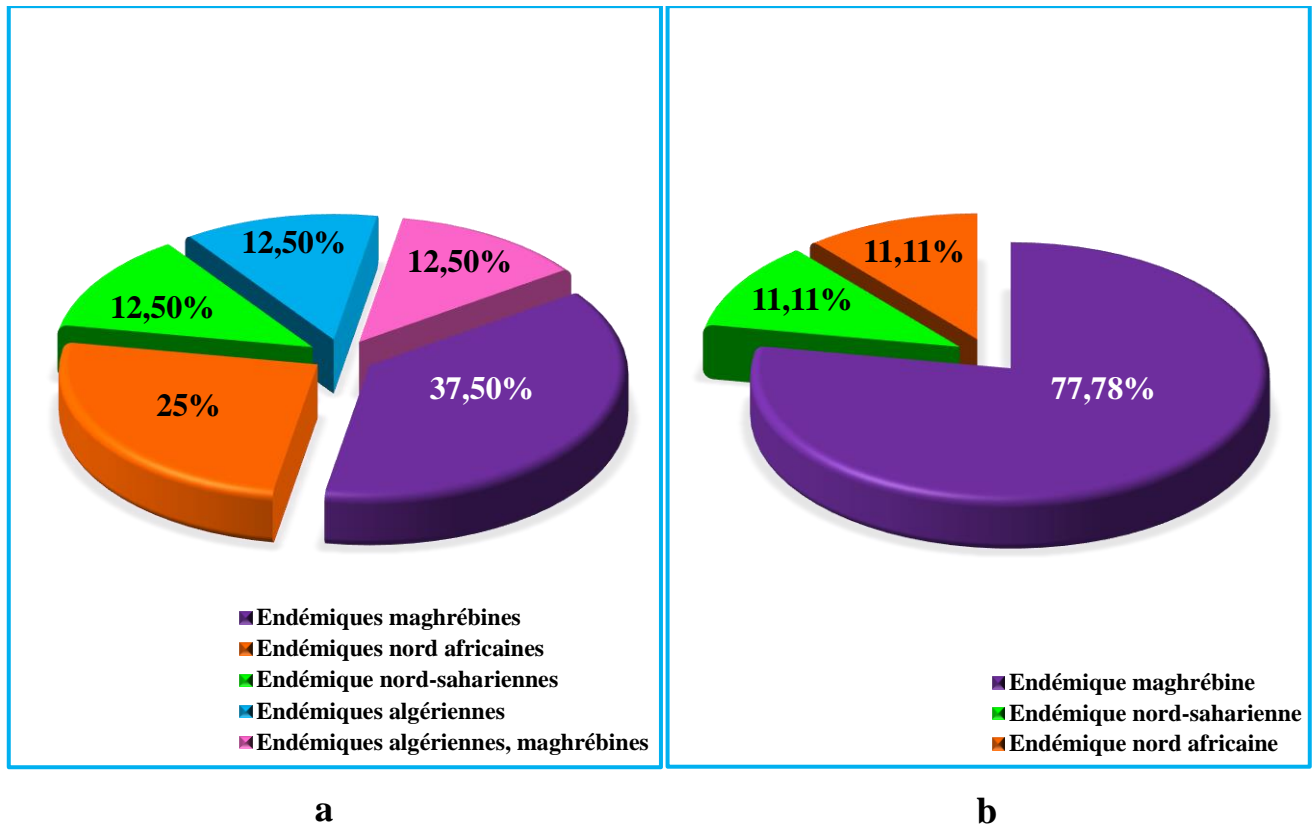
Les espèces des relevés floristiques du périmètre du figuier de Barbarie se répartissent en 06,02% endémiques (5 espèces) et 78 espèces (93,98%) qui ne présentent pas ce caractère (Figure 19 b).



**Figure 19:** Taux des espèces endémiques dans les relevés floristiques 1 (a) et 2 (b).

Les 8 espèces endémiques inventoriées au sein des relevés floristiques 1 se présentent avec 27 individus au total, elles se répartissent en 5 types : les endémiques maghrébines avec 37,50%, les endémiques nord africaines avec 25%, les reste des espèces (endémiques nord sahariennes, endémiques algériennes et les endémiques maghrébines) se présentent chacune avec 12,50% du nombre total des individus endémiques (Figure 20 a).

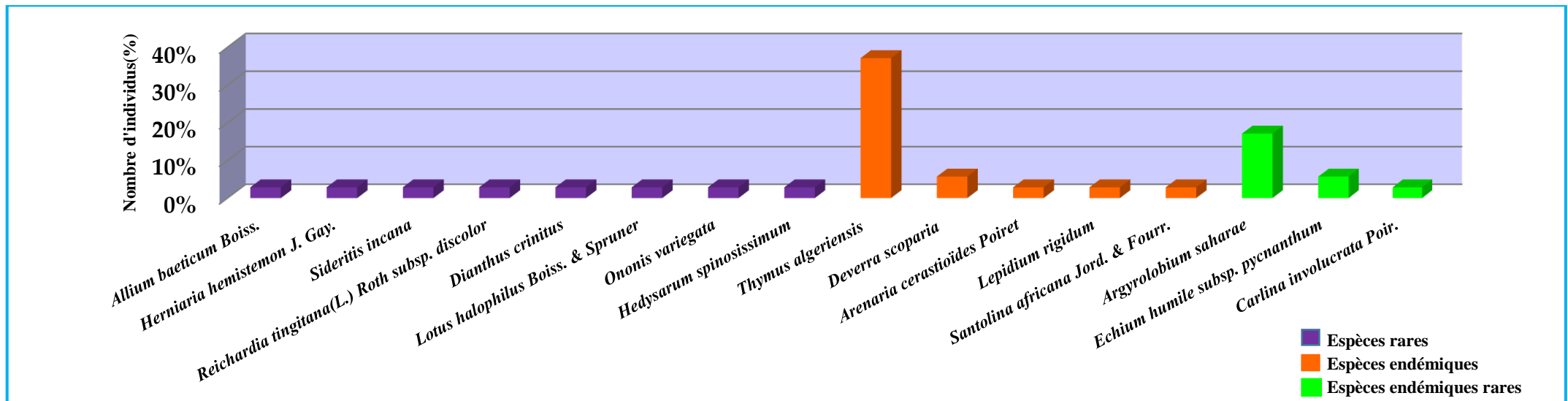
Pour les 5 espèces endémiques (9 individus) des relevés floristiques du périmètre du figuier de Barbarie, elles se répartissent en 3 types : endémiques maghrébines avec 77,78%, endémiques nord africaines et endémiques nord sahariennes avec 11,11% pour chaque type (Figure 20 b).



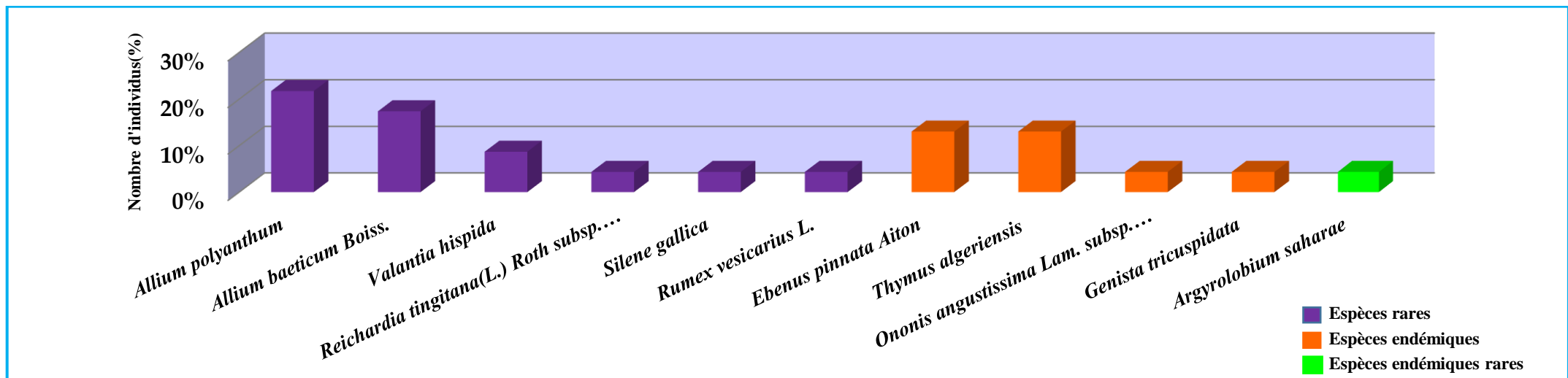
**Figure 20:** Taux du nombre d'individus des espèces selon le type d'endémisme dans les relevés floristiques loin (a) et au périmètre (b) du figuier de Barbarie.

Les répartitions selon les effectifs (%) des espèces rares, endémiques, et endémiques rares dans les relevés floristiques loin du périmètre du figuier de Barbarie sont représentées dans l'histogramme de la **Figure 21 a**. Ceci nous permis de distinguer 16 espèces à caractère spécifique dont trois endémiques rares, il s'agit pour cette dernière catégorie des espèces suivantes: *Argyrolobium saharae* Pomel. qui présente 17,14% des taux, *Echium humile* subsp. *pyncanthum* présente avec 05,71% des taux et *Carlina involucrata* Poir. avec 02,86% du taux global des individus des 3 catégories (rae, endémique, endémique rare).

La même chose a été faite pour les espèces issues des relevés floristiques du périmètre du figuier de Barbarie, ceci nous a permis de recenser 11 espèces parmi lesquelles une seule est endémique rare, il s'agit d'*Argyrolobium saharae* Pomel. qui présente 04,35% du taux global de ces espèces à caractère spécifique, ces résultats sont mentionnés dans l'histogramme de la **Figure 21 b**.



a



b

Figure 21: Taux du nombre des individus pour les espèces rares, endémiques et endémiques rares dans les relevés floristiques 1 (a) et 2 (b).

Le **Tableau 05** résume le statut des espèces endémiques rares, nous remarquons que malgré son caractère endémique maghrébin et son statut rare, l'espèce *Echium humile* subsp. *pyncnanthum* est non encore protégée par le **J.O.R.A, 2012**, de même pour *Carlina involucrata* Poir., endémique algérienne, maghrébinne et à statut assez rare.

**Tableau 05:** Statut des taxons endémiques rares observés dans la station d'étude.

Taxons	Endémisme (Pignatti, 1982)	Rareté (Quézel et Santa, 1962-1963)	Statut (J.O.R.A, 2012)
<i>Argyrolobium saharae</i> Pomel.	Endémique nord-saharienne	<b>R</b>	<b>P</b>
<i>Echium humile</i> subsp. <i>pyncnanthum</i>	Endémique maghrébine	<b>R</b>	/
<i>Carlina involucrata</i> Poir.	Endémique algérienne, maghrébine	<b>AR</b>	/

### 3.2.2. Les paramètres écologiques :

D'après les valeurs moyennes des paramètres écologiques utilisés dans cette étude (**Tableau 06**), pour les relevés floristiques 1, nous remarquons que la richesse spécifique moyenne (**S**) est de  $70,00 \pm 05,66$ , l'indice de Shanon et Weaver (**H'**) moyen est de  $04,138 \pm 0,122$ , il est très proche de la valeur théorique maximale **H'max** qui a présenté une moyenne de  $04,525 \pm 0,677$ . Ces valeurs rapprochées expliquent la valeur de l'indice d'équitabilité **E** obtenue, avoisinant la valeur maximale théorique de cet indice (=1).

Pour ce qui est des paramètres écologiques calculés à partir des relevés floristiques 2 (**Tableau 06**), ils ont présenté une richesse spécifique (**S**) moyenne de  $64,50 \pm 23,33$  avec un indice de Shanon et Weaver (**H'**) moyen de  $03,872 \pm 0,645$  et un indice moyen d'équitabilité qui reste élevé ( $0,887 \pm 0,077$ ).

En comparant composition floristique des deux relevés par le biais du calcul de l'indice de similarité de SÖRENSEN (**IS**), nous remarquons que nos deux relevés floristiques R1 et R2 n'ont pas une grande ressemblance du point de vue de la composition spécifique (36 espèces communes uniquement sur les 126 espèces inventoriées au total), ainsi qu'en témoigne la valeur moyenne de cet indice qui est de  $27,22\% \pm 0,08\%$ .

**Tableau 06:** Les paramètres écologiques des relevés floristiques d'étude (S, H', H'max, E, IS).

Relevés	Richesse spécifique (S)	La diversité : Indice Shannon et weaver (H')	La diversité maximale (H'max)	Équitabilité : E	Indice de Sorensen : IS
Relevés floristiques 1	70,00 ± 05,66	04,138 ± 0,122	4,525 ± 0,677	0,919 ± 0,016	27,22% ± 0,08%
Relevés floristiques 2	64,50 ± 23,33	03,872 ± 0,645	4,327 ± 0,317	0,887 ± 0,077	

### **3.3. Statut mycorhizien et potentiel mycorhizogène :**

#### **3.3.1. La mycorhization des plantes récoltées loin et au périmètre du figuier de Barbarie :**

##### **3.3.1.1. La mycorhization des plantes récoltées loin du figuier de Barbarie :**

Au sein de notre station, 72 espèces des 79 inventoriées au sein des relevés floristiques loin du périmètre d'*Opuntia maxima* ont été mycorhizées (**Tableau 07**). Ci-après, le détail des paramètres de colonisation des racines des espèces regroupées par familles au sein de ces relevés :

##### **3.3.1.1.1. Les Asteraceae : (Tableau 07)**

Les 17 espèces appartenant à la famille des Asteraceae de relevés floristiques 1, ont été mycorhizées à une fréquence de 80% à 100%.

Pour les valeurs de M% qui représentent la proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier, elles varient entre 24,43% et 70%.

La teneur arbusculaire de la colonisation ramenée au système racinaire entier (A%) présente des valeurs faibles à assez moyennes variant entre 01,03% et 31,32%.

##### **3.3.1.1.2. Les Fabaceae : (Tableau 07)**

Les 8 espèces appartenant à cette famille, inventoriées loin du périmètre du figuier de Barbarie ont été mycorhizées à une fréquence allant de 80% à 100%.



Les valeurs de M% quant à elles ont varié entre 07,97% pour *Medicago murex Willd.* et 95% chez *Ononis variegata*.

Pour ce qui est des valeurs enregistrées pour A%, elles varient entre 01,39% pour *Medicago murex Willd.* et 80% pour *Hedysarum spinosissimum*.

#### **3.3.1.1.3. Les Lamiaceae : (Tableau 07)**

Huit espèces appartenant à cette famille ont été prélevées loin du figuier de Barbarie, elles ont présenté une fréquence de mycorhization de 91,50% à 100%. Pour les valeurs de M%, elles varient entre 39,58% et 69,50.

La teneur arbusculaire (A%) pour les espèces de cette famille a été assez faible à moyenne, a varié entre 12,45% et 53,52%.

#### **3.3.1.1.4. Les Poaceae : (Tableau 07)**

Cette famille regroupe 7 espèces pour les relevés floristiques 1 avec une fréquence de mycorhization entre 83% et 100%. Les valeurs de M% ont varié entre 24,97% chez *Bromus hordeaceus L.* et 54,20% chez *Aegilops triuncialis*.

Concernant les valeurs de A%, elles ont varié entre 08,38% chez *Bromus hordeaceus L.* et 34,37% chez *Aegilops triuncialis*.

#### **3.3.1.1.5. Les Plantaginaceae : (Tableau 07)**

Tous les fragments racinaires des 4 espèces appartenant à cette famille ont été mycorhizés à 100% à l'exception de *Plantago albicans*, cette espèce n'a pas présenté de mycorhizes. Pour ce qui est des valeurs de M%, nous avons enregistré 25,43% chez *Plantago lanceolata*, 48,33% chez *Plantago afra* et 49,50% chez *Plantago lagopus*.

En ce qui concerne A%, l'espèce *Plantago lanceolata* a présenté la plus faible valeur avec 09,35%, suivie de *Plantago lagopus* (16,75%) et *Plantago afra* (24,20%).

#### **3.3.1.1.6. Les Caryophyllaceae : (Tableau 07)**

Cette catégorie renferme aussi 4 espèces dont une seule n'a pas présenté de mycorhizes, il s'agit de *Dianthus crinitus*, le reste a mycorhizé à une fréquence allant de 80 à 100%.

21,33% comme valeur minimale de M%, a été enregistré pour *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams. et 69,50% est la valeur maximale enregistrée pour l'espèce *Arenaria cerastioides* Poiret.

Enfin, pour ce qui est des valeurs A%, elles varient entre 11,05% pour *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams. et 55,63% pour *Arenaria cerastioides* Poiret.

#### **3.3.1.1.7. Les familles à 3 espèces : (Tableau 07)**

Cette catégorie renferme deux familles : les Convolvulaceae et les Apiaceae dont toutes les espèces ont été mycorhizées à une fréquence de 93% à 100%.

Les valeurs de M% quant à elles, ont varié entre 13,97% pour la Convolvulaceae : *Cuscuta epithimum* et 95% pour l'Apiaceae : *Ammoides verticillata*, ces mêmes espèces ont présenté respectivement 12,45% et 31,67% de A%.

#### **3.3.1.1.8. Les familles à 2 espèces : (Tableau 07)**

Les 6 espèces appartenant à cette catégorie ont présenté une mycorhization à une fréquence allant de 97% et 100%, les valeurs de M% ont varié entre 17,50% chez *Reseda lutea* subsp. *neglecta* (Mull.) Ball. et 95% chez *Echium plantagineum*.

Concernant les valeurs obtenues de A%, les plus faibles valeurs ont été enregistrées chez les Resedaceae avec 0,30% et 04,87%, tandis que le plus fort taux a été enregistré chez *Echium plantagineum* avec 31,67%.

#### **3.3.1.1.9. Les familles à 1 espèce : (Tableau 07)**

Cette catégorie englobe 14 espèces de différentes familles récoltées loin du figuier de Barbarie, avec une fréquence de mycorhization élevée, entre 90% et 100%.

Les valeurs de M% enregistrées pour les espèces de cette catégorie varient entre 22,97% chez *Euphorbia peplus* et 70% chez *Corrigiola littoralis*, celles de A%, ont varié entre 02,81% chez *Herniaria hemistemon* J. Gay. et 55,63% chez *Ephedra alata*.

**Tableau 07:** Mycorhization des espèces issues des relevés floristiques loin du périmètre du figuier de Barbarie.

<b>Taxon</b>	<b>Famille</b>	<b>F%</b>	<b>M%</b>	<b>m%</b>	<b>a%</b>	<b>A%</b>
<i>Anacyclus clavatus</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	38,57%	38,57%	54,59%	21,05%
<i>Artemisia campestris</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	60,33%	60,33%	45,00%	27,15%
<i>Artemisia herba alba</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	50,00%	50,00%	4,73%	2,37%
<i>Atractylis caespitosa</i> Desf.	<b>Asteraceae</b>	100%	40,00%	40,00%	4,43%	1,95%
<i>Calendula arvensis</i>	<b>Asteraceae</b>	97%	24,43%	25,28%	4,20%	1,03%
<i>Carlina involucrata</i> Poir.	<b>Asteraceae</b>	80%	27,33%	34,17%	32,70%	8,94%
<i>Centaurea dimorpha</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	70,00%	70,00%	14,00%	9,80%
<i>Centaurea incana</i> Desf. subsp. <i>pubescens</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	70,00%	70,00%	19,00%	13,30%
<i>Crepis vesicaria</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	29,40%	29,40%	29,57%	8,69%
<i>Evax pygmaea</i>	<b>Asteraceae</b>	97%	34,87%	36,07%	51,55%	17,97%
<i>Launaea acanthoclada</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	68,37%	68,37%	45,81%	31,32%
<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass. subsp. <i>spinosa</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	30,73%	30,73%	52,44%	16,12%
<i>Reichardia picroides</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	54,20%	54,20%	44,56%	24,15%
<i>Reichardia tingitana</i> (L.) Roth subsp. <i>discolor</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	55,20%	55,20%	42,64%	23,54%
<i>Santolina africana</i> Jord. & Fourr.	<b>Asteraceae</b>	80%	27,33%	34,17%	32,70%	8,94%
<i>Scorzonera undulata</i> subsp. <i>deliciosa</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	50,00%	50,00%	7,14%	3,56%
<i>Scorzonera undulata</i> Vahl. subsp. <i>undulata</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	40,00%	40,00%	4,43%	1,95%
<i>Anagyris faetida</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	40,97%	40,97%	23,15%	9,48%
<i>Argyrolobium saharae</i> Pomel.	<b>Fabaceae</b>	100%	30,37%	30,37%	57,45%	17,45%

<i>Hedysarum spinosissimum</i>	<b>Fabaceae</b>	80%	27,33%	34,17%	32,70%	80,00%
<i>Lotus halophilus</i> Boiss. & Spruner	<b>Fabaceae</b>	83%	24,97%	29,96%	33,58%	8,38%
<i>Medicago murex</i> Willd.	<b>Fabaceae</b>	100%	7,97%	7,97%	17,41%	1,39%
<i>Ononis alba</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	82,50%	82,50%	34,51%	28,47%
<i>Ononis variegata</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	95,00%	95,00%	33,33%	31,67%
<i>Tetragonolobus biflorus</i> (Desr) DC	<b>Fabaceae</b>	100%	60,87%	60,87%	33,00%	20,09%
<i>Ajuga iva</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	49,03%	49,03%	38,52%	18,89%
<i>Marrubium alysson</i> L.	<b>Lamiaceae</b>	96,66%	40,61%	40,61%	24,93%	12,45%
<i>Sideritis incana</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	49,17%	49,17%	32,07%	15,77%
<i>Teucrium capitatum</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	69,50%	69,50%	80,05%	55,63%
<i>Teucrium flavum</i> L.	<b>Lamiaceae</b>	91,50%	39,58%	42,08%	48,49%	21,37%
<i>Teucrium polium</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	59,00%	59,00%	90,71%	53,52%
<i>Teucrium pseudochamaepitys</i> L.	<b>Lamiaceae</b>	100%	59,33%	59,33%	56,06%	35,70%
<i>Thymus algeriensis</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	52,53%	52,53%	63,59%	33,40%
<i>Aegilops triuncialis</i>	<b>Poaceae</b>	100%	54,20%	54,20%	63,41%	34,37%
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	<b>Poaceae</b>	83%	24,97%	29,96%	33,58%	8,38%
<i>Catapodium rigidum</i> (L.) C.E. Hubb.	<b>Poaceae</b>	93%	30,90%	33,11%	43,69%	13,50%
<i>Hyparrhenia hirta</i>	<b>Poaceae</b>	100%	32,10%	32,10%	29,36%	9,42%
<i>Lygeum spartum</i> L.	<b>Poaceae</b>	96,50%	42,55%	43,65%	53,55%	23,95%
<i>Stipa parviflora</i> Desf.	<b>Poaceae</b>	100%	49,17%	49,17%	32,07%	15,77%

<i>Stipa tenacissima</i>	<b>Poaceae</b>	100%	45,53%	45,53%	39,60%	18,03%
<i>Eruca pinnatifida</i> (Desf.) Pomel.	<b>Brassicaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Lepidium rigidum</i>	<b>Brassicaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire	<b>Brassicaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Matthiola tricuspidata</i>	<b>Brassicaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Raphanus raphanistrum</i>	<b>Brassicaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Plantago afra</i>	<b>Plantaginaceae</b>	100%	48,33%	48,33%	50,07%	24,20%
<i>Plantago albicans</i>	<b>Plantaginaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Plantago lagopus</i>	<b>Plantaginaceae</b>	100%	49,50%	49,50%	33,84%	16,75%
<i>Plantago lanceolata</i>	<b>Plantaginaceae</b>	100%	25,43%	25,43%	36,76%	9,35%
<i>Arenaria cerastioides</i> Poiret	<b>Caryophyllaceae</b>	100%	69,50%	69,50%	80,05%	55,63%
<i>Dianthus crinitus</i>	<b>Caryophyllaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Paronychia arabica</i>	<b>Caryophyllaceae</b>	80%	33,23%	41,54%	35,72%	11,87%
<i>Rhodalsine geniculata</i> (Poiret) F.N. Williams	<b>Caryophyllaceae</b>	90%	21,33%	23,70%	51,81%	11,05%
<i>Ammoides verticillata</i>	<b>Apiaceae</b>	100%	95,00%	95,00%	33,33%	31,67%
<i>Deverra scoparia</i>	<b>Apiaceae</b>	93%	30,37%	32,54%	47,83%	14,52%
<i>Helosciadium nodiflorum</i>	<b>Apiaceae</b>	100%	62,33%	62,33%	22,41%	13,97%
<i>Convolvulus althaeoides</i>	<b>Convolvulaceae</b>	97%	43,80%	45,31%	50,33%	22,04%
<i>Convolvulus cantabrica</i> L.	<b>Convolvulaceae</b>	97%	57,17%	59,14%	47,76%	27,30%
<i>Cuscuta epithimum</i>	<b>Convolvulaceae</b>	96,66%	40,61%	40,61%	24,93%	12,45%

<i>Echium humile</i> subsp. <i>pycnanthum</i>	<b>Boraginaceae</b>	97%	37,03%	38,31%	43,67%	16,17%
<i>Echium plantagineum</i>	<b>Boraginaceae</b>	100%	95,00%	95,00%	33,33%	31,67%
<i>Fumana thymifolia</i>	<b>Cistaceae</b>	100%	45,53%	45,53%	39,60%	18,03%
<i>Helianthemum cinereum</i> subsp. <i>rotundifolium</i> (Dunal) Greuter & Burdet	<b>Cistaceae</b>	80%	35,50%	44,38%	29,06%	10,32%
<i>Reseda alba</i>	<b>Resedaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	1,00%	0,30%
<i>Reseda lutea</i> subsp. <i>neglecta</i> (Mull.) Ball.	<b>Resedaceae</b>	100%	17,50%	17,50%	27,81%	4,87%
<i>Allium baeticum</i> Boiss.	<b>Alliaceae</b>	93%	51,23%	51,23%	46,86%	24,01%
<i>Asparagus horridus</i>	<b>Asparagaceae</b>	100%	56,00%	56,00%	62,53%	35,02%
<i>Lomelosia stellata</i> L. Raf.	<b>Dipsacaceae</b>	100%	45,57%	45,57%	30,70%	13,99%
<i>Ephedra alata</i>	<b>Ephedraceae</b>	100%	69,50%	69,50%	80,05%	55,63%
<i>Euphorbia peplus</i>	<b>Euphorbiaceae</b>	97%	22,97%	23,76%	25,52%	5,86%
<i>Erodium moschatum</i>	<b>Geraniaceae</b>	100%	30,60%	30,60%	72,33%	22,13%
<i>Globularia alypum</i>	<b>Globulariaceae</b>	97%	57,17%	59,14%	47,76%	27,30%
<i>Dipcadi serotinum</i>	<b>Hyacinthaceae</b>	97%	43,80%	45,31%	50,33%	22,04%
<i>Herniaria hemistemon</i> J. Gay.	<b>Illicerbaceae</b>	98,33%	24,20%	24,51%	15,83%	2,81%
<i>Tripodion tetraphyllum</i> (L.) Fourr.	<b>Mimosaceae</b>	97%	50,83%	52,59%	44,33%	22,53%
<i>Corrigiola litoralis</i>	<b>Molluginaceae</b>	100%	70,00%	70,00%	29,67%	20,77%
<i>Rumex bucephalophorus</i>	<b>Polygonaceae</b>	100%	67,53%	67,53%	24,04%	16,24%
<i>Anagallis arvensis</i>	<b>Primulaceae</b>	90%	43,53%	48,37%	17,43%	7,59%
<i>Sanguisorba minor</i>	<b>Rosaceae</b>	100%	49,53%	49,53%	54,24%	26,87%

**3.3.1.2. La mycorhization des plantes issues du périmètre du figuier de Barbarie:**

82 des 83 espèces inventoriées au périmètre d'*Opuntia maxima* ont été mycorhizées (**Tableau 08**), selon leur appartenance aux familles, les taux des paramètres de colonisation de leurs racines ont été enregistrés comme suit :

**3.3.1.2.1. Les Asteraceae : (Tableau 08)**

19 espèces appartenant à la famille des Asteraceae ont été inventoriées et récoltées au périmètre du figuier de Barbarie, elles ont toutes été mycorhizées à 100%.

Pour les valeurs de M%, nous remarquons qu'elles présentent une large variabilité allant de 05% chez *Hedypnois arenaria* (Schousboe) DC. à 95% pour *Artemisia herba alba*. Quant à la teneur arbusculaire de la colonisation ramenée au système racinaire entier (A%), elle a présenté des valeurs entre très faibles (0,03%) et assez moyennes (31,67%) respectivement chez les mêmes espèces précédentes.

**3.3.1.2.2. Les Poaceae : (Tableau 08)**

Cette famille regroupe 12 espèces dans ces relevés floristiques, elles ont toutes enregistré une fréquence de mycorhization de 100%. Les valeurs de M% ont varié entre 30% chez *Bromus diandrus* et *Phalaris paradoxa* L. et 82,50% chez *Stipa parviflora* Desf.

Concernant les valeurs (A%) obtenues, elles ont varié entre 1% chez *Bromus hordeaceus* L. et 41,95% chez *Stipa retorta* Cav.

**3.3.1.2.3. Les Fabaceae : (Tableau 08)**

Les 7 espèces appartenant à cette famille qui ont été inventoriées loin du périmètre du figuier de Barbarie ont été toutes mycorhizées à 100%.

Les valeurs de M% quant à elles ont varié entre 05% pour *Genista tricuspidata*. et 95% chez *Ononis angustissima* Lam. subsp. *polyclada*.

Enfin, pour ce qui est des valeurs enregistrées pour A%, elles varient entre 0,03% et 31,67% respectivement pour les mêmes espèces précédentes.

**3.3.1.2.4. Les Lamiaceae : (Tableau 08)**

Toutes les 5 espèces prélevées loin du périmètre du figuier de Barbarie de cette famille ont été mycorhizées à 100%.

Pour les valeurs de M%, nous remarquons qu'elles ont varié entre 32,53% et 70%. La teneur arbusculaire de la colonisation ramenée au système racinaire entier (A%) présentent des valeurs variables entre 2,50% et 16,38%.

**3.3.1.2.5. Les Caryophyllaceae : (Tableau 08)**

Tous les fragments racinaires observés à partir des 5 espèces appartenant à cette famille ont été mycorhizés à une fréquence allant de 90 à 100%. Pour ce qui est des valeurs M%, la plus faible a été enregistrée chez *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams avec 21,33%, tandis que la maxima a été enregistrée pour *Dianthus caryophyllus* avec 82,50%. En ce qui concerne les valeurs A%, la minima a été enregistrée pour l'espèce *Paronychia arabica* avec 05,67%, tandis que la maxima a été de 28,47% pour *Dianthus caryophyllus*.

**3.3.1.2.6. Les familles à 3 espèces : (Tableau 08)**

Cette catégorie renferme 03 familles : les Apiaceae, les Asparagaceae et les Polygonaceae, ces 09 espèces récoltées au périmètre du figuier de Barbarie ont été mycorhizées à une fréquence de 100% chacune.

La plus forte valeur enregistrée de M% a été obtenue pour *Asparagus horridus* avec 95%, tandis que les 3 Polygonaceae de cette catégorie ont présenté le seuil minima avec 30%.

En ce qui concerne les valeurs A%, elles varient entre 0,50% et 0,80% pour les Polygonaceae et 31,67% pour *Asparagus horridus*.

**3.3.1.2.7. Les familles à 2 espèces : (Tableau 08)**

Les 12 espèces appartenant à cette catégorie ont présenté une fréquence de mycorhization variant entre 96,66% et 100%, les valeurs de M% ont varié entre 26,33% chez *Allium polyanthum* et 82,50% chez *Echium plantagineum*.

Concernant les valeurs obtenues de A%, les plus faibles ont été enregistrées chez les 2 Cistaceae : *Helianthemum cinereum* subsp. *rotundifolium* (Dunal) Greuter & Burdet et *Eruca versicaria* (L.) Cav. subsp. *versicaria* avec 03,67% et 06,76% respectivement, tandis que le plus fort taux a été obtenu pour *Echium plantagineum* avec 59,17%.

**3.3.1.2.8. Les familles à 1 espèce : (Tableau 08)**

Cette catégorie à 14 espèces de différentes familles, a présenté une fréquence de mycorhization entre 93,33% et 100%, à l'exception de la Brassicaceae : *Sinapis arvensis* qui est incapable de mycorhizer. Les valeurs de M% enregistrées pour les espèces de cette catégorie varient entre 17,50% chez la Linaceae : *Linum bienne* Mill. et 65% chez la Primulaceae : *Anagalis arvensis*.

Quant aux valeurs A%, elles ont varié entre 0,52% chez *Linum bienne* Mill. et 30% chez *Nigella damascena*.



**Tableau 08:** Mycorhization des espèces issues des relevés floristiques au périmètre du figuier de Barbarie.

<b>Taxon</b>	<b>Famille</b>	<b>F%</b>	<b>M%</b>	<b>m%</b>	<b>a%</b>	<b>A%</b>
<i>Anacyclus clavatus</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	34,28%	34,28%	29,63%	11,22%
<i>Andryala integrifolia</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	61,50%	61,50%	18,08%	11,12%
<i>Artemisia herba alba</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	95,00%	95,00%	33,33%	31,67%
<i>Atractylis cancellata</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	30,00%	30,00%	3,64%	1,40%
<i>Calendula arvensis</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	16,50%	16,50%	3,77%	0,97%
<i>Catananche caerulea</i> L.	<b>Asteraceae</b>	100%	63,37%	63,37%	32,91%	20,85%
<i>Centaurea dimorpha</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	82,50%	82,50%	17,29%	14,27%
<i>Chrysanthemum segetum</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	60,16%	60,16%	19,35%	12,98%
<i>Crepis vesicaria</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	70,00%	70,00%	10,33%	3,10%
<i>Cynara cardunculus</i> L.	<b>Asteraceae</b>	100%	68,17%	68,17%	42,05%	28,67%
<i>Echinops bovei</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	72,83%	72,83%	24,21%	17,63%
<i>Evax pygmaea</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	62,50%	62,50%	6,33%	1,90%
<i>Hedypnois arenaria</i> (Schousboe) DC.	<b>Asteraceae</b>	100%	5,00%	5,00%	0,67%	0,03%
<i>Launaea acanthoclada</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	50,00%	50,00%	4,73%	2,37%
<i>Pallenis spinosa</i> (L.)Cass. subsp. <i>spinosa</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	82,50%	82,50%	17,29%	14,27%
<i>Phagnalon saxatile</i> (L.) Cass subsp. <i>saxatile</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	55,17%	55,17%	26,10%	14,40%

<i>Reichardia tingitana</i> (L.) Roth. subsp. <i>discolor</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	5,00%	5,00%	0,67%	0,03%
<i>Scorzonera undulata</i> subsp. <i>deliciosa</i>	<b>Asteraceae</b>	100%	40,00%	40,00%	4,43%	1,95%
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	<b>Asteraceae</b>	100%	17,50%	17,50%	27,81%	4,87%
<i>Avena sterilis</i>	<b>Poaceae</b>	100%	68,33%	68,33%	42,20%	28,83%
<i>Bromus diandrus</i>	<b>Poaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	5,00%	1,00%
<i>Bromus rubens</i>	<b>Poaceae</b>	100%	53,40%	53,40%	33,16%	22,02%
<i>Cutandia maritima</i> (L.) Benth.	<b>Poaceae</b>	100%	70,00%	30,00%	12,33%	8,63%
<i>Cynodon dactylon</i>	<b>Poaceae</b>	100%	52,66%	52,66%	13,88%	8,36%
<i>Hyparrhenia hirta</i>	<b>Poaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	8,80%	4,40%
<i>Phalaris paradoxa</i> L.	<b>Poaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	71,67%	21,50%
<i>Piptatherum miliaceum</i>	<b>Poaceae</b>	100%	40,33%	40,33%	27,53%	11,10%
<i>Stipa parviflora</i> Desf.	<b>Poaceae</b>	100%	49,17%	49,17%	32,07%	15,77%
<i>Stipa retorta</i> Cav.	<b>Poaceae</b>	100%	82,50%	82,50%	50,85%	41,95%
<i>Stipa tenacissima</i>	<b>Poaceae</b>	100%	70,00%	70,00%	19,00%	13,30%
<i>Trachynia distachya</i> (L.) Link.	<b>Poaceae</b>	100%	70,00%	70,00%	14,00%	9,80%
<i>Argyrolobium saharae</i> Pomel.	<b>Fabaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	1,00%	0,30%
<i>Ebenus pinnata</i> Aiton	<b>Fabaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	7,14%	3,56%

<i>Genista tricuspidata</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	5,00%	5,00%	0,67%	0,03%
<i>Hyppocrepis ciliata</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	18,37%	18,37%	50,18%	9,22%
<i>Medicago murex</i> Willd.	<b>Fabaceae</b>	100%	47,62%	47,62%	11,98%	5,80%
<i>Ononis angustissima</i> Lam. subsp. <i>polyclada</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	95,00%	95,00%	33,33%	31,67%
<i>Scorpiurus muricatus</i>	<b>Fabaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	4,93%	2,47%
<i>Ajuga iva</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	59,51%	59,51%	26,09%	14,23%
<i>Marrubium vulgare</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	32,53%	32,53%	22,45%	7,30%
<i>Satureja graeca</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	51,17%	51,17%	32,02%	16,38%
<i>Teucrium polium</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	5,00%	2,50%
<i>Thymus algeriensis</i>	<b>Lamiaceae</b>	100%	70,00%	70,00%	7,67%	5,37%
<i>Dianthus caryophyllus</i>	<b>Caryophyllaceae</b>	100%	82,50%	82,50%	34,51%	28,47%
<i>Paronychia arabica</i>	<b>Caryophyllaceae</b>	93,33%	44,41%	47,18%	14,79%	5,67%
<i>Rhodalsine geniculata</i> (Poiret) F.N. Williams	<b>Caryophyllaceae</b>	90%	21,33%	23,70%	51,81%	11,05%
<i>Silene gallica</i>	<b>Caryophyllaceae</b>	100%	45,53%	45,53%	39,60%	18,03%
<i>Spergularia diandra</i> (Guss) Heldr. & Sart.	<b>Caryophyllaceae</b>	100%	70,00%	70,00%	12,33%	8,63%
<i>Ammoides verticillata</i>	<b>Apiaceae</b>	100%	82,50%	82,50%	20,77%	17,13%
<i>Eryngium maritimum</i>	<b>Apiaceae</b>	100%	40,03%	40,03%	13,91%	5,57%

<i>Torilis nodosa</i>	<b>Apiaceae</b>	100%	46,50%	46,50%	33,48%	15,57%
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	<b>Asparagaceae</b>	100%	59,51%	59,51%	26,09%	14,23%
<i>Asparagus albus</i>	<b>Asparagaceae</b>	100%	70,00%	70,00%	26,67%	18,67%
<i>Asparagus horridus</i>	<b>Asparagaceae</b>	100%	95,00%	95,00%	33,33%	31,67%
<i>Polygonum aviculare</i> L.	<b>Polygonaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	2,67%	0,80%
<i>Rumex bucephalophorus</i>	<b>Polygonaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	2,67%	0,80%
<i>Rumex vesicarius</i> L.	<b>Polygonaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	1,67%	0,50%
<i>Allium baeticum</i> Boiss.	<b>Alliaceae</b>	96,66%	40,61%	40,61%	24,93%	12,45%
<i>Allium polyanthum</i>	<b>Alliaceae</b>	100%	26,33%	26,33%	7,87%	1,89%
<i>Cynoglossum cheirifolium</i> L.	<b>Boraginaceae</b>	100%	69,83%	69,83%	37,52%	26,20%
<i>Echium plantagineum</i>	<b>Boraginaceae</b>	100%	82,50%	82,50%	59,17%	48,82%
<i>Eruca versicaria</i> (L.) Cav. subsp. <i>versicaria</i>	<b>Cistaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	6,76%	3,38%
<i>Helianthemum cinereum</i> subsp. <i>rotundifolium</i> (Dunal) Greuter & Burdet	<b>Cistaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	3,67%	1,10%
<i>Erodium moschatum</i>	<b>Geraniaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	8,73%	4,37%
<i>Geranium robertianum</i>	<b>Geraniaceae</b>	100%	67,53%	67,53%	24,04%	16,24%
<i>Dipcadi serotinum</i>	<b>Hyacinthaceae</b>	96,67%	43,80%	45,31%	50,33%	22,04%
<i>Drimia fugax</i>	<b>Hyacinthaceae</b>	100%	50,00%	50,00%	17,13%	8,57%

<i>Plantago afra</i>	<b>Plantaginaceae</b>	100%	54,58%	54,58%	18,01%	9,10%
<i>Plantago lagopus</i>	<b>Plantaginaceae</b>	100%	63,33%	63,33%	18,69%	12,50%
<i>Sinapis arvensis</i>	<b>Brassicaceae</b>	-	-	-	-	-
<i>Convolvulus cantabrica</i> L.	<b>Convolvulaceae</b>	96,67%	57,17%	59,14%	47,76%	27,30%
<i>Lomelosia stellata</i> L. Raf.	<b>Dipsacaceae</b>	100,00%	56,25%	56,25%	9,44%	6,56%
<i>Euphorbia peplus</i>	<b>Euphorbiaceae</b>	100,00%	30,00%	30,00%	2,67%	0,80%
<i>Moraea sisyrinchium</i>	<b>Iridaceae</b>	98,33%	24,20%	24,51%	15,83%	2,81%
<i>Linum bienne</i> Mill.	<b>Linaceae</b>	100%	17,50%	17,50%	2,95%	0,52%
<i>Corrigiola litoralis</i>	<b>Molluginaceae</b>	100%	40,00%	40,00%	4,17%	1,91%
<i>Anagallis arvensis</i>	<b>Primulaceae</b>	100%	65,00%	65,00%	11,44%	8,18%
<i>Nigella damascena</i>	<b>Ranunculaceae</b>	100%	30,00%	30,00%	7,00%	30,00%
<i>Reseda alba</i>	<b>Resedaceae</b>	100%	61,38%	61,38%	31,57%	19,38%
<i>Valantia hispida</i>	<b>Rubiaceae</b>	100%	46,53%	46,53%	25,47%	11,85%
<i>Thesium humile</i>	<b>Santalaceae</b>	93,33%	29,67%	31,79%	43,35%	12,86%
<i>Scrophularia canina</i>	<b>Scrophulariaceae</b>	96,67%	21,53%	22,28%	29,40%	6,33%
<i>Peganum harmala</i>	<b>Zygophyllaceae</b>	100%	38,63%	38,63%	14,81%	5,72%

En vue de comparer entre les paramètres des mycorhization des familles communes existantes (36 espèces communes) loin et au périmètre d'*Opuntia maxima*, une analyse statistique (ANOVA) a été effectuée. Cette analyse a permis de déduire qu'il existe une interaction significative entre Paramètres de mycorhization et Relevés. L'effet significatif d'interaction indique que l'effet des paramètres de mycorhization sur le changement des taux enregistrés dépend des relevés et vice versa (**Annexe 10**).

La majorité des plantes ont présenté des taux de mycorhization plus importants au périmètre du figuier de Barbarie. Pour les familles communes entre les deux relevés floristiques de cette étude, les Poaceae en général, ont présenté de meilleurs taux de M% au périmètre du figuier de Barbarie que plus loin. Chez les Asteraceae, les taux de M% ont été plus importants au périmètre du figuier de Barbarie pour *Artemisia herba alba*, *Crepis vesicaria* et *Evax pygmaea*, tandis que le contraire a été observé pour *Reichardia tingitana* (L.) Roth. subsp. *Discolor*.

Pour les Fabaceae, elles ont présenté des taux (M%) différents, loin et au périmètre du figuier de Barbarie. Ces taux ont été bas pour *Medicago murex* Willd. avec 7,97% et très élevés pour *Ononis variegata* (95%) et *Ononis alba* (82,50%) et ce, loin du périmètre du figuier de Barbarie. Au périmètre de cette espèce agricole, *Genista tricuspidata* a présenté le plus faible taux de M% (5%), tandis qu'un taux très élevé a été enregistré pour *Ononis angustissima* Lam. Subsp. *polyclada* avec 95%.

### **3.3.2. La mycorhization d'*Opuntia maxima* :**

#### **3.3.2.1. Étude des taux de mycorhization des racines d'*Opuntia maxima* dans les conditions expérimentales :**

On a testé l'efficiencia du Symbivit sur la mycorhization d'*Opuntia maxima* selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires. Neuf traitements (**Tableau 09**) ont été utilisés selon les doses (0%, 50%, 100%) de l'*inoculum* et de la matière organique. Un suivi de la mycorhization des racines d'*Opuntia maxima* sur trois années (2019-2021) a été effectué, les résultats enregistrés dans le cadre du suivi en fonction des traitements et des années sont mentionnés dans le **Tableau 09**.

### **3.3.2.1.1. La 1<sup>ère</sup> année (2019) : (Tableau 09)**

Tous les fragments racinaires récupérés à partir des plants des traitements (1 à 7) ont été mycorhizés à une fréquence de 100%, le reste des traitements 8 et 9 ont enregistré respectivement  $97,78\pm 03,85\%$  et  $95,56\pm 07,70\%$ .

En ce qui concerne les valeurs moyennes de l'intensité de la colonisation du cortex racinaire (M%), le taux le plus élevé a été enregistré pour le traitement 5 (50% I.C. + 50% M.O.) avec  $86,67\pm 07,22\%$ , tandis que le plus faible taux moyen de ce paramètre a été enregistré pour le traitement 4 (0% I.C. + 0% M.O.) avec  $31,83\pm 26,58\%$ .

Pour les valeurs moyennes du paramètre A%, qui représente la teneur arbusculaire de la colonisation ramenée au système racinaire entier, la minima a été de  $02,70\pm 03,83\%$  pour le traitement 4 et la maxima avec  $51,71\pm 06,80\%$  pour le traitement 5 (50% I.C.+ 50% M.O.).

### **3.3.2.1.2. La 2<sup>ème</sup> année (2020) : (Tableau 09)**

En deuxième année d'observation, les moyennes de F% ont varié entre  $85,56\pm 15,03\%$  pour le traitement 8 (100% I.C. + 50% M.O.) et 100% pour la majorité des autres traitements.

Pour les taux moyens de M%, ils sont entre  $19,67\pm 05,20\%$  pour le traitement 4 (0% I.C. + 100% de M.O.) et  $71,67\pm 07,33\%$  pour le traitement 6 (0% I.C. + 50% M.O.), le traitement 5 (50% I.C. + 50% M.O.) a aussi enregistré une valeur élevée de ce paramètre avec  $69,56\pm 19,55\%$ .

Les moyennes de A% ont présenté une minima de  $03,27\pm 04,02\%$  pour le traitement 1 (100% I.C. + 0% M.O.) et la maxima a été enregistrée pour le traitement 5 avec  $38,59\pm 20,58\%$ .

### **3.3.2.1.3. La 3<sup>ème</sup> année (2021) : (Tableau 09)**

Pour la troisième année de suivi, les fréquences moyennes F% ont présenté  $84,45\pm 13,47\%$  pour le traitement 7 (50% I.C. + 0% de M.O.), les moyennes de ce paramètre ont été au-dessus de 90% pour les traitements 5, 8 (100% I.C. + 50% M.O.) et 9 (50% I.C. + 100% M.O.), le reste des traitements a présenté 100% de fréquence moyenne.

Les moyennes du paramètre M% ont varié entre  $15,15\pm 06,67\%$  pour le traitement 8 et  $77,78\pm 07,91\%$  pour le traitement 1, sachant que le traitement 5 a aussi enregistré un taux élevé avec  $64,67\pm 10,26\%$ .

Enfin, pour ce qui est des moyennes des taux du paramètre A%; la minima a été obtenue par le traitement 8 avec  $04,74\pm 02,44\%$ , tandis que la maxima a été enregistrée pour le traitement 5 avec  $40,65\pm 04,26\%$ .

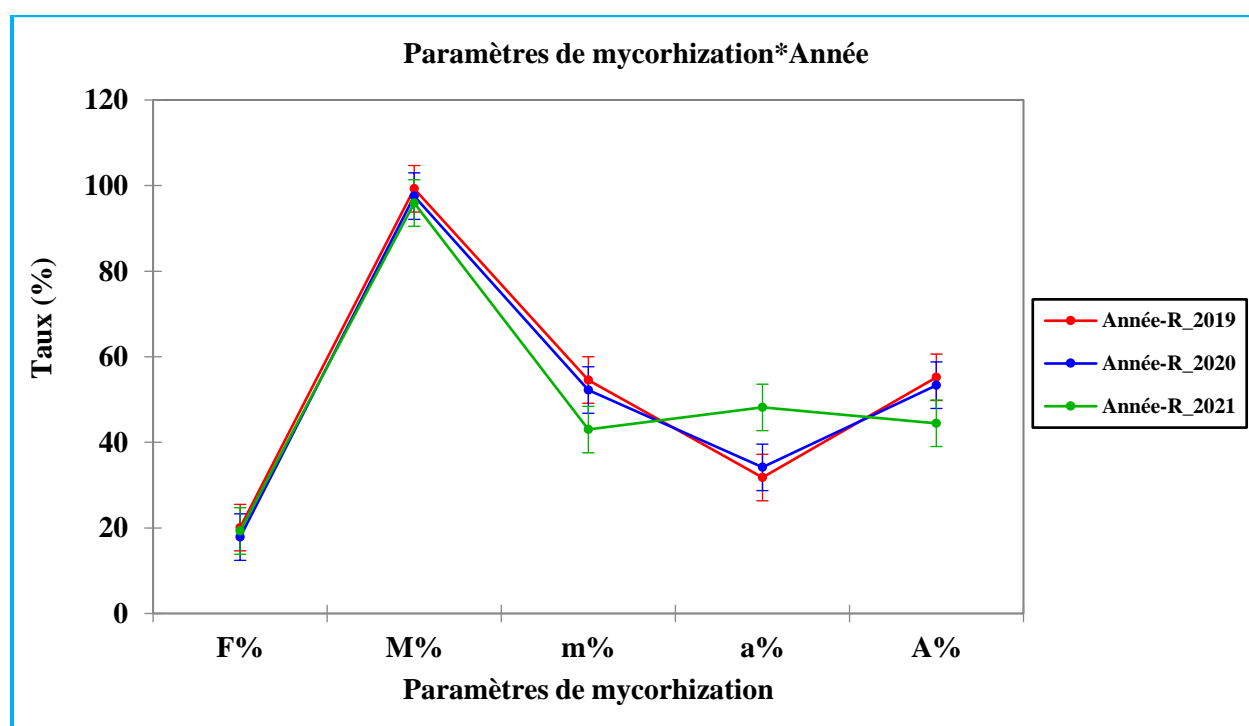
**Tableau 09:** Suivi de la mycorhization du figuier de Barbarie dans les conditions expérimentales.

	Doses	Année d'observation	F%	M%	A%
Traitement 1	100% I.C. + 0% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	60,83% ± 18,76%	17,90% ± 12,59%
		2 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	44,11% ± 14,54%	03,27% ± 04,02%
		3 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	77,78% ± 07,91%	22,31% ± 16,74%
Traitement 2	0% I.C. + 0% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	54,17% ± 26,50%	22,41% ± 21,68%
		2 <sup>ème</sup> Année	96,67% ± 05,77%	48,54% ± 21,55%	18,58% ± 04,30%
		3 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	40,17% ± 08,63%	23,80% ± 07,72%
Traitement 3	100% I.C. + 100% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	50,00% ± 12,50%	15,02% ± 07,66%
		2 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	56,94% ± 12,37%	04,15% ± 6,65%
		3 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	56,72% ± 23,13%	21,26% ± 13,66%
Traitement 4	0% I.C. + 100% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	31,83% ± 26,58%	02,70% ± 03,83%
		2 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	19,67% ± 05,20%	08,84% ± 03,01%
		3 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	31,38% ± 15,37%	13,84% ± 08,33%
Traitement 5	50% I.C. + 50% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	86,67% ± 07,22%	51,71% ± 06,80%
		2 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	69,56% ± 19,55%	38,59% ± 20,58%
		3 <sup>ème</sup> Année	92,22% ± 06,94%	64,67% ± 10,26%	40,65% ± 04,26%
Traitement 6	0% I.C. + 50% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	63,33% ± 11,55%	11,31% ± 04,71%
		2 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	71,67% ± 07,37%	27,62% ± 07,45%
		3 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	45,08% ± 01,84%	17,01% ± 09,10%
Traitement 7	50% I.C. + 0% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	100% ± 0%	59,56% ± 15,44%	38,05% ± 19,35%
		2 <sup>ème</sup> Année	95,56% ± 07,70%	50,78% ± 16,12%	15,63% ± 07,84%
		3 <sup>ème</sup> Année	84,45% ± 13,47%	25,44% ± 08,92%	14,71% ± 06,16%
Traitement 8	100% I.C. + 50% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	97,78% ± 03,85%	49,45% ± 20,75%	17,00% ± 15,12%
		2 <sup>ème</sup> Année	85,56% ± 15,03%	49,72% ± 20,45%	22,77% ± 09,32%
		3 <sup>ème</sup> Année	90% ± 17,32%	15,15% ± 06,67%	04,74% ± 02,44%
Traitement 9	50% I.C. + 100% M.O.	1 <sup>ère</sup> Année	95,56% ± 07,70%	35,26% ± 12,03%	04,55% ± 03,84%
		2 <sup>ème</sup> Année	100% ± 0%	59,05% ± 15,10%	21,17% ± 10,96%
		3 <sup>ème</sup> Année	96,67% ± 05,77%	30,39% ± 15,89%	15,16% ± 03,78%



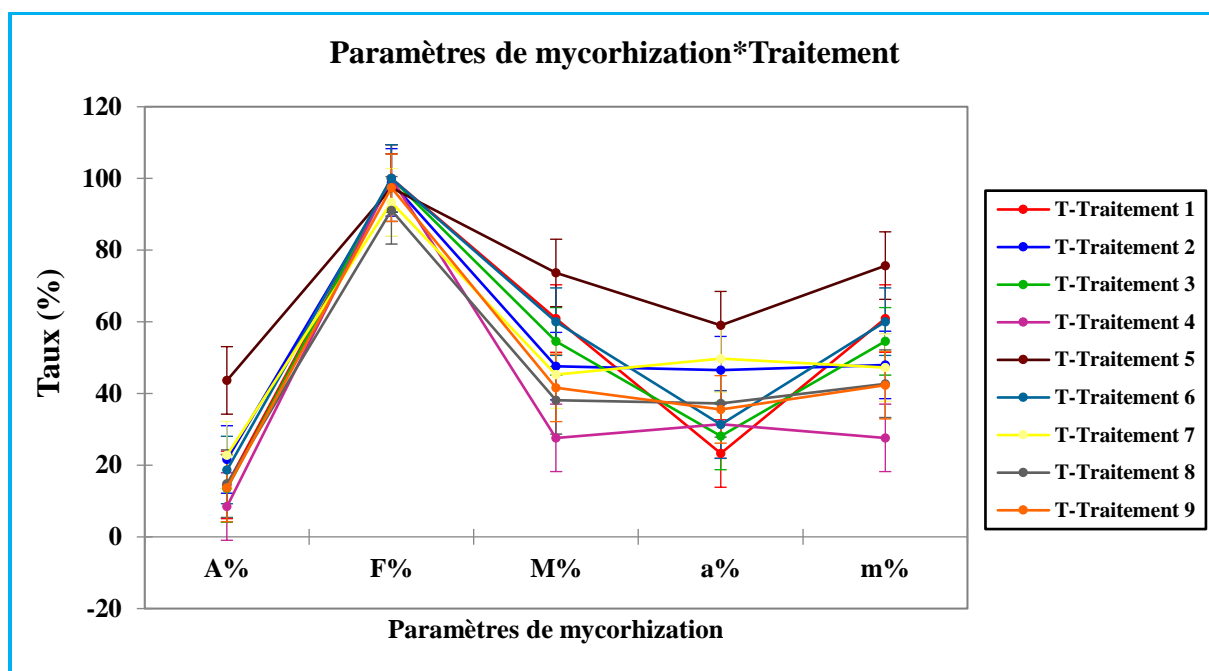
Nous avons utilisé l'outil d'ANOVA à trois facteurs de classifications avec XLSTAT afin de déterminer s'il existe une influence significative de l'interaction des trois facteurs : Paramètres de mycorhization, Années, Traitements sur le taux de mycorhization (**Annexe 11**).

Pour ce qui est de l'interaction entre Paramètres mycorhization et Années, l'analyse statistique (**Annexe 11**) a montré qu'il existe une interaction significative entre ces deux facteurs, ce qui voudrait dire que l'effet des paramètres de mycorhization sur la variation des taux dépend des années et vice versa (**Figure 22**).



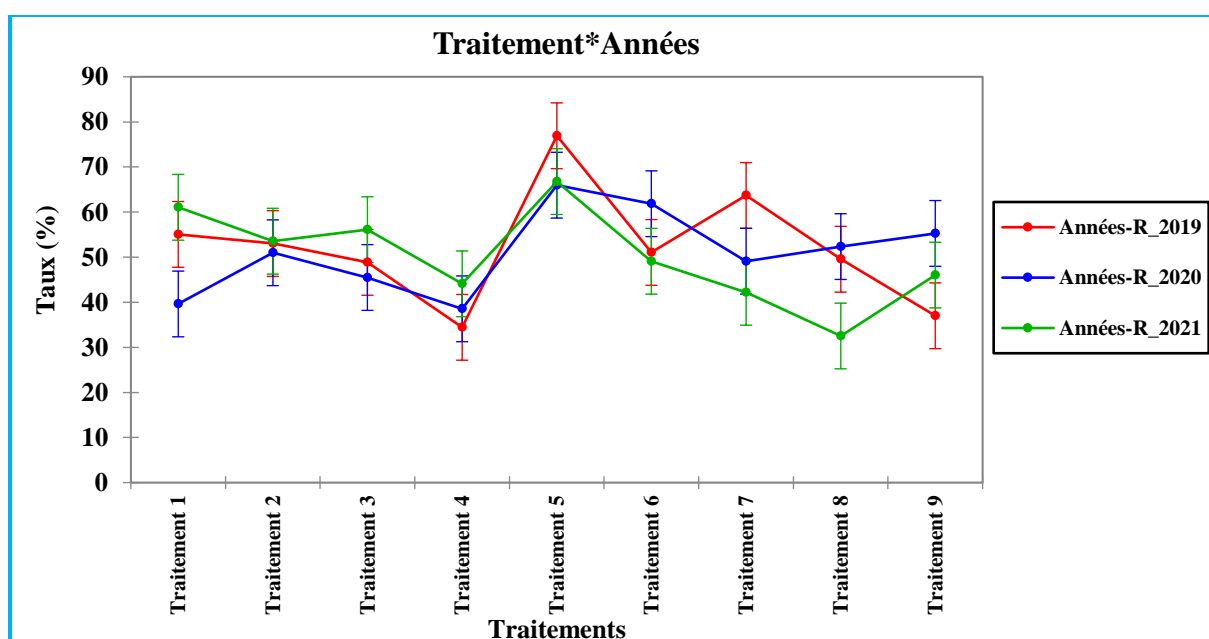
**Figure 22** : Interaction entre Paramètres de mycorhization et Années du dispositif expérimental pour *Opuntia maxima*.

D'après cette analyse statistique, l'interaction entre les facteurs : Paramètres de mycorhization et Traitements est significative (**Annexe 11**) ; nous concluons que l'effet des paramètres de mycorhization sur la variation des taux dépend des traitements et vice versa (**Figure 23**).



**Figure 23:** Interaction entre Paramètres de mycorhization et Traitements du dispositif expérimental pour *Opuntia maxima*.

L'interaction entre Années et Traitements avec  $F=5,360$  est significative ( $P\_Value = 0,0001 < \alpha = 0,05$  (Annexe 11) ; nous concluons qu'il existe une interaction significative entre les deux facteurs Années et Traitements. L'effet d'interaction significatif indique que l'effet des traitements sur la variation des taux dépend des années et vice versa (Figure 24).



**Figure 24:** Interaction entre Années et Traitements du dispositif expérimental pour *Opuntia maxima*.

L'analyse des différences entre les modalités (Traitements) avec un intervalle de confiance à 95% par le test de Tukey (HSD) a permis de conclure que, du point de vue économique, il serait intéressant de cibler ou d'adopter les rendements obtenus par le traitement 5 qui a reçu 50% d'*inoculum* et 50% de matière organique (**Annexe 12**).

### **3.3.2.2. Paramètres physico-chimiques du sol :**

Il était important de déterminer les paramètres physico-chimiques du sol du figuier de Barbarie et ce, afin de voir les conditions dans lesquelles nous avons effectué l'essai et afin de voir s'il y a eu ou pas d'impact de l'apport de CMA exogènes sur le sol après culture.

#### **3.3.2.2.1. Propriétés du sol avant essai :**

Les analyses de sols effectuées sur le sol qui n'a pas reçu d'*inoculum* Symbivit ont permis de donner les résultats inscrits dans le **Tableau 10**.

La texture du sol témoin est sableuse, de type sable limoneux, le pH mesuré est de 8,47 ; cette valeur élevée donne un sol alcalin, avec un taux en matière organique très important (4,9%), le sol d'étude est riche en cette matière. Tandis que la conductivité électrique est très faible avec 0,28 $\mu$ S/cm, ce qui donne un sol pauvre en sels solubles (non salé), de même pour le magnésium (0,05meq/100g) et le sodium (0,2meq/100g) qui ont enregistré des valeurs très faibles.

Des valeurs normales ont été enregistrées pour les CaCO<sub>3</sub> (30,34%), l'azote total (0,17%) et le phosphore (37,4ppm).

#### **3.3.2.2.2. Propriétés du sol après essai : (Tableau 10)**

La texture du sol issu du traitement 3 reste inchangeable après 2 années de l'application de l'*inoculum* biologique à 100%. La matière organique reste élevée (5,8%), ce qui a pu garder la richesse du sol en cette matière. Le pH a aussi présenté une valeur élevée mais presque invariable par rapport à celui du sol témoin avec 8,57.

Ce sol reste non salé avec une légère diminution (par rapport au sol témoin) observée pour la conductivité électrique (0,19  $\mu$ S/cm), le sodium (0,1 meq/100g) et l'azote (0,07%), tous ces paramètres avec le magnésium (0,08 meq/100g) ont présenté des valeurs très faibles.

Aussi, une importante diminution a été observée pour le phosphore qui est devenu normal par rapport à celui du sol témoin (18,4 ppm).

**Tableau 10:** Propriétés physico-chimiques des sols de Ben Attia avant et après essai.

Paramètres	Sol témoin	Sol inoculé
pH <sub>eau</sub>	8,47	8,57
CaCO <sub>3</sub> (%)	30,34	37,46
Calcaire actif (%)	17,75	19,5
CE (µS/cm)	0,28	0,19
M.O (%)	4,9	5,8
N total (%)	0,17	0,07
P (ppm)	37,4	18,4
K <sup>+</sup> (meq/100g)	1,4	0,8
Ca <sup>++</sup> (meq/100g)	28,6	26,7
Mg <sup>++</sup> (meq/100g)	0	0,08
Na <sup>+</sup> (meq/100g)	0,2	0,1
Argile (%)	12	12
Limon (%)	24	24
Sable (%)	64	64

### **3.3.2.3. Évaluation du potentiel mycorhizogène des sols d'étude :**

#### **3.3.2.3.1. Évaluation du potentiel mycorhizogène du sol témoin avant l'essai :**

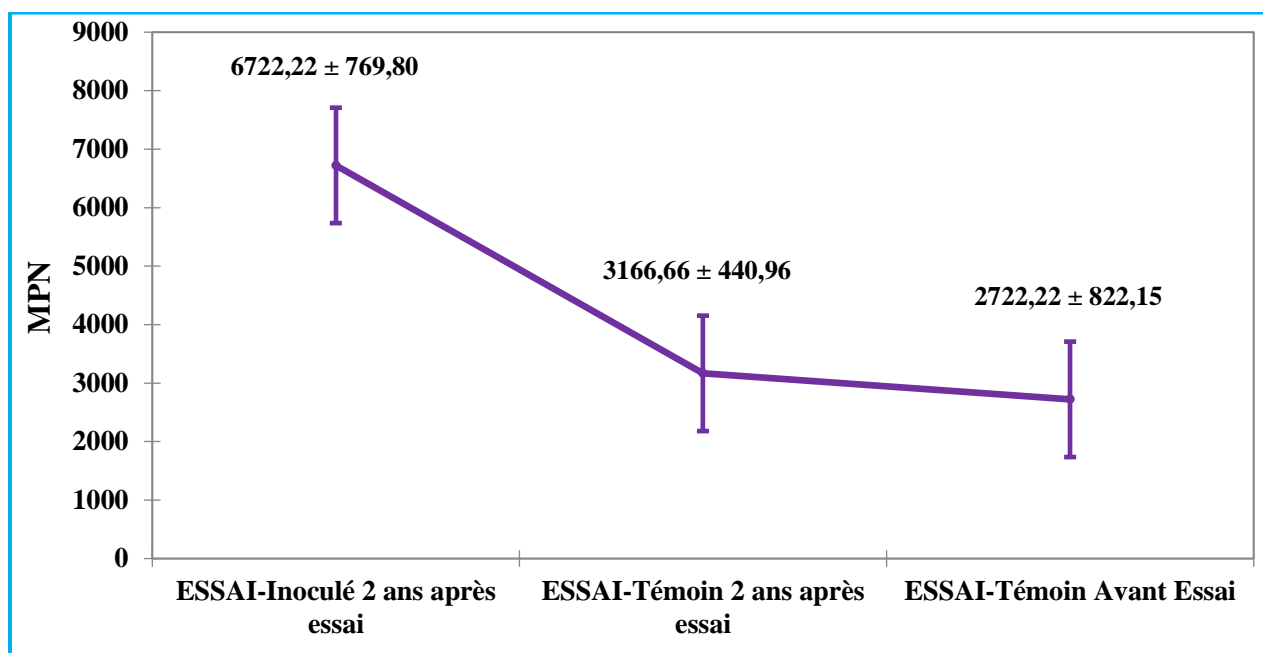
Le nombre le plus probable de propagules aptes à générer une mycorhization (MPN) calculé par kilogramme de sol avant essai (2019) a varié entre 2166,66 et 3666,66 propagules par kilogramme de sol, avec une moyenne de  $2722,22 \pm 822,15$  prapagules/kg de sol témoin (**Figure 33**).

#### **3.3.2.3.2. Évaluation du potentiel mycorhizogène du sol témoin 2 années après l'essai :**

Après deux années de l'essai (2021), nous avons mesuré le MPN du sol non inoculé, ce nombre a varié entre 2833,33 et 3666,66 propagules par kg, avec une moyenne de  $3166,66 \pm 440,96$  propagules/kg de sol témoin (**Figure 33**).

### 3.3.2.3.3. Évaluation du potentiel mycorhizogène du sol inoculé 2 années après l'essai :

Le calcul du nombre le plus probable (MPN) par kilogramme de sol inoculé après deux années de l'essai (2021), a fluctué entre 5833,33 et 7166,67, la moyenne obtenue est de  $6722,22 \pm 769,80$  propagules/kg de sol inoculé (**Figure 25**).

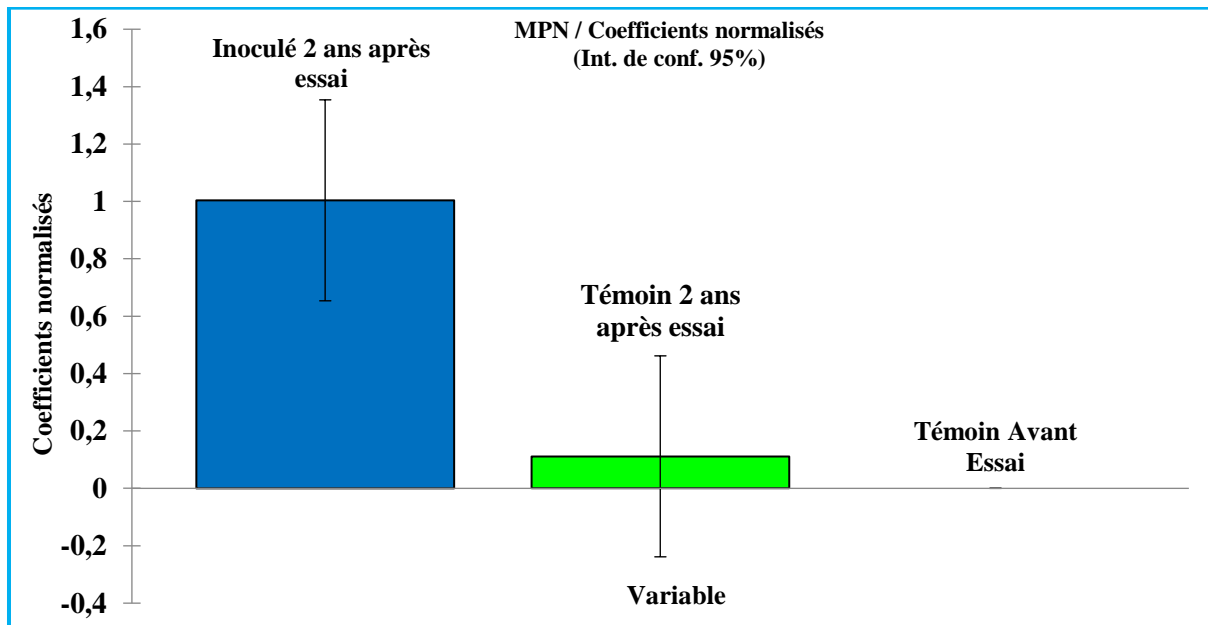


**Figure 25:** Graphique des moyennes des MPN avant et après essai.

En observant ces trois résultats, nous remarquons qu'il y a eu un facteur d'augmentation de **02,47** fois entre le nombre moyen de propagules du sol témoin avant essai et celui du sol inoculé au Symbivit (à 100%) après 2 années de l'essai. En comparant les valeurs moyennes du MPN du sol témoin et du sol inoculé de la même année (2021), nous remarquons que le facteur d'augmentation du nombre moyen de propagules est de **02,12** fois.

Les résultats obtenus ont été traités statistiquement par l'analyse de la variance et du test de Tukey HSD avec un intervalle de confiance à 95% (**Annexe 13**) pour les valeurs du MPN avant et après essai. Cette analyse a montré qu'une différence significative est obtenue entre le MPN du sol inoculé après 2 années de l'essai et ceux du sol témoin de 2019 et 2021. Tandis qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs du MPN des sols témoin (non inoculé) de 2019 et 2021, car les intervalles de confiance pour l'effet Témoin 2 ans après essai et Témoin avant essai « sur la variabilité des MPN pour les trois répétitions dans chaque un » comprennent la valeur 0. Le diagramme en bâtons des coefficients standardisés permet de

comparer visuellement les impacts relatifs des modalités, et de voir quels intervalles de confiance comprennent la valeur 0 (**Figure 26**).



**Figure 26** : Diagramme en bâtons des coefficients standardisés.

*Chapitre 04 :*  
*DISCUSSION*

#### 4. DISCUSSION :

La flore rare et très rare de la zone d'étude compte 119 taxons soit 16,03% de la flore de la région de Souk Ahras évaluée à 742 espèces (**Hamel, Véla et de Bélair, inédit**). Toutefois, ce premier inventaire de plantes rares et endémiques de la région a mis en évidence les principaux aspects de cette flore (nomenclature, statut et type d'endémisme). Ces aspects semblent peu étudiés et devraient être considérés comme des priorités dans les recherches scientifiques (**Rao, 2004**) ainsi que pour le développement de la conservation de la flore locale (**Véla et Benhouhou, 2007**).

La flore de la région d'étude subdivisée selon les étages bioclimatiques comprend maquis, pelouse et végétation de milieu humide au sein de l'étage bioclimatique sub-humide, ces mêmes formations sont présentes dans l'étage bioclimatique humide en plus de la subéraie et de la zénaie. Tandis que pour l'étage semi-aride, une végétation purement steppique domine les formations végétales.

Parmi les plantes assez communes, *Cedrus atlantica* est présent avec quelques plantations, de 10 à 15 m de long et colonise surtout les micro-habitats humides. Il a été trouvé au sommet de Djebel Msid (altitude 1380 m). La régénération naturelle du cèdre est assurée par la présence de petits plants. Les travaux palynologiques de **Benslama et al. (2010)** dans la région d'El Kala (Nord-Est algérien) ont permis d'émettre l'hypothèse de l'existence de refuges régionaux de cèdre sous un climat relativement clément lors de la dernière glaciation, ce qui va dans le même sens que les hypothèses formulées par **Terrab et al., 2006**. Sa présence aurait bénéficié de refuges glaciaires plus à l'Est de son aire actuelle en Algérie et en Tunisie. En effet, de nos jours, les cédraies sont morcelées, ce taxon a disparu suite à la contraction de son aire durant l'Holocène, sauf quelques-uns persistent encore dans des refuges (**Ben Tiba et Reille, 1982**).

Le grand nombre d'espèces rares et endémiques recensées dans la région d'étude appartiennent surtout aux formations forestières et préforestières (maquis, subéraie et zénaie). Cette richesse en taxons rend compte de la variabilité biogéographique, écologique et de la fragmentation des aires continentales en liaison avec les actions anthropiques (**Barbéro et al., 2001 ; Yahi et al., 2008**), ce qui donne une richesse plus importante en espèces surtout en lisières.

Concernant les taxons qui se développent sur les falaises et rochers, **Quézel (2000)** a confirmé que ces habitats présentent une richesse des espèces endémiques ou à aire de



répartition disjointe. Du point de vue écologique, nos observations relatives aux conditions stationnelles dans lesquelles les espèces rares et endémiques ont été retrouvées sont -dans l'ensemble- en accord avec **Quézel et Santa (1962-1963)**. Les plantes observées sont très inégalement réparties dans les deux secteurs biogéographiques (*sensu* **Quézel et Santa, 1962**) couvrant la région d'étude. Le secteur constantinois (C1) est le plus riche en nombre de plantes rares et endémiques (99 espèces). Tandis que le sous-secteur des hauts-plateaux constantinois (H2) abrite vingt-sept taxons patrimoniaux. En effet, dans ces zones biogéographiques, les fluctuations des conditions écologiques et l'hétérogénéité des habitats sont les facteurs déterminants de la richesse floristique (**Touati et al., 2020**).

Certaines espèces ont, néanmoins, été trouvées dans nos stations et non signalées précédemment en C1 et H2 dans la Flore d'Algérie -comme par exemple *Antirrhinum tortuosum*, *Argyrolobium saharae*, *Aristolochia paucinervis*, *Bunium crassifolium*, *Calamintha menthifolia*, *Castanea sativa*, *Chaerophyllum temulum*, *Daucus virgatus*, *Galactites mutabilis*, *Genista ulicina*, *Heliosciadium crassipes*, *Mandragora officinarum*, *Ononis angustissima* subsp. *polyclada*, *Ophrys atlantica* subsp. *hayekii*, *Orchis laeta*, *Orchis patens* subsp. *patens*, *Phlomis bovei*, *Pilularia minuta*, *Paliurus spina-christi*, *Reichardia tingitana* subsp. *discolor*, *Scrophularia tenuipes*, *Smyrniium perfoliatum*, *Teucrium atratum*, *Veronica montana* et *Viola riviniana*. En revanche, toutes ces nouvelles observations dans les deux secteurs biogéographiques de la région, nous encouragent à effectuer une recherche encore plus méticuleuse des taxons qui pourraient avoir échappés aux investigations des chercheurs, comme ce fut le cas de seize taxons illustrés dans le travail de **Boulemtafes et al. (2018)** dans la péninsule de l'Edough, ainsi de *Pteris vittata* L. observée en février 2016 dans la Numidie occidentale (**Hamel et al., 2020**). Dans un contexte plus global, la présence de ces végétaux dans d'autres secteurs biogéographiques laisse supposer la possibilité d'une révision de la flore algérienne (cf. eflora Maghreb).

D'autres taxons rares et endémiques tels que : *Euphorbia helioscopia* subsp. *helioscopioides* (Loscos & C. Pardo) Nyman et *Odontites discolor* Pomel, sont à rechercher dans notre région. Ils semblent avoir disparu ou du moins être en déclin puisque nous n'avons pas pu les retrouver dans les habitats où ils avaient auparavant été observés par certains auteurs (**Battandier et Trabut, 1890 ; Maire, 1928 ; Quézel et Santa, 1963**). Dans certains cas, les milieux naturels ont été tellement bouleversés entre autres, par les incendies, le surpâturage et l'anthropisation des milieux par aménagements, que les stations sont éteintes avec certitude, ainsi, des prospections complémentaires pourraient être menées à l'avenir.

Quant à *Mandragora officinarum* L., elle est définie comme rare et en voie de disparition dans la flore de **Quézel et Santa (1962)**, où elle n'était connue que dans le secteur Kabyliens-Numidie et dans le sous-secteur littoral algérois (A1). Cette espèce n'a pas été observée, lors de nombreuses prospections (site non retrouvé jusqu'à nos jours) (cf. **Hanifi et al., 2007**), elle a été vue sur les steppes de Ben Attia, où, elle semble très rare. Cette observation semble nouvelle pour le sous-secteur H2 des hauts-plateaux constantinois (**Touati et al., 2020**).

Pour le statut d'endémisme des espèces, nous avons remarqué que certains taxons ont changé le type d'endémisme comme *Genista ferox* subsp. *ferox* qui était mentionné comme strictement endémique du Maghreb dans **Quézel et Santa (1962)**. Récemment, ce taxon a élargi sa répartition biogéographique, il a été retenu comme endémique en Algérie, Tunisie, Maroc et Sardaigne par **CJB (2020)**. Le cas d'*Aristolochia paucinervis*, mentionné dans la flore de **Quézel et Santa (1962)** comme méditerranéen, le site web de la base de données **CJB (2020)** mentionne ce taxon comme subendémique tyrrhénien. Le changement de la chorologie de ces espèces peut être expliqué par l'accroissement des investigations en Méditerranée ou en Afrique du Nord, visant à inventorier la biodiversité et à suivre l'évolution de cette dernière en fonction de la dynamique naturelle des espèces végétales, permettant d'élargir les listes floristiques par l'ajout de taxons ou le rétrécissement par le retrait d'autres (**Gordo et Hadjadj-Aoul, 2019**).

Cent-dix-neuf taxons remarquables (endémiques, rares, protégés ou menacés) d'angiospermes et de ptéridophytes ont été signalés dans nos 18 stations d'études. Toutes ces espèces recensées portent une grande valeur en terme de conservation, soit pour des raisons patrimoniales, soit pour leur risque d'extinction (**Pimm et al., 1988; Gaston et al., 1998**).

Le plus haut degré d'endémisme correspond aux Orchidaceae, Asteraceae, Lamiaceae, Brassicaceae et Fabaceae. Ces résultats corroborent ceux mentionnés par **Le Houérou (1995)** qui considère que les Asteraceae, les Fabaceae et les Lamiaceae sont des familles à forte endémicité au Nord de l'Afrique, et par **Quézel (1978)** en ce qui concerne la famille des Lamiaceae. La richesse de cette flore en Orchidaceae confirme les observations réalisées par **Boukehili et al. (2018)** sur l'orchidoflore de la région d'étude. Cette ressemblance est le résultat de leur histoire commune dont résulte une unité biogéographique très homogène (**Quézel, 1964**).

Le taux des taxons endémiques présents dans ce travail est de 63,02% de l'ensemble des 119 espèces, ceci est très élevé par rapport à ceux donnés par **Hamel et al. (2013)** pour la péninsule de l'Edough (47%), **Djebbouri et Terras (2019)** pour les formations forestières de Saïda au Nord-Ouest algérien (08,81%), **Medjahdi et al. (2009)** pour les montagnes de Traras

(19,71%) et par **Miara *et al.* (2017)** pour la région de Tiaret (38%). Cette richesse est le résultat d'une diversité environnementale, des expositions, des substrats et des détails orographiques différents, avec une chaîne montagneuse qui culmine à 1405m (Djebel Msid), 1230m (Saïda), 1008m (Edough) et 875m (Traras). Cela a été confirmé par **Verlaque *et al.* (1997)**, qui ont évoqué la notion d'endémisme méditerranéen qui se concentre surtout dans les chaînes montagneuses et les îles.

Les endémiques restreintes de l'Algérie se limitent à deux espèces observées dans nos stations, il s'agit de *Drimia anthericoides* et *Sinapis pubescens* subsp. *indurata*. La première a été observée dans un maquis à Aïn Talhi, tandis que la seconde dans les habitats de falaise et maquis à Aïn Zena, Hannencha, et Djebel Msid. Ces taxons sont à la fois rares et endémiques, «des taxons classés hautement patrimoniaux» dont une figure également sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (cf. **Véla et de Bélair, 2017**), avec le statut en danger.

*Drimia anthericoides* : cette endémique du Nord-Est algérien semble nouvelle pour la flore nationale (cf. **Véla *et al.*, 2016**). Il s'agit d'un taxon critique considéré dans les anciennes flores comme une variété d'*Urginea maritima* (L.) Baker (cf. **Maire, 1958 ; Quézel et Santa, 1962**). Néanmoins, il se distingue des autres espèces/variétés d'agrégats de *Charybdis maritima* (L.) Speta [= *Urginea maritima*] par de nombreux caractères de fleurs, fruits, bulbes, feuilles et par niveau de ploïdie (**Véla *et al.*, 2016**). Il serait profitable de faire une révision des stations du côté tunisien afin de vérifier qu'il n'y avait pas eu de confusion auparavant. Cependant, le site d'observation se trouve sur une terre privée, elle est donc potentiellement menacée par l'agriculture et/ou le pâturage.

*Sinapis pubescens* subsp. *indurata* : la diversité du genre *Sinapis* en Algérie est remarquable avec 8 espèces et sous-espèces, dont deux sont endémiques (*S. pubescens* sous espèce *aristidis* et sous espèce *indurata*) (**Dobignard et Chatelain, 2011**). Ce taxon a été signalé à Souk Ahras dans trois localités : le Mont Mahrouf par H. de Perraudière (sans la précision d'une date ?) et par Reboud (sans date ?) à Sgao et Djebel Msid (**Maire, 1965**).

En guise de complément, nous avons consulté toutes les planches de la base de données des plantes d'Afrique (**CJB, 2020**) étiquetées «*Sinapis pubescens* subsp. *indurata*». Trois planches « MPU009015, MPU009016 et S-G-9038 » : collectées par H. de Perraudière le 16/7/1861 dans le Mont Mahrouf se rattachent clairement à notre espèce (non encore confirmée avec précision).

Les taxons endémiques algéro-tunisiens représentent la majorité des endémiques recensés dans notre étude, avec 27 espèces, ce qui équivaut à 36% des endémiques. Ces endémiques frontalières, correspondent moins à des zones spécialisées à fort endémisme qu'à de vastes zones biogéographiques où les espèces endémiques sont localement peu rares, voire abondantes (Véla et Benhouhou, 2007 ; Hamel *et al.*, 2013).

Notre zone d'étude compte 26 espèces endémiques de l'Afrique du Nord-Ouest avec au moins quatre pays (Algérie, Maroc, Tunisie, Libye). Selon Quézel (1964), cette ressemblance de l'endémisme entre les pays est le résultat de leur histoire commune dont résulte une unité biogéographique très homogène.

La présence d'endémiques de souche tyrrhénienne dans la flore étudiée (3 taxons) s'explique par les connexions terrestres passées du Tell littoral algérien et tunisien avec la Tyrrhénie (Quézel, 1964 ; Hamel et Boulemtafes, 2017).

L'élément méditerranéen *sensu lato* représente une part très importante de la flore rare (40 espèces, soit 31,61%), ces observations sont en accord avec ceux de Quézel (1983) qui a noté une augmentation des espèces de type méditerranéen dans la flore de l'Afrique du Nord.

Deux plantes sont classées comme espèces déterminantes dans l'identification de ZIP algériennes « El Kala 2 » : *Scrophularia tenuipes* et *Scutellaria columnae*. En effet, ces deux plantes avec *Convolvulus durandoi*, *Orchis laeta*, *Phlomis bovei* et *Drimia anthericoides* sont présentées dans une aire restreinte (occurrence entre 100 km<sup>2</sup> et 5000 km<sup>2</sup>) ; *Dactylorhiza elata* et *Serapias stenopetala* comme deux espèces déterminantes endémiques ponctuelles (moins de 100 km<sup>2</sup>) (Yahi *et al.*, 2012).

Certaines plantes dont l'endémique stricte *Sinapis pubescens* subsp. *indurata*, existant dans la zone d'étude sont considérées rares à l'échelle nationale, bien qu'elles soient communes localement. La plupart du temps, cette rareté est due à l'étendue restreinte du climat humide doux en Algérie.

Si l'on considère la répartition des types biologiques selon la classification de Raunkier, 1934, on note que la flore de la région de Souk Ahras est dominée par les hémicryptophytes (31,09 %). D'après Tani *et al.* (2010), ces dernières préfèrent les milieux assez stables et un sol riche en matière organique. Il semblerait que la pluviosité, la faiblesse des éclaircissements lumineux et les pâturages des sous-bois favorisent le développement des hémicryptophytes. Barbéro *et al.* (2001) signalent que, dans les pays du Maghreb, l'abondance de ces dernières est due à la matière organique et l'humidité. De plus, cette dominance a

également été confirmée dans la flore rare et endémique de la péninsule de l'Edough (**Hamel et al., 2013**). Les géophytes sont aussi bien représentés avec 30 espèces, leur taux est relativement plus élevé en milieu forestier que dans les pelouses et les zones steppiques où elles disparaissent complètement conformément aux observations de **Barbéro et al. (1989)**.

Les chaméphytes sont représentées par 20 espèces, soit 16,8 % de la flore étudiée. Elles seraient bien adaptées au phénomène d'aridification des sols, car elles peuvent développer diverses formes d'adaptation à la sécheresse (**Floret et al., 1990**).

En revanche, les sols souvent incrustés sont de faible épaisseur, dans certaines régions, la croûte calcaire qui les recouvre est continue et ne permet aucun enracinement végétal (**Boudjadja et al., 2010**). **Gamoun et al. (2011)** affirment que le sol sableux est plus productif que le sol calcaire en plus de créer de la dureté ; les couches de calcaire peuvent en effet réduire la pénétration de l'eau et réduire l'accès des plantes à l'eau.

Faute de documentation et d'études suffisantes, 109 plantes rares et endémiques citées dans notre zone d'étude et ailleurs en Algérie n'ont pas encore été évaluées selon les critères de l'**UICN (2021)**. 106 espèces rares et endémiques méritent une protection sans laquelle elles seraient menacées de disparition, d'autant plus qu'elles ne figurent pas sur la liste des espèces protégées en Algérie (**J.O.R.A, 2012**).

La flore rare et endémique de la région de Souk Ahras subit une dégradation préoccupante. En effet, les activités anthropiques, surtout l'agriculture, les incendies, le surpâturage, envahissement par des espèces invasives et l'exploitation anarchique des espèces connues pour leurs vertus thérapeutiques (e.g. *Origanum vulgare* subsp. *glandulosum*, *Thymus algeriensis*, *Rosmarinus eriocalyx* subsp. *eriocalyx*, *Mandragora officinarum*, *Thymus munbyanus* subsp. *coloratus*, *Deverra scoparia* subsp. *scoparia* et *Santolina africana*) constituent une menace pour cette flore. Pareil pour les taxons fortement consommés (*Allium porrum* subsp. *polyanthum*, *Bunium crassifolium*, *Echinops bovei*, *Rhaponticum acaule* et *Romulea ligustica*) et aussi utilisés comme plantes ornementales (ex. *Hedera algeriensis*, *Sambucus nigra*, *Iris inguicularis* et *Cyclamen africanum*) (cf. **Sakhraoui, 2021**).

Cette analyse de la flore des taxons patrimoniaux de la région de Souk Ahras nous a permis de rafraîchir les anciennes données floristiques. Elle nous a incités à s'intéresser à l'une des menaces les plus préoccupantes, qui est l'envahissement des espaces naturels par certaines plantes exogènes tel que le figuier de Barbarie. Ainsi, l'adaptation de ce dernier aux conditions arides et semi-arides lui offre des intérêts écologique et socio-économique indéniables. En effet,

il constitue un bouclier contre la désertification et l'érosion des sols, il est également cultivé pour la régénération des terres et ne demande pas de pratiques culturales spécialisées ni d'apport de fertilisants (**Hamdi, 1997**). Le cactus est considéré comme une réserve fourragère sur pied, il peut constituer un appoint alimentaire pour les périodes de transition en été et en automne et lors des années de sécheresse (**Sáenz, 2000**). Néanmoins, il est responsable d'une modification en dessous (microflore, notamment les mycorhizes) et en dessus du sol (composition floristique).

Il s'avère que dans un périmètre éloigné (20m) de l'*Opuntia maxima*, une richesse très importante en espèces et en familles a été notée, soit 79 taxons de 26 familles. De même pour les relevés effectués au périmètre de cette espèce, où 83 taxons de 28 familles ont été recensés. Les résultats obtenus dans les mêmes conditions de notre étude par **Khedara et Loumaizia, 2019** ont présenté 51 taxons pour les relevés effectués loin (R1) et 59 pour ceux du périmètre (R2) du figuier de Barbarie, ceux de **Bekouche et Chahbeur, 2021** ont recensé 36 taxons pour R2 et l'étude de **Samar et Sid, 2021** a obtenu 44 espèces pour R1 et 37 pour R2. 44 taxons ont été enregistrés pour les relevés loin du périmètre du figuier de Barbarie à Guerbès Sanhadja (Skikda) par **Seini Abdoulaye et Yaou Dodo, 2018** et 41 taxons pour R2 dans l'étude **Habibou et Kone, 2018**. Entre Bordj-Bou-Argeridj et Hammam Dhalaa (M'Sila), 45 espèces ont été recensées au périmètre du figuier de Barbarie par **Maïzi et Mesalti, 2021**.

Une étude faite dans la région de Souk Ahras sur le cortège floristique du genre *Thymus* dans trois différentes stations sur des parcelles de 10m<sup>2</sup> a permis d'inventorier 9 espèces réparties en 6 familles pour la station d'Ouled driss, 5 espèces réparties en 4 familles dans la station d'Aïn Seynour et 8 espèces appartenant à 8 familles dans la station de Zouabi (**Lahouasnia et Mosbahi, 2017**). En se référant à ces résultats, nous remarquons que la station de Ben Attia est riche en espèces et en familles et que le figuier de Barbarie permet l'installation de plus d'espèces et de familles que le genre *Thymus*.

Quant à la richesse spécifique par famille, elle est plus importante dans un périmètre éloigné du figuier de Barbarie, principalement chez les Asteraceae, Fabaceae, Lamiaceae et Poaceae. Pour le nombre d'individus par espèce, il a été plus élevé chez les Asteraceae (52), Poaceae (38), Lamiaceae (30) et Caryophyllaceae (26), le reste des espèces s'est présenté avec des effectifs relativement moyens. Ces résultats sont en parfait accord avec ceux de **Khedara et Loumaizia, 2019**, **Samar et Sid, 2021** à Ben Attia et **Mehamdia et Salmi, 2019** à Taoura (Souk Ahras). Ceci pourrait être dû à l'impact du type de climat, car, **Benkhetou et al. (2015)** et **Habib et al. (2020)** ont signalé la dominance des Poaceae et Asteraceae dans la région semi-

aride de l'Algérie vu que ces familles sont adaptées aux conditions défavorables de la sécheresse qui y règnent dans ces régions. Tandis que pour les résultats obtenus par **Seini Abdoulaye et Yaou Dodo, 2018** à Guerbès Sanhadja (Skikda), les Fabaceae ont présenté plus d'espèces, suivies des Asteraceae et Poaceae, ceci a été expliqué par l'environnement des stations étudiées qui était peu anthropisé,

Pour la végétation spontanée au périmètre d'*Opuntia maxima*, il y a eu une prédominance en richesse spécifique par famille chez les Asteraceae, puis, les Poaceae, Fabaceae, Lamiaceae et Caryophyllaceae. Bien qu'un très grand nombre d'individus a été recensé chez les Poaceae (102 individus) avec une prédominance de *Cynodon dactylon*, puis, les Caryophyllaceae (50) et Asteraceae (41). Ces résultats corroborent ceux de **Habibou et Kone, 2018 ; Khedara et Loumaizia, 2019** et **Samar et Sid, 2021**.

Ces familles sont celles qu'on retrouve assez fréquemment en Algérie (**Dobignard et Chatelain, 2013**) et aussi dans les régions méditerranéennes (**Piazza et Paradis, 2002**). La diversité d'ordre 1 est majorée, car en plus du nombre important d'espèces, le nombre de familles l'est aussi (**Daget et Gaston, 2001**). Ces résultats se rapprochent globalement de ceux obtenus par **Hamel (2013)** sur la flore vasculaire de la péninsule de l'Edough et par **de Bélair (1990)** dans une étude sur la végétation des zones lacustres du Parc National d'El Kala.

Une Caryophyllaceae à large répartition biogéographique (méditerranéenne et macaronésienne) a été rencontrée dans nos deux relevés, il s'agit de *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams. L'analyse statistique a permis de voir qu'une différence significative est obtenue en comparant le nombre des individus de cette espèce dans les inventaires loin (2 individus) et au périmètre du figuier de Barbarie (31 individus). Ceci peut être expliqué par sa préférence pour les champs cultivés (**Site net 08**), le même constat a été fait dans l'étude de **Samar et Sid, 2021** pour cette même espèce.

Pour mieux analyser la composition floristique de nos deux relevés, nous nous sommes intéressés aussi à la composante végétative (espèces annuelles et vivaces) de la végétation spontanée inventoriée. Les espèces annuelles (donc thérophytes) sont des plantes qui accomplissent leur cycle au cours d'une année (**Raunkier, 1934**). Elles se reproduisent par graines et effectuent un cycle complet de développement en une saison. Ainsi, la plante pousse, fleurit, est fertilisée, produit des semences et finalement meurt. Tandis que les espèces vivaces vivent au moins trois années et peuvent vivre longtemps ou presque indéfiniment (**Safir, 2007**).

En analysant les résultats des deux relevés effectués dans la station d'étude, nous pouvons déduire que le terrain agricole de la Mechta Ben Attia est dominé par les thérophytes (entre 40 et 50%) que ce soit loin ou au périmètre du figuier de Barbarie, ce qui est un facteur indicateur de la dégradation du milieu (Fenni, 2003). Ces résultats corroborent ceux de **Habibou et Kone, 2018**, **Seini Abdoulaye et Yaou Dodo, 2018**, **Khedara et Loumaizia, 2019**, **Samar et Sid, 2021**, **Bekouche et Chahbeur, 2021** et **Maïzi et Mesalti, 2021**. Les thérophytes sont adaptées aux périodes sèches à températures élevées, ceci a été signalé par **Quézel (2000)** et en accord avec les résultats obtenus par **Habib et al. (2020)** et **Benkhetto et al. (2015)** pour les zones semi-arides en Algérie.

De même, la prépondérance des thérophytes par rapport aux phanérophytes est aussi indicatrice de la reconstitution de la flore dans les écosystèmes dégradés (**Devineau, 1997**). En nous référant à ces différents résultats, nous pouvons dire qu'il s'agit d'un terrain dégradé mais en voie de reconstruction. Ceci est confirmé en comparant nos résultats avec ceux de **Khedara et Loumaizia, 2019** qui ont obtenu des taux encore plus élevés des annuelles que ce soit loin ou au périmètre d'*Opuntia maxima*.

Notre station d'étude fait partie d'une zone moins perturbée que celle de **Habibou et Kone, 2018**, ces derniers ont enregistré 70% des espèces de type annuel. Cette différence légère des annuelles comparées à celles de nos relevés pourrait être expliquée par le fait de l'installation -de la part de l'agriculteur- d'une barrière de mise en défens contre le surpâturage dans la partie du terrain où nous avons effectué les relevés, ce qui a permis de reconstituer la flore. À ce sujet, **Barbéro et al. (1981)**, expliquent la thérophytisation par le dernier stade de dégradation des écosystèmes avec des espèces sub-nitrophiles liées aux surpâturages. Car, les plantes annuelles sont plus abondantes dans les zones libres sujettes à des pressions anthropiques que dans les milieux protégés (**Shackleton, 2000**). Ce résultat est confirmé par plusieurs auteurs qui estiment que la végétation des sols perturbés est souvent formée d'espèces pionnières annuelles ou à courte durée de vie (**vanden Berghen, 1998**).

Sur les relevés floristiques effectués loin du figuier de Barbarie, nous avons remarqué qu'une légère prépondérance numérique est attribuée aux espèces vivaces, ce qui corrobore les résultats de **Samar et Sid, 2021**. Ces relevés ont présenté moins d'espèces annuelles pour les principales familles existantes (Asteraceae, Poaceae et Fabaceae). Tandis que les Poaceae présentes au périmètre du figuier de Barbarie ont permis d'augmenter le taux des espèces annuelles par rapport aux premiers relevés. Les Asteraceae, Poaceae et Fabaceae sont les familles les plus importantes au sens de leur richesse en espèces, elles ont présenté la moitié



des thérophytes (annuelles) de ces relevés. Cette observation a aussi été mentionnée par **Habibou et Kone, 2018 ; Bekouche et Chahbeur, 2021** et **Maïzi et Mesalti, 2021**.

En comparant le nombre des individus des espèces inventoriés dans les relevés floristiques 1 et 2 et d'après notre analyse, nous remarquons que la présence d'*Opuntia maxima* comme espèce introduite peut présenter un impact sur la végétation spontanée autour. Cet effet s'observe par l'augmentation du taux des espèces annuelles à courte durée de vie et du nombre d'individus chez les Poaceae (qui sont en majorité des annuelles).

Notre région d'étude abrite une diversité biogéographique des espèces très riche avec 33 types pour les relevés 1 et 28 pour les relevés 2, une domination des espèces de type méditerranéen est observée, ce qui est conforme aux résultats de **Habibou et Kone, 2018 ; Seini Abdoulaye et Yaou Dodo, 2018 ; Bekouche et Chahbeur, 2021** et **Maïzi et Mesalti, 2021**. Ces résultats sont en parfait accord avec l'étude de **Quézel (1983)**, qui stipule -comme nous l'avons auparavant dit- qu'il y a une augmentation des espèces de type méditerranéen en Afrique du Nord.

Sur les 126 espèces issues de nos deux relevés, 15 sont rares en général (assez rare, rare, très rare). Le nombre des individus inventoriés pour cette catégorie n'a pas présenté de différence significative entre les relevés. Tandis que pour les 11 espèces endémiques de la station d'étude, ce nombre a atteint 27 individus loin du figuier de Barbarie et 9 uniquement à son périmètre. De même, pour les espèces à statut endémique rare, elles ont présenté plus de nombre de plants loin (9) qu'au périmètre du figuier de Barbarie (1). Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que les espèces endémiques ne présentent pas de préférence pour les conditions du microclimat du figuier de Barbarie.

La flore spontanée des deux relevés de la station de Ben Attia a compté 3 espèces endémiques rare, il s'agit de : *Carlina involucrata* Poir, *Echium humile* subsp. *pyncanthum* et *Argyrolobium saharae* Pomel., signalons que ce dernier taxon est le seul de cette catégorie, qui figure sur la liste des 449 espèces végétales non cultivées et protégées inscrites dans le **J.O.R.A, 2012**. Ceci ne signifie nullement que les deux autres espèces ne présentent pas le risque d'extinction, puisque cette liste n'a toujours pas été complétée, ni révisée selon les nouveaux statuts. En revanche, ces taxons méritent une protection en vue de les préserver du risque d'extinction.

Nous avons utilisé certains paramètres écologiques pour caractériser les relevés floristiques de la Mechta Ben Attia. L'indice de diversité qui est en fonction de la richesse spécifique et de la structure de la communauté, permet d'évaluer rapidement, en un seul chiffre,

la biodiversité d'un peuplement et renseigne sur la qualité et le fonctionnement de ce dernier (Faurie *et al.*, 2006). Quant à l'indice d'équitabilité qui est obtenu à partir de celui de la diversité et de la diversité maximale, il varie de 0 et 1, Selon Frontier *et al.*, 1993, il tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce, il est de 1, lorsque toutes les espèces ont la même abondance.

Nos relevés floristiques 1 ont présenté une richesse spécifique (S) moyenne de  $70,00 \pm 5,66$  qui est plus importante que celles enregistrées dans les études Khedara et Loumaizia, 2019 ( $24,67 \pm 09,90$ ) et Samar et Sid, 2021 ( $22,00 \pm 07,78$ ). La moyenne de l'indice de Shanon et Weaver ( $H'$ ) est élevée et très rapprochée de la valeur  $H'$ max, ce qui a donné que l'indice d'équitabilité est très élevé, aux alentours de 1 ( $0,919 \pm 0,016$ ). Ce résultat est expliqué par la parfaite répartition des effectifs au sein des relevés, ce qui corrobore les études de Khedara et Loumaizia, 2019 et Samar et Sid, 2021.

Pour ce qui est des relevés effectués au périmètre du figuier de Barbarie, la richesse spécifique (S) moyenne reste élevée avec  $64,50 \pm 23,33$ , contre  $27 \pm 04,24$  pour Khedara et Loumaizia, 2019;  $16,00 \pm 3,54$  pour Samar et Sid, 2021 et  $12,00 \pm 01,50$  pour Habibou et Kone, 2018. L'indice de Shanon et Weaver ( $H'$ ) moyen de  $3,872 \pm 0,645$  reste élevé et intermédiaire entre celui enregistré par Khedara et Loumaizia, 2019 ( $4,572 \pm 0,120$ ) et Samar et Sid, 2021 ( $3,172 \pm 0,403$ ). L'équitabilité au sein de ces relevés reste élevée ( $0,887 \pm 0,077$ ), et de même pour les études de Khedara et Loumaizia, 2019 et Samar et Sid, 2021. Tandis que la valeur obtenue par l'étude Habibou et Kone, 2018 a présenté uniquement  $1,521 \pm 0,441$  de cet indice, ce qui s'est traduit sur la valeur moyenne de l'indice d'équitabilité qui a atteint uniquement  $0,591 \pm 0,197$ . Ces derniers auteurs indiquent que l'espèce *Bromus rubens* (L.) a montré une très large dominance, ce qui a fait ressortir une inégalité de répartition des espèces dans la plupart des relevés.

La ressemblance entre les deux relevés de la station s'observe que pour 36 espèces communes des 126 espèces inventoriées, ainsi qu'en témoigne l'indice de similarité de SÖRENSEN moyen qui était de  $27,22\% \pm 0,08\%$ . Cette valeur corrobore celles mentionnées par Khedara et Loumaizia, 2019 et Samar et Sid, 2021 dans les mêmes conditions.

Les résultats obtenus par l'étude phytoécologique d'*Opuntia maxima* nous ont incités à vouloir savoir s'il y a ou pas d'impact de cette espèce agricole sur les mycorhizes, partenaires de la végétation spontanée à son périmètre par rapport aux relevés où cette espèce est loin. De plus, des essais sur terrain en vue de développer l'utilisation d'une technologie d'*inoculum* à base de CMA exogènes ont été effectués. L'objectif étant de voir l'impact de ces CMA sur

*Opuntia maxima* introduite du point de vue économique et sur la mycorhization du point de vue écologique, par le suivi de l'*inoculum* dans la culture et dans le sol après deux années.

Le sol comme support de vie pour certains organismes vivants est un milieu vivant, il constitue une réserve précaire pour l'agriculture et la production alimentaire. Pour améliorer les rendements des cultures pour une population humaine en augmentation constante, des engrais chimiques sont appliqués dans le sol. Cependant, l'utilisation au hasard d'engrais, principalement à base d'azote et de phosphore, entraîne une contamination considérable du sol et de l'eau. De plus, une consommation injustifiée de ces produits agrochimiques a également des effets létaux sur les microorganismes du sol et perturbe la fertilité de ce dernier (Tarraf *et al.*, 2017).

De nombreux travaux de recherches ont révélé des résultats variables des paramètres de l'infection mycorhizienne, en relation avec plusieurs facteurs. Parmi ces facteurs, les propriétés du sol, les espèces végétales et fongiques, le nombre de propagules dans le sol et la sporulation, la saison, le climat (Bohrer *et al.*, 2004 ; Escudero et Mendoza, 2005 ; Dandan et Zhiwei, 2007) et le dépôt minéral, qui peuvent ainsi contribuer à la variation du niveau de colonisation d'une station à une autre (Bohrer *et al.*, 2004).

La comparaison des résultats obtenus à partir d'observations des fragments racinaires des espèces issues des relevés floristiques 1 et 2, a montré que la fréquence de mycorhization est très élevée, allant de 80 à 100% et ce, quelque soit le type de relevé. Pour les valeurs de la proportion du cortex colonisé estimée par rapport au système racinaire entier (M%) des espèces existantes au sein des deux relevés, la présence du figuier de Barbarie augmente (d'une manière homogène) ce paramètre pour la majorité des espèces de son périmètre. *Opuntia maxima* fait partie des plantes arbustives qui jouent un rôle important dans le maintien du sol et de sa fertilité chimique et biologique, et y constituent des îlots de fertilité (Garner et Steinberger, 1989 ; Reynolds *et al.*, 1990). En effet, cette espèce parmi tant d'autres dites « nourricières », sont caractérisées par de hauts niveaux de mycotrophie (symbiotes obligatoires) et jouent le rôle de vecteur de propagation des propagules fongiques (Requena *et al.*, 1996 & 1997), ce qui a permis dans cette étude, l'augmentation du pouvoir mycorhizogène des sols. Des études plus poussées permettront de déterminer plus précisément les raisons.

Concernant la formation des arbuscules qui est estimée par le paramètre (A%), elle est moindre au périmètre du figuier de Barbarie que plus loin, de ce fait, soit la présence du figuier de Barbarie a permis de diminuer légèrement le recours de la végétation spontanée du périmètre

à leur formation, ou bien, qu'il ne s'agit pas de la saison de formation de ces derniers, car, même loin du figuier de Barbarie, les espèces ont présenté des taux pas très élevés de ce paramètre (A%). De même pour les résultats obtenus par le traitement 2 (0% I.C. +0% M.O.) du figuier de Barbarie, où le taux a varié entre  $18,58\% \pm 04,30\%$  et  $23,80\% \pm 07,72\%$  à la même saison.

Pour le développement d'une culture bio d'*Opuntia maxima*, nous avons étudié le statut mycorhizien du figuier de Barbarie dans les conditions d'un dispositif expérimental utilisant une technologie d'*inoculum* à base de CMA exogènes et de la matière organique biologique, un suivi sur les trois années (2019, 2020 et 2021) a été effectué.

Afin d'assurer la durabilité des agroécosystèmes (**Barrios, 2007**), de nombreuses études ont mis l'accent sur l'augmentation ou l'amélioration du rendement total et de la qualité, en utilisant des alternatives potentielles pour remplacer les intrants existants par des intrants renouvelables, moins coûteux et plus respectueux de l'environnement. La symbiose est largement contrôlée par le régime de fertilisation au champ et/ou en serre. Il a été montré que l'augmentation d'application de fertilisant phosphaté minéral en agriculture conventionnelle induit une diminution de la colonisation racinaire par les CMA (**Mäder et al., 2000 ; Garbaye, 2013**). Notre terrain d'étude ne reçoit ni additifs phosphatés ni autres, chose pourquoi nos fragments racinaires ont tous été mycorhizés à des taux très élevés.

L'inoculation des sols avec des CMA facilite souvent l'acquisition de nutriments difficilement accessibles pour les plantes (**Smith et al., 2003**), en particulier le phosphore (P) (**Smith et al., 2003**) et favorise ainsi la croissance des plantes (**Nell et al., 2009**). Elle facilite également l'accumulation de plus de matière sèche (**Sharif et Claassen, 2011a**), améliore l'absorption d'eau (**Miransari, 2014**), offre une tolérance à la sécheresse et à la salinité (**Koide et Mosse, 2004**), confère une protection contre les agents pathogènes (**Filion et al., 1999**) et influence le profil qualitatif et quantitatif des métabolites secondaires (**Zeng et al., 2013**).

L'observation des fragments racinaires du figuier de Barbarie issus des 9 traitements utilisant le Symbivit et la matière organique à différentes doses (0%, 50% et 100%) entre la première et la troisième année dans la station d'étude, a montré que la fréquence de mycorhization est très élevée quelque soit le traitement. Ces résultats corroborent ceux de **Seini Abdoulaye et Yaou Dodo, 2018 ; Habibou et Kone, 2018 ; Bouakel, 2019 ; Khedara et Loumaizia, 2019 ; Bekouche et Chahbeur, 2021 ; Boutadjine et Ferchichi, 2021 ; Maïzi et Mesalti, 2021 et Samar et Sid, 2021** dans les conditions naturelles et semi naturelles. La fréquence (F%) a varié entre  $84,45 \pm 13,47\%$  à 100% pour tous les traitements et sur les trois années d'observation.

Pour les taux de M%, ils ont varié selon les traitements, pour les deux premières années, les plus forts taux ont été enregistrés pour le traitement 5 qui a reçu 50% d'*inoculum* et 50% de matière organique, tandis que les plus faibles taux ont été enregistrés pour le traitement 4 qui a reçu 0% d'*inoculum* et 100% de M.O. Pour la troisième année, le traitement 8 (100% I.C. + 50% M.O.) a présenté le plus faible taux, tandis que le traitement 1 (100% d'*inoculum* et 0% de M.O.) et 5 (50% d'*inoculum* et 50% de M.O.) ont présenté les meilleurs taux de ce paramètre.

L'analyse statistique effectuée pour les 9 traitements sur 3 années a montré que du point de vue économique, il serait intéressant d'adopter les doses du traitement 5 (50% d'*inoculum* et 50% de M.O.). L'efficacité élevée de ce traitement a été prouvée par les études : **Hamza, 2014 & 2020** sur la pastèque, **Aouissi, 2018** sur la pomme de terre, **Ziane, 2018** sur la tomate et **Bouakel, 2019** sur le figuier de Barbarie.

Dans les conditions de l'essai mené par l'*inoculum* Symbivit sur la pastèque : *Citrullus lanatus*, l'apport d'engrais chimiques semble avoir un effet négatif sur les mycorhizes exogènes, qui s'est reflété sur les valeurs de fréquence (F%) et le taux de mycorhization (**Hamza, 2014**). En effet, en l'absence d'apport chimique la fréquence et le taux de mycorhization étaient relativement élevés pour les plants non inoculés.

La sauge (*Salvia officinalis* L.) est l'espèce la plus répandue de la famille des Lamiaceae, principalement dans les régions méditerranéennes (**Menghini et al., 2013**). En mesurant le pourcentage de colonisation comme indicateur de l'activité des CMA (**Smith et Smith, 2011**), les résultats obtenus par l'utilisation du Symbivit, ont indiqué une colonisation chez toutes les plantes inoculées, pouvant atteindre jusqu'à 88% et ce, après quatre mois de croissance.

L'inoculation avec le Symbivit a favorisé la croissance des plantes et généré des avantages pour le poivre d'épices, l'augmentation du rendement en poivre résultant de l'inoculation a également été observée par d'autres (**Douds et Reider, 2003 ; Kaya et al., 2009**).

Dans l'étude **Hamza, 2014** sur la pastèque, utilisant du NPK à 100%, les taux de M% et de F% diminuent pour les plants inoculés ; tandis que pour les plants non inoculés, ces valeurs ont plutôt augmenté pour la dose 50%, bien que ça n'a pas vraiment augmenté pour les plants témoins. Ces résultats laissent à penser que l'engrais chimique a constitué une source de stress pour les champignons exogènes de commerce qui a ralenti leur installation alors que les

champignons mycorrhizogènes endogènes bien adaptés à ces milieux et conditions ont mieux réagi à ce stress (**Hamza, 2014**).

La résistance à la sécheresse fournie par les mycorhizes est très bien documentée (**Dalpé, 2003 ; Khalvati et al., 2005; Porcel et al., 2004**). Le figuier de Barbarie arbuste arido-résistant (**Tegegne et al., 2007**) protège le sol contre l'érosion (**Le Houérou, 1996; Orwa et al., 2009**), piège les poussières riches en nutriments avec sa partie aérienne (**Wezel et al., 2000**), fixe le carbone par la photosynthèse et le transfert aux racines et à la litière, contribuant ainsi à son accumulation.

*Opuntia maxima* introduit, peut développer une association mycorrhizienne, comme dans son aire d'origine (**Carrillo-Garcia et al., 1999 ; Pimienta et al., 2002**). De façon générale, le genre, *Opuntia* développe une symbiose avec les CMA soit en milieu naturel ou bien sous serre (**Montiel et Olivares, 1997**). Il est généralement installé dans un environnement pauvre, par conséquent, il doit pour sa performance physiologique maintenir un taux élevé de mycorhization durant toutes les saisons (**Neffar, 2012**). Il a été d'ailleurs signalé par **Cui et Nobel (1992)** et par **Bohrer et al. (2004)** que la colonisation par les CMA est plus élevée dans les milieux arides. De plus, la longévité de cette espèce pérenne, fait en sorte qu'elle ait besoin des mycorhizes durant les longues périodes de sécheresse (**Collier et al., 2003**).

Afin d'évaluer l'impact de l'apport de CMA exogènes sur le sol de culture, une étude préliminaire a été effectuée visant à voir leur effet sur les paramètres physico-chimique du sol. Il s'est avéré que la quantité de phosphore a diminué pour le sol inoculé avec l'augmentation des carbonates de calcium, ce qui donne une forte fixation du phosphore de la part de la plante. Ceci pourrait être expliqué par le fait que les CMA apparaissent comme des sites privilégiés d'absorption et d'accumulation de phosphore (**Ndonda et al., 2019**) en augmentant l'accès des plantes aux éléments nutritifs dans la rhizosphère (**Lounes-Hadj Sahraoui, 2013**). Le rôle majeur des CMA est l'amélioration des nutriments hydrique et minérale de la plante grâce à des transferts de l'eau et des éléments minéraux, en particulier le phosphore et l'azote. Ce transfert se fait du CMA vers la plante hôte, il en résulte une amélioration de la croissance des plantes mycorhizées et une meilleure installation dans des conditions défavorables (**Lounes-Hadj Sahraoui, 2013**).

Ces CMA permettent d'explorer un volume de sol beaucoup plus important, en effet, l'élongation des hyphes extraracinaires augmente la surface de contact entre les minéraux du sol et la racine (**Lounes-Hadj Sahraoui, 2013**). Il a été montré que le taux d'absorption du phosphore par unité de longueur de racine colonisée est 2 à 3 fois plus élevé que dans les racines

non colonisées (**Sieverding, 1991**). La longueur des hyphes a été estimée entre 81 à 111 mètres par cm<sup>3</sup> de sol (**Miller et al., 1995**), de plus, ils peuvent explorer des zones non accessibles pour les plantes non mycorhizées pour y prélever l'eau et les nutriments et les transférer à la plante hôte (**Khalvati et al., 2005**). Pour le reste des paramètres, d'autres études plus approfondies permettront de les caractériser.

Pour voir l'impact des CMA exogènes utilisés dans notre étude, nous avons procédé à une évaluation du potentiel mycorhizogène des sols témoins (100% M.O.) au début (2019) et en fin de l'essai (2021) et du sol inoculé à 100% (100% I.C. +100% M.O.), 2 années après essai (2021). L'objectif étant de voir si l'utilisation de CMA exogènes améliore le pouvoir mycorhizogène du sol en l'enrichissant de propagules à long terme, afin d'encourager l'utilisation de ces produits sur différentes cultures.

Dans les écosystèmes naturels, il y a une corrélation étroite entre le taux de recouvrement et le nombre de spores (**Abbott et 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. Tandis que dans les écosystèmes naturels dominés par les arbustes vivaces, le nombre de spores est généralement plus petit que celui d'un sol utilisé pour l'agriculture (**Abbott et Robson, 1991**).

D'après **Plenchette et al. (1989 & 2005)**, la réponse des plantes à la mycorhization est non seulement fonction de l'espèce de champignon mycorhizien mais également de la mycotrophie de la plante hôte, ce qui favorise une augmentation du potentiel infectieux mycorhizogène du sol. 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 et Alvarez- Sanchez, 1999**).

Le nombre le plus probable de propagules aptes à générer une mycorhization, obtenu en 2019 a présenté une moyenne élevée ( $2722,22 \pm 822,15$  prapagules/kg) pour le sol témoin, même après deux années, ce nombre est resté élevé. L'analyse statistique a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les valeurs du MPN du sol témoin en 2019 et 2021. Aussi, des valeurs élevées de ce nombre ont été mentionnées par **Boutadjine et Ferchichi, 2021** à Ben Attia, **Bekouche et Chahbeur, 2021** à Sidi Fredj (Souk Ahras), Aïn Fakroune et Taoura et de **Maïzi et Mesalti, 2021** à Bordj-Bou-Arreridj et Kasr El Boukhari (Médéa) sur des sols cultivés par *Opuntia maxima*. En se référant à **Chantelot (2003)**, un MPN élevé est le reflet

d'un bon état biologique du sol, ce taux est jugé acceptable autour de 1500 et trop faible en dessous de 500 propagules par kilogramme de sol.

Tandis que des valeurs relativement faibles de ce nombre ont été enregistrées par **Bekouche et Chahbeur, 2021** pour les sols de Khenchela (233,33), **Maïzi et Mesalti, 2021** pour Hammam Dhalaa et Ksab-Ouled Mansour (M'Sila) avec 750 et 900 propagules/kg de sol respectivement sur des sols cultivés par *Opuntia maxima*. Tous ces auteurs ont relié ces faibles valeurs (par rapport aux nôtres) aux conditions climatiques existantes, à savoir, la sécheresse qui engendre une baisse du couvert végétal et par conséquent un faible pouvoir mycorhizogène. Car, nombreux travaux ont montré que la valeur du 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 et Rosendahl, 1989 ; Titus et al., 2002 ; Sanon, 2009**).

Les résultats de **Neffar, 2012** sur le figuier de Barbarie ont montré que les valeurs du MPN ont été comprises entre 1800 et 2000 propagules/kg pour le sol témoin, ce nombre est moindre dans les milieux libres (500 à 1500 propagules/kg). **Azcon-Aguilar et al., (2003)**, avancent une valeur de 240 propagules/kg, 410 pour *Pistachia lentiscus*, 2970 propagules/kg pour *Olea europea* et 3780 propagules/kg de sol pour *Retama sphaerocarpa* dans les milieux libres.

Pour l'olivier *Olea europea*, le nombre le plus probable de propagules aptes à générer une mycorhization pour des sols cultivés par deux variétés est de 1600 à 1650 propagules/kg de sol à Guelma et entre 2300 à 3500 propagules/kg à Tizi Ouzou (**Meddad-Hamza, 2010**).

L'étude de **Ziane, 2018** sur la tomate industrielle a enregistré une valeur de MPN de 733 propagules/kg de sol, celle de **Aouissi, 2018** sur la pomme de terre a donné une valeur de 650 propagules/kg, toutes ces valeurs ont été obtenues avant le début des expériences. Ces faibles valeurs sont dus au fait que pour ces deux cultures, les mycorhizes n'ont pas eu le temps de s'installer, en plus de l'impact négatif sur les mycorhizes des diverses pratiques culturales, à savoir, le travail de sol avant et après cultures et l'élimination des mauvaises herbes en permanence de la part des agriculteurs. Ces actions permettent de réduire la biomasse du couvert végétal naturel du sol, ce qui mène à des conséquences négatives par la diminution du nombre et de la diversité des propagules mycorhizogènes.

De plus, les fruits de la tomate sont récoltés après 4 à 5 mois selon les conditions, 3 à 5 mois pour les tubercules de la pomme de terre selon l'état physiologique des tubercules plantés et la période de plantation, de l'ensemble des facteurs agro-climatiques et des variétés utilisées



(**Rousselle et al., 1996**). Ceci diminue de plus en plus le MPN, car le travail de sol se fait plus fréquemment comparé à celui du figuier de Barbarie dont la plante reste longtemps, seul le fruit qui est récolté. En conséquence, le sol de notre culture sera beaucoup plus riche que les précédentes.

Dans l'étude effectuée par **Hamza, 2014** sur la pastèque, le sol témoin était moyennement riche avec un MPN de 1220 propagules/kg pour la station de Chihani, bien que ce sol n'a pas été cultivé ou traité aux fertilisants pendant quatre années, ce qui a permis son enrichissement en propagules de CMA.

En analysant les valeurs du MPN obtenues sur les sols de différentes cultures maraîchères avec les nôtres dans les conditions naturelles, ça pourrait nous pousser à conclure que le figuier de Barbarie est une culture maraîchère qui attire une végétation spontanée mycotrophe, ceci a été inscrit précédemment, car les Poaceae sont très nombreuses à son périmètre, ces dernières ont présenté des taux élevés de M% qui représente l'importance de la colonisation du système racinaire. De plus, la longévité du figuier de Barbarie semble avoir une part de contribution dans l'amélioration du nombre de propagules en stimulant la coexistence de plusieurs espèces végétales (**Chen et al., 2005**) qui donne à un MPN plus important (**Sanon, 2005**), car, en réduisant les effets de l'érosion, cette espèce agricole préserve les champignons mycorrhizogènes.

En comparant entre MPN des sols inoculés et témoins dans nos essais, il s'avère que le sol inoculé a présenté un facteur d'augmentation du MPN de 02,12 par rapport au sol non inoculé estimé en la même année (2021). Ce nombre a augmenté de 02,47 fois comparé au sol témoin de 2019. Ces résultats sont aussi importants que ceux obtenus par **Boutadjine et Ferchichi, 2021**, mais plus importants que ceux de **Hamza, 2020** sur la pastèque (01,22 fois uniquement), ce qui confirme ce que nous avons mis auparavant en hypothèse. Selon **Lovelock et al., (2003)**, l'abondance et la composition des champignons mycorrhiziens 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. Nos résultats corroborent ceux d'**Azcón-Aguilar et al. (2003)** qui ont démontré que l'inoculation endomycorhizienne des racines de l'olivier augmente significativement le nombre de propagules mycorrhiziens dans le sol.

La fertilisation conventionnelle pratiquée sur plusieurs années peut réduire la diversité et la colonisation racinaire par les CMA (**Lin et al., 2012**) et diminuer ainsi le pouvoir mycorrhizogène des sols. **Ren et al. (2019)** avaient conclu que l'inoculation des plants de

pastèque en pépinière a permis de maintenir des niveaux élevés de colonisation et d'améliorer la densité des spores de CMA dans le sol rhizosphérique une fois plantés dans la terre.

Les résultats de nos essais ont démontré l'avantage d'appliquer la biotechnologie des mycorhizes à arbuscules en agriculture comme est le cas du Symbivit, pour augmenter le MPN du sol, ce qui le rend plus effectif en palliant sa pauvreté et sa dégradation. Aussi, pour l'amélioration du rendement et l'utilisation plus rationnelle des fertilisants afin d'aboutir au développement d'une agriculture durable. Ceci a aussi été recommandé par l'étude **Hamza, 2020** qui a montré que l'utilisation du Symbivit améliore la croissance des plants et par conséquent hausse le rendement, et de même pour les résultats de **Zerbib, 2015** sur la culture de la vigne en utilisant le Symbivit Pro.

***CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES***

### **CONCLUSION ET PERSPECTIVES :**

En Algérie et dans la région de Souk Ahras, les études s'intéressant au potentiel de la flore rare et endémique sont rares et très localisées, c'est pourquoi, nous nous sommes d'abord intéressés à cet aspect. L'objectif étant de fournir des informations sur l'état de cette végétation spontanée dans 18 stations appartenant aux trois étages bioclimatiques existants dans la région d'étude. Pour approfondir cette étude, nous nous sommes également intéressés à l'impact de l'introduction d'*Opuntia maxima* comme pratiques culturales de l'homme sur la composante spécifique et biologique de la végétation naturelle de la région. Ainsi, une comparaison de la composante floristique a été effectuée loin et au périmètre de cette espèce agricole. Cette étude a permis aussi de fournir des informations sur l'état des champignons mycorhiziens à arbuscules présents dans le sol cultivé par *Opuntia maxima* d'une part et pour les fragments racinaires de la végétation spontanée récoltée loin et au périmètre de cette espèce d'autre part. En effet, les partenaires symbiotiques d'*Opuntia maxima* ont été considérés dans les conditions naturelles et expérimentales. Pour en finir, une analyse du potentiel mycorhizogène (MPN) du sol témoin et inoculé sur deux années a été effectuée.

L'analyse de la flore rare et endémique de la région de Souk Ahras a révélé qu'une importante richesse spécifique (119 espèces), caractérisée par 75 espèces endémiques et 68 espèces rares est existante dans la région d'étude. Cette flore endémique régionale est loin d'être suffisamment connue. Un large périmètre de la région d'étude demeure encore très mal exploré. Toute la zone située sur les frontières algéro-tunisiennes et les grandes steppes de *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth et *Artemisia herba-alba* Asso situées au sud de la région, mérite d'être profondément prospectée.

Cette étude a révélé que la relation entre la rareté et l'endémisme est remarquable, environ 1/3 des taxons endémiques au sens large sont rares. Mis à part certaines espèces qui figurent sur la liste des espèces végétales non cultivées et protégées, le reste n'est pas protégé. Il est donc nécessaire de protéger ces espèces selon la priorité de la conservation, en fonction de la nature de l'endémicité et de la rareté.

*Opuntia maxima* a fait l'objet d'étude dans la station de Ben Attia située à l'étage bioclimatique semi-aride de la région de Souk Ahras. Cette espèce est à part entière pour l'exploitation fourragère et maraîchère et présente un intérêt socioéconomique pour la population locale de la région. Pour l'étude phytoécologique de cette espèce, nos inventaires ont permis de recenser 79 taxons répartis en 26 familles loin du figuier de Barbarie contre 83

taxons de 28 familles à son périmètre. La comparaison entre les taxons des deux relevés a permis de voir qu'il existe une faible ressemblance (27,22%) entre leurs composantes floristiques. Ceci montre que la présence du figuier de Barbarie a une influence sur la composition de la végétation spontanée à son périmètre. De plus, la répartition en familles des espèces a montré qu'une prédominance numérique du nombre d'individus est observée chez les Poaceae au périmètre d'*Opuntia maxima*. Ces dernières ont été en majorité des plantes à cycle végétatif annuel, rendent le milieu moins évolué que celui où cette espèce agricole est loin.

L'analyse quantitative des types biologiques a montré que sur les 126 espèces recensées dans la station de Ben Attia, une prépondérance numérique est attribuée aux thérophytes par rapport aux autres types biologiques. La station d'étude est un milieu dégradé mais en voie de reconstitution à cause d'une mise en défens contre le pâturage. Ceci a été confirmé par les taux presque égaux entre espèces vivaces et annuelles dans les deux relevés, comparés aux résultats d'autres auteurs.

*Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams, est l'une des espèces communes entre les deux types de relevés de cette étude, cette Caryophyllaceae à large répartition biogéographique, a présenté plus de plants au périmètre du figuier de Barbarie que plus loin, ceci est dû à sa préférence pour les milieux cultivés. Tandis que pour *Cynodon dactylon*, appartenant à la famille des Poaceae, famille la plus riche en nombre des individus dans les relevés du périmètre du figuier de Barbarie, elle a présenté le nombre le élevé de plants au périmètre du figuier de Barbarie. Une recherche plus approfondie concernant son existence uniquement au périmètre du figuier de Barbarie est envisageable dans le futur.

Notre station d'étude abrite une flore très diversifiée du point de vue types biogéographiques, avec une prédominance de la végétation méditerranéenne, que ce soit loin ou au périmètre d'*Opuntia maxima*. Concernant les espèces rares strictes, il n'y a pas eu de différence que ce soit pour leur présence ou leurs effectifs, d'un relevé à l'autre. Tandis que pour les endémiques, elles ont présenté plus de plants loin qu'au périmètre du figuier de Barbarie et de même pour les espèces à statut endémique rare. Parmi les taxons endémiques rares inventoriés dans notre station d'étude, un seul est protégé par la liste du **J.O.R.A, 2012**, il s'agit d'*Argyrolobium saharae* Pomel., tandis que les deux autres (*Carlina involucrata* Poir. et *Echium humile* subsp. *pyncanthum*) ne présentent pas ce statut, ils méritent d'être protégés en vue de les préserver du danger qui les menace.

L'un des challenges que l'Algérie et le reste du monde devront relever est d'augmenter les productions agricoles suite à l'augmentation de la demande alimentaire humaine. Cette

augmentation doit être accompagnée d'une pensée sérieuse de faire un recul de la dépendance d'utilisation des fertilisants chimiques. Ces derniers, certes, offrent aux cultures un potentiel élevé de croissance en leur apportant certains éléments nutritifs, mais ne nourrissent pas les organismes du sol et risquent de les détruire. L'objectif étant de mieux produire en quantité tout en assurant la qualité et ce, pour le bien de la santé humaine et environnementale.

Les résultats ont montré que bien que la présence d'*Opuntia maxima* a permis d'attirer plus de végétation spontanée annuelle que vivace, elle a exercé un impact positif pour le développement durable économique en améliorant la vitalité dans le sol où cette espèce est installée. Nos résultats ont montré qu'une fréquence de mycorhization élevée (F%) a été observée pour tous les fragments racinaires d'*Opuntia maxima*, que ce soit pour les plants inoculés ou pas, ce qui prouve une résistance aux conditions défavorables, entre autre la sécheresse qui touche cette région. Ceci a été confirmé en analysant le potentiel mycorhizogène (MPN) du sol où cette espèce est cultivée.

En premier lieu, il était important de chercher à connaître les propriétés physico-chimiques du substrat de culture avant et après essai. Ce sol présente une texture sableuse de type sable limoneux, il est riche en matière organique et en phosphore, avec un pH alcalin et un taux de calcaire élevé. Ce substrat est pauvre en sels solubles, ceci est confirmé par la conductivité électrique très faible.

Le dispositif expérimental utilisant le Symbivit et la matière organique à différentes doses a montré que le meilleur rendement biologique/économique a été obtenu par le traitement (50% d'*inoculum* et 50% de matière organique), tandis que les plus faibles valeurs ont été enregistrées par le traitement (0% d'*inoculum* et 100% de matière organique). Ces résultats ont permis la mise en évidence de l'effet positif du Symbivit sur la mycorhization par rapports aux plants non inoculés. Le MPN calculé à partir de sols inoculés à 100% a augmenté d'un facteur allant de 02,12 à 02,47 par rapport au sol témoin de 2021 et 2019 respectivement.

Cette étude sur le potentiel de la flore rare et endémique est une des toutes premières dans la région de Souk Ahras qui s'intéressent à ces aspects. De même, pour l'étude effectuée sur *Opuntia maxima* dans la région de Ben Attia, zone assez riche en végétation malgré son caractère d'aridité. Ce document peut ainsi constituer une référence afin d'approfondir les études dont le but primordial est de mieux conserver la biodiversité. Pour cela, des travaux qui permettraient de mieux valoriser les résultats déjà obtenus seront à envisager par le biais des perspectives suivantes :

- ✓ Un approfondissement de l'évaluation de la dynamique des populations des CMA et du rôle fonctionnel spécifique joué par ces organismes bénéfiques dans les sols agricoles, en plus d'une identification morphologique et moléculaire, afin d'étudier les impacts des pratiques culturales sur les populations microbiennes du sol.
- ✓ Une étude développée en vue de connaître l'état du sol de culture nous a apporté des résultats préliminaires et nous orientent vers une analyse plus poussée sur les caractères physico-chimiques du sol inoculé dans le cadre d'une autre étude.
- ✓ Un effet à long terme de l'utilisation du Symbivit est à envisager à savoir : qualité, poids des fruits, taille et poids des raquettes, et la résistance aux stress abiotiques et biotiques.
- ✓ Un inventaire des plantes mycorhizées afin de les impliquer dans le domaine de l'agriculture grâce à la bio-fertilisation des sols à caractère pauvres et dégradés.
- ✓ La réalisation d'une fertilisation raisonnée à plus grande échelle dans cette région agricole associée à une stratégie d'inoculation de CMA en fonction des caractéristiques agro-écologiques, physico-chimiques et biologiques des sols et du rendement potentiel.

***RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES***



### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Abbas, K., Abdelguerfi-Laouar, M., Madani, T., Mebarkia, A. & Abdelguerfi, A. (2005).** Rôle et usage des prairies naturelles en zone semi-aride d'altitude en Algérie. *Fourrages (Versailles)*, (183), 475-479.
- Abbott, L.K. & Robson, A.D. (1991).** Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, ecosystems & environment*, 35(2-3), 121-150.
- Abbott, L.K., Robson, A.D. & Gazey, C. (1992).** 1 Selection of Inoculant Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Methods in microbiology*, 24, 1-21.
- Abdelguerfi, A. & Hakimi, M. (1990).** Les prairies naturelles permanentes en Algérie: problématique. In *Annales de l'Institut national agronomique El Harrach* (Vol. 14, No. 1, pp. 1-12). ASJP.
- Abdelguerfi, A. & Laouar, M. (1997).** La privatisation du foncier: impact sur l'environnement et sur les ressources génétiques en Algérie. *Opt. Mediterr.*, 32, 203-207.
- Abdelguerfi, A., Laouar, M., M'Hammedi Bouzina, M. (2008).** Les productions fourragères et pastorales en Algérie: situation et possibilités d'amélioration. *Agriculture & développement*, 6, 14-25.
- Abdellaoui, H. (2012).** Développement récent et perspectives de l'agriculture biologique en Algérie. In *Colloque international sur les produits de terroir*, Université de Blida.
- AFNOR (1990).** Granulats, analyse granulométrique par tamisage. Norme P18-560.
- Agence Ecofin (2015).** L'Algérie s'enorgueillit de sa première usine de transformation de figue de Barbarie (available at <http://www.agenceecofin.com/fruits/0510-32871-lalgerie-senorgueillit-de-sa-premiere-usine-de-transformation-de-figue-de-barbarie>).
- Agence Méditerranéenne de l'Environnement (2003).** Plantes envahissantes de la région méditerranéenne, Fichier N°12 "Opuntia spp. Oponces ou figuier de Barbarie» Agence Régionale Pour l'Environnement Provence-Alpes Côte d'Azur, p.51.
- Alexander, M. (1965).** Most-probable-number method for microbial populations. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1467-1472.
- Alexander, T., Toth, R., Meier, R. & Weber, H.C. (1989).** Dynamics of arbuscule development and degeneration in onion, bean, and tomato with reference to vesicular-arbuscular mycorrhizae in grasses. *Canadian Journal of Botany*, 67(8), 2505-2513.
- Alimi, H., Hfaeidh, N., Bouoni, Z., Sakly, M. & Rhouma, K.B. (2013).** Ameliorative effect of Opuntia ficus indica juice on ethanol-induced oxidative stress in rat erythrocytes. *Experimental and toxicologic pathology*, 65(4), 391-396.
- Allem, M., Hamel, T., Tahraoui, C., Boulemtafes, A. & Bouslama, Z. (2018).** Diversité floristique des mares temporaires de la région d'Annaba (Nord-Est Algérien). *International Journal of Environmental Studies*, 75(3), 405-424.
- Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E.J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., ... & Sanderson, M. (2011).** An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and forage science*, 66(1), 2.
- Amirouche, R. & Misset, M.T. (2009).** Flore spontanée d'Algérie: différenciation écogéographique des espèces et polyploïdie. *Cahiers agricultures*, 18(6), 474-480.
- Anderson, S. (1994).** Area and endemism. *The quarterly review of biology*, 69(4), 451-471.
- Aouissi N., Hamza-Meddad A. & Djemai R. (2017).** Impact of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Fertilization Levels on biochemical changes in potato (*Solanum tuberosum* L., Solanales Solanaceae). *Biodiversity Journal*, 8 (2) : 689-696
- Aouissi, N. (2018).** Biotechnologie de l'inoculation mycorrhizienne : Production et application en cultures maraîchères. Cas de la pomme de terre. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques. Université Annaba, 68p.

- Araba, A., Collado, M., Boutouba, A. & Sahnoun, A. (2009).** Nouvel aliment pour les ruminants à base de fruit de cactus. Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture. Maroc. *Bulletin mensuel*, (176).
- Arba, M. (2009).** Le cactus opuntia une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. In *Actes du Symposium International AGDUMED-durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne et gestion des ressources en eau et en sol* (pp. 14-16). Rabat: Cana Print.
- Arba, M., Aich, E.L., Sarti, A., Belbahri, B., Boubkraoui, L.L., Ait Hammou, A., ... & Sbaa, A.H. (2000).** Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Bull Mens Inf Liaison PNTTA*, 68, 1-4.
- Arias, E., Reynolds, S. G. & Sanchez, M.D. (2003).** El nopal (Opuntia spp.) como forraje (Vol. 169). *Food & Agriculture Organisation*.
- Arnaud, M.J. (1987).** The pharmacology of caffeine. *Progress in drug research/Fortschritte der Arzneimittelforschung/Progrès des recherches pharmaceutiques*, 273-313.
- Arora, N.K., Mehnaz, S. & Balestrini, R. (2016).** Bioformulations: for sustainable agriculture (pp. 1-283). Berlin: Springer.
- Augé, R.M., Toler, H.D. & Saxton, A.M. (2014).** Arbuscular mycorrhizal symbiosis and osmotic adjustment in response to NaCl stress: a meta-analysis. *Frontiers in plant science*, 5, 562.
- Azcón-Aguilar, C., Palenzuela, J., Roldán, 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(1), 29-37.
- Bâ, A., Duponnois, R., Diabaté, M. & Dreyfus, B. (2011).** Les champignons ectomycorhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest: méthodes d'étude, diversité, écologie, utilisation en foresterie et comestibilité. IRD Editions.
- Badni, N. (2012).** Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone semi-aride: Exemple dans le moyen chellif " parcelle à Ouled Ben Aek" : Conception et modélisation des systèmes « irrigation-drainage ». Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Chlef, 160p
- Bae, J.S. & Huh, M.W. (2006).** The dyeability and antibacterial activity of wool fabric dyed with cochineal. *Textile Coloration and Finishing*, 18(5), 22-29.
- Bagnouls, F. & Gaussen, H. (1953).** Dry periods and vegetation. *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des sciences*, 236(10), 1075-1077.
- Bagnouls, F. & Gaussen, H. (1957).** Les climats biologiques et leur classification. In *Annales de géographie* (Vol. 66, No. 355, pp. 193-220). Armand Colin.
- Barbera, G., Carimi, F. & Inglese, P. (1992).** Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (Opuntia ficus-indica (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic botany*, 46(1), 10-20.
- Barbera, G.B., Inglese, P. & Pimienta Barrios, E. (1995).** History, economic and agro-ecological importance. Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear. FAO, Roma (Italia).
- Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R. & Quézel, P. (1989).** Sclerophyllous Quercus forests of the Mediterranean area: Ecological and ethological significance. *Bielefelder Ökologische Beiträge*, 4, 1-23.
- Barbero, M., Loisel, R., Médail, F. & Quézel, P. (2001).** Signification biogéographique et biodiversité des forêts du bassin méditerranéen. *Boccone*, 13, 11-25.
- Barbero, M., Quézel, P. & Rivas-Martinez, S. (1981).** Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. *Phytocoenologia*, 311-412.
- Barea, J.M., Azcón, R. & Azcón-Aguilar, C. (2005).** Interactions between mycorrhizal fungi and bacteria to improve plant nutrient cycling and soil structure. In *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions* (pp. 195-212). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Barea, J.M., Escudero, J.L. & De Aguilar, C.A.G. (1980).** Effects of introduced and indigenous VA mycorrhizal fungi on nodulation, growth and nutrition of *Medicago sativa* in phosphate-fixing soils as affected by P fertilizers. *Plant and soil*, 54(2), 283-296.
- Barrios, E. (2007).** Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological economics*, 64(2), 269-285.
- Barthes, A.M. (2016).** Figue de barbarie: un cactus source de richesses. L'essentielle de l'agroalimentaire et l'agriculture - N°100, agroligne, Paris, France, 68 pp.
- Battandier, J.A. (1888).** Flore de l'Algérie : ancienne flore d'Alger transformée, contenant la description de toutes les plantes signalées jusqu'à ce jour comme spontanées en Algérie (Vol. 1). Adolphe Jourdan.
- Battandier, J.A. (1889).** Algérie : Plantes médicinales, essences et parfums. Giralt, imprimeur du gouvernement général.
- Battandier, J. A. (1890).** Flore de l'Algérie : contenant la description de toutes les plantes signalées jusqu'à ce jour comme spontanées en Algérie et catalogue des plantes du Maroc (Vol. 1). Typographie Adolphe Jourdan.
- Battandier, J.A. & Trabut, L. (1884).** Flore d'Alger et Catalogue des plantes d'Algérie, ou énumération systématique de toutes les plantes signalées jusqu'à ce jour comme spontanées en Algérie, avec description des espèces qui se trouvent dans la région d'Alger : Monocotylédones. Adolphe Jourdan.
- Battandier, J.A. & Trabut, L. (1895).** *Flore de l'Algérie... et catalogue des plantes du Maroc: monocotyledones.*
- Bearden, B.N. & Petersen, L. (2000).** Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. *Plant and Soil*, 218(1), 173-183.
- Beauchamp, C.J. (1993).** Mode d'action des rhizobactéries favorisant la croissance des plantes et potentiel de leur utilisation comme agent de lutte biologique. *Phytoprotection*, 74(1), 19-27.
- Bekouche, M. & Chahbeur, H. (2021).** Cortège floristique et symbiose mycorrhizienne du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) dans des régions semi-arides du Nord-EST de l'Algérie. Mémoire de Master en Biotechnologie végétale, Université Annaba, 71p.
- Belloula, M. (2008).** Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens). Mémoire de Magister en Aménagement du territoire, Université Batna, 166 p.
- Ben Tiba, B. & Reille, M. (1982).** Recherches pollenanalytiques dans les montagnes de Kroumirie (Tunisie septentrionale): premiers résultats. *Ecologia mediterranea*, 8(4), 75-86.
- Benabadji, N., Benmansour, D. & Bouazza, M. (2007).** La flore des monts d'Ain Fezza dans l'ouest algérien, biodiversité et dynamique. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 47-59.
- Benhouhou, S., Yahi, N. & Véla, E. (2018).** Algeria (chapter 3 "Key Biodiversity Areas (KBAs) for plants in the Mediterranean region"), UICN, 53-60.
- Benkhettou, A., Azouzi, B., Djili, K., Mohamed, B., Zedek, M. & Saadi, R. (2015).** Diversité floristique du massif du Nador en zone steppique (Tiaret, Algérie). *European Scientific Journal*, 11(21).
- Benslama, M., Andrieu-Ponel, V., Guiter, F., Reille, M., De Beaulieu, J. L., Migliore, J. & Djamali, M. (2010).** Pollen analysis from two littoral marshes (Bourdim and Garaat El-Ouez) in the El-Kala wet complex (North-East Algeria). Lateglacial and Holocene history of Algerian vegetation. *Comptes rendus biologiques*, 333(10), 744-754.
- Bessaoud, O., Pellissier, J.P., Rolland, J.P. & Khechimi, W. (2019).** Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie (Doctoral dissertation, CIHEAM-IAMM).
- Bever, J.D., Richardson, S.C., Lawrence, B. M., Holmes, J. & Watson, M. (2009).** Preferential allocation to beneficial symbiont with spatial structure maintains mycorrhizal mutualism. *Ecology letters*, 12(1), 13-21.

- Bhira, O. (2012).** Potentialités thérapeutiques d'*Opuntia ficus indica* au Maroc et en Tunisie (Doctoral dissertation).
- Blanca, G., Cabezudo, B., Cueto, M., Lopez, C.F., Torres, C.M. (2009).** Flora Vasculair de Andalucía Oriental. 4 Tomes. *Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.*
- Blondel, J. (1973).** Avifaune et végétation. Essai d'analyse de la diversité.
- Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.Y. & Boeuf, G. (2010).** The Mediterranean region: biological diversity in space and time. Oxford University Press.
- Bohrer, K.E., Friese, C.F. & Amon, J.P. (2004).** Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza*, 14(5), 329-337.
- Bolan, N.S. (1991).** A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and soil*, 134(2), 189-207.
- Bonfante-Fasolo, P. & Grippiolo, R. (1982).** Ultrastructural and cytochemical changes in the wall of a vesicular–arbuscular mycorrhizal fungus during symbiosis. *Canadian Journal of Botany*, 60(11), 2303-2312.
- Bonneau, M. & Souchier, B. (1994).** Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol (No. 631.4 B716 1994). Masson.
- Bory de Saint-Vincent, J.B. (1838).** Note sur la commission exploratrice et scientifique d'Algérie. *Paris: Cosson.*
- Bouakel, Ch. (2019).** Applications sur une espèce des terrains agricoles : le figuier de Barbarie (*Opuntia maxima*) au niveau de la commune de Taoura dans le Sud-Est de la wilaya de Souk-ahras. Mémoire de Master en Agro-écologie, Université Souk Ahras, 57 p.
- Boudjadja, A., Kaddour, B.H. & Pauc, H. (2010).** Increasing the value of surface water storage for protected wildlife, particularly the emblematic Cuvier's Gazelle, in Mergueb Reserve (M'sila, Algeria). *Revue d'écologie-la terre et la vie*, 65(3), 243-253.
- Boudy, P. (1952).** Guide du forestier en Afrique du Nord.
- Boukehili, K., Boutabia, L., Telailia, S., Menaa, M., Tlidjane, A., Maazi, M. C., ... & Vela, E. (2018).** Les Orchidées de la région de Souk-Ahras (Nord-Est algérien): inventaire, écologie, répartition et enjeu de conservation. *Revue d'écologie.*
- Boulemtafes, A., Hamel, T., de Bélair, G. & Vêla, E. (2018).** Nouvelles données sur la distribution et l'écologie de seize taxons végétaux du littoral de la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). *Bulletin de la. Société Linnéenne de Provence*, 69, 1-18.
- Boullard, B. (1988).** Dictionnaire de botanique (p. 1). Ellipses.
- Boullard, B. (1990).** Guerre et paix dans le règne végétal. Ed. Marketing.
- Bousnoubra, H. (1982).** Etude hydrogéologique du synclinale de Taoura (Souk-Ahras) extrême Nord-Est Algérien. Mémoire de DEA, USTL Montpellier II, France. 45p.
- Boutadjine, M. & Ferchichi, N.E. (2021).** Étude du potentiel mycorrhizogène des sols cultivés par le figuier de barbarie (*Opuntia maxima*) dans le sud-Est de la wilaya de souk ahras. Comparaison entre sol inoculé par Symbivit et sol non inoculé. Cas de la Mechta de Benatia au sein de la commune de Taoura. Mémoire de Master en Agro-écologie, Université de Souk Ahras, 57p.
- Braun-Blanquet, J., Roussine, N. & Nègre, R. (1952).** Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. Direction de la Carte des Groupements Végétaux de l'Afrique du Nord, CNRS.
- Bressan, W. (2001).** The interactive effect of phosphorus and nitrogen on "in vitro" spore germination of *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann, root growth and mycorrhizal colonization. *Brazilian Journal of Microbiology*, 32, 276-280.

- Brundrett, M.C. (2002).** Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New phytologist*, 154(2), 275-304.
- Burrows, R.L. & Pflieger, F.L. (2002).** Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Canadian Journal of Botany*, 80(2), 120-130.
- Cañadas, E.M., Fenu, G., Peñas, J., Lorite, J., Mattana, E. & Bacchetta, G. (2014).** Hotspots within hotspots: Endemic plant richness, environmental drivers, and implications for conservation. *Biological Conservation*, 170, 282-291.
- Cappellazzo, G., Lanfranco, L., Fitz, M., Wipf, D. & Bonfante, P. (2008).** Characterization of an amino acid permease from the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Plant Physiology*, 147(1), 429-437.
- Cardoso, I.M. & Kuyper, T.W. (2006).** Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, ecosystems & environment*, 116(1-2), 72-84.
- Carrillo-Garcia, A., León 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.
- Carrubba, A., La Torre, R. & Zaffuto, G. (2006).** Exploitation of native Labiatae in Sicily. In *International Symposium on the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation* 723, 111-116.
- Casas, A. & Barbera, G. (2002).** Mesoamerican domestication and diffusion. *Cacti: biology and uses*, 143, 62.
- Chalandre, M.C. (2000).** Eléments de Botanique: Cours de première année de Pharmacie. *UFR de Pharmacie et Ingénierie de la Santé-ANGERS* [[http://www.123bio.net/cours/bv/bv\\_4.html#cappa](http://www.123bio.net/cours/bv/bv_4.html#cappa)].
- Chambre d'agriculture Taoura, 2019.** Données de 2019 de la chambre d'agriculture de la commune de Taoura, Souk Ahras.
- Chantelot, E. (2003).** L'activité biologique des sols. Méthodes d'évaluation. Institut Technique de l'Agriculture Biologique, Paris, France.
- Chaouche, F.Z. & Abdul-Hussain, M.S. (2008).** Contribution à l'étude de l'Opuntia et perspectives d'amélioration, dans le milieu steppique. *Agricultura*, 65(1-2).
- Chehma, A., Gaouar, A., Semadi, A. & Faye, B. (2004).** Productivité fourragère des parcours camélins en Algérie cas des pâturages a base de «drinn» *Stipagrostis pungens* (Desf.). *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 45-52.
- Chen, X., Tang, J., Zhi, G. & Hu, S. (2005).** Arbuscular mycorrhizal colonization and phosphorus acquisition of plants: effects of coexisting plant species. *Applied Soil Ecology*, 28(3), 259-269.
- Cheriet, F. (2010).** Les coopérations inter-entreprises agroalimentaires en Méditerranée: Opportunités et difficultés des opérateurs industriels. *4èmes journées en sciences sociales INRA-SFER CIRAD, Agrocampus Ouest, Rennes*, 8-10.
- Cherif E., 2016.** Figue de barbarie : Un cactus source de richesse. L'essentielle de l'agroalimentaire et de l'agriculture N°100. Agro ligne.68p.
- Childers, D.L., Corman, J., Edwards, M. & Elser, J.J. (2011).** Sustainability challenges of phosphorus and food: solutions from closing the human phosphorus cycle. *Bioscience*, 61(2), 117-124.
- CJB (2020).** Site web de la base de données des plantes d'Afrique [<http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/afrique/recherche.php?langue=fr>].
- Clark, R.Á. & Zeto, S.K. (2000).** Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of plant Nutrition*, 23(7), 867-902.
- Coates, D.J. & Atkins, K.A. (2001).** Priority setting and the conservation of Western Australia's diverse and highly endemic flora. *Biological Conservation*, 97(2), 251-263.

- Collier, S.C., Yarnes, C.T. & Herman, R.P. (2003).** Mycorrhizal dependency of Chihuahuan Desert plants is influenced by life history strategy and root morphology. *Journal of Arid Environments*, 55(2), 223-229.
- CONM (1990-2020).** Communication de l'Office National de la Météorologie, station : Souk Ahras, période (1990- 2020).
- Corrales García, J. & Flores Valdez, C.A. (2003).** Nopalitos y tunas: producción, comercialización, poscosecha e industrialización (No. 634.775 C823n). México, MX: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cosson, E. (1887).** Compendium florae atlanticae... ou Flore des états barbaresques: Algérie, Tunisie et Maroc (Vol. 2). Masson.
- Coste, H.A. (1937).** Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et des contrées limitrophes. Paris-Librairie des Sciences et des Arts, 3 tomes.
- Cota, J.H. & Wallace, R.S. (1997).** Chloroplast DNA evidence for divergence in *Ferocactus* and its relationships to North American columnar cacti (Cactaceae: Cactoideae). *Systematic Botany*, 529-542.
- Couplan, F. (2000).** *Dictionnaire étymologique de botanique: comprendre facilement tous les noms scientifiques*. Delachaux et Niestlé.
- Cox, G. & Tinker, P.B. (1976).** Translocation and transfer of nutrients in vesicular–arbuscular mycorrhizas: i. The arbuscule and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. *New Phytologist*, 77(2), 371-378.
- Cui, M. & Nobel, P.S. (1992).** Nutrient status, water uptake and gas exchange for three desert succulents infected with mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 122(4), 643-649.
- Daget, P.H. & Gaston, A. (2001).** La base FLOTROP et biodiversité des pâturages du Tchad oriental. *Systematics and Geography of Plants*, 327-336.
- Dajoz, R. (1985).** Précis d'écologie. Ed. Dunod. Paris, 5ème Edition, 505p.
- Dajoz, R. (1996).** Précis d'écologie, Paris, Dunod (Eds), 6ème Edition, 551 p.
- Dajoz, R. (2000).** Précis d'écologie, 7 ème edition, Dunod, Paris, 615 p.
- Dajoz, R. (2003).** Précis d'écologie. Paris, France, Dunod, 615 p.
- Dalpé, Y. (2005).** Les mycorrhizes: un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection*, 86(1), 53-59.
- Dalpé, Y. & Monreal, M. (2004).** Arbuscular mycorrhiza inoculum to support sustainable cropping systems. *Crop management*, 3(1), 1-11.
- Dandan, Z. & Zhiwei, Z. (2007).** Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China. *Applied Soil Ecology*, 37(1-2), 118-128.
- Daniell, T.J., Husband, R., Fitter, A.H. & Young, J.P.W. (2001).** Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS microbiology ecology*, 36(2-3), 203-209.
- Daniels, B. A. & Trappe, J.M. (1980).** Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*, 72(3), 457-471.
- Dar, G.H. (2009).** Soil microbiology and biochemistry. *New India Publishing*.
- Davet, P. (1996).** Vie microbienne du sol et production végétale. Editions Quae.
- David, L. (1956).** Service de la carte géologique de l'Algérie, bulletin n° 11, Algérie, 304p.
- de Belair, G. (1990).** Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre écosystèmes lacustres et marécageux (El Kala, Est-Algérien) (Doctoral dissertation).

- de Belair, G., Vela, E. & Boussouak, R. (2005).** Inventaire des orchidées de Numidie (NE Algérie) sur vingt années. *Journal Europäischer Orchideen*, 37(2), 291-401.
- Dermech, Kh., Karouani, M. & El Belkhi, M. (1982).** L'essentiel en Pédologie. Direction des Publications Universitaires, Haleb, Syrie.
- Desfontaines, R.L. (1798-1799).** Flora atlantica, sive historia plantarum, quae in Atlante, agro tunetano et algeriensi crescent, vol. 2. *Blanchon*, Paris.
- Devineau, J.L. (1997).** Evolution saisonnière et taux d'accroissement des surfaces terrières des ligneux dans quelques peuplements savanicoles soudaniens de l'ouest burkinabé. *Ecologie*, 28(3), 217-232.
- DGF Taoura, 2019.** Direction générale des Forêts de la commune de Taoura (Données 2019).
- Dia, A. & Duponnois, R. (2012).** Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre. IRD Editions.
- Dickie, I.A. (2006).** Mycorrhiza of ecosystems. In: *Encyclopedia of Soil Science*, Volume 2, 1111–1118. R., Lal (eds.). CRC Press.
- Djebbouri, M. & Terras, M. (2019).** Floristic diversity with particular reference to endemic, rare or endangered flora in forest formations of Saïda (Algeria). *International Journal of Environmental Studies*, 76(6), 990-1003.
- Dobignard, A. & Chatelain, C. (2010-2013).** Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord (5 vol.). C.J.B.G, Genève.
- Domina, G., Bazan, G., Campisi, P. & Greuter, W. (2015).** Taxonomy and conservation in Higher Plants and Bryophytes in the Mediterranean Area. *Biodiversity Journal*, 6, 197-204.
- Douds Jr., D.D. & Reider, C. (2003).** Inoculation with mycorrhizal fungi increases the yield of green peppers in a high P soil. *Biological agriculture & horticulture*, 21(1), 91-102.
- Driai, S. (2016).** Impact des polluants d'origine industrielle sur le développement des champignons mycorrhiziens à arbuscules, sur leur diversité et sur la viabilité microbienne des sols des agro-écosystèmes du Nord-est algérien. Thèse de Doctorat en Biologie végétale et environnement, Université Annaba, 137p.
- Dubeux Jr, J.C.B., Dos Santos, M.F., de Andrade Lira, M., Dos Santos, D.C., Farias, I., Lima, L.E. & Ferreira, R.L.C. (2006).** Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67(3), 357-372.
- Dupont, F. & Guignard, J.L. (2007).** Botanique : systématique moléculaire. *Elsevier masson*.
- Duvigneaud P., 1980.** La synthèse écologique. Doin, Paris, 380p.
- El-Samahy, S.K., El-Mansy, H.A., Bahlol, H.E., El-Desouky, A.I. & Ahmed, A.E. (2008).** Thermal process time and sensory evaluation for canned cactus pear nectar. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 10, 85-107.
- Emberger, L. (1952).** Sur le quotient pluviométrique. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 234, 2508-2510.
- Emberger, L. (1955).** Une classification biogéographique des climats. Recueil, travaux de laboratoire géolo-zoologique, Faculté des sciences. Service botanique. Montpellier, 7, 3-43.
- 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(12), 1058-1066.
- Escudero, V. & Mendoza, R. (2005).** Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. *Mycorrhiza*, 15(4), 291-299.
- Espiard, E. (2002).** Introduction à la transformation industrielle des fruits [Texte imprimé]. Éd. Tec & Doc.

- Faiveley, J. (1920).** Contribution à l'étude des cactées opuntiées : thèse... par J. Faiveley. la Faculté de médecine.
- Faurie, C., Ferra, C., Medori, P., Devot, J. & Hemptienne, J.L. (1998).** Ecologie. Approche scientifique et pratique. Tec. & Doc. ISBN : 2-85206-976-8 (4ème édition).
- Faurie, C., Ferra, C., Medori, P., Devot, J. & Hemptienne, J.L. (2006).** Ecologie. Approche scientifique et pratique. Tec. & Doc. ISBN 10 : 2-7430-0565-3 (5ème édition).
- Fayolle, A. (2008).** Structure des communautés de plantes herbacées sur les grands causses: stratégies fonctionnelles des espèces et interactions interspécifiques (Doctoral dissertation, Montpellier Supagro-Centre International d'Etudes supérieures en Sciences agronomiques, Montpellier, France).
- Febles-González, J.M., Tolón-Becerra, A., Lastra-Bravo, X. & Acosta-Valdés, X. (2011).** Cuban agricultural policy in the last 25 years. From conventional to organic agriculture. *Land Use Policy*, 28(4), 723-735.
- Felker, P., Rodriguez, S. D.C., 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(3), 405-422.
- Fenni, M. (2003).** Étude des mauvaises herbes céréales d'hiver des Hautes Plaines Constantinoises. Écologie, dynamique, phénologie et biologie des Bromes. Thèse Doctorat sciences, Université Sétif, 165p.
- Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C. & Zou, C. (2006).** Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Front Biosci*, 11(1), 2574-2589.
- Filion, M., St-Arnaud, M. & Fortin, J. A. (1999).** Direct interaction between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and different rhizosphere microorganisms. *New phytologist*, 141(3), 525-533.
- Floret, C., Galan, M. J., LeFloc'h, E., Orshan, G. & Romane, F. (1990).** Growth forms and phenomorphology traits along an environmental gradient: tools for studying vegetation?. *Journal of vegetation science*, 1(1), 71-80.
- Forni, E., Polesello, A., Montefiori, D. & Maestrelli, A. (1992).** High-performance liquid chromatographic analysis of the pigments of blood-red prickly pear (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Chromatography A*, 593(1-2), 177-183.
- Fortin JA., Plenchette C. & Piche, Y. (2008).** Les mycorhizes la nouvelle révolution verte, édition Multi Mondes.
- Fortin, J.A., Plenchette, C. & Piché, Y. (2016).** Les mycorhizes : l'essor de la nouvelle révolution verte. Edition revue et augmentée, QUAE GIE.
- Franche, C., Lindström, K. & Elmerich, C. (2009).** Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and soil*, 321(1), 35-59.
- Frank, B. (1885).** Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.
- Frontier, S., Pichod-Viale, D. & Leprêtre, A. (1993).** Écosystèmes : Structure, Fonctionnement. Evolution. Paris etc. : Masson, ISBN : 2-225-82127-5
- Gagné, S. & Le Quéré, D. (2014).** Discussion au sujet de l'inoculation des cultures au Myke Pro au Canada et au Québec. Communication orale, 10 janvier 2014, Rivière-du-Loup.
- Gamoun, M., Belgacem, A. O., Hanchi, B., Neffati, M. & Gillet, F. (2012).** Impact of grazing on the floristic diversity of arid rangelands in South Tunisia. *Revue d'écologie-la terre et la vie*, 67(3), 271-282.
- Garbaye, J. (1990).** Pourquoi et comment observer l'état mycorhizien des plants forestiers. *Revue Forestière Française*.



- Garbaye, J. (2013).** La symbiose mycorrhizienne: une association entre les plantes et les champignons. Editions Quae.
- Garner, W. & Steinberger, Y. (1989).** A proposed mechanism for the formation of 'fertile islands' in the desert ecosystem. *Journal of arid Environments*, 16(3), 257-262.
- Gaston, K.J. (1991).** How large is a species' geographic range? *Oikos*, 434-438.
- Gaston, K.J., Blackburn, T.M. & Spicer, J.I. (1998).** Rapoport's rule : time for an epitaph?. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(2), 70-74.
- Gauthier, P., Debussche, M. & Thompson, J.D. (2010).** Regional priority setting for rare species based on a method combining three criteria. *Biological Conservation*, 143(6), 1501-1509.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.N., van Tuinen, D., Redecker, D. & Wipf, D. (2010).** Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20(8), 519-530.
- Gianinazzi, S. & Wipf, D. (2010).** Des champignons au service des plantes. *PHM Revue Horticole*, 521, 9-11.
- Gianinazzi-Pearson, V., Branzanti, B. & Gianinazzi, S. (1989).** In vitro enhancement of spore germination and early hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates and plant flavonoids. *Symbiosis*.
- Gianinazzi-Pearson, V., Gianinazzi, S. & Trouvelot, A. (1985).** Evaluation of the infectivity and effectiveness of indigenous vesicular-arbuscular fungal populations in some agricultural soils in Burgundy. *Canadian journal of Botany*, 63(9), 1521-1524.
- Gibson, A.C. & Nobel, P.S. (1986).** The cactus primer. *Harvard University Press*.
- Gilbert, G. & Boutique, R. (1953).** Mimosaceae et Papilionaceae, In : Flore du Congo belge et du Ruanda Urundi vol III, P (167-227) ; vol IV P30 ; vol V p (11-36) Publ. I.N.E.A.C. édit. Bruxelles. Jard. Bot.
- Ginestra, G., Parker, M.L., Bennett, R.N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., ... & Waldron, K.W. (2009).** Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [Opuntia ficus-indica (L.) Mill.]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(21), 10323-10330.
- Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L.L., Singh, A., Gillette, S. & Kelmelis, J.A. (2008).** Mangrove forest distributions and dynamics (1975–2005) of the tsunami-affected region of Asia. *Journal of Biogeography*, 35(3), 519-528.
- Gobat, J.M., Aragno, M. & Matthey, W. (2010).** *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols* (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.
- Gordo, B. & Hadjadj-Aoul, S. (2019).** L'endémisme floristique algéro-marocain dans les monts des Ksour (Naâma, Algérie). *Flora Mediterranea*, 29, 129-142.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. & Bending, G.D. (2006).** Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, ecosystems & environment*, 113(1-4), 17-35.
- Gounot, M. (1969).** *Méthodes d'étude quantitative de la végétation: par M. Gounot*. Masson et Cie.
- Grant, C., Bittman, S., Montreal, M., Plenchette, C. & Morel, C. (2005).** Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1), 3-14.
- Greuter, W. (1991).** Botanical diversity, endemism, rarity, and extinction in the Mediterranean area: an analysis based on the published volumes of Med-Checklist. *Botanika chronika*, 10, 63-79.
- Griffith, M. P. (2004).** The origins of an important cactus crop, Opuntia ficus-indica (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91(11), 1915-1921.
- Guadarrama, P. & Álvarez-Sánchez, F.J. (1999).** Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. *Mycorrhiza*, 8(5), 267-270.

- Guzmán, U. & Arias, S. (2003).** *Catálogo de cactáceas mexicanas*. Unam.
- Habib, N., Regagba, Z., Miara, M.D., Ait Hammou, M. & Snorek, J. (2020).** Floristic diversity of steppe vegetation in the region of Djelfa, North-West Algeria.
- Habibi, Y. (2004).** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- Habibou, N.N. & Kone, H.A. (2018).** Statut mycorhizien et diversité des plantes fourragères en présence du figuier de barbarie introduit dans la région Gerbes Sanhadja au Nord-Est de l'Algérie. Mémoire de Master en Ecologie et environnement, Université Annaba, 58p.
- Hadjou, L., Cheriet, F. & Djenane, A. (2013).** Agriculture biologique en Algérie: potentiel et perspectives de développement. *Les cahiers du CREAD*, 113-132.
- Hallé, F. (2008).** Aux origines des plantes, tome 1: Des plantes anciennes à la botanique du XXI<sup>e</sup> siècle. Fayard.
- Halmi, S. (2015).** Etude botanique et phytochimique : approche biologique et Pharmacologique d'Opuntia ficus indica. Thèse de Doctorat en Sciences 2015, Université Constantine 1, 243p.
- Hamaidia, H. & Berchi, S. (2018).** Etude systématique et écologique des Moustiques (Diptera: Culicidae) dans la région de Souk-Ahras (Algérie). *Entomologie faunistique-Faunistic entomology*.
- Hamdi, M. (1997).** Prickly pear cladodes and fruits as a potential raw material for the bioindustries. *Bioprocess Engineering*, 17(6), 387-391.
- Hamel, D. & Plenchette, C. (2007).** Mycorrhizae in Crop Production. *Haworth Food & Agricultural Products Press*, Binghamton, NY, USA.
- Hamel, T. (2013).** Contribution à l'étude de l'endémisme chez les végétaux vasculaires dans la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). Thèse de Doctorat en Biologie végétale, Université Annaba, 338p.
- Hamel, T. & Boulemtafes, A. (2017).** Découverte d'une endémique tyrrhénienne *Soleirolia soleirolii* (Urticaceae) en Algérie (Afrique du Nord). *Flora mediterranea*, 27, 185-193.
- Hamel, T., de Bélair, G., Slimani, A., Telailia, L.B. & Telailia, S. (2020).** Nouvelle station de *Pteris vittata* L.(Pteridaceae) en Numidie (Algérie orientale). *Acta Botanica Malacitana*, (45), 127-129.
- Hamel, T., Seridi, R., de Belair, G., Slimani, A. & Babali, B. (2013).** Flore vasculaire rare et endémique de la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 26, 65-74.
- Hamza N. (2014).** Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Mémoire de Magister en Biologie et physiologie végétale, Université Farhet Abbas, Sétif 1, 54p.
- Hamza N. (2020).** Potentiel de bioprotection et biofertilisation des mycorhizes à arbuscules dans quelques écosystèmes agricoles du Nord-est Algérien (Cas de la pastèque). Thèse de doctorat Biologie végétale, Université Annaba, 106 p.
- Hamza, N., Ziane, H., Meddad-Hamza, A. & Gianinazzi, S. (2019).** Mycorrhizal contribution to water economy in agriculture under hot and dry climate: the case study of water melon in Algeria. *Bioscience Research*, 16, 3781-3791.
- Hanifi, N., Kadik, L. & Guittonneau, G.G. (2007).** Analyse de la végétation des dunes littorales de Zemmouri (Boumerdès, Algérie). *Acta Botanica Gallica*, 154(2), 235-249.
- Harley, J.L. & Smith, S.E. (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, 483p.
- Harrison, M.J. (1999).** Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual review of plant biology*, 50(1), 361-389.

- Hepper, C.M. (1985).** Influence of age of roots on the pattern of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in leek and clover. *New Phytologist*, 101(4), 685-693.
- Hernández-Urbiola, M.I., Pérez-Torrero, E. & Rodríguez-García, M.E. (2011).** Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1287-1295.
- Hijri, I., Sýkorová, Z., Oehl, F., Ineichen, K., Mäder, P., Wiemken, A. & Redecker, D. (2006).** Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity. *Molecular Ecology*, 15(8), 2277-2289.
- Hodge, A., Campbell, C. D. & Fitter, A.H. (2001).** An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 413(6853), 297-299.
- Hodge, A., Helgason, T. & Fitter, A.H. (2010).** Nutritional ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Fungal ecology*, 3(4), 267-273.
- Hopkins, W.G. (2003).** Physiologie végétale. De Boeck Supérieur.
- Huang, J., Huang, J., Liu, C., Zhang, J., Lu, X. & Ma, K. (2016).** Diversity hotspots and conservation gaps for the Chinese endemic seed flora. *Biological Conservation*, 198, 104-112.
- IBM SPSS (2016).** Statistics for windows, version 24. 0 [computer software]. Armonk, NY: IBM Corp.
- Imai, F., Kinoshita, T. & Sankawa, U. (1989).** Constituents of the leaves of *Murraya paniculata* collected in Taiwan. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 37(2), 358-362.
- INCT (2005).** Institut National de Cartographie et de Télédétection, Algérie (2005).
- Inglese, P., Barbera, G. & La Mantia, T. (1995).** Research strategies for the improvement of cactuspear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. *Journal of Arid Environments*, 29(4), 455-468.
- ISO AFNOR (1998).** Qualité des sols – vocabulaire. Partie 2. Termes et définitions relatifs à l'échantillonnage. Norme NF ISO 11074-2.
- J.O.R.A. (2012).** Décret exécutif du 18 janvier 2012, complétant la liste des espèces végétales non cultivées et protégées. (Eds) Journal officiel de la république algérienne, n° 3-12/12 du 18-01-2012. 12–38.
- Jana, S. (2012).** Nutraceutical and functional properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) and its utilization for food applications. *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(2), 60-66.
- Janati, A. (1990).** Les cultures fourragères dans les oasis. *Opt. Med*, 1, 164-169.
- Jansa, J., Mozafar, A., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I. & Frossard, E. (2002a).** Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza*, 12(5), 225-234.
- Jansa, J., Mozafar, A., Kuhn, G., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I. R. & Frossard, E. J. E. A. (2003).** Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecological Applications*, 13(4), 1164-1176.
- Jin, H., Pfeffer, P.E., Douds, D.D., Piotrowski, E., Lammers, P.J. & Shachar-Hill, Y. (2005).** The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 168(3), 687-696.
- Jochems-Tanguay, L. (2014).** *Les inoculants mycorrhiziens pour une agriculture québécoise plus productive et moins dépendante aux engrais minéraux phosphatés* (Doctoral dissertation, éditeur non identifié).
- Johnson, N. C., Copeland, P.J., Crookston, R.K. & Pfleger, F.L. (1992).** Mycorrhizae: possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean. *Agronomy journal*, 84(3), 387-390.
- Judd, W.S., Campbell, C.S., Kellogg, E.A. & Stevens, P.F. (2002).** Botanique systématique. Une perspective phylogénétique. 1ère Edition De Boeck Université. Paris, 383p.
- Kabas, O., Ozmerzi, A. & Akinci, I. (2006).** Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus india* L.) grown wild in Turkey. *Journal of food Engineering*, 73(2), 198-202.

- Kavirindi, I.U., Du Preez, P.J. & Brown, L.R. (2010).** Distribution and potential invasion of *Opuntia* spp. on selected Namibian sites. In *Second RUFORUM biennial meeting, Uganda*.
- Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna, A.L. & Cullu, M. A. (2009).** The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. *Scientia horticulturae*, 121(1), 1-6.
- Kenny, L. (2002).** «Importance et conduite technique», Institut Agronomique et Vétérinaire Hassen II, Agadir (Maroc), p.6
- Khalvati, M.A., Hu, Y., Mozafar, A. & Schmidhalter, U. (2005).** Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology*, 7(06), 706-712.
- Khedara, I. & Loumaizia, F. (2019).** Écologie de figuier de barbarie (*Opuntia maxima*) dans le Sud-Est de la willaya de Souk Ahras : cortège floristique et Taux de mycorhization. Cas de la commune de Taoura. Mémoire de Master en Agro-écologie, Université Souk Ahras, 68p.
- Khoury M.S., 1970.** «Opuntia bilan écologique en Algérie», *INRA et CAREF*, p.59
- Kiers, E. T., Duhamel, M., Beesetty, Y., Mensah, J. A., Franken, O., Verbruggen, E., ... & Bücking, H. (2011).** Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science*, 333(6044), 880-882.
- Kiesling, R. (1999).** New synonyms of *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae). *New synonyms of Opuntia ficus-indica (Cactaceae)*, 2(66), 309-314.
- Klironomos, J.N. & Hart, M.M. (2002).** Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum. *Mycorrhiza*, 12(4), 181-184.
- Koide, R.T. & Mosse, B. (2004).** A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 14(3), 145-163.
- Labidi, S., Calonne, M., Ben Jeddi, F., Debiane, D., Rezgui, S., Laruelle, F.,..... & Ruiz-Lozano, J.M. (2010).** The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 167, 862–869.
- Lachaux, M., Meuret, M. & De Simiane, M. (1987).** Composition chimique des végétaux ligneux pâtures en région méditerranéenne française : problèmes posés par l'interprétation des analyses. *Fourrages*, (sp.), 229-267.
- Lacoste, A. & Salanon, R. (2001).** Élément de biogéographie et d'écologie. 2ème éd. *NATHAN. Paris*. 300p.
- Laguna, E., Deltoro, V.I., Pérez-Botella, J., Pérez-Rovira, P., Serra, L., Olivares, A. & Fabregat, C. (2004).** The role of small reserves in plant conservation in a region of high diversity in eastern Spain. *Biological Conservation*, 119 (3), 421-426.
- Lahouasnia, K. & Mosbahi, C. (2017).** Cortège floristique et exigences écologiques des plantes du Genre *Thymus* de la région de Souk Ahras. Mémoire de Master en gestion et Protection des Agro-écosystèmes, Université Souk Ahras, 50p.
- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M. & Jaouhari, J.T. (2004).** Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61(2), 173-179.
- Lambers, H., Mougel, C., Jaillard, B. & Hinsinger, P. (2009).** Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. *Plant and soil*, 321(1), 83-115.
- Langhammer P.F., Bakarr M.I., Bennun L. A., Brooks T.M., Clay R.P., Darwall, W.,... & Tordoff A.W. (2007).** Identification and gap analysis of key biodiversity areas: targets for comprehensive protected area systems. *Gland, Switzerland: IUCN (Best Practice Protected Area Guidelines Series 15)*.
- Lapeyronie, A. (1982).** Les productions fourragères méditerranéennes. G.-P. Maisonneuve et Larose.

- Latef, A.A.H.A. & Chaoxing, H. (2011).** Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4), 1217-1225.
- Laumont, P. & Gueit, M. (1960).** Notes sur l'amélioration de la vesce-fourrage et de sa culture en Algérie (1).
- Le Houerou, H.N. (1965).** Libya, improvement of natural pastures and fodder resources. Report to the government.
- Le Houérou, H.N. (1995).** Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 6(2), 167-182.
- Le Houérou, 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(2), 135-159.
- Le Tacon, F. (1985).** Les mycorhizes: une coopération entre plantes et champignons. *Recherche (Paris, 1970)*, 16(166), 624-632.
- Leake, J., Johnson, D., Donnelly, D., Muckle, G., Boddy, L. & Read, D. (2014).** Erratum: Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Botany*, 92(1), 83-83.
- Legendre L. & Legendre P. (1984).** Écologie numérique 1. Le traitement multiple des données écologiques. *Masson & Presse de l'Université du Québec*, Paris.
- Legrand V. (1854).** Mémoire sur les richesses forestières de l'Algérie du point de vue des constructions navales. *Nouvelles annales de la marine et des colonies*, 11, 299-424.
- Lin, X., Feng, Y., Zhang, H., Chen, R., Wang, J., Zhang, J. & Chu, H. (2012).** Long-term balanced fertilization decreases arbuscular mycorrhizal fungal diversity in an arable soil in North China revealed by 454 pyrosequencing. *Environmental science & technology*, 46(11), 5764-5771.
- López-Pedrosa, A., González-Guerrero, M., Valderas, A., Azcón-Aguilar, C. & Ferrol, N. (2006).** GintAMT1 encodes a functional high-affinity ammonium transporter that is expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungal Genetics and Biology*, 43(2), 102-110.
- Lounes-Hadj Sahraoui, A. (2013).** La Mycorhize à arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable ? *Synthèse : Revue des Sciences et de la Technologie*, 26, 06-19.
- Louni, D. (1994).** Les forêts algériennes. *Forêt méditerranéenne*.
- 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(2), 268-279.
- Maciejewski, J. & Osson, B. (2015).** *Productions fourragères*. Lavoisier Tec & Doc.
- Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A. & Niggli, U. (2000).** Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and fertility of Soils*, 31(2), 150-156.
- Maire, R. (1928).** La végétation et la flore du Hoggar. éditeur non identifié.
- Maire, R. (1952-1987).** Flore de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). 16 vols, Lechevalier, Paris.
- Maiti, S.K. (2012).** Ecorestoration of the coalmine degraded lands. *Springer Science & Business Media*.
- Maïzi, S. & Mesalti, M.S.A.M. (2021).** Cortège floristique et symbiose mycorhizienne du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L.) dans certaines régions steppiques Nord-Centre de l'Algérie. Mémoire de Master en Biotechnologie végétale et amélioration, Université Annaba, 48p.

- Mansouri, S., Miara, M. D. & Hadjadj-Aoul, S. (2018).** Etat des connaissances et conservation de flore endémique dans la région d'Oran (Algérie occidentale). *Acta Botanica Malacitana*, 43, 23-30.
- Marschner, H. & Dell, B. (1994).** Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and soil*, 159(1), 89-102.
- Mathieu, C. & Pieltain, F. (2003).** Analyses chimiques des sols (méthodes choisies). Ed. Tec & Doc, Lavoisier, 388.
- Médail, F. (2007).** La biodiversité végétale méditerranéenne : une évolution en crise. *Echos Science*, 5, 13-15.
- Médail, F. & Diadema, K. (2006).** Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation: approches macro et micro-régionales. In *Annales de géographie* 5, 618-640. Armand Colin.
- Médail, F. & Diadema, K. (2009).** Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of biogeography*, 36(7), 1333-1345.
- Médail, F. & Quézel, P. (1997).** Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 112-127.
- Médail F. & Quézel P., 2005.** Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen, *Boccone*, 16, 397-422.
- 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, Université Annaba, 140p
- Medjahdi, B., Ibn Tattou, M., Barkat, D. & Benabedli, K. (2009).** La flore vasculaire des monts des Trara (nord-ouest algérien).
- Mehamdia S. & Salmi N.E. (2019).** Contribution à l'étude des populations des mauvaises herbes muscicoles de la région de Taoura-souk ahras. Mémoire de Master en agro-écologie, Université Souk Ahras, 59p.
- Menghini, L., Leporini, L., Pintore, G., Chessa, M. & Tirillini, B. (2013).** Essential oil content and composition of three sage varieties grown in Central Italy. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(9), 480-489.
- Miara, M.D., Ait Hammou, M., Dahmani, W., Negadi, M. & Djellaoui, A. (2018).** Nouvelles données sur la flore endémique du sous-secteur de l'Atlas tellien Oranais "O3"(Algérie occidentale).
- Michelsen, A. & Rosendahl, S. (1990).** Propagule density of VA-mycorrhizal fungi in semi-arid bushland in Somalia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 29(1-4), 295-301.
- Miller, R.M., Jastrow, J.D. & Reinhardt, D.R. (1995).** External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. *Oecologia*, 103(1), 17-23.
- Miransari, M. (2011).** Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(4), 917-930.
- Miransari, M. (2014).** Mycorrhizal fungi to alleviate compaction stress on plant growth. In Use of microbes for the alleviation of soil stresses. *Springer*, New York, NY, 165-174.
- Miransari, M., Bahrami, H. A., Rejali, F. & Malakouti, M. J. (2008).** Using arbuscular mycorrhiza to alleviate the stress of soil compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth. *Soil biology and biochemistry*, 40(5), 1197-1206.
- Mittermeier, R.A., Gil, P.R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., T Brooks, C.M., Lamoreux, J. & Da Fonseca, G.A.B. (2004).** Hotspots Revisited: Earth's Biologically Wealthiest and most Threatened Ecosystems. *CEMEX, México DF*, 99-103.
- Monjauze, A. & Le Houérou, H.N. (1966).** «Le rôle de l'Opuntia dans l'économie Agricole Nord-africaine», Extrait du Bulletin de l'École Nationale Supérieure d'Agriculture de Tunisie. N°8-9 Septembre-Décembre, 85-164.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Montiel, S. & Olivares, J. (1997).** Presencia de la micorriza vesículo-arbuscular, en cuatro cultivares de nopal (*Opuntia* spp.) en Huichiapan, Hidalgo. In *VII Congreso Nacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Eds: Rigoberto Vázquez Alvarado y Clemente Gallegos. Monterrey, NL FAUANL (p. 317).
- Moora, M. & Zobel, M. (2010).** Arbuscular mycorrhizae and plant-plant interactions. *Positive plant interactions and community dynamics*, 79-98.
- Morrone, J.J. (2018).** The spectre of biogeographical regionalization. *Journal of Biogeography*, 45(2), 282-288.
- Moser, M. & Haselwandter, K. (1983).** Ecophysiology of mycorrhizal symbioses. In *Physiological Plant Ecology III*, 391-421. Springer, Berlin, Heidelberg.
- 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.
- Mutel, A. (1835).** Observations sur les espèces du genre *Ophrys* recueillis à Bône. *Mémoires de la Société du Muséum d'histoire naturelle de Strasbourg*, 2. Levraud éd., Paris, 89 p.
- Mutin G. (1977).** «La Mitidja, décolonisation et espace géographique», OPU Alger et CNRS Paris 608 p.
- Myers, N. (1988).** Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. *Environmentalist*, 8(3), 187-208.
- Myers, N. (1990).** The biodiversity challenge: expanded hot-spots analysis. *Environmentalist*, 10 (4), 243-256.
- Myers, N. (2003).** Biodiversity hotspots revisited. *BioScience* 53(10), 916-917.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A. & Kent, J. (2000).** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Naghbi, F., Mosaddegh, M., Mohammadi Motamed, M. & Ghorbani, A. (2010).** Labiatae Family in folk Medicine in Iran: from Ethnobotany to Pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, (2), 63-79.
- Ndonda, A., Mahungu, N., Moango, A. & Yandju, M.C. (2019).** Effet des champignons mycorrhiziens Arbusculaires sur le phosphore des sols tropicaux et implication dans la biosynthèse du caroténoïde du manioc. *Journal of Applied Biosciences*, 135, 13750-13764.
- Neffar, S. (2012).** Étude 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. Thèse Doctorat en Biologie végétale, Université Annaba, 199p.
- Nefzaoui, A. & Ben Salem, H. (1998).** Spineless cacti: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones. In *Proceedings of the International Symposium, Cactus Pear and Napolitos*. Processing and use. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/FAO. Santiago. Chile, 58-78.
- Nell, M., Voetsch, M., Vierheilig, H., Steinkellner, S., Zitterl-Eglseer, K., Franz, C. & Novak, J. (2009).** Effect of phosphorus uptake on growth and secondary metabolites of garden sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(6), 1090-1096.
- Nerd, A. & Mizrahi, Y. (1994).** Effect of nitrogen fertilization and organ removal on rebudding in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Scientia horticulturae*, 59(2), 115-122.
- Nerd, A., Karady, A. & Mizrahi, Y. (1991).** Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts on productivity. *HortScience*, 26(5), 527-529.
- North, G.B. & Nobel, P.S. (1992).** Drought-induced changes in hydraulic conductivity and structure in roots of *Ferocactus acanthodes* and *Opuntia ficus-indica*. *New Phytologist*, 120(1), 9-19.
- Nultsch, W. (1998).** Botanique Générale. Edition De Boeck Supérieur, 602 p.

- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Ris, E. A., Boller, T. & Wiemken, A. (2005).** Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytologist*, 165(1), 273-283.
- Olsen, S.R. (1954).** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
- Olsson, P.A. (1999).** Signature fatty acids provide tools for determination of the distribution and interactions of mycorrhizal fungi in soil. *FEMS microbiology ecology*, 29(4), 303-310.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. & Simons, A. (2009).** Agroforestree Database: a tree reference and selection guide. Version 4. *Agroforestree Database: a tree reference and selection guide. Version 4*.
- Ozenda, P. (1977).** Flore de Sahara. CNRS, 2<sup>ème</sup> Edition. Paris, France, 622 p. 51.
- Passioura, J.B. (1988).** Water transport in and to roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39(1), 245-265.
- Peeters, A., Beaufoy, G., Canals, R.M., Vlieghe, A., Huyghe, C., Isselstein, J., ... & Tonn, B. (2014).** Polvan Dasselaar A. vd, Vintu V., Wilkins RJ (2014) Grassland term definitions and classifications adapted to the diversity of European grassland-based systems, EGF at 50: The future of European grasslands. In *Proceedings of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Aberystwyth, Wales*, 743-750.
- Peyret-Guzzon, M. (2014).** *Etudes moléculaires de la diversité des communautés et populations de champignons mycorrhiziens à arbuscules (Glomeromycota)* (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne).
- Phillips, J.M. & Hayman, D.S. (1970).** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55(1), 158-IN18.
- Piazza, C. & Paradis, G. (2002).** Essai de présentation synthétique des groupements théophytiques printaniers des sites littoraux sableux et graveleux de la Corse (classes des Ononido variegatae-Cutendia maritima, Tuberietea guttatae, Stellarietea mediae et Saginetea maritima). *Bulletin de la société botanique Centre-Ouest NS*, 33, 47-126.
- Pielou, E.C. (1966).** The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of theoretical biology*, 13, 131-144.
- Piga, A. (2004).** Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6, 9-22.
- Pignatti, S. (1982).** Reprint 1997, Flora d'Italia, 3 vols. *Bologna (IT): Edagricole*, 1-780.
- Pimienta Barrios, E. (1990).** El nopal tunero Publicado por : Universidad de Guadalajara, (No. 04; SB379. P8-P5.).
- Pimienta-Barrios, E. (1994).** Prickly pear (*Opuntia* spp.): a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 28(1), 1-11.
- Pimienta-Barrios, E., Pimienta-Barrios, E., Salas-Galván, M.E., Zañudo-Hernandez, J. & Nobel, P. S. (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(9), 667-674.
- Pimm, S.L., Jones, H.L. & Diamond, J. (1988).** On the risk of extinction. *The American Naturalist*, 132(6), 757-785.
- Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J.M. & Fortin, J. A. (2005).** Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1), 31-40.



- Plenchette, C., Perrin, R. & Duvert, P. (1989).** The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. *Canadian Journal of Botany*, 67(1), 112-115.
- Poiret, J.L.M. (1789).** Voyage en Barbarie, ou Lettres écrites de l'ancienne Numidie pendant les années 1785 & 1786: sur la religion, les coutumes & les mœurs des Maures & des Arabes-Bédouins; avec un essai sur l'histoire naturelle de ce pays. chez JBF Née de la Rochelle.
- Porcel, R., Azcón, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2004).** Evaluation of the role of genes encoding for  $\Delta$ 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) during drought stress in arbuscular mycorrhizal Glycine max and Lactuca sativa plants. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 65(4), 211-221.
- Pousset, A. (1974).** Physionomie actuelle de la production fourragère et de sa fertilisation, *Fourrages*, 57, 3-42.
- Primack, R. B., Sarrazin, F. & Lecomte, J. (2012).** Biologie de la conservation. Paris: Dunod.
- PTB (2013).** Programme de performance de Premier Tech Biotechnologies 2013. Inoculant mycorrhizien-agriculture. In Anonyme. <http://www.usemykepro.com/utilisation-mycorhize/grandes-cultures-et-cultures-specialisees.aspx>.
- Quézel, P. (1964).** L'endémisme dans la flore de l'Algérie. Compte rendu de la *Société de biogéographie*, 361, 137-149.
- Quézel, P. (1978).** Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 479-534.
- Quézel, P. (1979).** La région méditerranéenne française et ses essences forestières, signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. *Forêt méditerranéenne*.
- Quézel, P. (1983).** Flore et végétation actuelles de l'Afrique du Nord, leurs signification en fonction de l'origine de l'évolution et des migrations des flores et structures de végétation passées. *Bothalia*, 14 (3-4), 411-416.
- Quézel, P. (1995).** La flore du bassin méditerranéen : origine, mise en place, endémisme. *Ecologia mediterranea*, 21(1), 19-39.
- Quézel, P. (2000).** *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen* (Vol. 117). Paris: Ibis Press.
- Quézel, P. & Santa, S. (1962-1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. In CNRS (Ed). Paris, 2 vols, 1170 p.
- R Development Core Team (2013).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*.
- Ramade, F. (2012).** *Éléments d'écologie-7e éd.-Écologie appliquée*. Dunod.
- Rao, M.V. (2004).** The importance of botanical nomenclature and synonymy in taxonomy and biodiversity. *Current Science*, 87(5), 602-606.
- Raunkiaer, C. (1934).** The life forms of plants and statistical plant geography ; being the collected papers of C. Raunkiaer.
- Raven, P.H., Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. (2005).** Biology of plants. Macmillan.
- Raven, P.H., Mason, K.A., Johnson, G.B., Losos, J.B. & Singer, S.R. (2017).** Biologie. 4ème édition, De Boeck Supérieur.
- Rebours, H. (1968).** «Fruits méditerranéens autres que les agrumes», la Maison rustique. Paris, 207 p.
- Redecker, D., Raab, P., Oehl, F., Camacho, F. J. & Courtecuisse, R. (2007).** A novel clade of sporocarp-forming species of glomeromycotan fungi in the Diversisporales lineage. *Mycological Progress*, 6(1), 35-44.
- Redhead, J.F. (1980).** Mycorrhiza in natural tropical forests. *Tropical mycorrhiza research*, 127-142.

- Ren, L., Wang, B., Yue, C., Zhou, S., Zhang, S., Huo, H. & Xu, G. (2019).** Mechanism of application nursery cultivation arbuscular mycorrhizal seedling in watermelon in the field. *Annals of Applied Biology*, 174(1), 51-60.
- Requena, N., Jeffries, P. & Barea, J.M. (1996).** Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. *Applied and environmental microbiology*, 62(3), 842-847.
- Requena, N., Jimenez, I., Toro, M. & Barea, J.M. (1997).** Interactions between plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* spp. in the rhizosphere of *Anthyllis cytisoides*, a model legume for revegetation in mediterranean semi-arid ecosystems. *The New Phytologist*, 136(4), 667-677.
- Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R. & Hernández, H.M. (2005).** Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia*, 39(4), 395-408.
- Reyes-Agüero, J.A. & Aguirre –Rivera, J.R. & Valiente-Banuet, A. (2006).** Reproductive biology of *Opuntia*: a review. *Journal of Arid Environments*, 64(4), 549-585.
- Reynolds, J.F., Virginia, R.A. & Cornelius, J.M. (1990).** Resource island formation associated with the desert shrubs, creosote bush (*Larrea tridentata*) and mesquite (*Prosopis glandulosa*) and its role in the stability of desert ecosystems : a simulation model. Supplement to *Bulletin of the Ecological Society of America*, 70(2), 229-300.
- Riemann, H. & Ezcurra, E. (2005).** Plant endemism and natural protected areas in the peninsula of Baja California, Mexico. *Biological Conservation*, 122(1), 141-150.
- Rousselle, P., Robert, Y. & Grossuer, J.C. (1996).** La pomme de terre production, Amélioration, Ennemis et Maladies. *Utilisation édition R Doun*, 278.
- Ruiz-Sánchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2010).** The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of plant physiology*, 167(11), 862-869.
- Sadok, H.T., Aid, F., Doumandji, A. & Bellal, M. (2014).** Effet du jus de cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques. *Nature & Technology*, (11), 17.
- Sáenz, C. (2000).** Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*, 46(3), 209-225.
- Safir, A. (2007).** Approche phénologique de quelques groupements d'adventices des cultures dans la région de Tipaza, 73p.
- Sakhraoui, N. (2021).** La flore horticole cultivée dans l'Est algérien : état des lieux et stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat en Physiologie Végétale, Université Souk Ahras.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... & Wall, D.H. (2000).** Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774.
- Saleem, M., Kim, H.J., Han, C.K., Jin, C. & Lee, Y.S. (2006).** Secondary metabolites from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Phytochemistry*, 67(13), 1390-1394.
- Salem, H.B., Nefzaoui, A. & Salem, L. B. (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 Science and Technology*, 96(1-2), 15-30.
- Samar, Ch. & Sid, H. (2021).** Étude agro-écologique sur le figuier de barbarie (*Opuntia maxima*) dans le sud-Est de la wilaya de souk ahras : taux de mycorrhization et composante floristique. Cas de la Mechta de Benatia au sein de la commune de Taoura. Mémoire de Master en Agro-écologie, Université Souk Ahras, 83p.

- Sanders, I.R., Alt, M., Groppe, K., Boller, T. & Wiemken, A. (1995).** Identification of ribosomal DNA polymorphisms among and within spores of the Glomales: application to studies on the genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *New Phytologist*, 130(3), 419-427.
- Sanon, A.A. (2005).** Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la co-existence entre espèces végétales. *DEA, sciences du sol, Université Henri Poincaré–Nancy, 1*.
- Sanon, A.A. (2009).** Le concept de niche écologique associé à la co-existence 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 (Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré-Nancy 1).
- Schnell, R. (1970).** Introduction a la phytogéographie des pays tropicaux: les problèmes généraux (No. 581.9093 S2).
- Schüepp, H., Dehn, B. & Sticher, H. (1987).** Interaktionen zwischen VA-mykorrhizen und Schwermetallbelastungen. *Angewandte Botanik*, 61(1-2), 85-96.
- Schweizer, M. (1997).** Docteur Nopal, le médecin du Bon Dieu. Clamecy; PARIS (France).Imprimerie Laballery,
- Seini Abdoulaye, A.N. & Yaou Dodo, M. (2018).** Contribution à l'étude des plantes fourragères et évaluation de leur statut mycorhizien : cas des jachères de Guerbès-Sanhadja (Skikda Nord-Est algérien). Mémoire Master en Ecologie et environnement, Université Annaba, 47p.
- Selosse, M.A. & Le Tacon, F. (1997).** Des mycorhizes à l'origine de la flore terrestre. *Journal de Botanique*, (3), 21-25.
- Seltzer, P. (1946).** Le climat de l'Algérie. 219 p. *Alger, La Typo-litho" & J. Carbonel*.
- Senani S., 2011.** Estimation et gestion des eaux souterraines de la wilaya de Souk-Ahras région de Taoura. Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Souk Ahras, 182 p.
- Shackleton, C.M. (2000).** Comparison of plant diversity in protected and communal lands in the Bushbuckridge lowveld savanna, South Africa. *Biological Conservation*, 94(3), 273-285.
- Sharif, M. & Claassen, N. (2011a).** Action mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi in phosphorus uptake by *Capsicum annuum* L. *Pedosphere*, 21(4), 502-511.
- Shaw, T. (1830).** Voyage dans la régence d'Alger ou description, géographique, physique, philologique etc. de cet État. Marlin Edi., Paris, 406 p.
- Shoop, M.C., Alford, E.J. & Mayland, H. F. (1977).** Plains pricklypear is a good forage for cattle. *Journal of Range Management*, 30(1), 12-17.
- Sieverding, E. (1991).** Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical cooperation, Federal Republic of Germany, Eschborn, 371 pp.
- Simon, L., Levesque, R.C. & Lalonde, M. (1993).** Identification of endomycorrhizal fungi colonizing roots by fluorescent single-strand conformation polymorphism-polymerase chain reaction. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(12), 4211-4215.
- 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, S.E. & Gianinazzi-Pearson, V. (1988).** Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 39(1), 221-244.
- Smith, S.E. & Read, D.J. (2008).** The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. *Mycorrhizal symbiosis*, 2, 13-41.
- Smith, S.E. & Smith, F.A. (2011).** Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual review of plant biology*, 62, 227-250.

- Smith, S.E., Smith, F.A. & Jakobsen, I. (2003).** Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. *Plant physiology*, 133(1), 16-20.
- Snyman, H. A. (2006).** A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *Journal of Arid Environments*, 65(4), 529-542.
- Song, Y., Guo, L., Li, C., Muminov, A.M. & Jiang, G. (2017).** Green revolution calls for high efficiency eco-agriculture. *Transylvanian Review*, 1(8).
- Sorensen, T.A. (1948).** A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, *Biologiske Skrifter*, 5, 1-34.
- Sow, H.A., Diop, T.A., Ndiaye, F., Manga, A.G.B. & Diallo, A. (2008).** Influence de la mycorhization arbusculaire sur la culture intensive de l'oignon (*Allium cepa* L.) au Sénégal. *Journal des Sciences*, 8, 1-6.
- Spatafora, J.W., Chang, Y., Benny, G.L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M.L., ... & Stajich, J.E. (2016).** A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, 108(5), 1028-1046.
- Spichiger, R.E., Figeat-Hug, M. & Jeanmonod, D. (2002).** Botanique systématique des plantes à fleurs : une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Francia.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T.D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M. & de Haan, C. (2006).** Livestock's long shadow: environmental issues and options. *Food & Agriculture Organisation*.
- Stevens, P.F. (2001).** Angiosperm Phylogeny Website. Version 7, May 2006 3 Suerbaum S, Achtman M, 1999. Evolution of *Helicobacter pylori*: the role of recombination. *Trends in Microbiology*, 7, 182-184.
- Stewart, P.H. (1969).** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord*, 24-25.
- Stintzing, F.C. & Carle, R. (2004).** Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Trends in food science & technology*, 15(1), 19-38.
- Stintzing, F.C., Schieber, A. & Carle, R. (2001).** Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*, 212(4), 396-407.
- Su, Y.Z. & Lin 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(3), 223-235.
- Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P. & Balasubramanian, P. (2006).** Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia horticulturae*, 107(3), 245-253.
- Taktek, S. (2015).** Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries – mycorhizes, Université LAVAL, 150p.
- Tani, C.K., Le Bourgeois, T. & Munoz, F. (2010).** Aspects floristiques des adventices du domaine phytogéographique oranais (Nord-Ouest algérien) et persistance d'espèces rares et endémiques. *Flora Mediterranea*, 20, 29-46.
- Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F. & De Mastro, G. (2017).** Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 102, 144-153.
- Temagault, A. (2017).** Caractérisation et Transformation de la Figue de Barbarie (*Opuntia ficus Indica* L.), Elaboration d'une Confiture et d'une Gelée Extra. Mémoire de Magister en Génie des Procédés Alimentaires, 117p.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Terrab, A., Paun, O., Talavera, S., Tremetsberger, K., Arista, M. & Stuessy, T.F. (2006).** Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas cedar (*Cedrus atlantica*; Pinaceae) determined with cpSSR markers. *American Journal of Botany*, 93(9), 1274-1280.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A. & Naylor, R.S. Polasky (2002).** Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671.
- Tisdall, J.M. (1991).** Fungal hyphae and structural stability of soil. *Soil Research*, 29(6), 729-743.
- Titus, J.H., Nowak, R.S. & Smith, S.D. (2002).** Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. *Journal of Arid Environments*, 52(3), 269-292.
- Touati, L., Hamel, T. & Meddad-Hamza, A. (2020).** Sur la présence d'*Atriplex canescens* (Amaranthaceae) en Algérie: écologie, taxonomie et biogéographie. *Flora Mediterranea*, 30, 33-38.
- Trouvelot, A., Kough, J.L. & Gianinazzi-Pearson, V. (1986).** Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae: proceedings of the 1st european symposium on mycorrhizae*, Dijon, 1-5 July 1985, 217-221.
- UICN, 1980.** Listes des plantes rares et menacées des États du Bassin Méditerranéen. 63p.
- UICN, 2006.** Liste rouge de l'UICN des espèces menacées. Version 2006.
- UICN, 2021.** Liste rouge de l'UICN des espèces menacées. Version 2021-1. <http://www.iucnredlist.org>
- vanden Berghen, C. (1998).** La Forêt Pâturée Des Environs D'Abéné (Basse Casamance Occidentale, Sénégal). Les Éditions de Lejeunia, Département de Botanique.
- Véla, E. & de Bélair, G. (2017).** *Charybdis anthericoides*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T111272454A111273406.
- Véla, E. (2017).** Commentaires sur la flore de l'île Rachgoun (Nord-Ouest Algérie). *Revue d'écologie (Terre et Vie)*, 72 (3) : 258-268.
- Véla, E. & Benhouhou, S. (2007).** Assessment of a new hotspot for plant biodiversity in the Mediterranean basin (north Africa). *Comptes rendus biologiques*, 330(8), 589-605.
- Véla, E., De Belair, G., Rosato, M. & Rossello, J. (2016).** Taxonomic remarks on *Scilla anthericoides* Poir. (Asparagaceae, Scilloideae), a neglected species from Algeria. *Phytotaxa*, 288(2), 154-160.
- Veresoglou, S.D., Shaw, L.J. & Sen, R. (2011).** *Glomus intraradices* and *Gigaspora margarita* arbuscular mycorrhizal associations differentially affect nitrogen and potassium nutrition of *Plantago lanceolata* in a low fertility dune soil. *Plant and soil*, 340(1), 481-490.
- Verlaque, R., Médail, F., Quézel, P. & Babinot, J.F. (1997).** Endémisme végétal et paléogéographie dans le bassin méditerranéen. *Geobios*, 30, 159-166.
- Vosátka, M. & Albrechtová, J. (2009).** Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable crop production. In *Microbial strategies for crop improvement*, 205-225. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Vosátka, M., Látr, A., Gianinazzi, S. & Albrechtová, J. (2012).** Development of arbuscular mycorrhizal biotechnology and industry: current achievements and bottlenecks. *Symbiosis*, 58(1), 29-37.
- Walker, C. & Trappe, J.M. (1993).** Names and epithets in the Glomales and Endogonales. *Mycological Research*, 97(3), 339-344.
- Wallace, J.B., Eggert, S.L., Meyer, J.L. & Webster, J.R. (1997).** Multiple trophic levels of a forest stream linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 277(5322), 102-104.
- Wallace, R.S. & Gibson A.C. (2002).** Evolution and systematics. In P.S. Nobel (ed.). *Cacti: biology and uses*. University of California Press, Berkeley.
- Walter, K. S. & Gillet, H.J. (1998).** IUCN Red List of treated plants. Compiled by the World Conservation Union. *Gland, Switzerland and Cambridge (UK)*.

- Watson, L. & Dallwitz, M.J. (1992).** Onwards. The families of flowering plants : descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version : 29th July 2006. <http://delta-intkey.com>.
- Wezel, A., Rajot, J.L. & Herbrig, C. (2000).** Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *Journal of arid environments*, 44(4), 383-398.
- Wright, S. F. & Anderson, R.L. (2000).** Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils*, 31(3), 249-253.
- Wu, Q.S. & Xia, R.X. (2006).** Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of plant physiology*, 163(4), 417-425.
- Wu, Q.S. & Zou, Y.N. (2017).** Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. In *Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants*, 25-41. Springer, Singapore.
- XLSTAT (2014).** Analyse de données et statistique avec MS Excel. Addinsoft, New York, version 2014.5.03
- Yahi, N., Djellouli, Y. & De Foucault, B. (2008).** Floristic diversity and biogeography of cedar forests of Algeria. *Acta Botanica Gallica*, 155, 403-414.
- Yahi, N., Véla, E., Benhouhou, S., De Belair, G. & Gharzouli, R. (2012).** Identifying important plants areas (key biodiversity areas for plants) in northern Algeria. *Journal of threatened taxa*, 2753-2765.
- Zedam, A. (2015).** Etude de la flore endémique de la zone humide du Chott El Hodna, inventaire et préservation. Thèse de Doctorat en Biologie végétale, Université de Sétif, 368p.
- Zeng, Y., Guo, L.P., Chen, B.D., Hao, Z.P., Wang, J.Y., Huang, L.Q., ... & Zhang, Y. (2013).** Arbuscular mycorrhizal symbiosis and active ingredients of medicinal plants: current research status and perspectives. *Mycorrhiza*, 23(4), 253-265.
- Zerbib, J. (2015).** Impact de l'endomycorhization sur la résistance naturelle et induite de la vigne à *Plasmopara viticola* (agent causal du mildiou) (Doctoral dissertation, Université de Bourgogne (UB), FRA.).
- Zhou, P., Takaishi, Y., Duan, H., Chen, B., Honda, G., Itoh, M., ... & Lee, K.H. (2000).** Coumarins and bicoumarin from *Ferula sumbul*: anti-HIV activity and inhibition of cytokine release. *Phytochemistry*, 53(6), 689-697.
- Zhu, J., Liu, Z., Brady, E.C., Otto-Bliesner, B. L., Marcott, S. A., Zhang, J., ... & Noone, D. (2017).** Investigating the direct meltwater effect in terrestrial oxygen-isotope paleoclimate records using an isotope-enabled Earth system model. *Geophysical Research Letters*, 44(24), 12-501.
- Ziane, H. (2018).** Application des champignons mycorrhiziens à arbuscules dans la culture de la tomate industrielle. Thèse de Doctorat en Biologie végétale et environnement, Université Annaba, 102p.
- Ziane, H., Meddad-Hamza, A., Beddiar, A. & Gianinazzi, S. (2017).** Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization levels on industrial tomato growth and production. *International Journal of Agriculture & Biology*, 19(2).
- Zubek, S., Turnau, K. & Blazkowski, J. (2008).** Arbuscular mycorrhiza of endemic and endangered plants from the Tatra Mts. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 77(2).

### Webographie :

**Site net 01 :** <https://www.cosmebio.org/>

**Site net 02 :** <https://www.dzentreprise.net/>

**Site net 03 :** <https://www.conservation-nature.fr/>

## *RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

---

**Site net 04** : <https://www.tela-botanica.org/>

**Site net 05** : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Figuier-de-Barbarie.html>

**Site net 06** : <https://inplus-shop.com/produit/symbivit-premium/>

**Site net 07** : <http://www2.dijon.inra.fr/mychintec/Mycocalc-prg/download.html>.

**Site net 08** : <http://herbarivirtual.uib.es/ca/general/910/especie/rhodalsine-geniculata-poiret-f-n->.

# ***ANNEXES***



## Annexe 01 : Les cordonnées des stations échantillonnées

Code	Station	Cordonnées de GPS	Secteur biogéographique Quézel et Santa (1962-1963)	Type de végétation	Précipitation (mm) CONM (1990-2020)	Altitude (m)	Bioclimat CONM (1990-2020)
R1	Aïn Seynour	36°19'25"N ; 7°52'30"E	C1	Pelouse	945	843	Humide
R2	Aïn Talhi	36°20'22"N ; 7°51'40"E	C1	Maquis	945	853	Humide
R3	Aïn Trab	36°21'53"N ; 8° 7'59"E	C1	Milieu humide	842	902	Humide
R4	Aïn Zena	36°24'02"N ; 8°11'28"E	C1	Maquis	842	1155	Humide
R5	Ben Attia	36°01'31"N ; 8°06'38"E	H2	Steppe	266	517	Semi-aride
R6	Djebel Msid	36°23'56"N ; 8°3'28" E	C1	Maquis	972	1383	Humide
R7	Hannench	36°13'1"N ; 7°49'60" E	C1	Maquis	712	847	Sub-humide
R8	Mare Aïn Zena	36°13'1"N ; 7°49'60" E	C1	Milieu humide	837	839	Humide
R9	Mazeraa	36°23'7"N ; 7°53'13"E	C1	Zénaie	1124	925	Humide
R10	Machroha	36°21'26"N ; 7°50'8" E	C1	Subéraie	935	733	Humide
R11	Merahna	36°12'8"N ; 8°9'31" E	H2	Steppe	280	551	Semi-aride
R12	Oued Medjarda	37°07'12"N ; 10°3'27"E	H2	Milieu humide	730	570	Sub-humide
R13	Ouled Bechih	36°20'21"N ; 7°52'19"E	C1	Subéraie	955	822	Humide
R14	Tarja	36°17'25"N ; 8°03'01"E	H2	Maquis	782	1150	Sub-humide
R15	Sedrata	36°7'51"N ; 7°31'57"E	H2	Steppe	370	797	Semi-aride
R16	Tiffekh	36°11'30"N ; 7°47'10"E	H2	Pelouse	416	972	Sub-humide
R17	Majen Matlag	36°25'40"N ; 7°55'45"E	C1	Milieu humide	950	692	Humide
R18	M'daourouche	36°04'29"N ; 7°49'11"E	H2	Steppe	330	753	Semi-aride

**Annexe 02 : Les températures moyennes mensuelles (°C) de la région de Souk Ahras de 2012 à 2021 (Station météorologique de Souk Ahras, 2022).**

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>2012</b>	7	4,3	10,8	13,3	17,3	25,3	27,2	29,1	23	19	15	9,1
<b>2013</b>	7,45	6,1	12	14,4	16	20	26	25	22	22	11,2	9
<b>2014</b>	8,8	9,7	8,6	14,2	17	22,4	25,1	27	24,7	20	15	8,1
<b>2015</b>	5,3	3,85	7,25	9,75	15,15	18,35	23,15	22,45	18,8	24,9	8,35	6,45
<b>2016</b>	9,2	9,5	9,5	14,6	16,4	21,7	24,6	23,7	20,4	19,2	12,6	9,4
<b>2017</b>	5,5	9,8	11,9	13,3	18,9	24,5	27,4	28,2	21,9	16,5	11,3	7,3
<b>2018</b>	9,1	6,3	10,3	13,8	15,5	20,4	27,2	22,9	22,2	19,8	11,8	9,6
<b>2019</b>	11,95	9,67	10,72	10,94	13,63	27,2	38	37	29,9	25,65	18,3	16,5
<b>2020</b>	10,2	13,85	14,45	13	18,95	22,9	29,1	31,3	24,35	20,7	18,1	11,3
<b>2021</b>	7,88	8,09	10,45	13,86	17,3	23,67	27,63	26,65	22,66	18,12	12,65	9,12
<b>Moyenne (°C)</b>	<b>7,88</b>	<b>8,09</b>	<b>10,45</b>	<b>13,86</b>	<b>17,3</b>	<b>23,67</b>	<b>27,63</b>	<b>26,65</b>	<b>22,66</b>	<b>18,12</b>	<b>12,65</b>	<b>9,12</b>

**Les moyennes mensuelles (°C) des maxima et minima de la région de Souk Ahras de 2012 à 2021 (Station météorologique de Souk Ahras, 2022).**

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>M (°C)</b>	11,58	12,21	15,07	19,26	23,15	30,25	34,25	33,43	28,48	23,25	16,85	12,82
<b>m (°C)</b>	4,17	3,96	5,82	8,45	11,44	17,09	21,00	19,87	16,84	12,99	8,44	5,41

**Annexe 03 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm) de la région de Souk Ahras de 2012 à 2021 (Station météorologique de Souk Ahras, 2022).**

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>2012</b>	73,95	232,9	83,1	100,2	125,1	16,7	6,8	9	17,8	126,8	48,3	195,1
<b>2013</b>	74	233	63	109	146	17	7	11	18	125	47	198
<b>2014</b>	130	127	209	26	53	21	1	5	38	53	37	308
<b>2015</b>	237	291	141	5	83	3	1	35	43	94	139	310
<b>2016</b>	87,5	35	165,3	77,9	72	10	2	2	43	18	55	94
<b>2017</b>	146	81	23	52	6	42	1	0	18	44	184	96
<b>2018</b>	35,4	94,9	114,7	5,8	9,74	5,55	8,7	4,76	14,6	149,4	57,4	83,9
<b>2019</b>	50,43	81,65	93,43	80,09	50,56	55	9	66,3	136,1	94,9	125,4	123,3
<b>2020</b>	46,1	2,9	127,5	112	43	10	0	25	63,3	29,7	176	184,5
<b>2021</b>	120	45,3	110,1	72,8	51,3	3,3	0,8	10	31	53	54,7	189,3
<b>Moyenne (mm)</b>	<b>97,66</b>	<b>132,5</b>	<b>108,49</b>	<b>68,2</b>	<b>71,42</b>	<b>18,19</b>	<b>3,99</b>	<b>16,3</b>	<b>40,04</b>	<b>82,95</b>	<b>88,5</b>	<b>179,48</b>

**Annexe 04 : Solutions de fixation et de coloration**

Solution de fixation : KOH à 10% (pour la fixation) = (100g KOH dans 1litre d'eau distillée).

Solution de coloration : Bleu Trypan à 0,03% (pour la coloration) = (400 ml d'eau distillée + 300ml glycérol + 300ml d'acide lactique + 0,03 g du bleu trypan), on remue le tout et on passe le mélange à agitateur pendant 15 à 20 minutes.



**Annexe 06 :** Table d'Alexander (1965) pour déterminer le nombre le plus probable de propagules de champignons mycorhizogène dans un sol.

P1	P2	Most probable number for indicated values of P3					
		0	1	2	3	4	5
0	0	-	0,018	0,036	0,054	0,072	0,090
0	1	0,018	0,036	0,055	0,073	0,091	0,11
0	2	0,037	0,55	0,074	0,092	0,11	0,13
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	0,092	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	16	-

**Annexe 07:** Quelques espèces rares et endémiques de la wilaya de Souk Ahras (toutes les photos ont été prises par **Hamel T.**, sauf la photo A.5, par **de Bélair G.**).

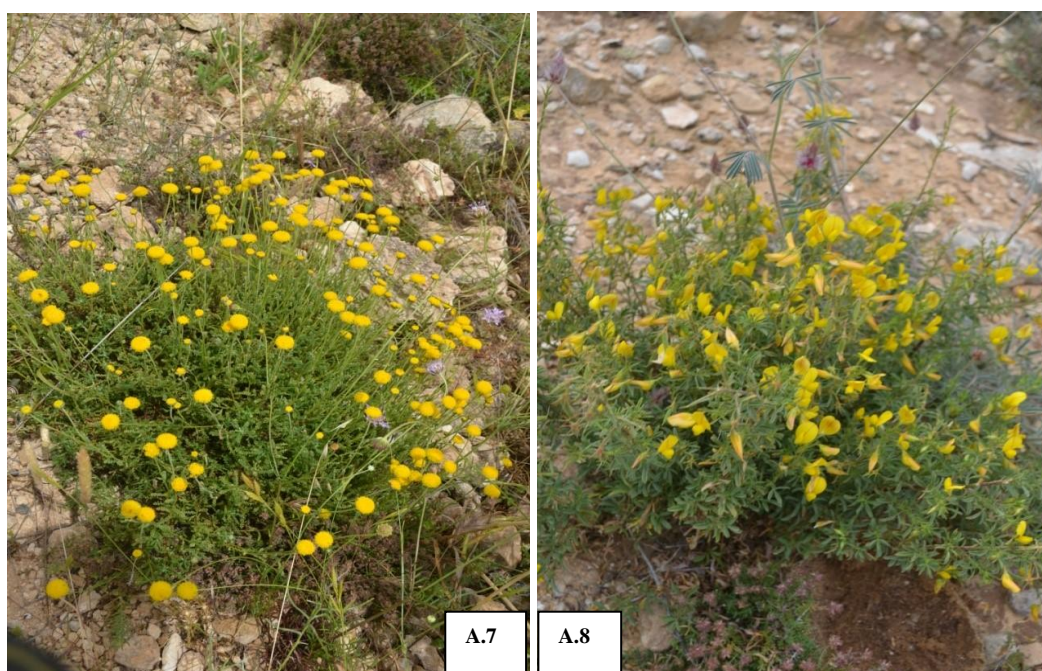
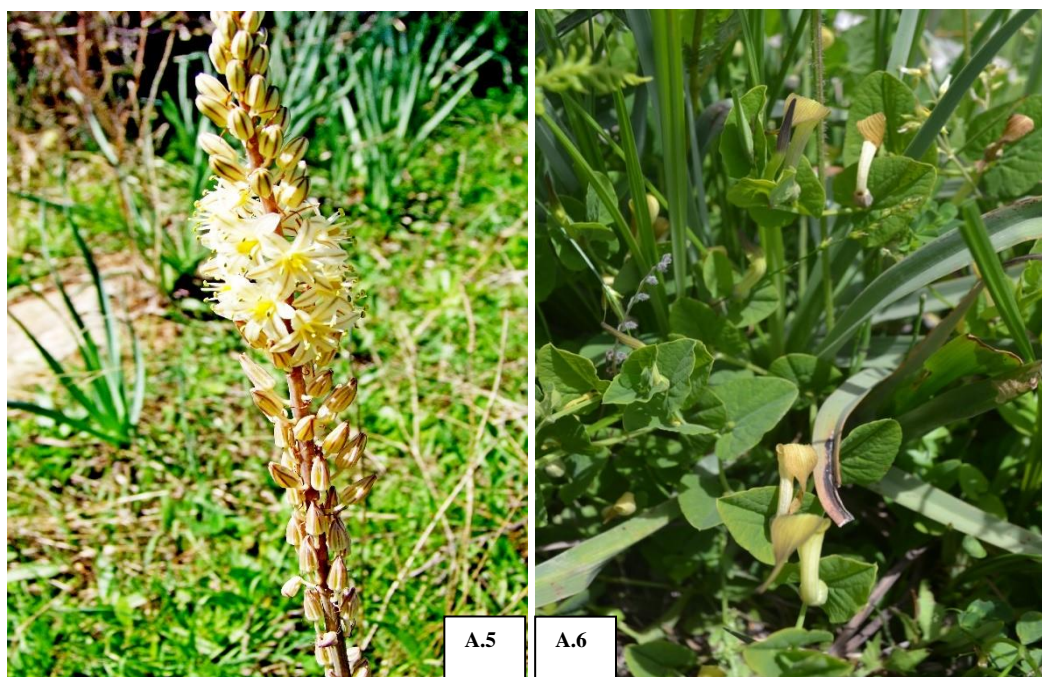


**A.1.** *Serapias stenopetala* Maire & T. Stephenson

**A.2.** *Dactylorhiza elata* (Poir.) Soo

**A.3.** *Mandragora officinarum* L.

**A.4.** *Sinapis pubescens* L. subsp. *indurata* (Coss.) Batt



**A.5. *Drimia anthericoides* (Poir.) Véla & De Bélair**

**A.6. *Aristolochia paucinervis* Pomel.**

**A.7. *Santolina africana* Jord. & Fourr.**

**A.8. *Ononis angustissima* subsp. *polyclada* Murb.**



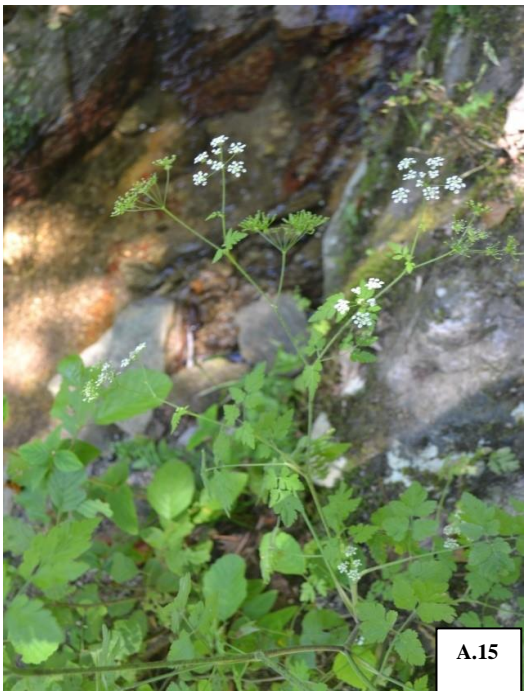
**A.9. *Sideritis incana* L. subsp. *incana***

**A.10. *Argyrolobium saharae* Pomel.**

**A.11. *Orchis laeta* Steinh**

**A.12. *Calendula suffruticosa* subsp. *boissieri* Lanza**





**A.13. *Scutellaria columnae* All. subsp. *columnae***

**A.14. *Convolvulus durandoi* Pomel**

**A.15. *Chaerophyllum temulum* L.**

**A.16. *Orobanche rapum-genistae* Thuill.**

**Annexe 08** : Quelques espèces issues des relevés floristiques 1 et 2 ( toutes les photos ont été prises par **Hamel T., 2021**).



**A.17. *Allium polyanthum***

**A.18. *Argyrolobium saharae***

**A.19. *Asparagus horridus***

**A.20. *Convolvulus cantabrica* L.**



A.21



A.22



A.23



A.24

**A.21. *Dipcadi serotinum***

**A.22. *Eruca pinnatifida* (Desf.) Pomel.**

**A.23. *Launaea acanthoclada***

**A.24. *Lomelosia stellata* L. Raf.**



A.25



A.26



A.27



A.28

**A.25. *Thesium humile***

**A.26. *Paronychia arabica***

**A.27. *Peganum harmala***

**A.28. *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams**



A.29



A.30



A.31



A.32

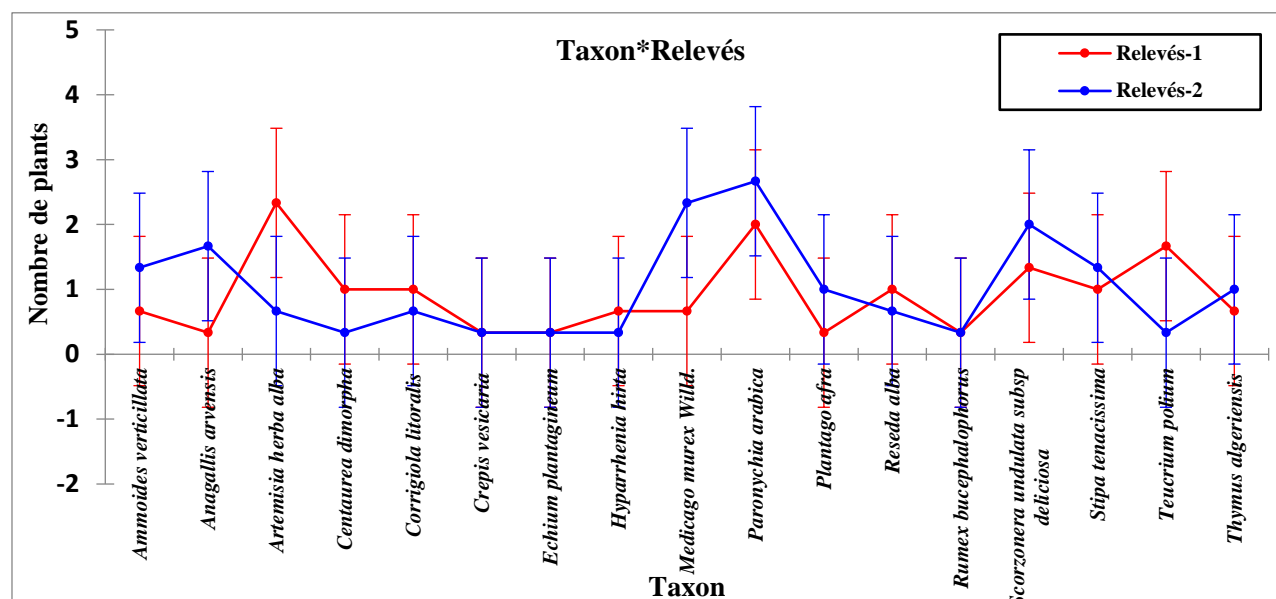
**A.29. *Polygonum aviculare* L.**

**A.30. *Aegilops triuncialis***

**A.31. *Plantago afra***

**A.32. *Marrubium vulgare***

**Annexe 09:** Graphique de l'Anova des interactions (répétitions, relevés, taxons) sur le nombre de plants des espèces communes entre relevés floristiques 1 et 2 (2021).



**Annexe 10:** Analyse de la variance à trois facteurs (Paramètres de mycorhization, Familles et relevés) des espèces commune entre relevés 1 et 2.

Source	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Signification
Paramètres	191850,431	4	47962,608	211,993	0,000
Famille	22920,401	20	1146,020	5,065	0,000
Relevés	397,894	1	397,894	1,759	0,187
Paramètres * Famille	17056,979	80	213,212	0,942	0,611
Paramètres * Relevés	3963,165	4	990,791	4,379	0,002
Famille * Relevés	5785,177	20	289,259	1,279	0,202
Paramètres * Famille * Relevés	9255,082	80	115,689	0,511	0,999
Erreur	33936,890	150	226,246		
Total	1227636,897	360			
Total corrigé	393797,158	359			

**Annexe 11:** Analyse de la variance à 3 critères (Traitements, Paramètres de mycorhization, Années) des blocs traités.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Paramètres de mycorhization	4	90673,723	22668,431	340,421	< 0,0001
Année	2	92,147	46,073	0,692	0,504
Traitements	8	8636,801	1079,600	16,213	< 0,0001
Paramètres de mycorhization*Année	8	2664,368	333,046	5,001	< 0,0001
Paramètres de mycorhization*Traitements	32	6486,340	202,698	3,044	< 0,0001
Année*Traitements	16	5710,221	356,889	5,360	< 0,0001

**Annexe 12:** Traitements / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Modalité	Moyenne estimée	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes		
Traitement 5	69,885	2,107	65,676	74,094	A		
Traitement 6	54,001	2,107	49,792	58,210		B	
Traitement 2	52,518	2,107	48,309	56,727		B	
Traitement 1	51,913	2,107	47,704	56,122		B	
Traitement 7	51,673	2,107	47,464	55,882		B	
Traitement 3	50,146	2,107	45,937	54,355		B	
Traitement 9	46,095	2,107	41,886	50,304		B	C
Traitement 8	44,805	2,107	40,596	49,014		B	C
Traitement 4	39,020	2,107	34,811	43,229			C

**Annexe 13:** Analyse statistique du MPN des sols avant et après essai.

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Différence entre les essais	2	28839593,086	14419796,543	29,570	0,001
Différence entre les MPN dans les essais	6	2925930,741	487655,123		
Total corrigé	8	31765523,827			

Paramètres du modèle :

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr >  t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)
Inoculé 2 ans après essai	4000,007	570,178	7,015	0,000	2604,446	5395,568
Témoin 2 ans après essai	444,447	570,178	0,779	0,465	-951,114	1840,008
Témoin Avant Essai	0,000	0,000				

Test de Tukey HSD (Honestly Significantly Different) :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Inoculé 2 ans après essai vs Témoin Avant Essai	4000,007	7,015	3,068	0,001	Oui
Inoculé 2 ans après essai vs Témoin 2 ans après essai	3555,560	6,236	3,068	0,002	Oui
Témoin 2 ans après essai vs Témoin Avant Essai	444,447	0,779	3,068	0,728	Non

Modalité	Moyenne estimée	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes	
Inoculé 2 ans après essai	6722,223	403,177	5735,413	7709,034	A	
Témoin 2 ans après essai	3166,663	403,177	2179,853	4153,474		B
Témoin Avant Essai	2722,217	403,177	1735,406	3709,027		B

## RÉSUMÉ :

La rareté et l'endémisme sont les concepts les plus importants de la biodiversité d'une région qui revêtent une grande importance pour la conservation. Dans cette étude menée dans la wilaya de Souk Ahras (Nord-Est algérien), une liste complète de toutes les espèces patrimoniales, leur composition taxonomique et leur répartition géographique sont présentées. L'artificialisation d'un habitat naturel causée par une modification anthropique, se réfère à des modes d'occupation et d'affectation des sols spécifiques. Ainsi, les milieux agricoles, qui, enrichis de nutriments ou cultivés n'abritent qu'une faible part la biodiversité naturelle. En effet, en vue de connaître l'impact de l'artificialisation des milieux naturels, une étude a été menée dans la Mechta Ben Attia au Sud-Est de la wilaya de Souk-Ahras. Pour cela, l'inventaire floristique loin et au périmètre du figuier de Barbarie (*Opuntia maxima* Mill.) cultivé, ainsi que l'impact de cette culture comme stimulateur de la vitalité du sol, notamment en mycorhizes ont été menés. Par ailleurs, l'apport de mycorhizes exogènes a été testé pour évaluer son effet à améliorer la mycorhization et la fertilité du sol (richesse en propagules mycorhiziens).

Un total de 119 espèces réparties dans les différents habitats appartenant aux deux secteurs phytogéographiques (C1 et H2) de la région de Souk Ahras a été inventorié. Ainsi, le taux de rareté et d'endémisme a augmenté le long d'un gradient de richesse en matière organique, ce qui fait que les zones forestières et pré-forestières abritent un nombre plus élevé de taxons.

La station d'étude de la Mechta Ben Attia à climat semi-aride et aux sols artificialisés par la culture d'*Opuntia maxima* Mill., a permis d'inventorier 79 espèces loin et 83 espèces au périmètre de cette culture, ce qui reflète une richesse spécifique assez importante malgré l'aridité du climat. La présence d'*Opuntia maxima* a permis une modification de la composante floristique à son périmètre et a favorisé l'installation de plus de Poaceae (102 individus répartis sur 12 espèces), qui sont majoritairement des espèces annuelles. Aussi, nous avons enregistré un seul taxon à statut protégé dans la liste algérienne (*Argyrolobium saharae* Pomel.), d'où il nous semble que la présence d'*Opuntia maxima* a été défavorable pour l'installation des endémiques strictes et rares.

*Cynodon dactylon* (L.) Pers. (49 plants) et *Rhodalsine geniculata* (Poiret) F.N. Williams (31 plants) ont été les espèces les plus abondantes au périmètre du figuier de Barbarie, la première en raison de son appartenance aux Poaceae, famille la plus attirée par l'*Opuntia maxima* et la seconde, à cause de sa préférence pour les milieux cultivés.

Bien que la présence d'*Opuntia maxima* ait exercé un impact en attirant plus de végétation spontanée annuelle, elle a aussi amélioré la mycorhization de la végétation à son périmètre. L'apport de champignons mycorhiziens à arbuscules exogènes nous a permis d'observer une richesse du sol en propagules en présence de la matière organique d'une manière significative. Les essais en plein champ ont montré que l'utilisation de 5g d'*inoculum* et 100g de matière organique par plant est le traitement qui a présenté la meilleure efficacité biologique/économique durable (jusqu'à 3 ans). Cette efficacité s'est traduite par une augmentation de la colonisation mycorhizienne au niveau des racines d'*Opuntia maxima* et par la richesse du sol en propagules aptes à générer une mycorhization.

**Mots clés :** Rareté, endémisme, Souk Ahras (Nord-Est algérien), *Opuntia maxima*, inventaire floristique, sols, champignons mycorhiziens à arbuscules.