

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية

الجمهورية الديمقراطية والشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش - الجزائر

ECOLE NATIONAL SUPERIEURE AGRONOMIQUE (ENSA) EL HARRACH - ALGER



**THESE EN VUE DE L'OBTENTION
DE DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

THEME

***EVALUATION DES POPULATIONS LOCALES DE
M. laciniata, M. minima et M. truncatula
ET CARACTÉRISATION PHÉNOTYPIQUE DES SOUCHES
DE RHIZOBIUMS ASSOCIÉES***

Présentée par : CHEBOUTI ABDERREZAK

Soutenue publiquement devant le jury composé de :

Mr. KHELIFI L.

Président

Professeur, ENSA

Mr. BEKKI A.

Directeur de thèse

Professeur, U. Oran

Mr. OUNANE S.M.

Examineur

Professeur, ENSA

Mr. M'HAMMEDI BOUZINA M.

Examineur

Professeur, U. Chelef

Mr. ABBAS Kh.

Examineur

Direct. Recherche, INRAA

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma regrettée chère mère Allah Yarhamha

Mon père : Pour tous ce qu'il m'a donné

Ma famille : Ma femme et ma fille Loubna

*A tous ceux qui m'ont aidé de prêt ou de loin à réaliser ce
travail*

*Je voudrais leur exprimer ma reconnaissance
et ma profonde affection.*

Votre fierté de moi me vaut tous les diplômes du monde

Remerciements

Louanges à Dieu le tout puissant et le miséricordieux qui a guidé mes pas vers cette issue.

Au terme de ce travail, j'aimerais exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de thèse le professeur **Bekki Abdelkader** qui a accepté de diriger ce travail. Je le remercie pour son aide, sa patience, ses conseils précieux et ses recommandations qui ont conduit à l'achèvement ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon plus profond respect et ma profonde gratitude.

Mes vifs remerciements et ma profonde gratitude s'adressent au professeur **KHELIFI Lakhder**, qui m'a fait l'honneur de présider le jury et aux professeurs **OUNANE Sidi Mohamed**, **M'HAMMEDI BOUZINA Mahfoud** et **ABBES Khaled** (Directeur de Recherche) d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Je tiens à remercier vivement Melle **BESSEDIK F.** et Mme **AMRANI S.** pour leur aide précieux pour la réalisation de la partie microbiologie.

Ma gratitude va aussi à tous mes proches collègues de l'INRAA pour leurs encouragements afin de finaliser ce travail, en particulier ceux de la Division de Recherche Ressources Phytogénétiques.

Ma reconnaissance va aussi à mon père, mon épouse et ma fille Loubna pour leur patience et leur amour.

CHEBOUTI Abderrezak

Liste des tableaux :

Tableau 1: Classification des *rhizobiums* (Berrada et Fikri-Benbrahim, 2014).....15

Tableau 2: Liste des populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula* et des sites d'origine de collecte.....25

Tableau 3: Valeurs extrêmes et moyennes des caractères morphologiques chez *M. laciniata*.....34

Tableau 4: Valeurs extrêmes et moyennes des caractères morphologiques chez *M. minima*.....35

Tableau 5: Valeurs extrêmes et moyennes des caractères morphologiques chez *M. truncatula*...36

Tableau 6: Relation entre les caractères biométriques et morphologiques chez *M. laciniata*.....37

Tableau 7: Relation entre les caractères biométriques et morphologiques chez *M. minima*.....38

Tableau 8: Relation entre les caractères biométriques et morphologiques chez *M. truncatula*...39

Tableau 9: Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. laciniata*.....41

Tableau 10: Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. laciniata*.....41

Tableau 11; Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. minima*.....44

Tableau 12: Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. minima*.....44

Tableau 13: Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. truncatula*.....47

Tableau 14: Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. truncatula*.....47

Tableau 15: Valeurs extrêmes et moyennes des caractères phénologiques et agronomiques chez *M. laciniata*.....64

Tableau 16: Valeurs extrêmes et moyennes des caractères phénologiques et agronomiques chez *M. minima*.....65

Tableau 17: Valeurs extrêmes et moyennes des caractères phénologiques et agronomiques chez *M. truncatula*.....66

Tableau 18: Relation entre les caractères phénologiques et agronomiques chez <i>M. laciniata</i>	69
Tableau 19: Relation entre les caractères phénologiques et agronomiques chez <i>M. minima</i>	71
Tableau 20: Relation entre les caractères phénologiques et agronomiques chez <i>M. truncatula</i> ...	73
Tableau 21: Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez <i>M. laciniata</i>	75
Tableau 22: Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez <i>M. laciniata</i>	75
Tableau 23: Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez <i>M. minima</i>	78
Tableau 24: Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez <i>M. minima</i>	78
Tableau 25: Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales Chez <i>M. truncatula</i>	81
Tableau 26: Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez <i>M. truncatula</i>	81
Tableau 27 : Liste des souches utilisées dans cette étude et leurs plantes hôtes.....	94
Tableau 28 : Temps de génération des souches des trois espèces de luzernes annuelles.....	99
Tableau 29 : Tolérance à la température des souches des trois espèces de luzernes annuelles..	104
Tableau 30 : Tolérance à NaCl des souches des trois espèces de luzernes annuelles.....	108
Tableau 31 : Tolérance au pH des souches des trois espèces de luzernes annuelles.....	112

Liste des figures :

Figure 1: Localisation géographique des sites de collecte des populations.....26

Figure 2: Projection des variables morphologiques et des populations de *M. laciniata* dans le plan 1-2.....42

Figure 3: Projection des variables morphologiques et des populations de *M. minima* dans le plan 1-2.....45

Figure 4: Projection des variables morphologiques et phénologiques des populations de *M. truncatula* dans le plan 1-2.....48

Figure 5: Projection des variables morphologiques et phénologiques des populations de *M. laciniata* dans le plan 1-2.....76

Figure 6: Projection des variables agronomiques et phénologiques des populations de *M. minima* dans le plan 1-2.....79

Figure 7: Projection des variables agronomiques et phénologiques des populations de *M. truncatula* dans le plan 1-2.....82

Figure 8: Différentes formes de nodules collectés chez les espèces de *Medicago* L.....92

Fig. 9: Courbe de croissance de quelques souches de l'espèce *M. minima*.....100

Fig. 10: Courbe de croissance de quelques souches de l'espèce *M. laciniata*.....100

Fig. 11: Courbe de croissance de quelques souches de l'espèce *M. truncatula*.....100

Figure 12: Dendrogramme résultant de la tolérance des souches à la température.....103

Figure 13: Dendrogramme résultant de la tolérance des souches à la salinité.....107

Figure 14: Dendrogramme résultant de la tolérance des souches au Ph.....110

Figure 15: Représentation sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'ACP des souches et des paramètres physiologiques testés.....113

SOMMAIRE

INTRODUCTION	01
--------------	----

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Présentation des espèces

I. 1. <i>Medicago minima</i>	04
I. 1. 1. Description de l'espèce	05
I. 1. 2. Aire de distribution	06
I. 2. <i>Medicago laciniata</i>	07
I. 2. 1. Description de l'espèce	07
I. 2. 2. Aire de distribution	07
I. 3. <i>Medicago truncatula</i>	08
I. 3.1. Description de l'espèce	08
I. 3.1.1. <i>Medicago truncatula</i> var. <i>truncatula</i>	08
I. 3.1.2. <i>Medicago truncatula</i> var. <i>longispina</i>	08
I. 3.1.3. <i>Medicago truncatula</i> var. <i>tricycla</i>	09
I. 3. 2. Aire de distribution	09

II. Symbiose Légumineuses-Rhizobium 09

II. 1. Mécanismes et spécificité de la symbiose	09
II. 2. Initiation nodulaire	11
II. 3. Le partenaire végétal	12
II. 4. Le partenaire bactérien	13
II. 4. 1. Définition et caractéristiques	13
II. 4. 2. Classification	14
II. 4. 3. Rhizobium associé aux luzernes	22

CHAPITRE II : CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES POPULATIONS

I. Matériel et Méthodes	25
I. 1. Matériel végétal	25
I. 2. Description de l'essai et Mesures effectuées	27
I. 3. Traitements statistiques	28
II. Résultats et Discussion	29
II. 1. Résultats	29
II.1. 1. Variabilité morphologique (variation phénotypique)	29
II. 1. 2. Relation entre variables mesurées	37
II. 2. 1. <i>Medicago laciniata</i>	37
II. 2. 1. <i>Medicago minima</i>	38
II. 2. 1. <i>Medicago truncatula</i>	39
II. 1. 3. Typologie des populations	40
II. 1. 3. 1. <i>Medicago laciniata</i>	40
II. 1. 3. 2. <i>Medicago minima</i>	43
II. 1. 3. 3. <i>Medicago truncatula</i>	46
II. 2. Discussion	49

CHAPITRE III : EVALUATION AGRONOMIQUE DES POPULATIONS

I. Matériel et Méthodes	54
I. 1. Matériel végétal	54
I. 2. Description de l'essai et Mesures effectuées	54
I. 3. Traitements statistiques	56

II. Résultats et Discussion	57
II. 1. Résultats	57
II.1. 1. Variabilité morphologique (variation phénotypique)	57
II. 1. 1. 1. Développement végétatif	57
II. 1. 1. 2. Phénologie	58
II. 1. 1. 3. Rendement	62
II. 1. 2. Relation entre variables mesurées	67
II. 1. 2. 1. <i>Medicago laciniata</i>	67
II. 1. 2. 2. <i>Medicago minima</i>	70
II. 1. 2. 3. <i>Medicago truncatula</i>	72
II. 1. 3. Typologie des populations	74
II. 1. 3. 1. <i>Medicago laciniata</i>	74
II. 1. 3. 2. <i>Medicago minima</i>	77
II. 1. 3. 3. <i>Medicago truncatula</i>	80
II. 2. Discussion	83

CHAPITRE IV : CARACTERISATION PHENOTYPIQUE DES RHIZOBIUMS

I. Introduction	90
II. Matériel et Méthodes	92
II. 1. Collecte des nodules	92
II. 2. Extraction, isolement et purification des isolats	93
II. 3. Authentification des isolats	95
II. 4. Les caractères phénotypiques	96
II. 4 .1. La croissance	96

II. 4. 2. Tests physiologiques	97
II. 4. 2. 1. Tolérance à la température	97
II. 4. 2. 2. Tolérance à la salinité	97
II. 4. 2. 3. Tolérance au pH	97
III. Analyse des données	98
IV. Résultats et discussion	98
II. 1. La croissance	98
II. 2. Tolérance à la température	101
II. 3. Tolérance à la salinité	105
II. 4. Tolérance au pH	109
II. 5. Typologie des souches	112
V. Résultats et discussion	114
CONCLUSION GENERALE	115
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	118

études. La première étude a pour objectif de caractériser les populations de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*. En second lieu, une évaluation agronomique de ces mêmes populations a été réalisée. Le matériel végétal utilisé est issu d'une prospection conduite en 2005 et 2008 par l'INRAA Algérie à travers toute la région de Djelfa. Les essais de ces deux premières études ont été menés au niveau de la ferme expérimentale du Centre de Recherche en Phytotechnie de Baraki (INRAA). La dernière étude a concerné la caractérisation phénotypique des souches de rhizobiums isolées chez les populations des trois espèces par l'utilisation des tests physiologiques. Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de variance à un critère de classification et d'une analyse en composantes principales. Les relations entre les caractères étudiés ont été testées en utilisant les coefficients de corrélation de Pearson. Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé des différences significatives à très hautement significatives entre les populations chez les trois espèces pour la majorité des caractères mesurés. L'étude de la diversité génétique des populations de *Medicago laciniata* et *Medicago minima* à l'aide des paramètres morphologiques, phénologiques et agronomiques nous a permis d'apprécier la variabilité génétique existante au sein des deux espèces étudiées. Nous avons noté aussi que les populations des trois espèces ont présenté un bon développement végétatif au printemps qu'en hiver et ont produit des quantités élevées en gousses et en graines. Les résultats de la caractérisation des rhizobia (tests physiologiques) montrent une large tolérance à la température, à la salinité et au pH pour l'ensemble des souches isolées.

Mots clés: *M. laciniata*, *M. minima*, *M. truncatula*, caractérisation, évaluation agronomique, Rhizobiums

Abstract: This work includes three studies. The first study aims to characterize morphologically natural populations of *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*. Secondly, agronomic evaluation of these populations was performed. Populations were collected in different sites of Djelfa area by the National Institute of Agronomic Research of Algeria (INRAA) in 2005 and 2008. The latest study is to evaluate tolerance of rhizobia strains isolated in populations of the three species to temperature, salinity and pH. Analysis of variance (ANOVA) and Principal Components Analysis were performed on the complete set of the data. The relationships among the traits studied were tested using Pearson correlation coefficients. The ANOVA performed on the populations of *M. minima* showed significant differences for most of the studied characteristics. We have noted a high genetic variability in *M. laciniata*, *M. minima* and *M. truncatula* populations. The spring vegetative development of all populations of three species was significantly higher than winter development. The populations seem to grow better in spring than in winter and they produced high quantities of pods and seeds. The results of the rhizobia characterization (physiological tests) show a wide tolerance to temperature, salinity and pH for all strains.

Key words: *M. laciniata*, *M. minima*, *M. truncatula*, characterization, agronomic evaluation, Rhizobiums.

M. minima, *M. truncatula*, *M. laciniata*

المخلص: يشمل هذا العمل العلمي ثلاثة دراسات. وتهدف الدراسة الأولى إلى الوصف الشكلي لأصناف ثلاثة أنواع من الفصّة. ثانياً دراسة سلوك هذه الأصناف على الموقع التجريبي لمحطة الأبحاث للمعهد الوطني الجزائري للبحث الزراعي لبراق (الجزائر العاصمة). أما الدراسة الثالثة تمثلت في تقييم درجة مقاومة سلالات الريزوبيا لدرجة الحرارة، الملوحة ودرجة الحموضة. وكشفت نتائج تحليل التباين فروق ذات أهمية بالغة بين الأصناف الثلاثة لمعظم الصفات التي تمت دراستها. كما سمحت لنا هذه النتائج ملاحظة تباين وراثي كبير عند الأصناف الثلاثة. وكان نمو الخضري للنباتات في الفترة اربيعية أحسن بكثير من الفترة الشتوية، وذلك عند جميع الأصناف للأنواع الثلاثة. كما تميزت هذه الأصناف بكثرة إنتاجها للبذور. أما انساعة للدراسة الأخرى، فقد بينت نتائج توصيف الريزوبيا (اختبارات الفسيولوجية)، أن درجة المقامومة لدرجة الحرارة، الملوحة ودرجة الحموضة كانت كاسعة وذلك عند جميع سلالات الريزوبيا التي درست.

الكلمات المفتاحية: *M. laciniata*, *M. truncatula*, *M. minima*, الوصف، التقييم الزراعي، الريزوبيا.

Introduction

Les fourrages occupent une place fondamentale dans le contexte agricole. La valorisation des ressources fourragères constitue en effet non seulement la forme la plus logique et la plus rationnelle pour produire lait et viande pour l'alimentation humaine mais aussi un élément important pour la mise en valeur et la protection des territoires (**Emile et al., 1997**).

L'insuffisance de la production fourragère et pastorale constitue un grand obstacle au développement de l'élevage en Algérie. L'essentiel de l'alimentation du cheptel est assuré par les milieux naturels. Ces derniers subissent une dégradation continue causées par le surpâturage et l'exploitation irrationnelle des parcours, les défrichements illicites et anarchiques ainsi que l'influence des aléas climatiques en particulier la sécheresse, qui par conséquent entraîne une érosion génétique importante des espèces locales et une réduction du couvert végétal.

Les genres *Medicago* et *Trifolium* représentent les genres les plus importants. Ils sont représentés en Algérie par des espèces annuelles et des espèces pérennes. Le nombre des espèces de ces deux genres serait de plus de cinquante pour l'Algérie (**Abdelguerfi, 2002**). Le genre *Medicago* L. (Fabacées) se compose d'un grand nombre d'espèces de plantes annuelles, plantes vivaces et arbustes rares (**Lesins et Lesins 1979**). Les luzernes annuelles sont parmi les plus abondantes et les plus diversifiées, en plus de leur bonne adaptabilité à la diversité des conditions écologiques (**Stebbins, 1975**). Le pourtour Méditerranéen est l'aire d'expansion naturelle des *Medicago* annuelles. Dans ce continuum écogéographique, les espèces annuelles se retrouvent dans tous les étages bioclimatiques : de l'humide au saharien. Les uns à large spectre de répartition, les autres ont une distribution spatiale plus délimitée (**Abdelkefi et Marrakchi, 2000**).

Les luzernes annuelles sont les principales composantes des pâturages dans les sols alcalins ou très acides au niveau des zones à faibles et moyennes précipitations. Elles présentent un potentiel élevé de production de semences et de fourrages, ainsi que la production d'un pourcentage élevé de graines dures. Ces espèces sont mieux adaptées que le trèfle souterrain pour les sols durs et argileux (**Porqueddu et Gonzalez, 2006**). Les medics poussent comme des espèces à ressemis spontané dans les systèmes agro-pastoraux méditerranéens ou dans le système de rotation légumineuses annuelles/céréales « Ley-farming », sont une source appréciable d'aliments non seulement comme fourrage vert durant leur période de croissance, mais aussi en été, en tant que fourrage sec et gousses (**Porqueddu, 2001**). En plus de leur capacité fixatrice de l'azote atmosphérique, permettant l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols, ils peuvent être utilisés pour lutter contre l'érosion des sols grâce à leur système racinaire important, et la régénération des parcours dégradés des régions semi-arides et arides dans le cadre de la lutte contre la désertification.

Grâce à leur association avec les bactéries du sol nommées Rhizobia ou Bactéries Nodulantes des Légumineuses (BNL), les luzernes peuvent réduire l'azote atmosphérique en ammonium facilement utilisable par les plantes. Cette symbiose présente un grand intérêt et elle permet aux plantes d'assurer leur indépendance vis-à-vis de l'azote. Cet avantage offre de grandes potentialités en vue d'augmenter les rendements, réduire le coût de la production agricole et améliorer la fertilité des sols.

Une association symbiotique entre une bactérie fixatrice d'azote et une plante est en principe bénéfique pour les deux partenaires. Ainsi, si le micro-organisme apporte sa capacité de réduction de l'azote gazeux pour le transformer en ammonium, essentiel pour le développement de la plante, celle-ci à son tour, fournit à la bactérie un apport carboné (produits de la photosynthèse) indispensable à la croissance et assure sa reproduction dans un milieu clos « la nodosité ou le nodule » (**Kamal et al., 2009**).

La fixation symbiotique est sous l'influence de facteurs génétiques de la bactérie et de la plante et elle est très sensible aux facteurs de l'environnement (**Obaton *et al.*, 1987**). Les contraintes environnementales les plus importantes sont la salinité, les pH extrêmes, le taux de nitrate dans le sol et l'humidité insuffisante ou excessive du sol (**El-Hilali, 2006**). La sélection d'un couple plante-rhizobium approprié dépend donc des conditions du milieu édaphique car ce dernier subit une série d'irrégularités selon l'intensité et la nature des cultures, l'environnement géographique et les conditions du sol.

Les Rhizobiums représentent donc un réservoir important dans un environnement donné grâce à la résistance qu'ils ont développée au fil du temps pour survivre et persister. Ainsi, l'exploitation effective de la fixation symbiotique de l'azote pour l'amélioration de la production agricole exige non seulement la sélection du meilleur cultivar hôte mais exige également que la population des rhizobia natifs soit correctement et suffisamment caractérisée (**El-Hilali, 2006**).

La présente étude porte sur la caractérisation et l'évaluation de populations naturelles de trois espèces de luzernes annuelles et de leurs micro-symbiotes de la région de Djelfa (steppe centrale de l'Algérie) en vue de sélectionner des couples symbiotiques plantes/bactéries performants et qui présentent un haut potentiel de fixation symbiotique en conditions arides et semi-arides. Pour cela nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

- La prospection et la collecte des gousses de populations de luzerne annuelles au niveau des différents sites localisés dans la région de Djelfa.
- L'évaluation de la variabilité génétique chez les différentes populations des trois espèces de luzernes annuelle collectées.
- La caractérisation phénotypique des Bactéries Nodulantes des Légumineuses (BNL) associées à ces espèces, par l'utilisation des tests physiologiques afin d'évaluer leur tolérance aux différents facteurs environnementaux.

I. Présentation des espèces

Les Légumineuses (Fabacées) constituent un taxon végétal très important d'un point de vue biologique et écologique mais également agronomique et environnemental. En effet, leur culture fournit depuis les débuts de l'agriculture une source essentielle de protéines pour l'alimentation humaine et animale. Leur capacité à fixer l'azote atmosphérique génère un double intérêt, économique par une moindre utilisation d'engrais azotés de synthèse, et écologique par une limitation des fuites azotées (**Pierre, 2008**). La famille des légumineuses comporte 700 genres et 20000 espèces, rassemblées en trois sous familles : Mimosacées, Papilionacées et césalpiniacées (**Doyle et Lockow, 2003**). Les papilionacées, auxquelles appartient le genre « *Medicago* » constituent la sous famille la plus nombreuse.

Lesins et Lesins (1979) recensent 55 espèces dont une espèce arbustive (*Medicago arborea*), 20 espèces herbacées pérennes et 34 espèces herbacées annuelles. Les formes les plus anciennes des luzernes annuelles auraient été pérennes, probablement ligneuses, préférentiellement allogames. En Algérie, **Lesins et Lesins (1979)** signalent qu'il existe une vingtaine d'espèces. L'évolution du genre s'est accompagnée de modifications morphologiques et biologiques. Les formes annuelles sont strictement autogames, très souvent diploïdes, sauf *Medicago rugosa*, *Medicago scutellata* et *Medicago lupulina* qui sont des tétraploïdes (**Heyn, 1963 ; Lesins et Lesins, 1979**).

Les genres *Medicago* et *Trifolium* représentent les genres les plus importants. Ils sont représentés en Algérie par des espèces annuelles et des espèces pérennes. Le nombre des espèces de ces deux genres serait des plus de cinquante pour l'Algérie (**Abdelguerfi, 2002**). Les luzernes annuelles «medics» appartiennent au genre *Medicago* L., à la famille des légumineuses, tribus des trifoliées. De part leur facilité d'utilisation, les luzernes annuelles assurent l'amélioration de la flore des jachères

pâturées et entrent aisément dans la rotation avec les céréales, du fait de leurs graines dures (**Abdelguerfi et Abdelguerfi-Berreki, 1987**). Leur régénération se fait par auto-semis, et leur pérennisation grâce à la constitution d'une bonne réserve de semences dans le sol (**Abdelmoneim et Cocks, 1986**). En plus de leur capacité de fixation de l'azote atmosphérique et la qualité de leur fourrage, les luzernes annuelles ont les caractéristiques qui les rendent particulièrement bien adaptées aux environnements arides, en offrant plusieurs avantages dans la revégétation des pâturages et la lutte contre l'érosion des sols.

Les aires d'origine de toutes les espèces du genre *Medicago* L. sont le croissant fertile recouvrant les pays de Turquie, Iran, Irak, du sud du Caucase et du pourtour méditerranéen (**Prosperi et al., 1995a**), mais l'ensemble des régions méditerranéennes constitue la zone de diversification principale de ces espèces (**Lesins et Lesins, 1979 ; Prosperi et al., 1991**).

I. 1. *Medicago minima*:

I. 1. 1. Description de l'espèce :

C'est l'une des espèces annuelles les plus communes du genre *Medicago*. *M. minimum* produit beaucoup de petits fruits avec des épines relativement longues, douces qui s'adaptent à la dissémination par les animaux. Elle est souvent confondue avec *M. laciniata* (**Small and Jomph, 1989**). Elle est classée parmi les espèces qui se caractérisent par les gousses et les graines les plus petites (**stebbins, 1975**).

C'est une plante à port étalé ou dressé. Les folioles sont petites, obovales ou oblongues en coin, denticulées au sommet, non tachées. Les fleurs sont jaunes, petites, 1-5 sur des pédoncules courts. Les pédicelles sont plus courts que le tube du calice et

les ailes plus courtes que la carène. La gousse est pubescente, petite, globuleuse, à 3-5 tours de spire peu visibles, ainsi que les faces, à bords étroits obtus, hérissés d'épines nombreuses, rapprochées, dressées, fines, un peu crochues à la pointe. Les graines sont petites, oblongues en rein, jaunâtre (Coste, 1985).

I. 1. 2. Aire de distribution :

La distribution des espèces de medic est contrôlée aussi bien par les facteurs édaphiques que climatiques.

Medicago minima est présente sur tout le territoire Algérien (Negre, 1959). Heyn (1963) précise qu'elle tolère les conditions édapho-climatiques les plus diverses et elle est présent dans des régions très différentes. Abdelguerfi (2002) note que la fréquence de *M. minima* augmente en passant de l'étage bioclimatique humide à l'aride.

M. minima est une espèce des sols moyens à grossiers (Abdelguerfi *et al.* 1988). Selon Gintzberger *et al.* (1983), *M. minima var. minima* se rencontre sur les sables fins et les sols argileux dans les dépressions. Selon Fresnillo fedorenk *et al.* (2011), *M. minima* est présente sur des sols à texture fine, à pH élevé, riches en azote et en potassium et faibles en phosphore. Adem (1974) signale qu'elle se localise dans toutes les zones de mise en défens, sèches et à sol superficiel.

Fortune *et al.* (1995) signalent que *M. minima* se trouve dans les sites les plus secs (moyenne 287mm). Selon Abdelguerfi (2002) *M. minima* est plus fréquente dans les classes de faibles pluviométries et est une espèce de forte altitude (776 à 1060m) et donc assez résistante au froid.

I. 2. *Medicago laciniata*:

I. 2. 1. Description de l'espèce :

M. laciniata est plus susceptible d'être identifiée comme *M. minima*, qui a un feuillage beaucoup plus velu (**Small and Jomph, 1989**). C'est une plante annuelle à port étalé sur le sol. Les feuilles, à long pétiole, glabres, ont trois folioles obovales profondément dentées sur tout leur pourtour.

La graine de *M. laciniata* est de couleur brune-jaunâtre ou jaunâtre. Les fleurs sont jaunes donnant des fruits plus petits. Le pédoncule est prolongé d'une arrête. Les gousses sont sphériques ou ellipsoïdes (face cachée par la dernière spire réduite). Les spires sont espacées facile à étirer, le dos des spires à deux nervures latérales délimitées par des dépressions (d'une épine à l'autre). Les faces des spires sont marquées de nervures spiralées atteignant les nervures latérales (**Jauzein, 1995**).

I. 2. 2. Aire de distribution :

M. laciniata est probablement une espèce indigène aux pays du sud du cercle méditerranéen et à l'est de la méditerranée (où il semble qu'elle est adaptée aux sols de la steppe et des déserts) (**Small and Jomph, 1989**). *M. laciniata* a été signalée dans les régions sèches par **Negre (1956) et Heyn (1963)**, et dans les régions sahariennes par **Birouk et al. (1991)**. Selon **Bounejmate (1992)**, *M. laciniata* est associée à des sites de faibles pluviométries et elle est limitée aux zones à été très chaudes au Maroc.

Abdelguerfi et al. (1988) signale que *M. laciniata* est une espèce des sols moyens à grossiers, et elle préfère les pH légèrement basiques à basiques. **Abdelguerfi (2002)** note que c'est une espèce des régions à faibles pluviométries et d'altitude moyenne (404 à 667m).

I. 3. *Medicago truncatula* :

I. 3. 1. Description de l'espèce :

C'est une espèce de taille intermédiaire, 60 cm maximum, velue, à port variable, souvent prostrée. L'inflorescence porte 1 à 5 fleurs jaunes. Les gousses sont cylindriques, en forme de tronc, glabres, très dures, à spires jointives et serrées (2 à 8 spires), aux épines recourbées souvent perpendiculaires au plan de spires. Elles contiennent de 3 à 12 graines. Le poids de 1000 graines oscille entre 3.3 et 6 g. C'est une espèce diploïde ($2n=16$) (**Prosperi et al., 1995a**).

Heyn (1963) distingue trois variétés botaniques de *Medicago truncatula* :

I. 3. 1. 1. *Medicago truncatula* var. *truncatula*:

Elle est caractérisée par une hauteur de la gousse supérieure au diamètre (7 à 12 mm de hauteur), 5 à 8 spires fortement serrées et par des épines non incurvées plus ou moins collées à la gousse.

I. 3. 1. 2. *Medicago truncatula* var. *longispina*:

Elle est caractérisée par une hauteur de la gousse inférieure ou égale au diamètre (7 à 10 mm de hauteur), 5 à 8 spires légèrement serrées, et par des épines incurvées non collées à la gousse.

I. 3. 1. 3. *Medicago truncatula* var. *tricycla*:

Elle est caractérisée par des épines parfois de grande taille supérieure à celle de la gousse. Cette dernière possède une taille plus réduite, 5 à 6 mm de hauteur, et présente 2 à 4 spires.

I. 3. 2. Aire de distribution :

M.truncatula, prospectée presque dans toutes les zones agroclimatiques du territoire national, se classe juste après *M.polymorpha* (**Abdelguerfi et al., 1988b**). Selon **Négre (1956)**, c'est une espèce commune dans le Maghreb et possède une large répartition en Algérie. Elle est adaptée à toutes les conditions climatiques. Sa distribution est concentrée entre les isohyètes 200 et 1000 mm (**Zeghida, 1987**), alors que **Carter (1976)** l'a rencontrée sous des pluviométries allant de 150 à 450 mm. Selon **Abdelguerfi (1978)**, la fréquence de *M.truncatula* augmente proportionnellement avec l'altitude, mais diminue au delà de 800m. **Prosperi et al. (1995b)**, l'ont rencontrée principalement à une altitude moyenne (730 mètres). **Zoghlami et al. (1996)** et **Seklani et al. (1996)**, en étudiant la distribution des medics en Tunisie, précisent que la répartition de *M .truncatula* est conditionnée par un gradient pluviométrique.

II. Symbiose Légumineuses-*Rhizobium*

II. 1. Mécanismes et spécificité de la symbiose

La symbiose entre les légumineuses et rhizobiums est une relation de mutualisme classique. En contrepartie de glucides fournis par la légumineuse hôte, les rhizobiums fournissent de l'azote à la légumineuse (**Kiers et al., 2005**).

En général, cette symbiose a plusieurs avantages dont l'augmentation de la productivité agricole, l'entretien et la restauration de la fertilité des sols, l'économie des coûteux engrais et la limitation de la pollution des eaux souterraines par les nitrates, jouant ainsi une fonction écologique et économique importante (**Berrada et Fekri-Benbrahim, 2014**).

Deux groupes de végétaux forment des symbioses nodulaires avec des bactéries diazotrophes : les légumineuses qui s'associent aux rhizobia et les plantes actinorhiziennes, dont les partenaires symbiotiques sont des bactéries du genre *Frankia* (**Svstoonoff, 2003**). Dans les deux cas, les bactéries infectent les racines ou des tiges des légumineuses entraînant la formation de structures appelées nodosités ou nodules. La formation de ces organes exige une communication complexe entre les bactéries et leurs plantes hôtes (**Wan et al., 2007**). Par ces nodules, la plante hôte (la légumineuse) offre un micro habitat exceptionnellement favorable à la bactérie tout en lui procurant des substrats carbonés provenant de la photosynthèse indispensable pour sa croissance. Le processus de la fixation, lui-même, consiste en la réduction de l'azote atmosphérique N₂ sous forme ammoniacale, essentiel pour le développement de la plante. Cette réaction est catalysée par un complexe enzymatique appelé Nitrogénase d'origine bactérienne (**Downie, 2005**).

Les interactions entre les légumineuses et les rhizobiums se produisent dans la rhizosphère suite à la libération de molécules carbonées (sucres, acides organiques, hormones, vitamines et substances phénoliques) par exsudation, sécrétion, ou autolyse des vieilles cellules de la racine (**El-Hilali, 2006**). Les symbioses sont initiées lorsque les flavonoïdes qui s'accumulent dans la rhizosphère de la plante hôte déclenchent la cascade de signaux de transduction rhizobienne en interagissant avec des activateurs de la transcription de gènes de nodulation. Cette cascade de signaux de transduction flavonoïde modulée régule l'expression de gènes au cours du développement de la fonction nodule (**Kobayashi et Broughton, 2008**).

Le signal perçue par un récepteur bactérien spécifique, NodD, agit comme un activateur de la transcription d'autres gènes de nodulation (**Franche et al. 2009**). L'activation de la cascade de signalisation induisant des modifications morphologiques et cytologiques de la racine menant à la formation des nodules fixateurs d'azote (**Suty, 2015**). Ainsi, les flavonoïdes et les facteurs Nod représentent les premiers ensembles de signaux moléculaires échangés par les partenaires symbiotiques (**Kobayashi et Broughton, 2008**).

La spécificité de la reconnaissance entre une souche de *Rhizobium* et une plante hôte est déterminée par l'affinité entre les gènes Nod de la bactérie et leurs inducteurs végétaux. Par exemple, une même espèce de légumineuse peut être nodulée par différentes espèces de *Rhizobium* et, inversement une même espèce de *Rhizobium* peut établir des symbioses avec différentes espèces végétales hôtes (**Suty, 2015**).

II. 2. Initiation nodulaire

Les nodules sont des organes hautement spécialisés où d'importants échanges ont lieu entre la plante et les bactéries. Ces échanges concernent surtout le métabolisme carboné et le métabolisme azoté (**Svistoonoff, 2003**). Pour qu'il y ait infection, il doit y avoir un lien intime entre la surface de la cellule du rhizobium et la paroi cellulaire du végétal (**Hirsch, 1992**). Cette infection nécessite l'expression des gènes spécifiques et la synthèse de l'unique protéine par l'hôte et les rhizobiums envahissants (**Vance, 1990**).

Le développement du nodule racinaire implique des séries d'interactions entre la plante et la bactérie qui commencent avec la chimiotaxie des Rhizobia par l'état symbiotique à la sénescence des nodules (**Verma, 1992**). L'infection commence juste après que le *Rhizobium* s'attache aux poils de la racine de la plante hôte et provoque la déformation des poils absorbants, qui forment une sorte de boucle. Ensuite ils

envahissent la plante, et des structures tubulaires se forment dans la boucle des poils de la racine (**Bisseling, 1992**). La pénétration des bactéries s'accompagne des divisions cellulaires au niveau du cortex, en face d'un pôle de protoxylème. Ces divisions conduisent à la formation d'un méristème à l'origine d'un primordium nodulaire qui devient ensuite le lobe nodulaire (**Svistoonoff, 2003**).

Selon **Svistoonoff (2003)**, Le nombre et la masse des nodules sont contrôlés par la plante. Deux types de nodules peuvent être distingués :

- Nodules à croissance indéterminée, les divisions cellulaires ont lieu au niveau du cortex interne, la zone méristématique qui produit le nodule est persistante.
- Nodules à croissance déterminée, les divisions cellulaires à l'origine du primordium nodulaire ont lieu au niveau du cortex externe. La persistance du méristème est très éphémère et la croissance en longueur du nodule est limitée. Une croissance en épaisseur a lieu par hypertrophie des cellules corticales et par des divisions de cellules qui contiennent déjà des rhizobia.

II. 3. Le partenaire végétal

Beaucoup d'espèces de légumineuses peuvent entrer dans une relation symbiotique avec les bactéries des nodules racinaires, collectivement appelés les rhizobiums (**Franche et al. 2009**). Les plantes qui établissent des symbioses fixatrices avec les rhizobia appartiennent toutes à la superfamille des fabacées (Légumineuses) à l'exception de *Parasponia tomentosa* qui appartient à celles des Ulmacées (**Svistoonoff, 2003**). La famille des légumineuses est l'un des groupes des végétaux supérieurs les plus abondants et les plus diversifiés. La famille des légumineuses comporte 700 genres et 20000 espèces, avec 3 sous familles : Mimosacées, césalpiniacées et Papilionacées (**Doyle et Luckow 2003**). Les papilionacées auxquels

appartient le genre « *Medicago* » constitue la sous famille la plus nombreuse.

Les Légumineuses constituent un taxon végétal très important d'un point de vue biologique et écologique mais également agronomique et environnemental. Leur capacité à fixer l'azote atmosphérique génère un double intérêt, économique par une moindre utilisation d'engrais azotés de synthèse, et écologique par une limitation des fuites azotées (**Pierre, 2008**). La symbiose rhizobium avec les légumineuses est importantes pour l'agriculture contribue, la quantité d'azote biologique fixé chaque année est estimée à environ 700 millions de tonnes (**Dixon et Wheeler, 1986**).

II. 4. Le partenaire bactérien

II. 4. 1. Définition et caractéristiques

Les partenaires de la symbiose sont appelés « rhizobia ». Le terme rhizobia, dans le sens le plus strict, se réfère à des membres du genre *Rhizobium*. Cependant, Au cours des années, le terme est venu à être utilisé pour toutes les bactéries qui sont capables de la nodulation et de la fixation de l'azote en association avec les légumineuses et qui appartiennent à un certain temps au genre *Rhizobium* ou étroitement liées à lui (**Willems, 2006**). **Zakhia et al. (2004)** ont proposé le terme BNL (Bacteria Nodulating Legumes) afin de différencier entre le nom du genre et le terme général de rhizobium.

Les microorganismes sous l'ordre Rhizobiales (qui comprennent des genres tels que *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Ensifer*, *Sinorhizobium*, etc.) sont des bactéries gram-négatives, nodulants les légumineuses, appartenant à α -proteobacteria, qui enrichissent le sol en fixant le N_2 atmosphérique, donc ont une immense signification écologique (**Sharma et al., 2017**).

C'est un ensemble hétérogène de bactéries en bâtonnet aérobies, non sporulantes, qui peuvent infecter les racines et, parfois, les tiges des légumineuses pour y former des nodules (**Dommergues et al., 1999**). Les rhizobiums sont de dimensions d'environ 0,5-0,8 μm par 1.3-3.0 μm , et sont facilement cultivés sur un milieu de levure-mannitol dans les conditions optimales de 25-39 °C et un pH de 6,0-7,0 (**Jordan, 1984**). Elles sont mobiles grâce à des flagelles péritriches dont le nombre varie entre deux et six (**Drouin, 1996**).

Néanmoins, L'étude des rhizobia est un domaine en expansion, car de plus en plus de rhizobiums sont isolés et caractérisés tous les jours, en particulier de la zone tropicale et des zones méditerranéennes, où la diversité est encore mal exploitée (**Zakhia et De Ladjudie, 2001**).

II. 4. 2. Classification

Jusqu'au début des années 1980 toutes les bactéries fixatrices d'azote symbiotiques des légumineuses ont été classées dans le seul genre *Rhizobium*, dont six espèces *R. leguminosarum*, *R. meliloti*, *R. trifolii*, *R. phaseoli*, et *R. lupini japonicum*. Cette taxonomie appariée les groupes cross-inoculation, définies comme l'ensemble des plantes-hôtes nodulées par les mêmes souches bactériennes. Cette taxonomie correspond aux groupes cross-inoculation, définies comme l'ensemble des plantes-hôtes nodulées par les mêmes souches bactériennes (**Zakhia et De Ladjudie, 2001**).

Grâce au développement des techniques de biologie moléculaires utilisées ces dernières années dans la caractérisation des rhizobiums a conduit à des changements substantiels dans leur classification. Actuellement, plus de 98 espèces appartenant à 13 genres de α et β protéobactéries ont été décrits comme des rhizobiums (**Weir, 2013**). Les genres *Rhizobium*, *Mezorhizobium*, *Ensifer* (anciennement *Sinorhizobium*), *Bradyrhizobium*, *Phyllobacterium*, *Microvirga*, *Azorhizobium*, *Ochrhobactrum*, *Methylobacterium*, *Devosia* et *Shinella* appartiennent à la classe **α -protéobactérie** (**Zakhia et al., 2004**), alors que les genres *Burkholderi* et *Cupriavidus* (**Moulin et al., 2001**) appartiennent à la classe **β -protéobactéries** (Tableau 1).

Tableau 1: Classification des *rhizobiums* (Berrada et Fikri-Benbrahim, 2014)

Genre et espèce	Source d'isolation	Référence
Classe: Alpha proteobacterie		
Genre: Rhizobium		
<i>Rhizobium leguminosarum</i> <i>symbiovar viciae</i> <i>symbiovar trifolii</i> <i>symbiovar phaseoli</i>	Pisum, Viciae, Lens, Lathyrus <i>Trifolium pratense</i> <i>Phaseolus vulgaris</i>	Frank, 1989 Frank, 1989; Jordan, 1982 Renan <i>et al.</i> , 2012; Jordan, 1982 Frank, 1989; Jordan, 1982
<i>Rhizobium galegae</i> <i>symbiovar officinalis</i> <i>symbiovar orientalis</i>	<i>Galega</i> , <i>Leucaena</i> <i>Galega orientalis</i> <i>Galega officinalis</i>	Terefrwork <i>et al.</i> , 2012; Lindström, 1989 Lindström, 1989 Lindström, 1989
<i>Rhizobium tropici</i> <i>Rhizobium leucaenae</i> <i>Rhizobium tropic</i>	<i>Phaseolus</i> , <i>Medicago</i> , <i>Macroptilium</i>	Martinez-Romero <i>et al.</i> , 1991 Renan <i>et al.</i> , 2012 Martinez-Romero <i>et al.</i> , 1991
<i>Rhizobium endophyticum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	López <i>et al.</i> , 2010
<i>Rhizobium Phasoeli</i>	<i>Phaseolus</i>	López <i>et al.</i> , 2010
<i>Rhizobium fabae</i>	<i>Vicia faba</i>	Tian <i>et al.</i> , 2008
<i>Rhizobium etli</i> <i>symbiovar mimosae</i> <i>symbiovar phaseoli</i>	<i>Phaseolus</i> <i>Mimosa affinis</i> <i>Phaseolus</i>	Segovia <i>et al.</i> , 1993 Wang <i>et al.</i> , 1999 Souza <i>et al.</i> 1994
<i>Rhizobium undicola</i>	<i>Neptunia natans</i>	de Lajudie <i>et al.</i> , 1998
<i>Rhizobium gallicum</i> <i>symbiovar phaseoli</i> <i>symbiovar gallicum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Phaseolus vulgaris</i>	Amarger <i>et al.</i> , 1997 Amarger <i>et al.</i> , 1997 Amarger <i>et al.</i> , 1997
<i>Rhizobium giardini</i> <i>symbiovar phaseoli</i> <i>symbiovar giardini</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Phaseolus</i> <i>Phaseolus vulgaris</i>	Amarger <i>et al.</i> , 1997 Amarger <i>et al.</i> , 1997 Amarger <i>et al.</i> , 1997
<i>Rhizobium hainanensis</i>	<i>Desmodium sinuatum</i> , <i>Centrosema</i> , <i>etc.</i>	Chen <i>et al.</i> , 1998
<i>Rhizobium huautlense</i>	<i>Sesbania herbacea</i>	Wang <i>et al.</i> , 1998
<i>Rhizobium mongolense</i>	<i>Medicago ruthenica</i> , <i>Phaseolus</i>	Van Berkum <i>et al.</i> , 1989

	<i>rpaea</i>	Tan <i>et al.</i> , 1909
<i>Rhizobium larrymoorei</i>	<i>Ficus benjamina</i>	Bouzar et Jones, 2001
<i>Rhizobium indigoferae</i>	<i>Indigofera spp.</i>	Wei <i>et al.</i> , 2002
<i>Rhizobium sullae</i>	<i>Hedysarum</i>	Squartini <i>et al.</i> , 2002
<i>Rhizobium loessense</i>	<i>Astragalus, Lespedeza</i>	Wei <i>et al.</i> , 2003
<i>Rhizobium cellulosilyticum</i>	<i>Populus alba</i>	Garcia-Fraile <i>et al.</i> , 2007
<i>Rhizobium miluonense</i>	<i>Lespedeza</i>	Gu <i>et al.</i> , 2008
<i>Rhizobium multihospitium</i>	<i>Multiple legume species</i>	Han <i>et al.</i> , 2008
<i>Rhizobium oryzae</i>	<i>Oryza alta</i>	Peng <i>et al.</i> , 2008
<i>Rhizobium pisi</i>	<i>Pisum sativum</i>	Ramirez-Bahena <i>et al.</i> , 2008
<i>Rhizobium mesosinicum</i>	<i>Albizia, Kummerowia Dalbergia</i>	Lin <i>et al.</i> , 2002 Wei <i>et al.</i> , 2008
<i>Rhizobium alamii</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Berge <i>et al.</i> , 2009
<i>Rhizobium alkalisoli</i>	<i>Caragana intermedia</i>	Lu <i>et al.</i> , 2009
<i>Rhizobium tibeticum</i>	<i>Trigonella archiducis-nicolai</i>	Hu <i>et al.</i> , 2009
<i>Rhizobium tubonense</i>	<i>Oxytropis glabra</i>	Al Akhal, 2008
<i>Rhizobium halophytocola</i>	<i>Coastal dune plant</i>	Hu <i>et al.</i> , 2009
<i>Rhizobium radiobacter</i>	*	Young <i>et al.</i> , 2001
<i>Rhizobium Rhizogenes</i>	*	Young <i>et al.</i> , 2001
<i>Rhizobium Rubi</i>	*	Young <i>et al.</i> , 2001
<i>Rhizobium Vitis</i>	*	Young <i>et al.</i> , 2001
<i>Rhizobium Nepotum</i>	*	Pulawaska <i>et al.</i> , 2012
Genre: <i>Ensifer (Sinorhizobium)</i>		
<i>Ensifer meliloti</i>	<i>Medicago, Melilotus, Trigonella</i>	Dangeard, 1926

	<i>Vigna, Cajanus</i>	Sholla et Elkan, 1984 Chen <i>et al.</i> , 1988
<i>symbiovar stenosis</i>	<i>Glycine</i>	
<i>Ensifer sahelens</i>	<i>Acacia, Prosopis, Neptunia, Leucaena</i>	de Ladjudie <i>et al.</i> , 1994
<i>Ensifer terengae</i> <i>symbiovar acaciae</i> <i>symbiovar sesbania</i>	Different host plants <i>Acacia</i> <i>Sesbania</i>	de Ladjudie <i>et al.</i> , 1994 Young <i>et al.</i> , 2001 Lorquin <i>et al.</i> , 1997
<i>Ensifer medicae</i>	<i>Medicago truncatula, Melilotus</i>	Rome <i>et al.</i> , 1996
<i>Ensifer arboris</i>	<i>Acacia, Prosopis</i>	Nick <i>et al.</i> , 1999
<i>Ensifer kostiensis</i>	<i>Acacia, Prosopis</i>	Nick <i>et al.</i> , 1999
<i>Ensifer xingianense</i> (Formerly: <i>S. xingianense</i>)	<i>Glycine max</i>	Chen <i>et Yan</i> ., 1988
<i>Ensifer adhaerens</i>	*	Casida, 1982
<i>Ensifer kummerowiae</i>	<i>Kummerowia stipulaceae</i>	Wei <i>et al.</i> , 2002
<i>Ensifer americanum</i>	<i>Acacia</i>	Toledo <i>et al.</i> , 2003
<i>Ensifer mexicanus</i>	<i>Acacia angustissima</i>	Lloret <i>et al.</i> , 2007
<i>Ensifer numidicus</i>	<i>Medicago sativa</i>	Merabet <i>et al.</i> , 2010
Genre: <i>Shinella</i>		
<i>Shinella kummerowiae</i>	<i>Kummerowia stipulaceae</i>	Lin <i>et al.</i> , 2008
Genre: <i>Mesorhizobium</i>		
<i>Mesorhizobium loti</i>	<i>Lotus, Cicer, Anthyllis, Astragalus, etc.</i>	Jarvis <i>et al.</i> , 1982
<i>Mesorhizobium huakuii</i>	<i>Astragalus sinicus</i>	Chen <i>et al.</i> , 1991
<i>Mesorhizobium ciceri</i>	<i>Cicer arietinum</i>	Nour <i>et al.</i> , 1994
<i>Mesorhizobium tianshanense</i>	<i>Glycyrrhiza pallidiflora</i>	Jarvis <i>et al.</i> , 1997
<i>Mesorhizobium mediterraneum</i>	<i>Cicer arietinum</i>	Nour <i>et al.</i> , 1995
<i>Mesorhizobium plurifarum</i>	<i>Acacia, Chamaecrista, Leucaena, Prosopis,</i>	de Ladjudie <i>et al.</i> , 1998
<i>Mesorhizobium amorphae</i>	<i>Amorpha fruticosa</i>	Wang <i>et al.</i> , 1998

	<i>alba</i>	Valasquez <i>et al.</i> , 2001
<i>Mesorhizobium septentrionale</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>	Gao <i>et al.</i> , 2004
<i>Mesorhizobium temperatum</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>	Gao <i>et al.</i> , 2004
<i>Mesorhizobium thiogangeticum</i>	*	Gao <i>et al.</i> , 2004
<i>Mesorhizobium albiziae</i>	<i>Albizia kalkora</i>	Wang <i>et al.</i> , 2007
<i>Mesorhizobium caraganae</i>	<i>Caragana spp.</i>	Guan <i>et al.</i> , 2008
<i>Mesorhizobium gobiense</i>	Wild legumes	Han <i>et al.</i> , 2008
<i>Mesorhizobium tarimense</i>	Wild legumes	Han <i>et al.</i> , 2008
<i>Mesorhizobium australicum</i>	<i>Biserrula pelecinus</i>	Nandasena <i>et al.</i> , 2009
<i>Mesorhizobium opportunistum</i>	<i>Biserrula pelecinus</i>	Nandasena <i>et al.</i> , 2009
<i>Mesorhizobium metallidurans</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i>	Vidal <i>et al.</i> , 2009
<i>Mesorhizobium alhagi</i>	<i>Alhagi</i>	Chen <i>et al.</i> , 2011
<i>Mesorhizobium camelthorni</i>	<i>Alhagi sparsifolia</i>	Chen <i>et al.</i> , 2011
<i>Mesorhizobium abyssinicae</i>	Different agroforestry legume trees	Degefu <i>et al.</i> , 2013
<i>Mesorhizobium muleiense</i>	<i>Cicer arietinum</i>	Zhang <i>et al.</i> , 2012
<i>Mesorhizobium hawassense</i>	Different agroforestry legume trees	Degefu <i>et al.</i> , 2013
<i>Mesorhizobium qingshengii</i>	<i>Astragalus sinicus</i>	Zhang <i>et al.</i> , 2013
<i>Mesorhizobium robiniae</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Zhou <i>et al.</i> , 2010
<i>Mesorhizobium shonense</i>	Different agroforestry legume trees	
<i>Mesorhizobium shangrilense</i>	<i>Caragana species</i>	Lu <i>et al.</i> , 2005
<i>Mesorhizobium silamurunense</i>	<i>Astragalus species</i>	Zhao <i>et al.</i> , 2010
<i>Mesorhizobium tamadayense</i>	<i>Anagyris latifolia, Lotus berthelotii</i>	Ramirez-Bahena <i>et al.</i> , 2012
Genre: Phyllobacterium		

<i>Phyllobacterium trifolii</i>	<i>Trifolium pratense</i>	Valverde <i>et al.</i> , 2005
Genre: Methylobacterium		
<i>Methylobacterium nodulans</i>	<i>Crotalaria</i> spp.	Jourand <i>et al.</i> , 2004
Genre: Microvirga		
<i>Microvirga lupini</i>	<i>Lupinus</i> sp.	Ardley <i>et al.</i> , 2012
<i>Microvirga lotononidis</i>	Different legume host	Ardley <i>et al.</i> , 2012
<i>Microvirga zambiensis</i>	Different legume host	Ardley <i>et al.</i> , 2012
Genre: Ochrobactrum		
<i>Ochrobactrum cytisi</i>	<i>Cytisus</i>	Zurdo-Pineiro <i>et al.</i> , 2007
<i>Ochrobactrum lupini</i>	<i>Lupinus albus</i>	Trujillo <i>et al.</i> , 2005
Genre: Azorhizobium		
<i>Azorhizobium caulinodans</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	Dreyfus <i>et al.</i> , 1988
<i>Azorhizobium doebereineriae</i>	<i>Sesbania virgata</i>	Moreira <i>et al.</i> , 2006
<i>Azorhizobium oxalatiphilum</i>		Lang <i>et al.</i> , 2013
Genre: Devosia		
<i>Devosia neptuniae</i>	<i>Neptunia natans</i>	Rivas <i>et al.</i> , 2003
Genre: Bradyrhizobium		
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	<i>Glycine max</i> , <i>Glycine soja</i>	Jordan, 1982; Lindström, 1989
<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	<i>Glycine max</i>	KuyKendall <i>et al.</i> , 1992
<i>Bradyrhizobium liaoningense</i>	<i>Glycine max</i>	Xu <i>et al.</i> , 1995

		Yao <i>et al.</i> , 2002
<i>Bradyrhizobium beae</i>	<i>Betae vulgaris</i>	Rivas <i>et al.</i> , 2004
<i>Bradyrhizobium canariense</i>	<i>Genisteeae et Loteae</i>	Vinuesa <i>et al.</i> , 2005
<i>Bradyrhizobium iriomotense</i>	<i>Entada koshunensis</i>	Islam <i>et al.</i> , 2008
<i>Bradyrhizobium jicamae</i>	<i>Pachyrhizus erosus</i>	
<i>Bradyrhizobium lablabi</i>	<i>Lablab purpureus</i>	Islam <i>et al.</i> , 2008
<i>Bradyrhizobium huanghuaihaiense</i>	<i>Glycine max</i>	Zhang <i>et al.</i> , 2012
<i>Bradyrhizobium cytisi</i>	<i>Cytisus villosus</i>	Chahbourne <i>et al.</i> , 2011
<i>Bradyrhizobium daqingense</i>	<i>Glycine max</i>	Wang <i>et al.</i> , 2013
<i>Bradyrhizobium denitrificans</i>	<i>Aeschynomene</i>	Van Berkum <i>et al.</i> , 2006
<i>Bradyrhizobium oligotrophicum</i>		Ramirez-Bahana <i>et al.</i> , 2013
<i>Bradyrhizobium pachyrhizi</i>	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Ramirez-Bahana <i>et al.</i> , 2009
Classe: Beta Proeobacterie		
Genre: Burkholderia		Van Berkum <i>et al.</i> , 2002
<i>Burkholderia caribensis</i>	Vertisol microaggregates	Achouak <i>et al.</i> , 1999
<i>Burkholderia cepacia</i>	<i>Alysicarpus glumaceus</i>	Moulin <i>et al.</i> 2001
<i>Burkholderia tuberum</i>	<i>Aspalatus carnosus</i>	Vandamme <i>et al.</i> , 2003
<i>Burkholderia phymatum</i>	<i>Machaerium lunatum</i>	Vandamme <i>et al.</i> , 2003
<i>Burkholderia nodosa</i>	<i>Mimosa bimucronata</i> , <i>Mimosa scabrella</i>	Chen <i>et al.</i> , 2007
<i>Burkholderia sabiae</i>	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Chen <i>et al.</i> , 2008
<i>Burkholderia mimosarum</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Chen <i>et al.</i> , 2003
<i>Burkholderia rhizoxinica</i>	<i>Rhizopus microsporus</i>	Partida-Martinez <i>et al.</i> , 2007
<i>Burkholderia diazotrophica</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Sheu <i>et al.</i> , 2013



[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

	<i>microsporus</i>	Partida-Martinez <i>et al.</i> , 2007
<i>Burkholderia heleaia</i>	<i>Eleocharis dulcis</i>	Aizawa <i>et al.</i> , 2010
<i>Burkholderia symbiotica</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Sheu <i>et al.</i> , 2012
Genre: <i>Cupriavidus</i>	<i>Aspalatus carnososa</i>	
<i>Cupriavidus taiwanensis</i>	<i>Mimosa</i> spp.	Vandamme P, Coeyene, 2004

II. 4. 3. Rhizobium associé aux luzernes

Les microsymbiotes de luzerne ont fait l'objet de plusieurs études au cours de ces dernières années. Le genre *Medicago* constitue un patrimoine génétique extrêmement diversifié et ses espèces doivent leur importance à l'aptitude d'interaction avec les bactéries du genre *Sinorhizobium* pour fixer l'azote moléculaire (Zribi *et al.*, 2006). L'espèce *R. meliloti* est définie par une capacité à stimuler le développement des nodules racinaires en association symbiotique avec des espèces végétales de trois genres associés (*Medicago*, *Melilous* and *Trigonella*) (Burton, 1972).

Selon Rome *et al.* (1996), les espèces *Medicago minima*, *Medicago rigidula*, et *Medicago truncatula* fixent l'azote avec la plupart des isolats infectant les *Medicago* annuels, tandis que d'autres espèces telles que *Medicago laciniata*, *Medicago polymorpha*, *Medicago sauvagei*, et *Medicago rugosa* sont plus spécifiques et forment des symbioses efficaces avec seulement quelques isolats.

Plusieurs études sur la diversité génétique des souches de *Rhizobium* ont été effectuées. Zribi *et al.* (2006) ont mené une étude sur l'identification des *Sinorhizobiums* associé à *M. ciliaris* sur les sols Tunisiens et sur l'analyse de la diversité génétique intra-spécifique des populations naturelles de *Sinorhizobium* nodulant cette espèce. Zribi *et al.* (2004ab) ont identifié les bactéries nodulant *M. truncatula* des régions arides de la Tunisie par PCR/RFLP de l'ADNr 16S, et ont examiné la diversité intra spécifique des *S. meliloti* en utilisant la REP/PCR. Boulila *et al.* (2006) ont caractérisé phénotypiquement les souches de Rhizobia isolées de *M. minima* de la région de Bejaia.

D'autres travaux sur la diversité de Rhizobia ont été réalisés, dans le but de rechercher des souches halotolérantes, chez *M. truncatula* des régions salées de Bejaia à travers une caractérisation phénotypique appuyée par l'étude de polymorphisme protéique par SDS-PAGE (**Belhadi et al., 2006**), et chez *M. ciliaris* et *M. polymorpha* collectées dans une région saline de l'ouest d'Algérie (Sebkha de Misserghine) (**Merabet et al. 2006**). **Bekki (1986) et Bekki (1995) et Bekki (1997)** a étudié l'effet du stress salin sur la fixation symbiotique de l'azote chez *Medicago*, en évaluant la sensibilité des partenaires symbiotiques et leur répartition sous l'effet de la salinité.

Des travaux de recherches ont porté sur l'évaluation des isolats de *R. meliloti* isolés à partir des échantillons de sols collectés au niveaux de différentes zones arables de l'ouest de l'Asie (Chypre, Jordanie, Liban, Syrie et Turquie) pour définir leur caractéristiques symbiotiques et le degré de spécificité chez six espèces de *Medicago* annuelle (*M. rigidula*, *M. rotata*, *M. polymorpha*, *M. truncatula*, *M. noeana* et *M. orbicularis*). Les espèces hôtes évaluées ont enregistré une bonne nodulation et une amélioration importante du rendement fourrager (**Materon et Zaklouta, 1994**). D'autres travaux menés par ICARDA à la station Tel Hadya ont montré que *M. rigidula* et *M. noeana* ne nécessitent pas d'inoculation car les sols contiennent déjà une souche appropriée ou *R. meliloti*. Toutefois, dans le sud de la Syrie ou le nord de la Jordanie et dans beaucoup de régions de l'Afrique du nord, les mêmes espèces ne sont pas efficacement nodulées et ceci cause une réduction importante du rendement fourrager (**Materon et Zaklouta, 1994**). Dans certaines populations naturelles de *medics*, on trouve une variabilité génétique pour la nodulation et pour l'intensité de la fixation azotée face à une souche bactérienne donnée (**Prosperi et al. 1993**).

Quelques études ont été réalisées pour étudier l'influence du pH sur le développement de la symbiose, **Young et Brockwell (1992)** signalent que la gamme de pH de développement de *M. truncatula* (acido-sensible) est entre 4.8 et 7.25, mais surtout entre 4.8 et 5.6, au dessous de ce seuil l'expression normale de la symbiose est

gênée. Alors que le niveau critique du pH du sol pour le développement de la symbiose chez *M. murex* et *M. polymorpha* (acido-tolérants) est au dessous de cette gamme. **Loi et al. (1993)** ont étudié l'effet du stress d'acidité sur la nodulation chez *M. polymorpha* indiquent que cette espèce nodule normalement en milieu acide (pH 5.4). **Denton et al. (2007)** ont étudié l'inoculation avec une souche de rhizobium sensible à l'acide (NA39) et avec deux autres souches tolérantes à l'acide (WSM688, WSM540) chez *M. truncatula* et *M. polymorpha* en évaluant l'occupation des nodules au niveau de deux sites (avec une faible densité de populations de rhizobiums et avec une grande densité de populations de rhizobiums), ils ont noté que *M. truncatula* a présenté plus de nodules que *M. polymorpha*.

I. Matériel et méthodes

I. 1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de trois espèces de luzernes annuelles : *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*. Chaque espèce est représentée par cinq populations spontanées. Ces populations sont issues d'une prospection conduite en 2005 et 2008 par l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) à travers toute la région de Djelfa « Steppe centrale » (tableau 2; Fig. 1).

Tableau 2 : Liste des populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula* et des sites d'origine de collecte

Espèces	Origine Géographique	Altitude (m)
<i>Medicago minima</i>	Ain Oussera (MmAO)	758
	Deldoul (MmDel)	768
	Mliliha (MmMli)	806
	Charef (MmCh)	960
	Oued Touil (MmOT)	718
<i>Medicago laciniata</i>	Bouiret Lahdab (MIBL)	830
	Deldoul (MIDel)	768
	Messaad (MIMes)	950
	Mliliha (MIMli)	806
	Oued Touil (MmOT)	718
<i>Medicago truncatula</i>	Bouiret Lahdab (MtBL)	830
	Oued Touil (MtOT)	718
	Mliliha (MtMli)	806
	Ain Oussera (MtAO)	758
	Charef (MtCh)	960

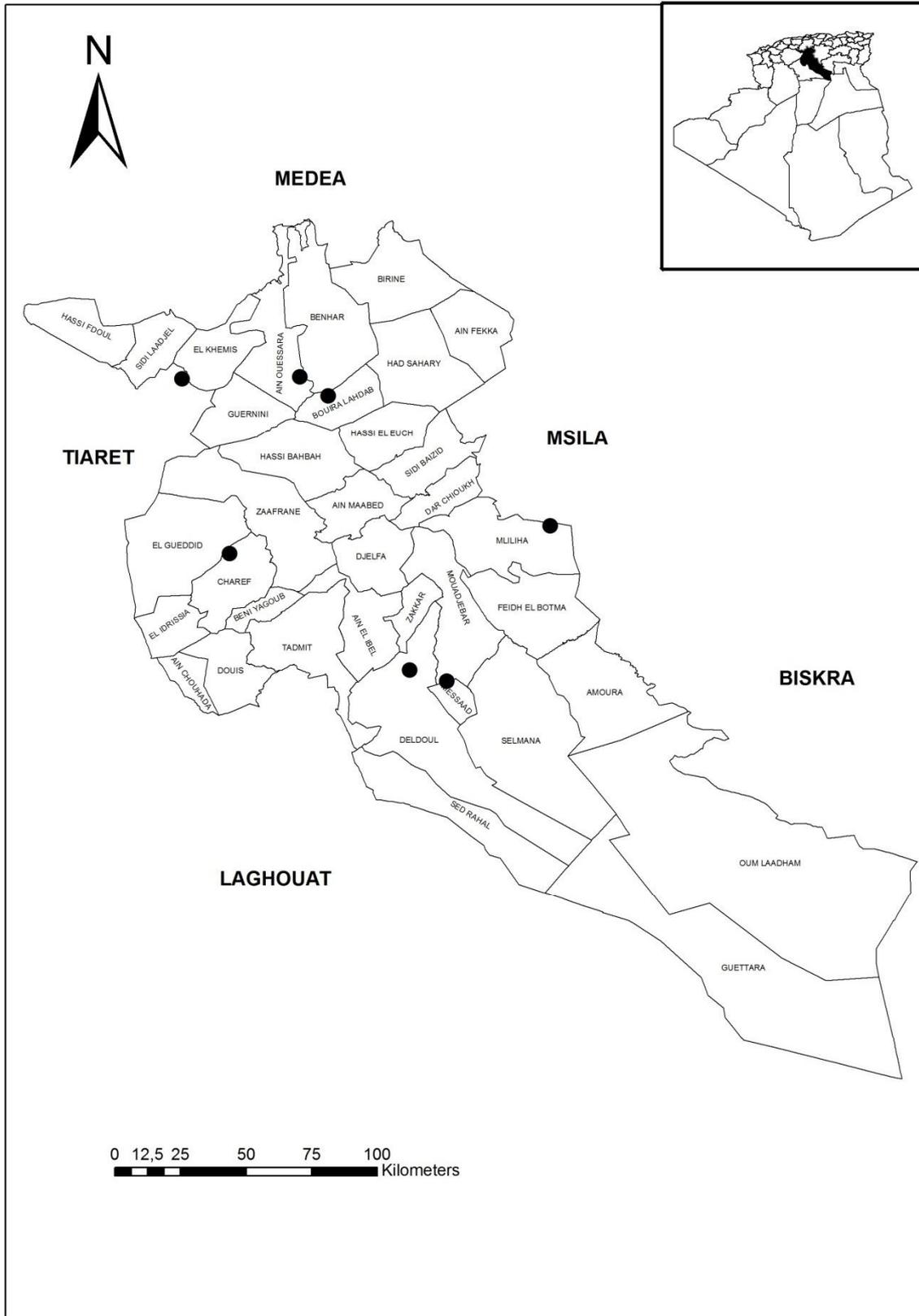


Fig. 1. Localisation géographique des sites de collecte des populations

I. 2. Description de l'essai et mesures effectuées

L'essai a été mené au niveau de la ferme expérimentale du Centre de Recherche en Phytotechnie de Baraki (INRAA) durant la campagne agricole 2009/2010. Cette zone est caractérisée par un climat subhumide avec un hiver doux et un été chaud. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 600 et 700 mm. Les graines, scarifiées à l'aide d'une lime et du papier-verre, ont été semées dans des pots, d'un volume de 5l, d'un diamètre supérieur de 22.9 cm, d'un diamètre inférieur de 12.8 cm et de 21.5 cm de profondeur, remplis avec 2/3 de terre argileuse et 1/3 de tourbe, à raison de cinq (5) graines par pot. A la levée, nous avons réalisé un démariage, en laissant seulement deux plants par pot. Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en randomisation totale avec cinq (05) répétitions.

Pour caractériser les populations étudiées des trois espèces, les caractères morphologiques suivants ont été effectués au début de la floraison sur 10 plants par population :

- Le début de la floraison (**DF**) en jours après la levée,
- La longueur du rameau qui a porté la première fleur (**LR1F**) en centimètre et le nombre des entre-nœuds du même rameau (**NEN**)
- Le nombre de ramifications primaires (**NRP**).

Pour la biométrie des gousses et des graines, les caractères étudiés sont :

- Le diamètre et l'épaisseur de la gousse (**DG, EPG**) en millimètre,
- Le nombre de spire de la gousse (**NS**),
- Le nombre de graines par gousse (**Ng/G**),
- La longueur et la largeur de la graine (**Lgr, lgr**) en millimètre,

Ces mesures ont été réalisées sur 25 gousses et sur 20 graines par population à l'aide d'un pied à coulisse à affichage numérique.

I. 3. Traitements statistiques

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de variance à l'aide du logiciel GenStat édition 12. Une comparaison multiple de moyennes est réalisée avec le test lsd (least significant difference) dans le cas où les différences entre les populations sont significatives. Une analyse en composantes principales (méthode essentiellement descriptive, qui permet de voir comment se structurent nos variables, et / ou comment se répartissent nos populations) a été réalisée en utilisant le logiciel Statistica version 6. Les relations entre les caractères étudiés ont été testées en utilisant les coefficients de corrélation de Pearson.

II. Résultats et discussion

II. 1. Résultats

II. 1. 1. Variabilité morphologique (variation phénotypique)

- Diamètre de la gousse

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les populations pour les trois espèces étudiées (*M. minima*, *M. laciniata* et *M. truncatula*). Pour *M. minima*, la population originaire de Mliliha a le plus grand diamètre avec 4.52 mm, alors que la population issue de la région de Deldoul a présenté le plus petit diamètre avec 3.89 mm. Pour *M. laciniata*, la gousse de la population de Bouiret Lahdab a le plus grand diamètre avec 5.25 mm. Pour *M. truncatula*, la population originaire de Bouiret Lahdab a la gousse la plus large (6.98 mm), tandis que la gousse de la population d'Ain Oussera est la moins large (3.8 mm). La moyenne générale est de 4.19 mm pour *M. minima*, de 4.84 mm pour *M. laciniata* et de 5.57 mm pour *M. truncatula*.

- Epaisseur de la gousse

L'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives entre les populations pour les trois espèces. Pour *M. minima*, la population de la région de Mliliha a la gousse la plus épaisse (3.92 mm), tandis que la gousse de la population de Deldoul est la moins épaisse (2.99 mm). Pour *M. laciniata*, la population de Bouiret Lahdab a la gousse la plus épaisse (6.09 mm), alors que la population de Mliliha a présenté la gousse la moins épaisse (3.84 mm). Pour *M. truncatula*, La gousse la plus épaisse est enregistrée par la population de Bouiret Lahdab avec 6.93 mm, alors que la population de Charef a présenté la gousse la moins épaisse avec 3.92 mm. La moyenne

générale est de 3.47 mm pour *M. minima*, de 4.54 mm pour *M. laciniata* et de 5.21 mm pour *M. truncatula*.

- **Nombre de spire de la gousse**

Pour ce caractère, le test de comparaison de moyennes montre un effet très hautement significatif chez les trois espèces. Pour *M. minima*, les gousses de la population d'Ain Oussera et la population d'Oued Touil ont plus de spires que les autres populations avec 3.52. Pour *M. laciniata* et *M. truncatula*, la population originaire de la région de Bouiret Lahdab a présenté le nombre de spires le plus élevé (respectivement 5.36 et 5.56). La moyenne générale est de 3.32 pour *M. minima*, de 3.88 pour *M. laciniata* et de 4.13 pour *M. truncatula*.

- **Nombre de graine par gousse**

Chez les trois espèces, les différences sont très hautement significatives entre les populations. Pour *M. minima*, la population originaire de Mliliha et d'Oued Touil ont un nombre de graines par gousses élevé avec 5.44, contrairement à la population de Deldoul qui a enregistré le plus faible nombre de graines par gousse avec 4.56. Pour ce paramètre la population issue de la région de Bouiret Lahdah a présenté le nombre le plus élevé de graines par gousse chez *M. laciniata* et *M. truncatula* avec respectivement 8.08 et 7.16. La moyenne générale est de 5.16 pour *M. minima*, de 6.09 pour *M. laciniata* et de 5.56 pour *M. truncatula*.

- **Longueur de la graine**

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les populations des trois espèces. Pour *M. minima*, la population d'Ain Oussera a la

graine la plus longue avec 2.44 mm, alors que la population de Deldoul a présenté la plus petite graine avec 1.92 mm. Pour *M. laciniata*, la population issue de Bouiret Lahdab a la graine la plus longue avec 2.86 mm, tandis que la plus petite a été enregistrée chez la population de Mliliha avec 2.23 mm. Pour *M. truncatula*, la population de Bouiret Lahdab a présenté la plus longue graine (3.54 mm), alors que les populations d'Ain Oussera et de Charef ont les graines les moins longues (2.92 mm). La moyenne générale est de 2.23 mm pour *M. minima*, de 2.53 mm pour *M. laciniata* et de 3.17 mm pour *M. truncatula*.

- **Largeur de la graine**

L'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives entre les populations chez les trois espèces. Pour *M. minima*, la population d'Ain Oussera a la graine la plus large (1.42 mm), tandis que la population de Deldoul a la graine la moins large (1.07 mm). Pour *M. laciniata*, la population de Bouiret Lahdah a présenté la graine la plus large (1.49 mm), alors que la population de Mliliha a la graine la moins large (1.25 mm). Pour *M. truncatula*, la graine la plus large a été enregistrée chez la population de Bouiret Lahdab (2.07 mm) et la moins large chez la population de Charef (1.7 mm). La moyenne générale est de 1.22 mm pour *M. minima*, de 1.36 mm pour *M. laciniata* et de 1.79 mm pour *M. truncatula*.

- **Début de la floraison**

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les populations chez les trois espèces (*M. minima*, *M. laciniata* et *M. truncatula*). Pour *M. minima* la population issue de la région de Charef a été la plus précoce avec 99 jours. Pour *M. laciniata* et *M. truncatula*, la population originaire de la région de Bouiret Lahdab est la plus précoce avec respectivement 102 jours et 95

jours. La moyenne générale est de 101 jours pour *M. minima*, de 102 jours pour *M. laciniata* et de 96 jours pour *M. truncatula*.

- **La longueur du rameau qui a porté la 1^{ère} fleur**

Pour ce caractère les différences sont très hautement significatives pour *M. minima* et *M. truncatula*, et hautement significatives pour *M. laciniata*. Chez *M. minima*, la population d'Ain Oussera a enregistré la plus grande longueur du rameau qui a porté la première fleur (16.99 cm), alors que la population de Deldoul a le plus petit rameau (13.73 cm). Chez *M. laciniata*, la plus grande longueur du rameau a été enregistrée par la population d'Oued Touil avec 15.77 cm, tandis que la population de Deldoul a présenté la plus petite longueur avec 13.17 cm. Chez *M. truncatula*, la population d'Oued Touil a le rameau le plus long avec 17.73 cm, alors que la population de Mliliha a le plus petit rameau qui a porté la première fleur avec 13.22 cm. La moyenne générale est de 15.23 cm pour *M. minima*, de 14.40 cm pour *M. laciniata* et de 16.0 cm pour *M. truncatula*.

- **Nombre des entre-nœuds**

Les différences sont très hautement significatives chez *Medicago minima* et *Medicago laciniata* et non significative chez *Medicago truncatula*. Pour *M. minima*, la population originaire de la région de Mliliha a présenté le nombre des entre-nœuds le plus élevé (6.91), alors que la population issue de Charef a le nombre le plus faible (5.66). Pour *M. laciniata*, le nombre des entre-nœuds le plus élevé a été enregistré par la population d'Oued Touil (6.92) et le plus faible par la population de Deldoul (5.5). La moyenne générale est de 6.15 pour *M. minima*, de 6.3 pour *M. laciniata* et de 6.28 pour *M. truncatula*.

- Nombre de ramification primaire

Pour ce paramètre, l'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives entre les populations chez *Medicago minima* et *Medicago laciniata* et non significative chez *Medicago truncatula*. Chez *M. minima*, la population de Mliliha a présenté le nombre de rameaux primaires le plus élevé (7.25), alors que le plus faible nombre de rameaux a été enregistré par la population de Deldoul (5.33). Pour *M. laciniata*, la population d'Oued Touil a le nombre de rameaux primaires le plus élevé (7.75), tandis que la population d'Oued Touil a enregistré le nombre le plus faible (6). La moyenne générale est de 6.18 pour *M. minima*, de 6.57 pour *M. laciniata* et de 6.08 pour *M. truncatula*.

Tableau 3 : Valeurs moyennes des caractères morphologiques chez les populations de *M. laciniata*

Popul.	Lgr	lgr	EG	DG	NSp	NgG	DF	LR1F	NEN	NRP
MIBL	2.86a	1.49a	6.09a	5.25a	5.36a	8.08a	102b	14.45a	6.58a	6.42b
MIDel	2.62b	1.41b	4.41b	4.86b	3.68b	5.68b	103a	13.17b	5.50b	6.08b
MIOT	2.52bc	1.34c	4.37b	4.67b	3.44b	5.88b	102b	15.77a	6.92a	7.75a
MIMes	2.23d	1.25d	3.97c	4.76b	3.56b	5.00b	102b	14.89a	6.75a	6.67b
MIMli	2.44c	1.29cd	3.84c	4.67b	3.4b	5.84b	102b	13.72b	5.75b	5.92b
Moy.G.	2.53	1.36	4.54	4.84	3.88	6.09	102	14.40	6.30	6.57
Prob.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Lsd	0.1164	0.0695	0.2428	0.2202	0.2778	0.4494	0.3741	1.477	0.637	0.894
Sign.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
C.V(%)	9.0	10.0	9.5	8.1	12.8	13.2	0.4	12.5	12.4	16.6

Tableau 4 : Valeurs moyennes des caractères morphologiques chez les populations de *M. minima*

Popul.	Lgr	lgr	EG	DG	NSp	NgG	DF	LR1F	NEN	NRP
MmAO	2.44a	1.42a	3.55b	4.14b	3.52a	5.32a	102a	16.99a	6.33b	6.33b
MmCh	2.23b	1.14c	3.32c	4.15b	3.12b	5.04a	99b	14.06b	5.66b	5.41c
MmDel	1.92c	1.07d	2.99d	3.89c	3.00b	4.56b	102a	13.73b	5.91b	5.33c
MmMli	2.25b	1.24b	3.92a	4.52a	3.44a	5.44a	102a	16.14a	6.91a	7.25a
MmOT	2.32b	1.24b	3.55b	4.23b	3.52a	5.44a	102a	15.25b	5.91b	6.58b
Moy.G.	2.23	1.24	3.47	4.19	3.320	5.16	101	15.23	6.15	6.18
Prob.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Lsd	0.1203	0.0751	0.1878	0.1890	0.2358	0.3717	0.5395	1.669	0.5184	0.5983
Sign.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
C.V(%)	10.6	12.0	9.7	8.1	12.7	12.9	0.6	13.4	10.3	0.5

Tableau 5 : Valeurs moyennes des caractères morphologiques chez les populations de *M. truncatula*

Popul.	Lgr	lgr	EG	DG	NSp	NgG	DF	LR1F	NEN	NRP
MtBL	3.54a	2.07a	6.93a	6.98a	5.56a	7.16a	95c	17.09a	5.83	5.75
MtOT	3.24b	1.85b	5.29b	6.18b	4.56b	6.12b	95c	17.73a	6.66	5.91
MtMli	3.13b	1.76c	4.60c	5.61c	4.28c	5.56c	98a	13.22c	6.16	6.00
MtAO	2.92c	1.58d	5.3b	3.80e	3.28d	4.60d	97b	16.38a	6.50	6.33
MtCh	2.99c	1.70c	3.92d	5.29d	3.00e	4.36d	96b	15.59ab	6.25	6.41
Moy.G.	2.77	1.79	5.21	5.57	4.13	5.56	96	16.0	6.28	6.08
Prob.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.068	0.089
Lsd	0.1299	0.0728	0.3454	0.2562	0.2420	0.4275	0.857	1.937	0.5966	0.5488
Sign.	***	***	***	***	***	***	***	***	n.s	n.s
C.V(%)	8.0	7.9	11.7	8.2	10.4	13.7	1.1	14.8	11.6	11.0

II.1.2. Relation entre variables mesurées

II. 1. 2. 1. *Medicago laciniata*

Nous avons noté que chez les populations de *M. laciniata*, la longueur de la graine est corrélée positivement avec la largeur de la graine et le nombre de graine par gousse. Les populations qui ont des gousses épaisses ont présenté de grosses gousses, de larges graines et un nombre de spires et un nombre de graines par gousse élevés. Le diamètre des gousses et le début de la floraison sont corrélés positivement avec le nombre de spires.

Pour les paramètres morphologiques de la plante, les populations qui ont une longueur du rameau qui a porté la première fleur ont présenté un nombre des entre-nœuds et un nombre de ramifications primaires élevés.

Tableau 6 : Relation entre les caractères biométriques et morphologiques chez *M. laciniata*

Variables	Lgr	lgr	EG	DG	NSp	NgG	DF	LR1F	NEN	NRP
Lgr	1.00									
lgr	0.975*	1.00								
EG	0.878*	0.891*	1.00							
DG	0.800	0.845	0.950*	1.00						
NSp	0.796	0.811	0.970**	0.982**	1.00					
NgG	0.901*	0.844	0.943*	0.872	0.928*	1.00				
DF	0.087	0.172	-0.275	-0.197	-0.351	-0.329	1.00			
LR1F	-0.201	-0.24	0.055	-0.16	-0.033	-0.010	-0.677	1.00		
NEN	-0.118	-0.124	0.244	0.085	0.200	0.136	-0.781	0.951*	1.00	
NRP	-0.111	-0.127	0.012	-0.240	-0.151	-0.086	-0.357	0.924*	0.810	1.00

* : Corrélé au seuil 5%; ** : corrélé au seuil 1%, *** : corrélé au seuil 0.1%

II. 1. 2. 2. *Medicago minima*

Pour la relation entre les variables mesurées chez *M. minima*, la longueur de la graine et la largeur de la graine sont corrélées positivement entre eux. Les populations qui présentent des gousses épaisses ont de grand diamètre et un nombre de graines par gousses élevé. Le nombre de spires et nombre de graines par gousses sont reliés entre eux positivement.

Nous avons noté aussi que les populations dont la longueur du rameau qui a porté la première fleur est longue ont des graines larges et des gousses avec un nombre de spires élevé. Les populations qui ont présenté un nombre de ramifications primaires élevé ont de grandes gousses.

Tableau 7 : Relation entre les caractères biométriques et morphologiques chez *M. minima*

Variables	Lgr	lgr	EG	DG	NSp	NgG	DF	LR1F	NEN	NRP
Lgr	1.00									
lgr	0.891*	1.00								
EG	0.689	0.608	1.00							
DG	0.529	0.374	0.961**	1.00						
NSp	0.860	0.861	0.808	0.641	1.00					
NgG	0.870	0.726	0.914*	0.829	0.929*	1.00				
DF	-0.040	0.308	0.159	0.011	0.414	0.120	1.00			
LR1F	0.806	0.948*	0.768	0.567	0.882*	0.772	0.421	1.00		
NEN	0.278	0.460	0.781	0.728	0.530	0.514	0.478	0.715	1.00	
NRP	0.564	0.578	0.943*	0.881*	0.840	0.856	0.461	0.766	0.829	1.00

* : Corrélé au seuil 5%; ** : corrélé au seuil 1%, *** : corrélé au seuil 0.1%

II. 1. 2. 3. *Medicago truncatula*

Pour *M. truncatula*, nous avons noté que la longueur et la largeur de la graine sont très hautement corrélées entre elles. Les populations dont les graines sont grosses, ont de grandes gousses et un nombre de spires et un nombre de graines par gousse élevés. Le nombre de spires et le nombre de graines par gousse sont très hautement liés entre eux. Par ailleurs, la corrélation négative entre le rameau qui a porté la première fleur et le début de la floraison indique que les populations les plus précoces ont le rameau le plus long. Le nombre de ramification primaires est corrélé négativement avec la longueur et la largeur de la graine, ainsi qu'avec le nombre de spires et le nombre de graines par gousse.

Tableau 8 : Relation entre les caractères biométriques et morphologiques chez *M. truncatula*

Variables	Lgr	lgr	EG	DG	NSp	NgG	DF	LR1F	NEN	NRP
Lgr	1.00									
lgr	0.990***	1.00								
EG	0.790	0.723	1.00							
DG	0.918*	0.953**	0.491	1.00						
NSp	0.966**	0.926*	0.814	0.843	1.00					
NgG	0.975**	0.941**	0.564	0.857	0.996***	1.00				
DF	-0.667	-0.707	-0.595	-0.646	-0.539	-0.608	1.00			
LR1F	0.343	0.349	0.545	0.233	0.279	0.353	-0.871*	1.00		
NEN	-0.589	-0.603	-0.412	-0.519	-0.483	-0.457	0.109	0.267	1.00	
NRP	-0.926*	-0.883*	-0.737	-0.834	-0.986***	-0.979**	0.485	-0.238	0.375	1.00

II. 1. 3. Typologie des populations

II. 1. 3. 1. *Medicago laciniata*

Afin d'analyser le polymorphisme génétique chez *M. laciniata*, la diversité génétique a été étudiée en soumettant les moyennes des valeurs des différentes variables mesurées à une analyse en composantes principales. Les deux principales composantes absorbent 88.60% de la variation totale. La première composante principale explique à elle seule 55.26 % de la diversité totale, elle est corrélée positivement avec la longueur et la largeur de la gousse, l'épaisseur et le diamètre de la gousse et avec le nombre de spires et le nombre de graines par gousse. La deuxième composante qui a absorbé 33.34 % de la variabilité est corrélée positivement avec le début de la floraison, et négativement avec les paramètres liés au développement végétatif de la plante.

La dispersion des individus dans le plan défini par les deux composantes principales, qui absorbe 88.6% de l'information, a révélé une forte hétérogénéité entre les populations de *M. laciniata*. Le premier axe a mis en évidence deux groupes de populations. Le premier groupe constitué par la population de Bouiret Lahdb se distingue du deuxième groupe composé par les populations de Mliliha, Messaad et Oued Touil par la grosseur des gousses et le nombre élevé de graine par gousse. Le deuxième axe mis en évidence seulement la population de Deldoul, qui est la population la plus tardive et s'est caractérisées par a un faible développement végétatif de la plante.

Tableau 9 : Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. laciniata*

Variables	Axe1	Axe2
Lgr	0.934	0.089
lgr	0.952	0.105
EG	0.973	-0.215
DG	0.955	-0.007
NSp	0.957	-0.151
NgG	0.951	-0.165
DF	0.060	0.768
LR1F	-0.158	-0.977
NEN	0.020	-0.978
NRP	-0.182	-0.845

Tableau 10 : Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. laciniata*

Population	Axe1	Axe2
MIBL	3.955	-0.718
MIDel	0.253	2.510
MIOT	-0.980	-2.125
MIMes	-1.948	-0.819
MIMli	-1.279	1.153

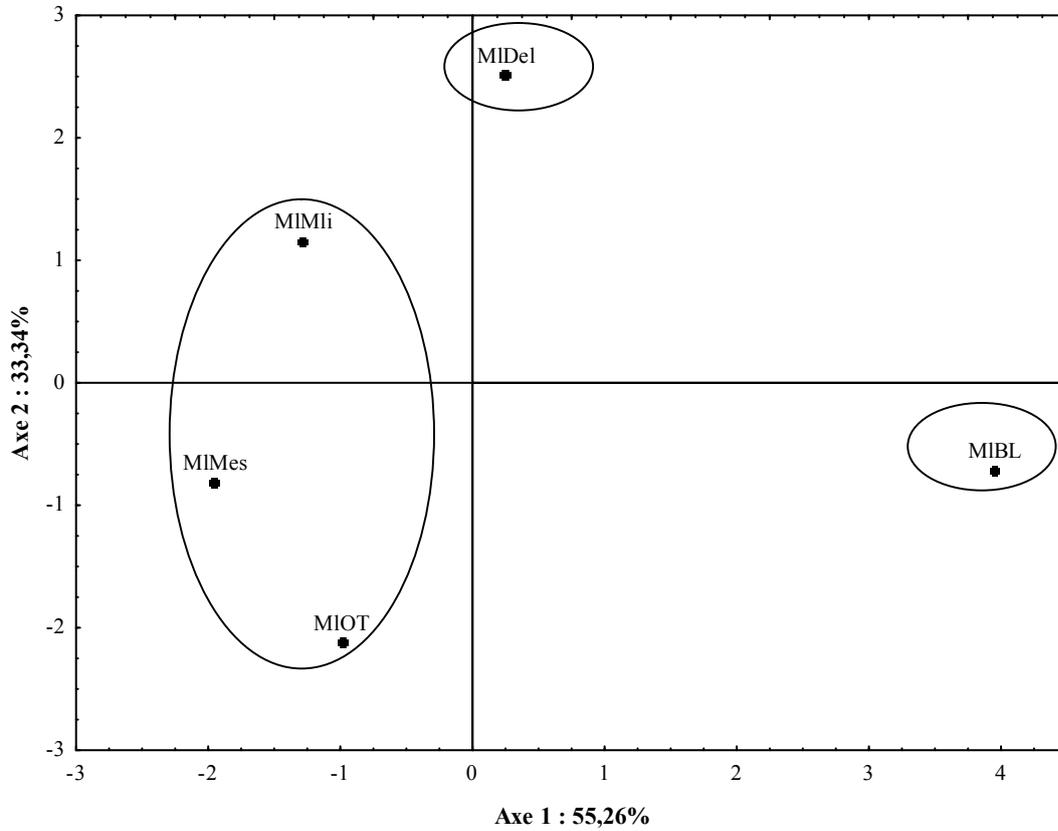
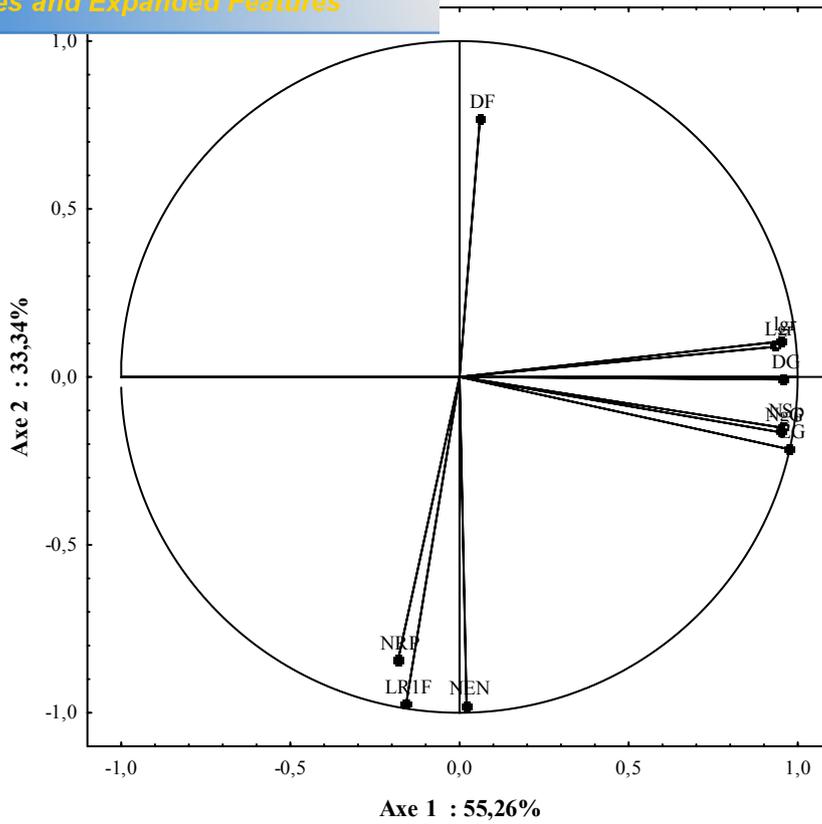


Fig. 2. Projection des variables morphologiques et des populations de *M. laciniata* dans le plan 1-2

II. 1. 3. 2. *Medicago minima*

Les deux principales composantes absorbent 81.66% de la variation totale. La première composante principale a absorbé 66.85 % de la variabilité totale, elle est négativement corrélée avec l'ensemble des paramètres liés à la gousse, à la graine et au développement végétatif de la plante. Alors que le deuxième axe explique 14.81 %, est corrélé positivement avec le début de la floraison.

Le plan formé par les deux axes absorbe 61.66 % de la diversité. Pour ce plan, seulement la première composante principale a permis de séparer les populations entre elles. Elle a mis en évidence deux groupes distincts. Le premier groupe est formé par les populations originaires de la région de Charef et de la région de Deldoul, tandis que le deuxième groupe regroupe les populations issues des régions d'Ain Oussera, de Mliliha et d'Oued Touil. Ces dernières populations se distinguent des populations du premier groupe par des gousses et des graines de grandes tailles, par un bon développement végétatif de la plante et un nombre élevé de graines par gousse.

Tableau 11 : Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. minima*

Variables	Axe1	Axe2
Lgr	-0.855	-0.416
lgr	-0.850	-0.003
EG	-0.898	-0.310
DG	-0.589	-0.245
NSp	-0.976	-0.021
NgG	-0.953	-0.252
DF	-0.343	0.823
LR1F	-0.917	0.187
NEN	-0.664	0.561
NRP	-0.900	0.239

Tableau 12 : Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. minima*

Populations	Axe1	Axe2
MmAO	-2.010	0.225
MmCh	1.867	-1.798
MmDel	3.604	1.308
MmMli	-2.066	0.798
MmOT	-1.394	-0.534

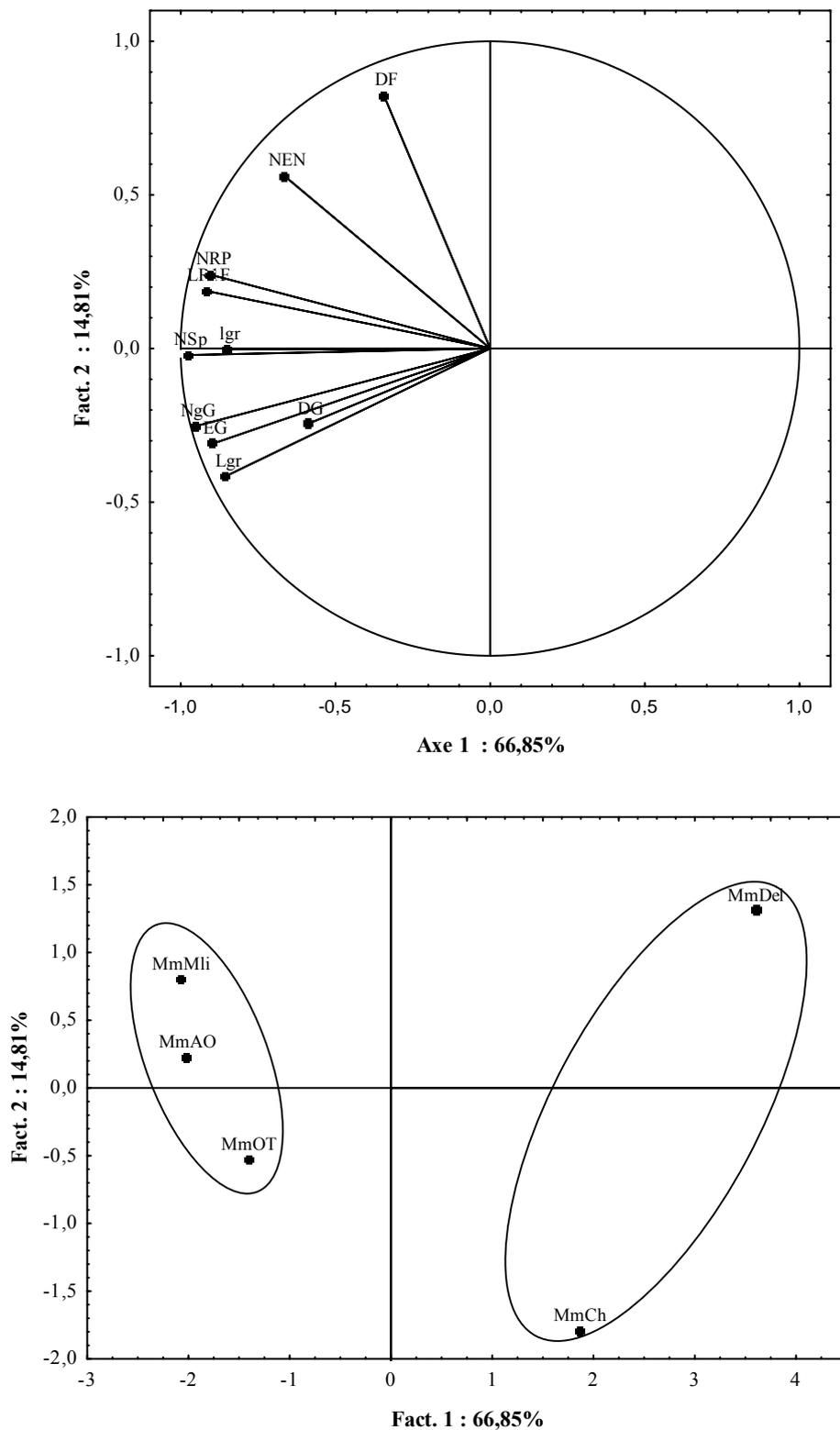


Fig. 3. Projection des variables morphologiques et des populations de *M. minima* dans le plan 1-2

II. 1. 3. 3. *Medicago truncatula*

Le plan (1-2) fournit 88.46% de l'information. La Première composante principale extrait 71.69 % de l'information, elle est positivement corrélée avec les caractères liés à la graine et à la gousse, et avec le nombre de graines par gousse, et négativement avec le début de la floraison et le nombre des ramifications primaires. Tandis que la deuxième composante principale explique 16.77 %, est corrélée négativement avec la longueur du rameau qui a porté la première fleur et le nombre des entre-nœuds.

L'axe1 oppose la population originaire de la région de Bouiret Lahdab, caractérisée par une floraison précoce, de grosses graines, de grandes gousses, un nombre de graines par gousse élevé et par un nombre de ramifications primaires faibles, aux populations issues des régions d'Ain Oussera et de Charef, qui sont les plus tardives, et qui ont les plus petites graines et gousses et le plus faible nombre de graines par gousse. L'axe 2 oppose la population d'Oued Touil, qui se caractérise par un long rameau qui a porté la première fleur et un nombre des entre-nœuds élevé, à la population de Mliliha.

Tableau 13 : Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. truncatula*

Variables	Axe1	Axe2
Lgr	0.994	0.097
lgr	0.980	0.086
EG	0.826	-0.165
DG	0.895	0.144
NSp	0.965	0.133
NgG	0.980	0.059
DF	-0.718	0.609
LR1F	0.432	-0.891
NEN	-0.527	-0.637
NRP	-0.926	-0.135

Tableau 14 : Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. truncatula*

Populations	Axe1	Axe2
MtBL	4.080	0.237
MtOT	1.110	-1.440
MtMli	-0.651	2.001
MtAO	-2.444	-0.753
MtCh	-2.095	-0.044

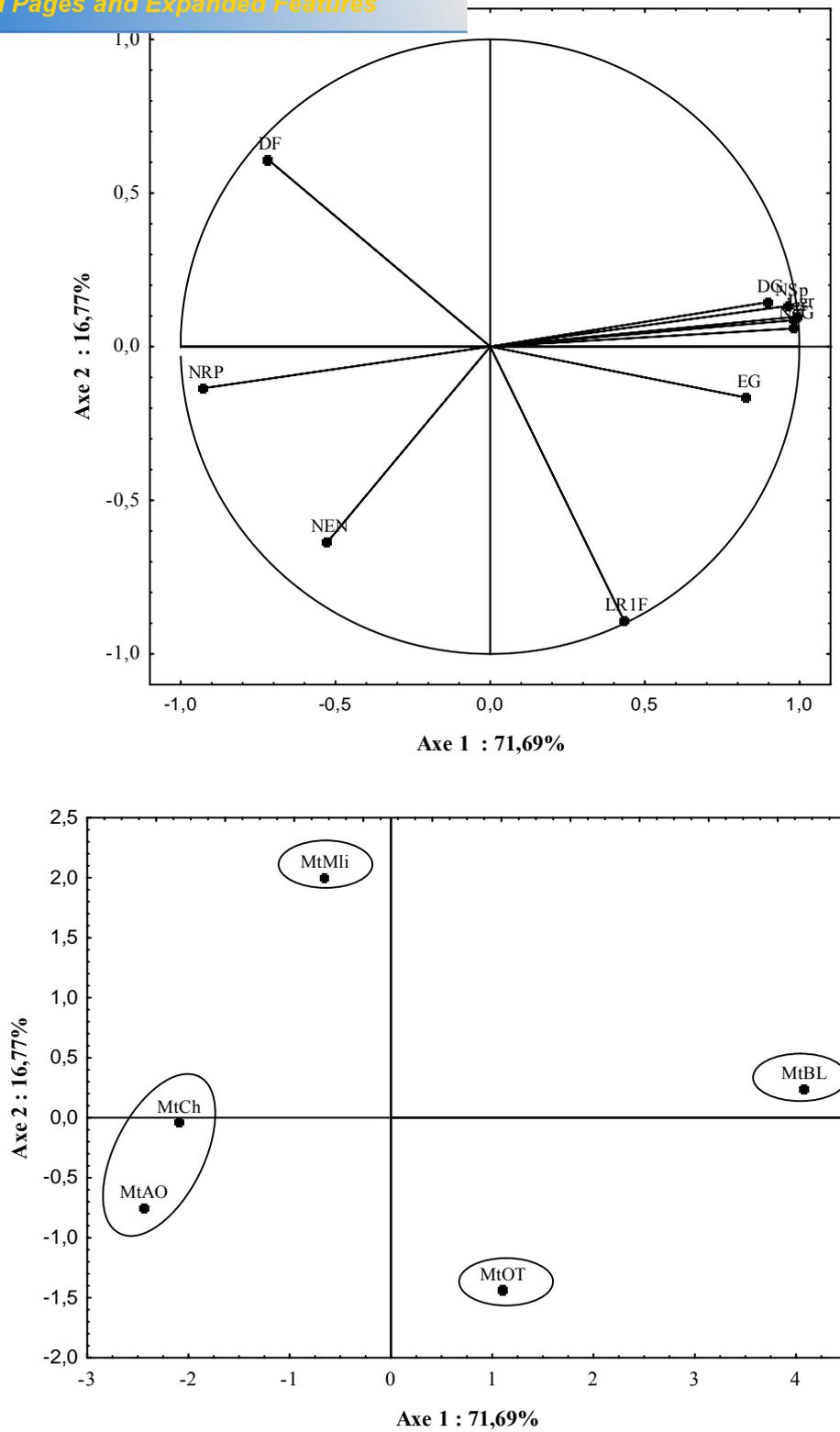


Fig. 4. Projection des variables morphologiques et des populations de *M. truncatula* dans le plan 1-2

II. 2. Discussion

Pour la caractérisation morphologique des populations de *M. minima* et *M. laciniata* et *M. truncatula*, les résultats obtenus montrent qu'il y a une grande variabilité génétique inter-populations pour l'ensemble des caractères étudiés chez les trois espèces. L'analyse de variance a révélé des différences très hautement significatives entre les populations des trois espèces pour l'ensemble des paramètres étudiés, et seulement hautement significatives pour la longueur du rameau qui a porté la première fleur chez *M. laciniata* et non significative pour les nombres des entrenœuds et des ramifications primaires chez *M. truncatula*. Selon **Chaulet (1995)**, les espèces du genre *Medicago* tire beaucoup leur importance de la variabilité appréciable qu'ils présentent. **Brundu et al., (2004)** font remarquer que *M. minima* et *M. truncatula* montrent une grande diversité morphologique et phénologique. **Badri et al. (2006)** signalent un degré de différenciation génétique élevé entre les populations naturelles Tunisiennes de *M. laciniata*. **Haddiou et al. (2012)** et **El Hansali et al. (2007)** ont noté l'existence d'une variabilité morphologique hautement significative chez neuf populations naturelles de *M. truncatula* originaire du Maroc, qui est d'autant plus importante que les populations sont situées dans des climats différents. **Arraouadi et al. (2006)**, en caractérisant phénotypiquement les populations naturelles Tunisiennes de *M. truncatula*, ont signalé un important degré de polymorphisme quantitatif au sein et entre les populations étudiées. **Badri et al. (2008)** ont noté des différences significatives entre les populations analysées de *M. laciniata* pour les caractères des différentes phases de développement, alors que **Young et al. (1992)** n'ont pas noté de différences significatives entre les accessions de *M. laciniata* pour la date de la floraison et la morphologie des plantes et des gousses.

Concernant les caractères biométriques des gousses et des gaines, *M. truncatula* a présenté les plus grosses graines et les plus grandes gousses, suivie de *M. laciniata* et *M. minima*. Alors que pour le nombre de graines par gousse, *M. laciniata* a un nombre

de graines par gousses plus élevé que *M. minima* et *M. truncatula*. **Senhadri-Maamri (1999)** a analysé la variabilité de plusieurs caractères relatifs aux gousses et aux graines chez des populations de *M. truncatula*, *M. orbicularis*, *M. intertexta* et *M. minima* provenant du milieu d'origine et sur la descendance après multiplication, elle a signalé que la variabilité est plus importante chez le matériel d'origine. Selon **Senhadri-Maamri et al. (2000)**, le caractère le plus variable est le poids des gousses et le moins variable est la longueur de la graine aussi bien le matériel collecté que le matériel multiplié. **Graziano et al. (2010)** signalent que la variabilité est large chez les caractères des gousses (épaisseur, largeur, nombre de spires et la longueur des épines) entre les populations siciliennes de *M. polymorpha*. **Cocks (1990)** mentionne que chez *M. minima*, *M. rigidula*, *M. blancheana* et *M. radiata*, les graines des gousses produites tardivement ne sont que de 50% plus lourdes que celles produites précocement, alors que le nombre de graines par gousse a été à peu près constant. **Oumata (1994)** a mis en évidence l'existence de différents types de gousses chez *M. scutellata*. **Khedim et al. (2006)**, en caractérisant morphologiquement quatre espèces de la section des intertextae du genre *Medicago*, ont observé que les populations de *M. ciliaris* et *M. intertexta* se caractérisent par de longues gousses contenant beaucoup de graines. **Laouar et Abdelguerfi (2003)** mentionnent que les gousses de *Medicago intertexta* sont lourdes (poids d'une gousse élevé) grandes (diamètre et épaisseur élevés), comprenant beaucoup de graines (nombre de graines par gousse élevé). **Abdelguerfi (2002)** signale que *M. intertexta*, *M. scutellata* et *M. orbicularis* ont présenté les gousses les plus lourdes, alors que *M. laciniata* et surtout *M. rugosa* ont les gousses les plus légères. Pour le nombre de graines par gousse *M. orbicularis* a le nombre de graines par gousse le plus élevé contrairement à *M. rugosa* dont les gousses ne contiennent qu'entre une et deux graines. Le même auteur a signalé aussi que chez *H. glomeratum* et *H. coronarium*, les caractères se rapportant aux graines varient assez fortement d'une population à l'autre. Cette variation n'est pas liée aux facteurs du milieu pris en compte (altitude et pluviométrie). **Yousfi et al. (2006)** signalent que le cultivar australien Jemalong (*M. truncatula*), classé parmi les populations tardives,

produit un nombre faible de gousses, mais contient un nombre élevé de graines par gousse.

Pour la date du début de la floraison, *M. truncatula* est l'espèce la plus précoce par rapport à *M. laciniata* et *M. minima*. Ces deux dernières espèces ont commencé leur floraison 5 à 6 jours après *M. truncatula*. Les légumineuses annuelles montrent à la fois une différenciation écotypique et un haut degré de plasticité pour la date de la floraison (**Del Pozo et Aronson, 2000**). Selon **Fayd-Lamache (2006)**, le délai de la floraison constitue un indice utile lors du choix de cultivars destinés à des zones de pluviométrie particulière. **Chebouti et Abderlguerfi (2005)**, en étudiant la floraison et la production de gousses chez huit espèces de genre *Medicago* L dans deux zones agro-écologiques (sub-humide et semi-aride), ont trouvé que *M. ciliaris* et *M. aculeata* sont les espèces les plus précoces au niveau des deux sites, alors que *M. orbicularis* est l'espèce la plus tardive. **Sulas et al. (2000)** indiquent que la floraison du *Trifolium subteranium* et des *Medicago* annuelles se produit en réponse à la longueur du jour et à la température, mais les cultivars varient dans leur réponse à ces facteurs considérablement. **Cocks (1992)** mentionne qu'au sein des espèces annuelles de *Medicago*, la précocité de la floraison est nécessaire pour les environnements avec de courtes saisons, et la floraison tardive pour les environnements avec de longues saisons.

Concernant les caractères du développement végétatif, *M. truncatula* a présenté le rameau qui a porté la première fleur, suivie de *M. laciniata* et *Minima*. Pour les nombres des entre-nœuds et des ramifications primaires, les trois espèces ont eu des valeurs rapprochées. **Badri et al. (2002)** signalent que les populations naturelles de *M. truncatula* ont tendance à développer leurs axes plagiotropes. Par contre *M. laciniata* montre en général un meilleur développement de son axe orthotrope. Selon **Badri et al. (2007)**, en général, les populations de *M. truncatula* produisent plus de biomasse végétative que celles de *M. laciniata*, l'exception de la population Deguache.

Chebouti et al. (2006), en étudiant le développement végétatif chez trois espèces de luzernes annuelles, mentionnent que *M. orbicularis* a un bon développement végétatif, contrairement à *M. aculeata* et *M. truncatula*. **Rotili et al. (2001)** indiquent que la morphologie des ramifications idéales pour le rendement et la qualité devrait être constituée par un nombre élevé de courts et réguliers entre-nœuds.

Des corrélations significatives communes entre les caractères étudiés ont été observées chez les trois espèces étudiées (*M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*). Ainsi, nous avons noté que la longueur et la largeur de la graine sont positivement corrélées entre elles. Les populations dont les gousses sont épaisses, ont un grand diamètre et renferme un nombre élevé de graines. Une corrélation positive entre l'épaisseur de la gousse et le nombre de spire a été seulement chez *M. laciniata* et *M. truncatula*. Nous avons noté aussi que les populations, dont les gousses ont un nombre de spire élevé ont le nombre de graines par gousse élevé et cela chez les trois espèces. Selon **Senhadri-Maamri et al. (2000)**, le diamètre et l'épaisseur des gousses évoluent positivement dans le même sens que la longueur de la graine et le nombre de graines par gousse chez *M. orbicularis*. Nous n'avons pas noté de corrélations entre les caractères relatifs aux gousses et aux graines et la date du début de la floraison, par contre **Laouar et Abdelguerfi (1999)** ont indiqué que les populations précoces produisent les gousses et les graines les plus lourdes. Pour la relation entre les caractères des gousses et des graines avec ceux du développement végétatif chez les trois espèces, nous avons noté, chez *M. minima*, des corrélations positives entre la longueur du rameau qui a porté la première fleur et la largeur de la graine et le nombre de spires, et entre le nombre de ramification primaires et l'épaisseur et le diamètre de la gousse. Chez *M. truncatula*, les populations dont le nombre de ramifications primaires est élevé ont de petites graines et la gousse des nombres de spires et de graines faibles. Chez *M. laciniata*, nous n'avons pas observé de corrélations.

Concernant la relation entre les caractères du développement végétatif entre eux et avec la date du début de la floraison, la longueur du rameau qui a porté la première fleur est liée positivement avec le nombre des entre-nœuds et le nombre de ramifications primaires chez *M. laciniata*. Alors que chez *M. truncatula*, les populations qui ont le plus long rameau qui a porté la première fleur sont les plus précoces. Chez *M. minima*, aucune relation n'a été notée. **Badri et al., (2006)**, a noté une corrélation positive entre la durée de la floraison et la longueur du principal rameau qui a porté la première fleur chez *M. laciniata*, alors que chez *M. truncatula*, **Arrouadi et al. (2006)** a trouvé des corrélations significatives de signe négatif entre la floraison et les caractères relatifs à la croissance végétative. **Chebouti et al. (2006)** signalent que les populations tardives de *M. aculeata*, *M. orbicularis* et *M. truncatula* ont présenté un meilleur développement végétatif et une bonne nodulation que les populations précoces.

I. Matériel et méthodes

I. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de trois espèces de luzernes annuelles : *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*. Chaque espèce est représentée par cinq populations spontanées. Ces populations sont issues d'une prospection conduite en 2005 et 2008 par l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) à travers toute la région de Djelfa (Steppe centrale) (Tableau 1; Fig. 1).

I. 2. Description de l'essai et variables mesurées

L'essai a été mené au niveau de la ferme expérimentale du Centre de Recherche en Phytotechnie de Baraki (INRAA) durant la campagne agricole 2010/2011. Cette zone est caractérisée par un climat subhumide avec un hiver doux et un été chaud. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 600 et 700 mm. Les graines destinées à être semées ont été scarifiées mécaniquement à l'aide d'une lime et du papier-verre. Elles ont été semées en ligne de manière superficielle sur une profondeur de 1 à 2 cm à raison de 100 graines par ligne de 1 m de long. Le semis a été réalisé manuellement le 29 décembre 2010. Les lignes sont espacées entre elles de 1.5 m et les blocs entre eux de 1.5 m. Le dispositif expérimental utilisé est un bloc aléatoire complet avec trois répétitions.

Pour caractériser les populations des deux espèces, les caractères phéno-morphologiques et agronomiques suivants ont été mesurés au cours du cycle de développement de la plante :

- Développement hivernal et printanier en largeur (**LH, LP**) en cm, est déterminé en considérant l'endroit le plus large de la ligne.
- Développement hivernal et printanier en hauteur (**HH, HP**) en cm, est mesuré du sol à l'extrémité de l'endroit le plus haut de la ligne.

Largeur et hauteur nous permettent de recueillir une information sur le développement des plantes tout au long de la phase végétative.

- Début de floraison (**DF**), a été noté en jours calendaires de la date de la levée à celle de l'apparition d'une fleur sur chaque plant.
- Pleine floraison (**PF**), a été notée en jours calendaires de la date de la levée à celle où il y a le maximum de fleurs sur la ligne.
- Fin floraison (**FF**), a été notée en jours calendaires de la date de la levée à celle où le nombre de fleurs sur la ligne tend vers zéro.
- Début formation des gousses (**DFG**), a été noté en jours calendaires de la date de la levée à celle de la formation d'une gousse par plant.
- Pleine formation des gousses (**PFG**), a été notée en jours calendaires de la date de la levée à celle de la formation du maximum de gousses sur la ligne.
- Début de dessèchement (**DD**), a été noté en jours calendaires de la date de la levée à celle de l'apparition d'un jaunissement au milieu de la ligne.
- Dessèchement totale (**DT**), a été note en jours calendaires de la date de la levée à celle du dessèchement de la ligne.

- Nombre total et le poids des gousses produites par ligne (**NTG, PTG**).
- Poids total des gousses produites par ligne (**PTG**) en gramme.
- Nombre total et le poids des graines produites par ligne (**NTGr**).
- Rendement en grains par ligne (**RdtGr**) en gramme.

I. 3. Traitements statistiques

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de variance à l'aide du logiciel GenStat édition 12. Une comparaison multiple de moyennes est réalisée avec le test lsd (Least Significant Difference) dans le cas où les différences entre les populations sont significatives. Une analyse en composantes principales (méthode essentiellement descriptive, qui permet de voir comment se structurent nos variables, et / ou comment se répartissent nos populations) a été réalisée en utilisant le logiciel Statistica version 6. Les relations entre les caractères étudiés ont été testées en utilisant les coefficients de corrélation de Pearson.

II. Résultats et discussion

II. 1. Résultats

II. 1. 1. Variabilité morphologique (variation phénotypique)

II. 1. 1. 1. Développement végétatif

- Développement en largeur hivernal et printanier

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les populations pour *M. minima* et *M. laciniata*. La population originaire d'Oued Touil s'est bien développée en hiver et au printemps, et ceci pour les deux espèces avec une LH de 17.2 cm et une LP de 81.2 cm pour *M. minima*, et avec une LH de 20.03 cm et une LP de 92.1 cm pour *M. laciniata*. La population issue de la région de Deldoul a présenté le plus faible développement en largeur en hiver et au printemps pour les deux espèces avec une LH de 8.53 cm et une LP de 26.0 cm pour *M. minima*, et avec une LH de 9.37 cm et une LP de 27.07 cm pour *M. laciniata*.. Pour *M. truncatula*, les différences sont non significatives entre les populations pour la largeur hivernale et très hautement significative pour la largeur printanière. Pour cette dernière, la population originaire d'Ain Oussera a présenté le meilleur développement en largeur (72.1 cm), tandis que la population de Mliliha est la moins large (54.1 cm).

Pour la largeur hivernale, La moyenne générale de l'espèce est de 11.35 cm pour *M. minima*, de 12.29 cm pour *M. laciniata* et de 12.81 cm pour *M. truncatula*. Alors que pour largeur printanière est de 43.24 cm pour *M. minima*, de 44.4 cm pour *M. laciniata* et de 64.8 cm pour *M. truncatula*.

- Développement en hauteur hivernal et printanier

L'analyse de variance révèle des différences hautement significatives entre les populations pour *M. minima* et *M. laciniata*. La population d'Oued Touil s'est distinguée par un bon développement en hauteur en hiver et au printemps, et ceci pour les deux espèces avec une HH de 5.3 cm et une HP de 15.67 cm pour *M. minima*, et avec une HH de 6.53 cm et une HP de 14.57 cm pour *M. laciniata*. Le plus faible développement en hauteur (hivernal et printanier) a été enregistré par la population de Deldoul pour *M. minima*, et la population de Messaad pour *M. laciniata*. Pour *M. truncatula*, les différences sont non significatives entre les populations pour le développement en hauteur.

Concernant la hauteur hivernale, La moyenne générale de l'espèce est de 3.59 cm pour *M. minima*, de 3.78 cm pour *M. laciniata* et de 3.82 cm pour *M. truncatula*. Tandis que pour hauteur printanière est de 9.77 cm pour *M. minima*, de 9.67 cm pour *M. laciniata* et de 9.21 cm pour *M. truncatula*.

II. 1. 1. 2. Phénologie

- floraison

Pour *M. minima* et *M. laciniata*, les différences sont très hautement significatives entre les populations pour les caractères liés à la floraison (début de la floraison, pleine floraison et fin floraison), par contre elles sont non significatives pour *M. truncatula* pour les trois caractères cités ci-dessus.

Chez *M. minima*, la population originaire d'Oued Touil a été la plus précoce pour le début, la pleine et la fin floraison avec 74, 84 et 116 jours respectivement, alors que les populations de Deldoul (début et la pleine floraison) et Mliliha (fin floraison)

ont été les plus tardives. Chez *M. laciniata*, la population originaire d'Oued Touil a été la plus précoce avec 74 jours pour le début de la floraison, 84 jours pour la pleine floraison et avec 118 jours pour la fin floraison. Les populations de Deldoul (début et la pleine floraison) et Messaad (fin floraison) ont été les plus tardives. Chez *M. truncatula*, les populations d'Oued Touil et Mliliha ont été les plus précoces par rapport aux autres populations.

Pour le début de la floraison, La moyenne générale de l'espèce est de 81 jours pour *M. minima*, de 80 jours pour *M. laciniata* et de 73 jours pour *M. truncatula*. La moyenne générale de la pleine floraison pour les trois espèces est de 91 jours pour *M. minima* et *M. laciniata* et elle est de 88 jours pour *M. truncatula*. La moyenne de la fin floraison est de 120 jours pour les trois espèces.

- **Somme des températures pour le début de la floraison**

Les différences entre les populations sont hautement significatives chez *M. laciniata* et très hautement significatives chez *M. minima* et *M. truncatula*. Pour les trois espèces, la population originaire d'Oued Touil est celle qui a cumulé moins de températures pour atteindre le stade de la floraison (335.2 °C pour *M. truncatula* et 352.9 °C pour *M. minima* et *M. laciniata*). Alors que la somme de température la plus élevée a été enregistrée par la population de Bouiret Lahdab chez *M. truncatula* (363.4°C), et la population de Deldoul chez *M. minima* et *M. laciniata* (405.8 °C).

La moyenne générale de l'espèce est de 389 °C pour *M. minima*, de 385.2 °C pour *M. laciniata* et de 350.3 °C pour *M. truncatula*.

- **Formation des gousses**

Pour les caractères liés à la formation des gousses (début formation des gousses et pleine formation des gousses), l'analyse de variance révèle des différences significatives à très hautement significatives entre les populations chez les trois espèces, et non significative pour le caractère début de formation des gousses (*M. truncatula*) et pour la pleine formation des gousses (*M. minima*).

Chez *M. minima* et *M. laciniata*, la population collectée dans la région d'Oued Touil a été la plus précoce pour le début de la formation des gousses avec 77 jours après la levée pour les deux espèces, alors que la population issue de la région de Deldoul a été la plus tardive avec 88 jours pour les deux espèces. Pour *M. truncatula*, la population d'Oued Touil est la plus précoce, malgré qu'il n'y a pas de différence significatives entre les populations. La moyenne générale de l'espèce est de 83 jours pour *M. minima* et *M. laciniata* et elle est de 80 jours pour *M. truncatula*.

Pour la pleine et formation des gousses, les différences sont non significatives entre les populations de *M. minima*, mais la population d'Ain Oussera est la plus précoce. La population originaire de Mliliha chez *M. laciniata* et la population originaire d'Oued Touil chez *M. truncatula* ont été les premières à atteindre la pleine floraison par rapport aux autres populations (112 jour après la levée). La moyenne générale de l'espèce est de 113 jours pour *M. minima* et *M. laciniata* et elle est de 114 jours pour *M. truncatula*.

- **Somme des températures pour le début de formation des gousses**

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les populations chez *M. minima* et *M. laciniata*, et non significatives chez *M. truncatula*. Pour *M. minima* et *M. laciniata*, la population d'Oued Touil est celle

qui a cumulé moins de températures pour atteindre le stade de début de formation des gousses avec 387 °C, tandis que la somme de température la plus élevée a été enregistrée par la population de Deldoul avec 441.8 °C.

La moyenne générale de l'espèce est de 414.1 °C pour *M. minima*, de 415.3 °C pour *M. laciniata* et de 400.7 °C pour *M. truncatula*.

- **Dessèchement**

Pour les caractères du dessèchement des plantes (début de dessèchement et dessèchement total), Les différences entre les populations sont significatives pour *M. minima* et non significative pour *M. laciniata*. Chez *M. truncatula* les différences sont non significatives pour le début de dessèchement et hautement significatives pour le dessèchement total.

Pour le début de dessèchement, La moyenne générale de l'espèce est de 124 jours après la levée pour *M. minima*, de 125 jours pour *M. laciniata* et *M. truncatula*. Alors que pour le dessèchement total, elle est de 152 jours pour *M. minima*, de 151 jours pour *M. laciniata* et de 149.6 jours pour *M. truncatula*.

- **Somme des températures pour le dessèchement total des plantes**

Les différences entre les populations sont significatives pour *M. minima* et non significatives pour *M. laciniata* et *M. truncatula*. Chez *M. minima*, la population originaire d'Oued Touil est celle qui a terminé son cycle en premier en enregistrant une somme de températures de 608.3 °C, suivie de la population d'Ain Oussera avec 616.1 °C et les populations de Charef, Deldoul et Mliliha avec 638.8 °C.

La moyenne générale de l'espèce est de 628.2 °C pour *M. minima*, de 622.2 °C pour *M. laciniata* et de 606.4 °C pour *M. truncatula*.

II. 1 .1. 3. Rendement

- Production de gousses

Pour le rendement en gousses (nombre total des gousses et poids total des gousses), l'analyse de variance révèle des différences significatives à très hautement significatives entre les populations chez les trois espèces.

Chez *M. minima*, la population originaire de Charef a enregistré le nombre total de gousses le plus élevé avec 15867 gousses, alors que la population d'Oued Touil a le poids des gousses le plus élevé avec 286.3 g. La population de Deldoul a été la population la moins productive avec un nombre total des gousses 5536 gousses de et un poids des gousses de 104.1g. Chez *M. laciniata*, la population d'Oued Touil a présenté le nombre et le poids des gousses les plus élevés avec 11443 gousses et 233.4 g respectivement, tandis que la population de Messaad a les plus faibles valeurs (32567 gousses et 82.6 g). Chez *M. truncatula*, le nombre et le poids des gousses les plus élevés ont été enregistrés par la population d'Ain Oussera avec 9894 gousses, la population de Charef avec 487.7 g respectivement. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées par la population de Mlilha avec un nombre de gousses de 4321 et un poids de 260.1 g.

Concernant le nombre total des gousses, La moyenne générale de l'espèce est de 10491 gousses pour *M. minima*, de 7403 pour *M. laciniata* et de 7022 pour *M. truncatula*. Alors que pour le poids des gousses est de 231 g pour *M. minima*, de 162.9 g pour *M. laciniata* et de 359 g pour *M. truncatula*.

- Production de graines

Pour les caractères de rendement en grains (nombre total des grains et poids total des grains), l'analyse de variance montre des différences hautement à très hautement significatives entre les populations chez les trois espèces.

Chez *M. minima*, le rendement en grains (nombre et poids) a été enregistré par la population de Charef (79968 graines et 101.56 g respectivement), alors que la population de Deldoul a le rendement le plus faible avec un nombre de 30116 graines et un poids de 498.21 g. Chez *M. laciniata*, la population d'Oued Touil a le nombre et le poids de graines les plus élevés (57215 graines et 107.13g), alors que la population de Messaad a présenté les plus faibles valeurs (20972 graines et 54.53 g). Chez *M. truncatula*, la population d'Ain Oussera a été la plus productive avec un nombre de 45512 graines et un poids de 133.8 g. La population de Mliliha a eu le rendement le plus faible en graines (25928 graines et 72.9 g respectivement).

Pour le nombre total des graines, La moyenne générale de l'espèce est de 53634 graines pour *M. minima*, de 41271 pour *M. laciniata* et de 36116 pour *M. truncatula*. Concernant le poids total des graines, il est de 73.6 g pour *M. minima*, de 79.7 g pour *M.laciniata* et de 101.2 g pour *M. truncatula*.

Tableau 15 : Valeurs moyennes des caractères phénologiques et agronomiques chez les populations de *M. laciniata*

Popul.	LH	LP	HH	HP	DF	FF	STDF	DFG	PFG	STDFG	DD	DT	STDT	NTG	PTG	NTgr	RdtGr
MIBL	11.17b	38.10b	3.43b	8.1b	81b	91a	387a	81b	114a	405.8c	125	152	623.1	5200c	84.2b	31200d	64cd
MIDel	9.37c	27.07	3.37b	9.26b	84a	94a	405.8b	88a	112b	441.8a	127	153	631	7348d	207.1a	41739b	78.2bc
MIMes	10.63bc	30.67bc	2.63b	7.5b	82b	91a	393.3b	86a	112b	430.1b	123	154	638.8	3567e	82.6b	20972c	54.5d
MIMli	10.27bc	34.27bc	2.93b	8.93b	81b	94a	387b	82b	112b	411.9c	123	149	609.1	9457b	206.9a	55231a	93.9ab
MIOT	20.03a	92.07a	6.53a	14.56a	74c	84b	352.9c	77c	116a	387d	125	149	609.1	11443a	233.4a	57215a	107.7a
Moy. G	12.29	44.4	3.78	9.67	80.4	96.67	385.2	82.87	113	415.3	124.87	151.5	622.2	7403	162.9	41271	79.7
Prob.	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.356	0.306	0.360	0.001	0.001	0.001	0.001
Lsd	1.473	8.94	0.872	2.219	1.454	2.917	9.14	2.119	1.945	10.72	5.64	5.788	38.37	1573	34.28	9076.2	17.17
Sign.	***	***	***	***	***	***	***	***	**	***	Ns	ns	ns	***	***	***	***
CV(%)	6.4	10.7	12.3	12.2	1.0	2.0	1.3	1.4	0.9	1.4	2.4	2.0	3.3	11.3	11.2	11.7	11.4

Tableau 16 : Valeurs moyennes des caractères phénologiques et agronomiques chez les populations de *M. minima*

Popul.	LH	LP	HH	HP	DF	FF	STDF	DFG	PFG	STDFG	DD	DT	STDT	NTG	PTG	NTgr	RdtGr
MmAO	10.8bc	36.9c	3.13b	8.2b	81b	119b	387b	85b	112b	411.9c	123b	151bc	616.1b	7552bc	251a	40177bc	68.3b
MmCh	8.6c	34.1c	3.2b	9.23b	84a	120b	405.8a	88a	116a	424.2b	123b	154a	638.8a	15867a	248a	79968a	101.6a
MmDel	8.53c	26.0d	3.17b	6.73c	84a	119b	405.8a	88a	112b	441.8a	129	153ab	638.8a	5536c	104b	30116c	49.2c
MmMli	11.6b	37.9bc	3.17b	9.03b	82b	125a	393.3b	85b	114ab	405.8c	124b	154a	638.8a	12206ab	269a	66399ab	89.8ab
MmOT	17.2a	81.2a	5.3a	15.67a	74c	116c	352.9c	77d	113ab	387d	124b	150c	608.3b	11296b	286a	51510bc	59.2bc
Moy. G	11.35	43.24	3.59	9.77	81	90.7	389	84.6	113.6	414.1	124.5	152.3	628.2	10491	231	53634	73.6
Prob.	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.066	0.001	0.013	0.028	0.014	0.003	0.032	0.005	0.034
Lsd	2.882	5.800	1.049	1.490	1.46	1.945	9.14	2.019	3.075	8.95	3.046	2.947	19.4	4149.1	110.7	21889.2	33.33
Sign.	***	***	**	***	***	***	***	***	ns	***	*	*	*	**	*	**	*
CV(%)	13.5	7.1	15.5	8.1	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.1	1.3	1.0	1.6	21.0	25.4	21.7	24

Tableau 17 : Valeurs moyennes des caractères phénologiques et agronomiques chez les populations de *M. truncatula*

Popul.	LH	LP	HH	HP	DF	FF	STDF	DFG	PFG	STDFG	DD	DT	STDT	NTG	PTG	NTgr	RdtGr
MtAO	12.83	72.1a	3.83	10.20	73	122	347a	78	116a	393.3	125	152a	623.1	9894a	418ab	45512a	133.8a
MtBL	13.87	71.9a	4.20	9.4	75	122	363.4bc	82	116a	411.9	123	152a	623.1	8103ab	340bc	45054a	121.6ab
MtCh	13.23	60.1bc	3.80	9.0	74	124	352.9ab	80	114ab	399.5	124	146b	575.4	8063b	488a	35156ab	95.6bc
MtMli	11.07	54.1c	2.93	7.60	74	118	352.9ab	82	113bc	411.9	125	146b	587.4	4321c	260c	25928b	72.9c
MtOT	13.07	65.7ab	4.33	9.87	70	119	335.2c	77	112c	387	127	152a	623.1	4727c	289c	28927b	81.9c
Moy. G	12.81	64.8	3.82	9.21	73	121	350.3	79.93	114.4	400.7	125	149	606.4	7022	359	36116	101.2
Prob.	0.397	0.006	0.145	0.548	0.163	0.124	0.008	0.068	0.028	0.066	0.231	0.005	0.054	0.001	0.003	0.007	0.006
Lsd	3.179	8.74	0.508	3.642	4.125	4.776	12.23	4.238	2.572	19.69	4.203	3.572	39.42	1811.2	95.8	10504	29.03
Sign.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	ns	ns	**	ns	***	**	**	**
CV(%)	13.2	7.2	16.3	21.0	3.0	2.1	1.9	2.8	1.2	2.6	1.8	1.3	3.5	13.7	14.2	15.4	15.2

II. 1. 2. Relation entre variables mesurées

II. 1. 2. 1. *Medicago laciniata*

Les caractères du développement végétatif (larguer hivernale, largeur printanière, hauteur hivernale et hauteur printanière) sont positivement et très hautement corrélés entre eux. Les populations qui ont présenté un bon développement végétatif durant l'hiver et le printemps ont été les plus précoces (début de floraison, début de formation des gousses) et ont atteint tardivement la pleine formation des gousses. Aussi elles ont enregistré les plus faibles sommes de température pour le début de la floraison et pour le début de formation des gousses. Ces populations sont issues des régions à forte altitude.

Le début de la floraison est positivement et très hautement lié au début de la formation des gousses, à la somme de température pour le début de la floraison et à la somme de température pour le début de formation des gousses et négativement corrélé avec la pleine formation des gousses. Les populations les plus précoces proviennent des zones à forte altitude. La fin floraison est corrélée positivement au dessèchement total des plantes et à la somme de température du dessèchement des plantes. Le début de formation des gousses est positivement et très hautement lié avec la somme de température pour le début de la floraison et à la somme de température pour le début de formation des gousses, mais négativement corrélé avec la pleine formation des gousses. Les populations qui ont atteint précocement la pleine formation des gousses ont cumulées les plus faibles sommes de température (début de floraison et début de formation des gousses). Le dessèchement des plantes est lié positivement avec la somme de température pour le dessèchement total des plantes.

Les caractères de rendement sont très corrélés entre eux. Les populations qui ont produit beaucoup de gousses ont donné un nombre élevé de graines et de bons rendements de gousses et de graines. Ces populations proviennent des zones à forte altitude. Les populations qui ont produit beaucoup de gousses et de graines ont été les plus précoces (début de floraison et début de formation de gousses), et ont présenté un bon développement végétatif hivernal et printanier surtout en hauteur.

Tableau 18 : Relation entre les caractères phénologiques et agronomiques chez *M. laciniata*

	LH	LP	HH	HP	DF	FF	STDF	DFG	PFG	STDFG	DD	DT	STDT	NTG	PTG	NTGr	RdtGr	ALT
LH	1,00																	
LP	0,97	1,00																
HH	0,87	0,88	1,00															
HP	0,89	0,91	0,83	1,00														
DF	-0,94	-0,96	-0,84	-0,83	1,00													
FF	-0,15	-0,24	-0,23	-0,33	0,15	1,00												
STDF	-0,92	-0,94	-0,81	-0,80	1,00	0,14	1,00											
DFG	-0,76	-0,81	-0,71	-0,63	0,90	0,19	0,91	1,00										
PFG	0,72	0,75	0,78	0,57	-0,74	-0,12	-0,73	-0,75	1,00									
STDFG	-0,75	-0,80	-0,69	-0,61	0,89	0,17	0,91	1,00	-0,74	1,00								
DD	0,09	0,07	0,09	0,26	0,06	-0,07	0,09	0,10	0,21	0,11	1,00							
DT	-0,32	-0,38	-0,36	-0,30	0,44	0,59	0,44	0,43	-0,22	0,43	0,50	1,00						
STDT	-0,30	-0,36	-0,34	-0,27	0,41	0,62	0,42	0,42	-0,22	0,42	0,52	1,00	1,00					
NTG	0,64	0,68	0,69	0,81	-0,66	-0,49	-0,64	-0,58	0,40	-0,56	0,21	-0,45	-0,41	1,00				
PTG	0,43	0,46	0,53	0,70	-0,39	-0,53	-0,36	-0,24	0,13	-0,22	0,28	-0,33	-0,30	0,92	1,00			
NTGr	0,50	0,54	0,57	0,70	-0,54	-0,50	-0,53	-0,52	0,31	-0,50	0,20	-0,44	-0,40	0,98	0,92	1,00		
RdtGr	0,63	0,66	0,68	0,78	-0,66	-0,41	-0,65	-0,58	0,41	-0,57	0,20	-0,40	-0,36	0,99	0,90	0,97	1,00	
ALT	0,81	0,79	0,74	0,78	-0,72	-0,04	-0,67	-0,38	0,39	-0,36	0,04	-0,19	-0,14	0,54	0,52	0,39	0,54	1,00

II. 1. 2. 2. *Medicago minima*

La largeur hivernale et printanière ainsi que la hauteur hivernale et printanière sont très liées positivement entre elles. Les populations qui ont présenté un bon développement végétatif hivernal et printanier ont été les plus précoces (début floraison et début formation des gousses) et ont enregistrées les plus faibles sommes de températures pour atteindre les stades de floraison, formation des gousses et dessèchement des plantes. La hauteur printanière est corrélée négativement avec la fin de la floraison et le dessèchement total des plantes. Les populations qui ont présenté un bon développement en largeur proviennent des régions à faible altitude.

Le début de la floraison est hautement et positivement corrélé avec le début de la formation des gousses, le dessèchement total des plantes, les sommes de température des différents stades (STDF, STDFG et STDT), ainsi qu'avec l'altitude des sites de collectes des populations. Les populations qui ont fini tardivement leur floraison se sont les dernières à terminer leur cycle. Le début de formation des gousses est très hautement corrélé avec les sommes de températures du début de la floraison et de la formation des gousses, et seulement corrélé avec l'altitude. Les différentes sommes de températures des différents stades sont liées positivement entre elles.

Les caractères liés aux rendements en gousses et en grains sont très reliés entre eux, donc les populations qui ont produit beaucoup de gousses ont beaucoup de graines. Les populations qui ont donné des nombres élevés en gousses et en graines ont atteint tardivement la pleine formation de gousses et ont commencé à se dessécher précocement. Le poids total des gousses produites est corrélé négativement avec le début de dessèchement des plantes et la somme de température du début de formation des gousses.

Tableau 19 : Relation entre les caractères phénologiques et agronomiques chez *M. minima*

	LH	LP	HH	HP	DF	FF	STDF	DFG	PFG	STDFG	DD	DT	STDT	NTG	PTG	NTGr	RdtGr	ALT	
LH	1,00																		
LP	0,91	1,00																	
HH	0,82	0,85	1,00																
HP	0,89	0,98	0,87	1,00															
DF	-0,91	-0,96	-0,81	-0,90	1,00														
FF	-0,37	-0,50	-0,59	-0,46	0,50	1,00													
STDF	-0,93	-0,95	-0,79	-0,89	0,97	0,41	1,00												
DFG	-0,87	-0,86	-0,68	-0,85	0,86	0,17	0,92	1,00											
PFG	-0,10	0,02	-0,09	0,11	0,18	0,30	0,13	-0,07	1,00										
STDFG	-0,86	-0,85	-0,66	-0,84	0,84	0,15	0,90	1,00	-0,10	1,00									
DD	-0,14	-0,30	-0,09	-0,33	0,22	-0,07	0,28	0,49	-0,50	0,53	1,00								
DT	-0,41	-0,48	-0,52	-0,38	0,60	0,54	0,57	0,33	0,41	0,33	0,11	1,00							
STDT	-0,55	-0,60	-0,53	-0,49	0,71	0,55	0,69	0,49	0,34	0,49	0,19	0,95	1,00						
NTG	0,12	0,18	0,14	0,33	-0,07	0,24	-0,05	-0,22	0,70	-0,26	-0,54	0,15	0,10	1,00					
PTG	0,50	0,47	0,33	0,50	-0,48	0,08	-0,50	-0,59	0,31	-0,62	-0,65	-0,28	-0,37	0,72	1,00				
NTGr	0,01	0,04	0,00	0,19	0,06	0,38	0,06	-0,13	0,70	-0,17	-0,52	0,23	0,19	0,99	0,70	1,00			
RdtGr	-0,17	-0,19	-0,20	-0,06	0,24	0,48	0,24	0,05	0,58	0,00	-0,50	0,24	0,24	0,88	0,69	0,94	1,00		
ALT	-0,66	-0,52	-0,43	-0,39	0,66	0,15	0,73	0,60	0,49	0,56	-0,10	0,46	0,49	0,47	-0,14	0,49	0,49	1,00	

II. 1. 2. 3. *Medicago truncatula*

Nous avons noté que les caractères du développement végétatif (LH, LP, HH et HP) sont corrélés positivement entre eux. Les populations qui ont présenté un bon développement en largeur au printemps ont enregistré un bon rendement en grains et ont été les premières à terminer leur cycle. Les populations qui se sont bien développées au printemps proviennent des régions à faible altitude.

Le début de la floraison est très hautement corrélé avec la somme des températures du début de la floraison et seulement corrélé avec le début de formation des gousses et la somme de température du début de formation des gousses. Les populations qui ont achevé leur floraison tardivement ont présenté les rendements les plus élevés en gousses et en graines et sont issues des régions à faible altitude. Le début de formation des gousses est positivement corrélé avec la somme des températures du début de la floraison et la somme de température du début de formation des gousses. Nous avons noté une très forte relation entre la somme des températures du début de la floraison et la somme de température du début de formation des gousses, et entre le dessèchement total des plantes et la somme de température du dessèchement des plantes.

Les caractères liés aux rendements (NTG, PTG, NTgr et RdtGr) sont très hautement et positivement liés entre eux. Les populations qui ont atteint tardivement la pleine formation des gousses ont produit un nombre élevé de gousses et ont présenté les meilleurs rendements en grains. Les populations qui proviennent des régions à faible altitude ont enregistré le poids total des gousses le plus élevé.

Tableau 20 : Relation entre les caractères phénologiques et agronomiques chez *M. truncatula*

	LH	LP	HH	HP	DF	FF	STDF	DFG	PFG	STDFG	DD	DT	STDT	NTG	PTG	NTGr	RdtGr	ALT
LH	1,00																	
LP	0,71	1,00																
HH	0,54	0,56	1,00															
HP	0,51	0,63	0,71	1,00														
DF	-0,40	-0,24	-0,38	-0,38	1,00													
FF	0,19	0,11	0,27	0,04	0,30	1,00												
STDF	-0,19	-0,08	-0,25	-0,34	0,91	0,25	1,00											
DFG	-0,50	-0,38	-0,47	-0,38	0,63	-0,01	0,71	1,00										
PFG	0,08	0,28	0,19	0,19	0,37	0,46	0,49	0,28	1,00									
STDFG	-0,50	-0,38	-0,47	-0,39	0,63	-0,01	0,71	1,00	0,28	1,00								
DD	-0,22	-0,26	0,32	0,26	-0,40	-0,27	-0,50	-0,35	-0,13	-0,35	1,00							
DT	0,14	0,65	0,58	0,42	-0,19	0,03	-0,12	-0,26	0,15	-0,26	0,22	1,00						
STDT	0,03	0,52	0,50	0,28	-0,16	-0,03	-0,10	-0,22	0,04	-0,23	0,26	0,95	1,00					
NTG	0,26	0,47	0,29	0,31	0,37	0,67	0,35	-0,08	0,75	-0,08	-0,17	0,24	0,14	1,00				
PTG	0,26	0,12	0,25	0,22	0,31	0,75	0,20	-0,24	0,50	-0,24	-0,03	-0,13	-0,22	0,83	1,00			
NTGr	0,26	0,51	0,38	0,31	0,40	0,57	0,41	-0,01	0,72	-0,01	-0,11	0,39	0,31	0,93	0,67	1,00		
RdtGr	0,24	0,53	0,36	0,33	0,34	0,53	0,33	-0,08	0,71	-0,07	-0,07	0,42	0,34	0,93	0,66	0,99	1,00	
ALT	-0,55	-0,43	-0,55	-0,30	-0,02	-0,63	-0,12	0,22	-0,28	0,22	0,18	-0,22	-0,06	-0,50	-0,60	-0,40	-0,34	1,00

II .1. 3. Typologie des populations

II. 1. 3. 1. *Medicago laciniata*

Afin d'analyser le polymorphisme génétique chez *M. laciniata*, la diversité génétique a été étudiée en soumettant les moyennes des valeurs des différentes variables mesurées à une analyse en composantes principales. Les deux principales composantes absorbent 78.80% de la variation totale. La première composante principale explique à elle seule 68.00% de la diversité totale, elle est corrélée positivement avec les caractères de la floraison, les caractères de formation des gousses, les sommes de température, le dessèchement total des plantes et le poids de 1000 grains, et négativement avec les caractères de développement végétatif, le nombre total des gousses et des graines, le poids des gousses, le rendement en grains et l'altitude des sites d'origine de collecte. La deuxième composante qui absorbe 18.80% de la variabilité est seulement corrélée négativement avec le début de dessèchement des plantes.

La dispersion des individus dans le plan défini par les deux composantes principales a révélé une forte hétérogénéité entre les populations de *M. laciniata*. Le premier axe a mis en évidence deux groupes de populations. Le premier groupe constitué par la population de Oued Touil, qui est la plus précoce pour tous les caractères phénologiques, se distingue du deuxième groupe composé par les populations originaires de Bouiret Lahdab et de Messaad par un bon développement végétatif durant tout le cycle, une bonne production de gousses et de graines et provient des régions à haute altitude. Le deuxième axe permet de mettre en évidence les populations de Deldoul et Mliliha, qui ont commencé leur dessèchement tardivement par rapport aux autres populations.

Tableau 21 : Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. laciniata*

Variables	Axe1	Axe2
LH	-0.668	0.423
LP	-0.819	0.498
HH	-0.903	0.194
HP	-0.855	-0.247
DF	0.887	-0.457
FF	0.565	0.771
STDF	0.874	-0.482
DFG	0.897	-0.431
PFG	0.847	-0.232
STDFG	0.805	-0.420
DD	-0.049	-0.631
DT	0.868	0.119
STDT	0.858	0.151
NTG	-0.930	-0.312
PTG	-0.742	-0.555
NTgr	-0.862	-0.427
RdtGr	-0.934	-0.283
P1000g	0.832	0.544
ALT	-0.820	-0.503

Tableau 22 : Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. laciniata*

Population	Axe1	Axe2
MIBL	1.276	0.520
MIDel	1.430	-2.529
MIOT	3.685	2.115
MIMes	-0.822	-1.145
MIMli	-5.570	1.038

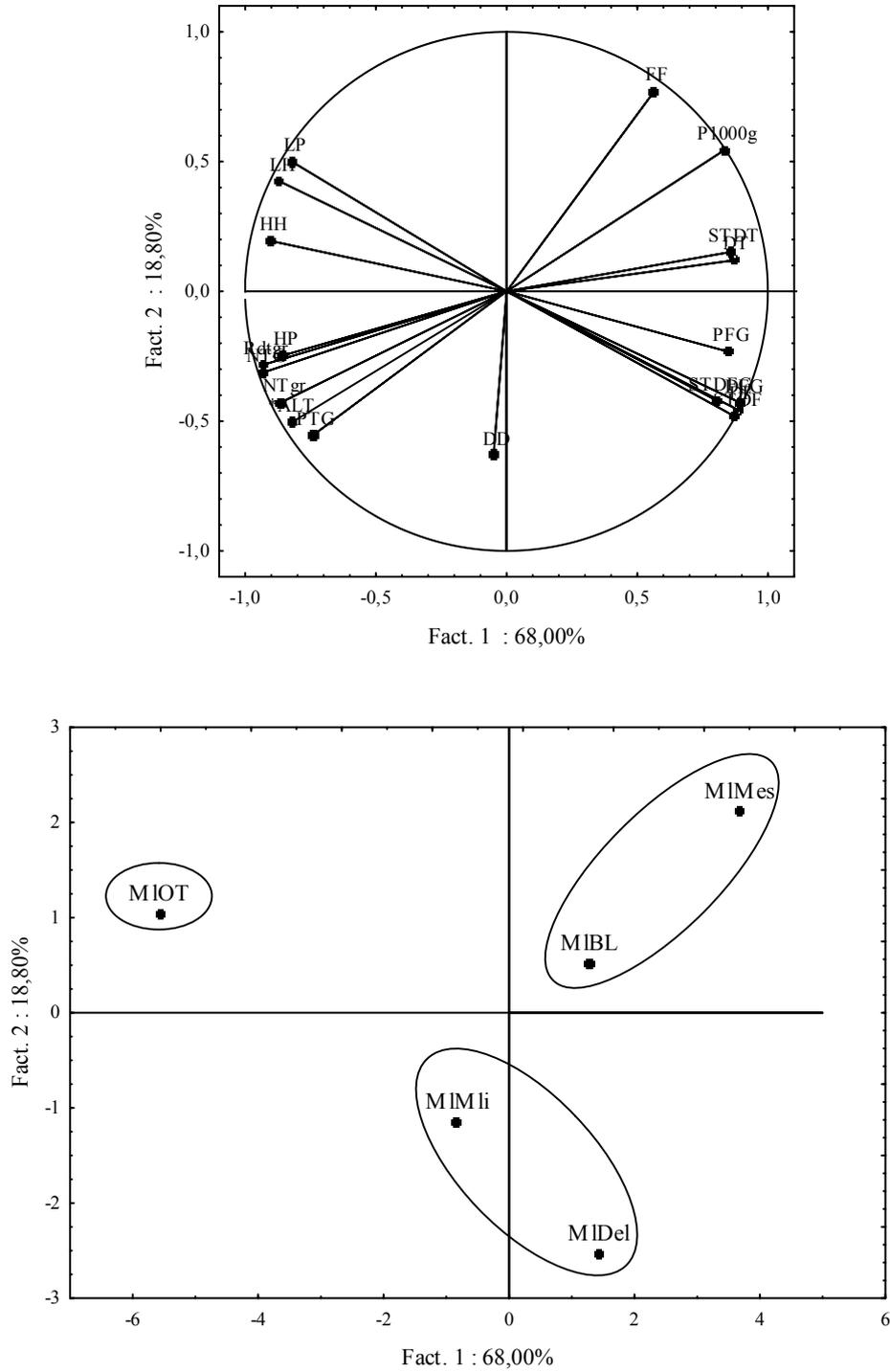


Fig. 5. Projection des variables agronomique et phénologiques des populations de *M. laciniata* dans le plan 1-2

II. 1. 3. 2. *Medicago minima*

La première composante principale a absorbé 51.81 % de la variabilité totale, elle est positivement corrélée avec le début et la fin de la floraison, le début de la formation des gousses, le dessèchement total des plantes et les sommes des températures du début de la floraison, de la formation des gousses et du dessèchement total, mais négativement corrélée avec l'ensemble des caractères du développement végétatif et l'altitude des sites de collecte. Alors que le deuxième axe, qui explique 35.20 %, est corrélé positivement avec la pleine formation des gousses, le nombre et le poids total des gousses et le nombre et le poids total des graines et elle est négativement corrélée avec le début dessèchement des plantes et le poids de 1000 grains.

Le plan formé par les deux axes absorbe 83.96 % de diversité. Pour ce plan, la première composante principale a mis en évidence seulement la population originaire de la région d'Oued Touil, qui a été la population la plus tardive (début et fin floraison, début formation des gousses et dessèchement total), et s'est caractérisée par des sommes de températures élevées pour chaque stade phénologique. Elle s'est distinguée aussi par un bon développement végétatif en hiver et au printemps et elle provient des régions à forte altitude. La seconde composante principale a permis de séparer deux groupes de populations. Le premier groupe est formé par les populations originaires des régions de Charef et Mliliha, tandis que le deuxième groupe regroupe les populations issues des régions d'Ain Oussera, de Deldoul. Le premier groupe de populations se distinguent des populations du deuxième groupe par une production de gousses et en graines, un début de dessèchement des plantes précoces, mais il a présenté un poids de 1000 grains faible.

Tableau 23 : Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. minima*

Variables	Axe1	Axe2
LH	-0.955	0.037
LP	-0.798	-0.229
HH	-0.914	-0.050
HP	-0.826	0.538
DF	0.986	0.060
FF	0.586	0.505
STDF	0.967	-0.003
DFG	0.974	0.014
PFG	0.191	0.898
STDFG	0.886	-0.347
DD	0.411	-0.719
DT	0.852	0.460
STDT	0.912	0.258
NTG	-0.106	0.950
PTG	-0.635	0.696
NTgr	0.045	0.982
RdtGr	0.276	0.941
P1000g	0.083	-0.874
ALT	-0.543	-0.680

Tableau 24 : Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. minima*

Populations	Axe1	Axe2
MmAO	-0.509	-1.306
MmCh	1.683	2.772
MmDel	2.756	-3.341
MmMli	1.108	2.167
MmOT	-5.038	-0.292

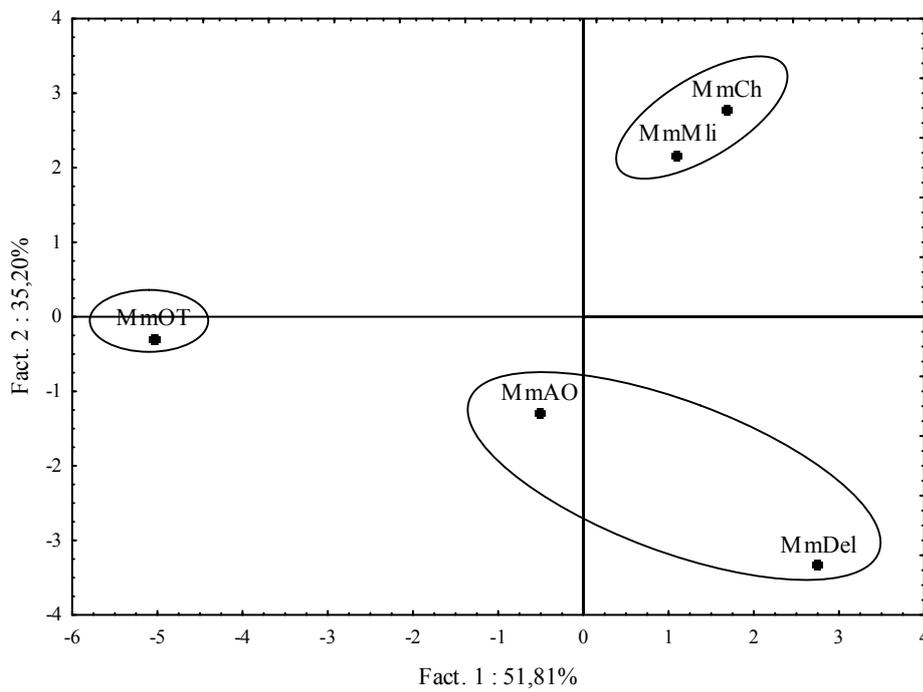
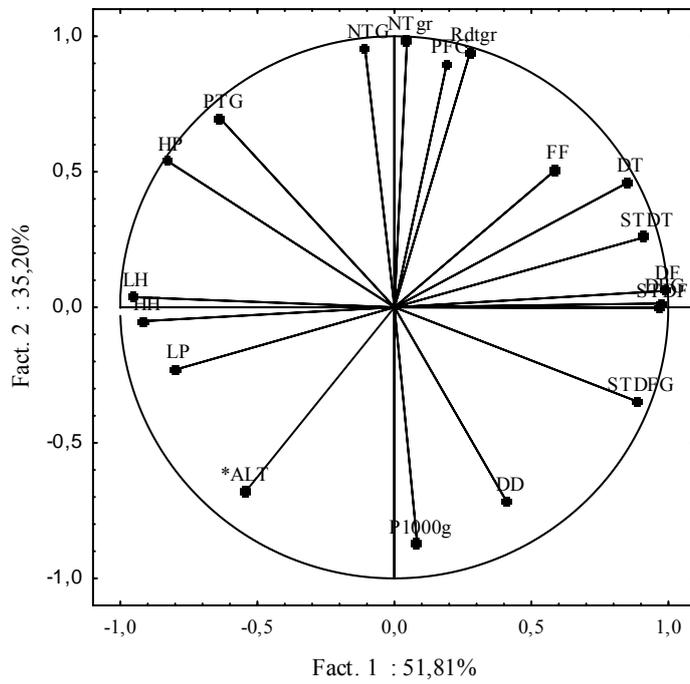


Fig. 6. Projection des variables agronomiques et phénologiques des populations de *M. minima* dans le plan 1-2

II. 1. 3. 3. *Medicago truncatula*

Le plan (1-2) fournit 74.97 % de l'information. La Première composante principale extrait 43.93 % de l'information, elle est positivement corrélée avec les caractères liés à la production de gousses et de graines, le développement en largeur printanier, le début et la fin de la floraison, la somme de température pour le début de la floraison et la pleine formation de gousse et négativement avec le poids de 1000 grains, le début de dessèchement des plantes et l'altitude des sites d'origine de collecte des populations. Tandis que la deuxième composante principale explique 31.04 %, est corrélée positivement avec le début de formation des gousses et la somme de température pour le début de formation de gousses et négativement avec la largeur hivernale, le développement en en hauteur hivernal et printanier et le dessèchement total des plantes.

La première composante principale oppose les populations originaires des régions de Bouiret Lahdab et Charef, caractérisées par une floraison et une pleine formation de gousses tardives, une bonne production de gousse et de graines, un bon développement en largeur au printemps, un faible poids de 1000 grains, un début de dessèchement des plantes précoce et proviennent des régions à basse altitude, contrairement à la population issue de la région d'Oued Touil, qui est la plus précoce, qui a présenté un faible développement printanier en largeur, un poids de 1000 grains élevé, mais elle est la moins productive en gousses et en graines et provient des régions à haute altitude. La deuxième composante oppose la population d'Ain Oussera, qui se caractérise par un début de formation des gousses précoce, une bonne largeur hivernale, un bon développement en hauteur en hiver et au printemps et un dessèchement total des plantes précoce, à la population originaire de la région de Miliha.

Tableau 25 : Coefficients de corrélations des variables mesurées avec les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales Chez *M. truncatula*

Variables	Axe1	Axe2
LH	0.483	-0.677
LP	0.873	-0.265
HH	0.098	-0.848
HP	-0.495	-0.634
DF	0.812	0.574
FF	0.786	-0.281
STDF	0.808	0.496
DFG	0.454	0.808
PFG	0.970	-0.175
STDFG	0.452	0.782
DD	-0.917	-0.387
DT	0.058	-0.838
STDT	-0.187	-0.412
NTG	0.833	-0.446
PTG	0.620	-0.259
NTgr	0.836	-0.501
RdtGr	0.771	-0.551
P1000g	-0.339	-0.369
ALT	-0.548	-0.454

Tableau 26 : Coordonnées ou scores des individus étudiés sur les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales chez *M. truncatula*

Populations	Axe1	Axe2
MtBL	1.406	-2.058
MtOT	2.960	-0.149
MtMli	1.366	0.741
MtAO	-1.728	3.602
MtCh	-4.004	-2.135

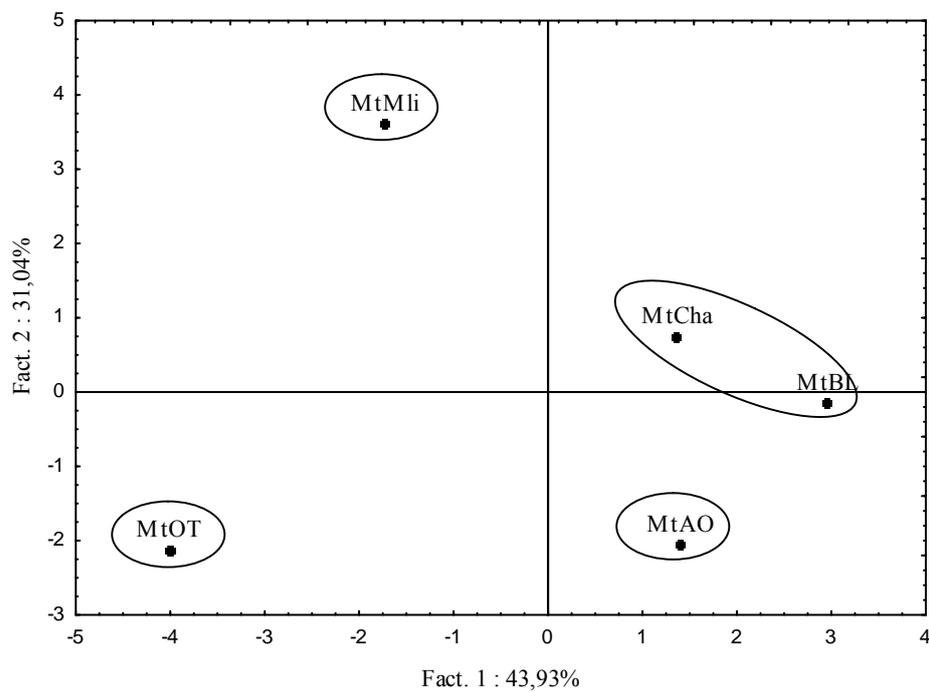
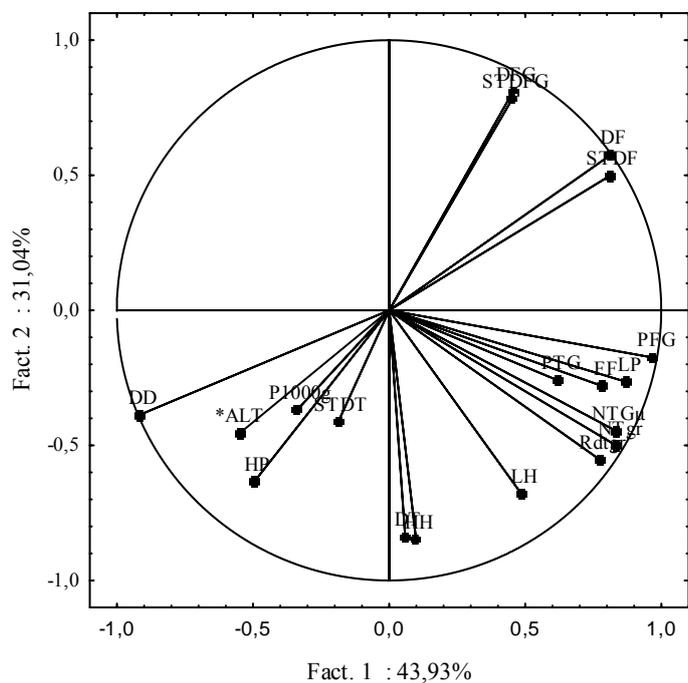


Fig. 7. Projection des variables agronomiques et phénologiques des populations de *M. truncatula* dans le plan 1-2

II. 2. Discussion

Les résultats de l'analyse de la variance ont révélé des différences significatives à très hautement significatives entre les populations pour la majorité des paramètres morpho-phénologiques et agronomiques chez *M. minima*, *M. laciniata* et *M. truncatula*. Ceci confirme la présence d'une grande variabilité génétique inter-populations chez les trois espèces. Beaucoup d'études qui ont porté sur la diversité phénotypique, phénologique et agronomique des populations naturelles des espèces annuelles du genre *Medicago* L. ont signalé l'existence d'une importante variabilité génétique (Si Ziani, 1992 ; Bouchata, 1992, Chebouti, 1993 ; Mefti, 1993 ; Oumata, 1994 ; Tirichine, 1994 ; Kouchi, 1995 ; Laouar, 1995 ; Zitouni, 1997 ; Laouar, 1998 ; Chebouti *et al.*, 1995 ; Yahiaoui et Abdelguerfi, 1995; Chebouti *et al.* 2014.....). Selon Slatkin (1987), la distribution de la variation génétique au sein des populations et entre les populations est d'une grande importance à l'adaptation et l'adaptabilité d'une espèce. Les espèces du genre *Medicago* tirent beaucoup leur importance de la variabilité appréciable qu'ils présentent (Chaulet, 1995).

Haddioui *et al.* (2012) et El Hansali *et al.* (2007) signalent l'existence d'une importante variabilité morphologique chez les populations naturelles de *M. truncatula* du Maroc, qui est d'autant plus importante que les populations situées dans des climats différents. Brundu *et al.*, (2004) font remarquer que *M. minima* et *M. truncatula* montrent une grande diversité morphologique et phénologique. Arraouadi *et al.* (2006), en caractérisant phénotypiquement les populations naturelles Tunisiennes de *M. truncatula*, ont signalé un important degré de polymorphisme quantitatif au sein et entre les populations étudiées. Badri *et al.* (2006, 2008) ont noté un degré de différenciation génétique élevé entre les populations naturelles Tunisiennes de *M. laciniata*.

Pour le développement végétatif, les populations des trois espèces ont tendance à mieux se développer au printemps qu'en hiver. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par **Prosperi et al. (1993)** chez les populations naturelles de *M. sativa*, qui se sont caractérisées par une bonne croissance printanière. **Fresnillo Fedorenko (2001)** signale que la production de matière sèche au printemps représentait plus de 60% de la production total de la strate herbacée dans une année avec 430 mm de pluviométrie chez *M. minima*. Nous avons noté aussi que *M. truncatula* a présenté un meilleur développement en largeur, alors que *M. laciniata* et *M. minima* ont un meilleur développement en hauteur. Selon **Badri et al. (2002)**, les populations naturelles de *M. truncatula* ont tendance à développer leurs axes plagiotropes. Par contre, *M. laciniata* montre en général un meilleur développement de son axe orthotrope. **Bullita et al. (1994)** indiquent que les populations de *M. polymorpha* de Sardaigne diffèrent en hauteur de la plante, qui devrait permettre la sélection des types prostates pour le pâturage et des types érigés pour la culture en association avec les graminées.

Contrairement aux populations de *M. truncatula*, les populations de *M. laciniata* et *M. minima* qui ont présenté un bon développement végétatif hivernal et printanier ont débuté précocement leur floraison. **Chebouti et Abdelguerfi (1999)** indiquent que les populations de *M. orbicularis* ayant présenté un bon développement en largeur en hiver et au printemps au niveau du site d'El-Harrach ont été les plus précoces. Si **Ziani et Abdelguerfi (1995)** mentionnent que les populations de *M. truncatula* de précocité intermédiaire présentent un bon développement végétatif le long du cycle. **Arraouadi et al. (2006)** signalent des corrélations négatives entre la floraison et quelques caractères relatifs au développement végétatif. **Lodge et al. (1993)** ont aussi trouvé des corrélations négatives entre la production en hiver (matière sèche) et les jours de la floraison. Par contre **Badri et al. (2007)** ont trouvé que les paramètres du développement végétatif sont positivement corrélés avec les caractères de la floraison.

Concernant la floraison, les dates de floraison varient significativement entre les populations et entre les espèces. *M. truncatula* est l'espèce la plus précoce, par contre *M. minima* et *M. laciniata* ont fleuri au même temps. Ces deux dernières espèces ont commencé leur floraison 7 et 8 jours après *M. truncatula*. Nous avons noté aussi que les trois espèces ont terminé leur floraison à la même période. **Ovalle et al. (2000)** signalent une variabilité considérable entre les espèces et cultivars de *M. polymorpha* et *T. subterraneum* évalués et le cultivar Cauquens-INIA de *M. polymorpha* a été le plus précoce. **Prosperi et al. (1993)**, en étudiant la précocité chez une collection de 2000 populations de *M. polymorpha*, de *M. truncatula* et de *M. rigidula* en provenance de France, d'Algérie, de Grèce, d'Espagne ou du Portugal en plus des cultivars Australiens, ont noté que les écotypes originaires de France continentale sont plus tardifs que ceux provenant de Corse, d'Algérie ou de la péninsule Ibérique, alors que les cultivars australiens sont les plus précoces. Pour les espèces, *M. rigidula* est significativement la plus tardive.

La différenciation des dates de la floraison observée chez les trois espèces peut être liée aux conditions environnementales des sites d'origines des populations, en particulier la température. Selon **Del Pozo et Aronson (2000)**, les légumineuses annuelles montrent à la fois une différenciation écotypique et un haut degré de plasticité élevé pour la date de la floraison. Selon **Roberts et al. (1996)**, la date de floraison est principalement influencée par le génotype, la température et la photopériode. La floraison du *Trifolium subterraneum* et des *Medicago* annuelles se produit en réponse à la longueur du jour et à la température, mais les cultivars varient dans leur réponse à ces facteurs considérablement (**Sulas et al., 2000**). **Chebouti et Abdelguerfi (2005)**, en étudiant la floraison chez huit espèces de luzernes annuelles au niveau de deux zones agro-écologiques différentes (sub-humide et semi-aride), ont noté que *M. ciliaris* et *M. aculeata* sont les espèces les plus précoces au niveau des deux sites, alors que *M. orbicularis* est l'espèce la plus tardive.

Del Pozo et al. (2000) indiquent que la variabilité dans la date de floraison entre les accessions de Sardaigne de *M. polymorpha* était beaucoup plus faible que la variabilité entre les accessions chiliennes de *M. polymorpha*. **Cocks (1992)** signale que pour les espèces annuelles de *Medicago*, la précocité de la floraison est nécessaire pour les environnements avec de courtes saisons et la floraison tardive pour les environnements avec de longues saisons. Selon **Fayd-Lamache (2006)**, le délai de la floraison constitue un indice utile lors du choix de cultivars destinés à des zones de pluviométrie particulière.

Chez *M. laciniata* et *M. minima*, Les populations qui ont présenté un bon développement végétatif durant l'hiver et le printemps ont été les plus précoces, par contre pour *M. truncatula*, il n'y a pas de relation entre le développement végétatif et la floraison. **Arraouadi et al. (2006)** signalent des corrélations négatives entre la floraison et quelques caractères liés au développement chez *M. truncatula*. **Lodge et al. (1993)** ont aussi trouvé des corrélations négatives entre la production de la matière sèche et les dates de la floraison. Par contre **Yahiaoui et Abdelguerfi (1999)** ont signalé des corrélations positives entre la floraison et le développement végétatif chez *M. ciliaris*. **Crawford (1970)** a constaté que les populations précoces de *M. truncatula* semblent les moins productives en matière verte.

Concernant la relation entre le début floraison et l'altitude du milieu d'origine chez les trois espèces étudiées, nous avons noté que pour *M. laciniata*, les populations les plus précoces proviennent des régions à haute altitude, alors que pour *M. minima*, ce sont les populations les plus tardives qui sont issues des régions à haute altitude. Pour *M. truncatula*, il n'y a pas de relation entre l'altitude du milieu d'origine des populations et le début de la floraison. **Abdelguerfi (2002)** note une relation négative entre le début floraison et l'altitude du milieu d'origine chez *M. orbicularis* et *M. truncatula*. **Yahiaoui et Abdelguerfi (1995)** et **Chebouti et Abdelguerfi (1999)** signalent que les populations les plus tardives de *M. orbicularis* sont issues des

zones à basse altitude, tandis que **Si Ziani et Abdelguerfi (1995)** montrent que les populations précoces de *M. truncatula* proviennent des régions à faible et moyenne altitude.

Concernant les sommes de températures pour atteindre les stades de la floraison, de la formation des gousses et le dessèchement des plantes, les populations de *M. truncatula* ont cumulé moins de degrés de températures que celles de *M. laciniata* et *M. minima*, et ceci pour les trois stades phénologiques. **Selon Del Pozo et al. (1995)**, la température et la photopériode sont les principaux facteurs environnementaux qui contrôlent la phénologie. **Del Pozo et al. (2000)**, dans une étude sur la réponse des écotypes de *M. polymorpha* collectées en Chili à la température et à la photopériode, ont montré que les différences dans les dates de floraison chez les accessions de *M. polymorpha* collectées le long des 100 km de long du gradient méditerranéenne d'aridité au centre du Chili peuvent être expliquées par la sensibilité différentielle des écotypes à la photopériode et à la température. **Clarkson et Russel (1979)** signalent que chez certaines espèces de *Medicago*, la photopériode et la température affectent fortement la date de la floraison. **Clarkson et Russel (1975)**, en étudiant l'effet de la vernalisation et la photopériode sur la date de la floraison chez les medics, indiquent que leurs effets diffèrent fortement d'une espèce à une autre, par contre les hautes températures accélèrent la floraison chez toutes les espèces.

En ce qui concerne l'évaluation des rendements en gousses et en graines, les populations de *M. minima*, *M. laciniata* et *M. truncatula* ont produit des quantités élevées en gousses et en graines. Cela indique la capacité des populations des trois espèces évaluées de régénérer les parcours dégradés. Cependant les populations de *M. minima* ont été les plus productives en gousses et en graines, par contre les populations de *M. truncatula* ont les graines les plus grosses et les plus lourdes. **Selon Abdelkefi et Marakchi (2000)**, les espèces annuelles de *Medicago* ou « medics » produisent une

grande quantité de gousses indéhiscentes contenant de graines dures. **Loi et al., (2000)**, en étudiant le potentiel de nouvelles légumineuses alternatives à pâturage pour les systèmes agricoles méditerranéens de l'Australie, ont montré que les luzernes annuelles ont produit plus de graines que la plupart des autres espèces. **Vargiu et al. (2000)** ont étudié la production de graines chez quatre populations appartenant à *T. subterraneum* et six populations de *Medicago* annuelles (*M. polymorpha*, *M. arabica* et *M. orbicularis*) au niveau de trois sites différents de la Sardaigne, ont noté que les populations de *Medicago* ont enregistré des rendements élevés en graines au niveau des trois sites. Selon **Chebouti et al. (2001)** le rendement en grains a été plus élevé pour le traitement non stressé que le rendement en grains en cas de contraintes hydriques durant les deux phases (végétative et floraison) chez *M. aculeata*, *M. orbicularis* et *M. truncatula*. **Bagheri et al. (2010)**, dans une étude de l'impact de l'espacement entre les lignes sur le rendement et les composantes du rendement chez plusieurs espèces de médics annuels, a noté que le rendement en grain le plus élevé a été obtenu par *M. polymorpha* et *M. scutellata*, alors que le rendement le plus faible a été observé chez *M. truncatula*. **Vargiu et al. (2010)** signalent différentes performances chez quelques espèces fourragères de la Sardaigne, et ont noté que la population de *M. polymorpha* et *L. rigidum* ont enregistré les meilleurs rendements. **Cocks (1990)** signale que chez *M. minima*, *M. rigidula*, *M. blancheana* et *M. radiata*, le poids des graines est plus important chez les gousses produites entre le 2^{ème} et le 7^{ème} nœud et décroissent après. Les graines des gousses produites tardivement ne sont que de 50% plus lourdes que celles produites précocement.

Selon Aabbar (1994), les écotypes locaux de *Medicago*, particulièrement *M. polymorpha* et *M. aculeata* se sont révélés plus productifs en semences que les cultivars australiens. Dans une étude sur la production fourragère de huit cultivars de médics annuels de *M. truncatula*, *M. scutellata*, *M. polymorpha*, *M. litolaris*, *M. minima* et *M. sphaerocarpas* sous les conditions pluviales, **Dorry (2008)** mentionne que le niveau de production de graines pour la majorité des cultivars annuels de

medics évalués est suffisant pour la mise en place d'une banque de semences viables qui permettrait la régénération au début des phases ultérieures de pâturage. **Porqueddu (2001)** souligne que dans les systèmes ley-farming et agro-pastoraux, les gousses de *Medicago* annuelles constituent une composante importante de l'alimentation des moutons pendant la période sèche de l'été. **Somaroo (1988)** indique aussi que le haut potentiel du rendement en grains est d'une importance particulière chez les espèces annuelle de *Medicago*, qui s'auto-régénèrent année après année à partir des graines laissées enfouies dans le sol.

Chez les trois espèces, les caractères liés à la production de gousses et de graines sont très fortement et positivement corrélés entre eux, ainsi le rendement en graines dépend fortement du nombre de gousses. Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par **Cocks (1988)**, qui indique que le rendement en grains est étroitement lié au nombre de gousses chez tous les écotypes de *Medicago* annuelle évalués.

I. Introduction

Les sols des régions arides et semi-arides de la steppe sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, une faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation. Ces parcours naturels qui jouent un rôle fondamental dans l'économie agricole du pays sont soumis à des sécheresses récurrentes et à une pression anthropique croissante (**Nedjraoui et Bédrani, 2008**).

L'étude de la diversité et de la distribution des souches rhizobiales peut être exploitée dans la formulation d'inoculant pour lutter contre les conditions environnementales défavorables des régions arides (**Pathak et al., 2017**). La symbiose entre les légumineuses et les rhizobia ou BNL est une relation mutualiste classique. En échange du substrat carboné fournis par la légumineuse, les rhizobia fournissent à leur hôte l'azote nécessaire à leurs croissances (**Kiers et al. 2005**). Cette symbiose permet non seulement aux plantes d'assurer leur indépendance vis-à-vis de l'azote, mais aussi la fertilisation des sols à un faible cout en réduisant l'utilisation des engrais chimiques très onéreux et fortement polluants (**Merabet et al., 2006**). Ainsi, elle apporte environ 80% d'azote fixé biologiquement, comprenant 25 à 30% de l'apport mondial en protéines (**Pathak et al., 2017**).

Divers méthodes phénotypiques sont utilisées pour la caractérisation des différentes souches de rhizobium. Elles incluent la détermination des caractéristiques morphologiques, biochimiques et physiologiques des bactéries via des techniques standardisées (**Graham et al., 1991**). Cette caractérisation permettra d'une part de mettre en évidence l'étendue des variations phénotypiques qui existent entre les souches et d'autre part d'exploiter ces variations pour la sélection de candidats pouvant maintenir une capacité supérieure de fixation d'azote sous les variations des facteurs du milieu (**El-Hilali, 2006 ; Bekki, 1986**).

La fixation symbiotique est sous l'influence de facteurs génétiques de la bactérie et de la plante, et est très sensible aux facteurs de l'environnement (**Obaton *et al.*, 1987**). Les principaux facteurs limitant l'activité biologique dans les sols sont le déficit hydrique, la salinité, les températures élevées, les pH extrêmes et les carences en éléments nutritionnels. Les interactions fréquentes entre ces différentes contraintes affectent la croissance et la capacité de survie des micro-organismes dans les sols arides (**Baha et Bekki, 2014 ; Cacciari *et al.*, 1998**).

Ce travail est mené afin d'examiner les réponses de croissance de différentes souches de rhizobium, isolées chez des populations naturelles de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*, à la température, la salinité et au pH, pour déterminer le degré de variabilité des souches à ces réponses en vue de sélectionner des souches tolérantes, et présentant une capacité supérieure de fixation d'azote atmosphérique en conditions arides et semi-arides

II. Matériel et Méthodes

II. 1. Collecte de nodules

Les graines, scarifiées à l'aide d'une lime et de papier-verre de 15 populations appartenant à *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula* ont été semées dans des pots en serre (T° 25 à 28° C ; H 80%), à raison de cinq (5) graines par pot. Au stade trois feuilles, nous avons réalisé un démariage, en laissant seulement deux plants par pot. Nous avons utilisé un dispositif en randomisation totale avec cinq (05) répétitions.

Au début de la phase floraison, les nodosités racinaires ont été prélevées et mises dans des tubes contenant du gel de silice déshydraté. La forme des nodules collectés diffère d'une espèce à l'autre et d'une population à l'autre (Fig. 8). Ces nodosités, prélevées sur les plantes des différentes populations, ont servi à l'isolement direct des bactéries symbiotiques.



Fig. 8: Différentes formes de nodules collectés chez les espèces de *Medicago* L.

II. 2. Extraction, isolement et purification des isolats

L'extraction est effectuée à partir d'un nodule dans des conditions d'asepsie (sous haute à flux laminaire) selon la technique décrite par Vincent en 1970. La surface du nodule est préalablement stérilisée par immersion dans de l'éthanol à 95° pendant 30 secondes, puis dans une solution de chlorure de mercure (HgCl₂) acidifié à 0.1% pendant 3 minutes, suivi d'un rinçage dans six bains successifs d'eau distillée afin d'éliminer toutes traces très toxiques du HgCl₂. Ensuite le nodule est écrasé à l'aide d'une tige en verre dans 0.5 ml d'une solution de NaCl stérile à 8.5% afin de libérer les bactéroïdes. Pour chaque dilution, nous avons ensemencé avec 100ul, trois boites de Pétri contenant le milieu de culture YMA (Yeast Mannitol Agar) (Vincent, 1970 ; Bekki *et al* 1987) :

Mannitol	10g
K ₂ HPO ₄	0.5g
MgSO ₄ -7H ₂ O	0.2g
Nacl	0.1g
Extrait de levure	0.5g
Agar	15g
Eau distillée	1000ml

L'ajustement du pH à 6,8 se fait avec du NaOH 0.1N. Le milieu est ensuite stérilisé par autoclavage pendant 20 minutes à 120°C.

Une partie du broyat obtenu est ensemencé sur milieu YMA en boites de pétrie. Le milieu YMA est additionné de 10 ml d'une solution aqueuse de rouge Congo à 25‰, de ce fait la plupart de contaminants absorbent fortement ce colorant, par contre les rhizobia n'absorbent pas le rouge Congo (Jordan, 1984 ; Somasegaran et Hoben, 1994). Les différentes boites ont été incubées à 28°C pendant trois à cinq jours pour l'obtention de colonies isolées. Les colonies obtenues ont été repiquées sur le même milieu par repiquages successifs afin de les purifier. Les isolats ont ainsi formé sur le milieu YEM solide des colonies circulaires de 1 à 3 mm de diamètre d'un aspect gommeux translucide qui sont visibles. Une fois les souches purifiées sont conservées dans des tubes sur pente gélosée de milieu YMA à 4° C dépourvu du rouge congo (Vincent, 1970).

Tableau 27 : Liste des isolats utilisés dans cette étude et leurs plantes hôtes issues de diverses régions de Djelfa.

Isolats	Plante hôte	Origine Géographique
MB72	<i>M. minima</i>	Ain Oussera
MB71	<i>M. minima</i>	Ain Oussera
MB101	<i>M. minima</i>	Deldoul
MB11	<i>M. minima</i>	Mliliha
MB12	<i>M. minima</i>	Mliliha
MB41	<i>M. minima</i>	Charef
MB131	<i>M. minima</i>	Oued Touil
MB121	<i>M. laciniata</i>	Deldoul
MB31	<i>M. laciniata</i>	Messaad
MB61	<i>M. laciniata</i>	Mliliha
MB151	<i>M. laciniata</i>	Bouiret Lahdab
MB91	<i>M. laciniata</i>	Oued Touil
MB92	<i>M. laciniata</i>	Oued Touil
MB21	<i>M. truncatula</i>	Bouiret Lahdab
MB22	<i>M. truncatula</i>	Bouiret Lahdab
MB111	<i>M. truncatula</i>	Oued Touil
MB81	<i>M. truncatula</i>	Mliliha
MB51	<i>M. truncatula</i>	Ain Oussera
MB52	<i>M. truncatula</i>	Ain Oussera
MB141	<i>M. truncatula</i>	Charef
MB142	<i>M. truncatula</i>	Charef
MB143	<i>M. truncatula</i>	Charef
MB144	<i>M. truncatula</i>	Charef
MB145	<i>M. truncatula</i>	Charef
MB146	<i>M. truncatula</i>	Charef

II. 3. Authentification des isolats

La capacité d'induire la formation de nodosités sur la racine de la légumineuse hôte est un critère de base dans la caractérisation des rhizobia (**El Hilali, 2006 ; Bekki et al, 1987, Merabet et al, 2006 ; Baha et Bekki, 2014 ; Chaich et al, 2016**). Les isolats extraits des nodosités ne peuvent être reconnus comme étant des rhizobia qu'après avoir permis l'induction des nodules sur leurs plantes hôtes (**Graham et al., 1991**). L'authentification nous permet d'évaluer le pouvoir infectieux de chacun des isolats obtenus vis-à-vis des plantules des populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*.

Les graines des différentes populations ont été scarifiées afin d'accélérer la germination, puis ont été stérilisées par passages successifs dans un bain d'éthanol 95° pendant 30 secondes, suivi d'un bain de chlorure mercurique pendant 3 minutes. Après plusieurs lavages, les graines ont été déposées dans des boîtes de pétri contenant de l'eau gélosée, puis ont été placées dans un incubateur à l'obscurité à 25° pour germer. Après germination, les graines non contaminées ont été transférées aseptiquement dans des tubes à essai contenant le milieu Fahraeus stérile à raison d'une plantule par tube.

Après trois à cinq jours d'incubation, les graines germées des différentes populations des trois espèces ont été inoculées avec 1ml de la suspension bactérienne à une concentration avoisinante de 10^7 bactéries/ml. Trois répétitions par isolat ont été réalisées. Les tubes à essai ainsi préparés ont été mis dans une chambre de culture (température 25°C, humidité 85%, photopériode 16h lumière/ 8h obscurité). Les plantules sont examinées régulièrement pour suivre l'apparition des nodules sur les racines.

II. 4. Les caractères phénotypiques

Pour cette étude, les souches authentifiées ont fait l'objet d'une série de tests spécifiques à la caractérisation des rhizobia (**O'Brien et Colwell, 1987**). Parmi les tests retenus :

II. 4. 1. La croissance

Les techniques basées sur l'évaluation de la masse microbienne par la méthode Spectrométrique utilisent la mesure de l'absorbance qui est proportionnelle à la concentration bactérienne (**Sylla et al. (1997)**). Généralement, la densité optique d'une suspension bactérienne est corrélée avec le nombre de cellules contenues (**Somasegaran et Hoben, 1994**).

Pour cette étude, une préculture de 24 heures (1 ml) de chacun des isolats a servi à ensemercer cinquante millilitres de milieu YEM liquide dans des erlenmeyers de 250 ml. Les cultures sont ensuite incubées sous agitation rotative de 200 rpm à 28 °C. La densité des bactéries a été estimée par la mesure de la densité optique à 620 nm toutes les deux heures à l'aide d'un spectrophotomètre (**Monza et al. 1992**). Le temps de génération des isolats est calculé selon la formule suivante :

$$\mu = \frac{\ln(DO_t) - \ln(DO_0)}{t}$$

$$k = \mu / \ln 2$$

$$TG = 1 / k$$

TG : temps de génération en heures, temps qui sépare deux générations successives

μ : taux de croissance népérien

k : taux de croissance numérique

$\ln 2$: logarithme népérien de 2

$\ln(DO_{initial})$: logarithme népérien de la densité optique au temps 0 (début de la phase exponentielle de croissance)

$\ln(DO_{finale})$: logarithme népérien de la densité optique au temps t (fin de la phase exponentielle de croissance)

t : l'intervalle de temps

II. 4. 2. Tests physiologiques

II. 4. 2. 1. Tolérance à la température

Le but de ce test est d'évaluer la tolérance des souches aux fortes températures, pour cela nous avons essayé de déterminer la capacité des souches isolées à tolérer différentes température après une semaine d'incubation à 20, 25, 30, 32, 35, 40 et 44°C.

II. 4. 2. 2. Tolérance à la salinité

La gamme de tolérance au sel des rhizobia est variable selon la souche et le type de sel (**El Sheikh *et al.*, 1989 ; Bekki 1986 ; Bekki *et al.*, 1987**). Pour notre étude, les souches ont été évaluées pour leur tolérance à la salinité sur le milieu YEM solide renfermant des teneurs croissantes en NaCl: 200mM, 400mM, 600mM, 800mM et 1000mM.

II. 4. 2. 3. Tolérance au pH

La majorité des légumineuses préfèrent des pH neutres ou légèrement acides pour établir une symbiose efficiente dans le sol (**Bordeleau et Prévost, 1994**), alors que les rhizobia ont la capacité de tolérer des pH allant de 4.5 à 9 (**Jordan, 1984**). Pour notre étude, les souches ont été évaluées pour leur tolérance au pH sur le milieu YEM solide à 0,1% NaCl après une semaine d'incubation à 28°C. Les valeurs du pH du milieu sont: 5.5, 6.5, 7.5, 8.5 et 9.5.

III. Analyse des données

Un dendrogramme a été réalisé montrant les relations entre les différentes souches testées selon la méthode *Unweighted pair group method using arithmetic average* (UPGMA) en utilisant le logiciel Minitab 13.0. L'analyse en composantes principales (ACP) est réalisée avec le logiciel Statistica 6.0 dans le but de regrouper les souches de rhizobium.

IV. Résultats et discussion

VI. 1. La croissance

L'évaluation du temps de génération des 25 souches isolées chez *M. minima*, *M. laciniata* et *M. truncatula* dans le milieu YMB montre une grande variation de la vitesse de croissance chez les souches étudiées. La durée minimale du temps de génération a été enregistrée pour la souche MB51 et MB61 avec 3h 32 min. 64% des souches ont présenté un temps de génération supérieur à 4 h et 36% de souches ont un temps de génération inférieur à 4 h (Tableau 28). Les résultats montrent que toutes les souches présentent un temps de génération variant de 3 h à 5 h. Ces résultats confirment ceux obtenus par **Rome et al. (1996)**, qui notent que le temps de génération varie entre 3 et 5 h chez les souches de plusieurs espèces annuelles de *Medicago*.

Selon **Klein et al. (2014)** et **Sylla et al. (1997)**, les souches à croissance rapide présentent un temps de génération inférieur à 5 h, alors qu'il est supérieur à 5 h pour les souches de *Rhizobium* à croissance lente. D'après les résultats obtenus, les souches isolées chez les populations des trois espèces étudiées sont des souches à croissance rapide (TG < 5 h), ce qui est en accord avec la description de **Voisin et Gastral (2015)** et

Mouafek (2010) qui signalent que les souches de Rhizobium associées avec la luzerne, les trèfles, les vesces et la fève sont des Rhizobiums à croissance rapide.

Selon (**Boulila *et al.*, 2006**) les colonies des souches à croissance rapide présentent une forme circulaire à bord régulier de couleur blanchâtre, translucides présentant un aspect lisse.

Tableau 28 : Temps de génération des souches des trois espèces de luzernes annuelles

Souches	Temps de Génération
MB72	4h 06min
MB71	4h 01min
MB101	4h 01min
MB11	4h 36min
MB12	4h 38min
MB41	4h 32min
MB131	4h 09min
MB121	4h 10min
MB31	3h 58min
MB61	3h 32min
MB151	4h 03min
MB91	4h 08min
MB92	4h 11min
MB21	3h 35min
MB22	4h 50min
MB111	3h 53min
MB81	3h 45min
MB51	3h 32min
MB52	3h 60min
MB141	4h 20min
MB142	4h 54min
MB143	4h 15min
MB144	3h 44min
MB145	3h 45min
MB146	4h 53min

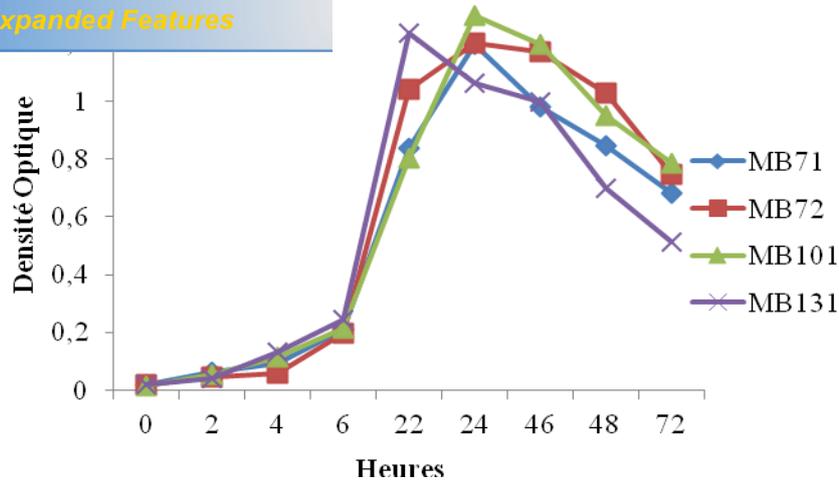


Fig. 7: Courbe de croissance de quelques souches de l'espèce *M. minima*

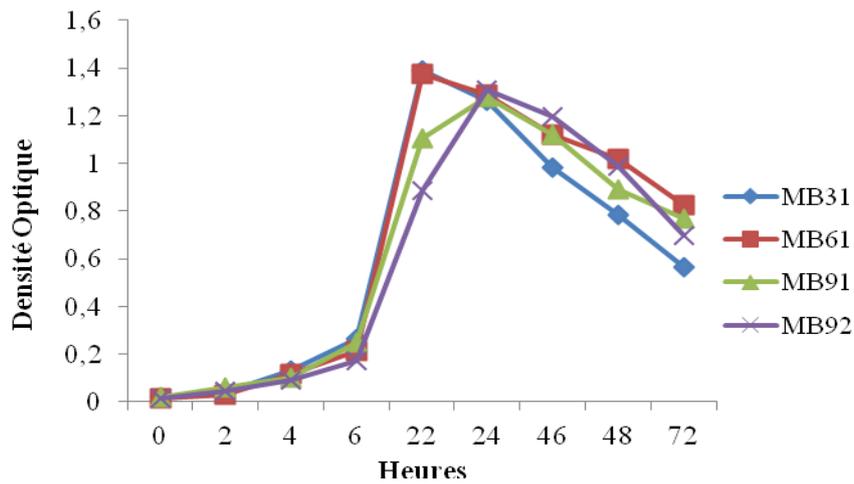


Fig. 8: Courbe de croissance de quelques souches de l'espèce *M. laciniata*

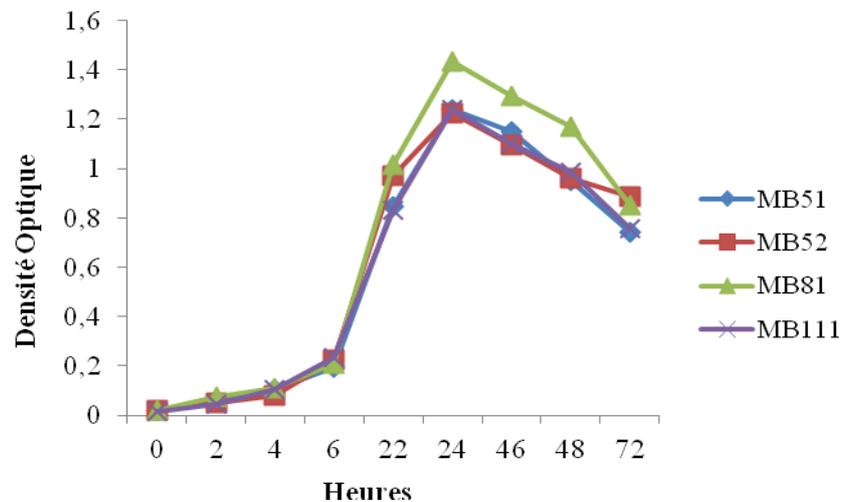


Fig. 9: Courbe de croissance de quelques souches de l'espèce *M. truncatula*

IV. 2. Tolérance à la température

Les Bactéries Nodulant les Légumineuses (BNL), comme les autres bactéries, sont caractérisés par une température optimale de croissance entre 28 °C et 35 °C. Les résultats de la tolérance à la température des souches des populations de *M. minima*, *M. laciniata* et *M. truncatula* sont représentés dans le tableau 28. L'étude montre que la plupart des souches tolèrent des températures de croissance située entre 20 et 35°C. Certaines souches ne peuvent pas tolérer des températures supérieures à 35°C, c'est le cas de 16% de souches telles que MB81, MB91, MB141 et MB142. En outre, 60 % des souches ont pu croître à 40°C, et seulement la souche MB143 a pu supporter une température de 44°C.

Le dendrogramme de l'analyse de similitude est représenté par la figure 8. A 65% du pourcentage de similarité, les souches sont réparties en quatre groupes bien délimités. Le groupe G1 est formé par les souches qui ont présenté une bonne croissance à 20°C et 40°C. Le groupe G2 est représenté par les souches MB61 et MB91, qui ont eu une croissance moyenne à 20°C et 40°C. Le groupe G3 renferme les souches avec une croissance moyenne à 20°C et une faible croissance à 40°C. Le dernier groupe G4 regroupe les souches ayant une faible croissance à 20°C et aucun développement à des températures supérieures à 35°C.

La température optimale pour la croissance des rhizobia varie selon la zone climatique (**Cacciari et al. 2003**). **Graham (1992)** indique que pour la plus part des rhizobiums, la température optimale de croissance se situe entre 28 et 31° C. **Boulila et al. (2006)**, signalent que toutes les souches isolées chez *M. minima* montrent un optimum de croissance à 41° C, alors que les souches isolées chez *M. truncatula* ont présenté un optimum de croissance situé entre 25 et 35°C **Belhadi et al. (2006)**.

La tolérance des rhizobia à la température chez d'autres espèces de légumineuses a été étudiée par plusieurs auteurs. Chez le Lupin (*Lupinus letus*), **El Hilali (2006)** a rapporté que la totalité des souches de l'amas nodulaire et la plupart des autres souches tolèrent des températures variant de 4 à 42°C. **Pereira Alexandre (2010)** montre que les rhizobia associés au Pois chiche (*Cicer arietinum*) ont présenté une grande diversité dans leur tolérance au stress induit par de forte température, et les isolats poussent mieux sous faible température que sous haute température. **Pinto et al. (1998)** rapporte que les souches de rhizobium nodulant le haricot (*Phaseolus vulgaris*) isolées des sols de Cerrado (Brésil) tolèrent des températures variaient entre 35°C à 39°C.

Ainsi, une température élevée du sol entraîne la formation de nodules inefficaces ; certaines souches de rhizobia ont été signalées comme étant tolérantes à la chaleur et forment des symbioses efficaces avec leurs légumineuses hôtes (**Pathak et al., 2017**). Toutefois, **Yadav et Nehra (2013)** signalent que des souches de rhizobium sont capables de tolérer une température élevée pendant une courte durée, mais aucune d'entre elles ne pouvaient tolérer des températures élevées pendant des périodes prolongées.

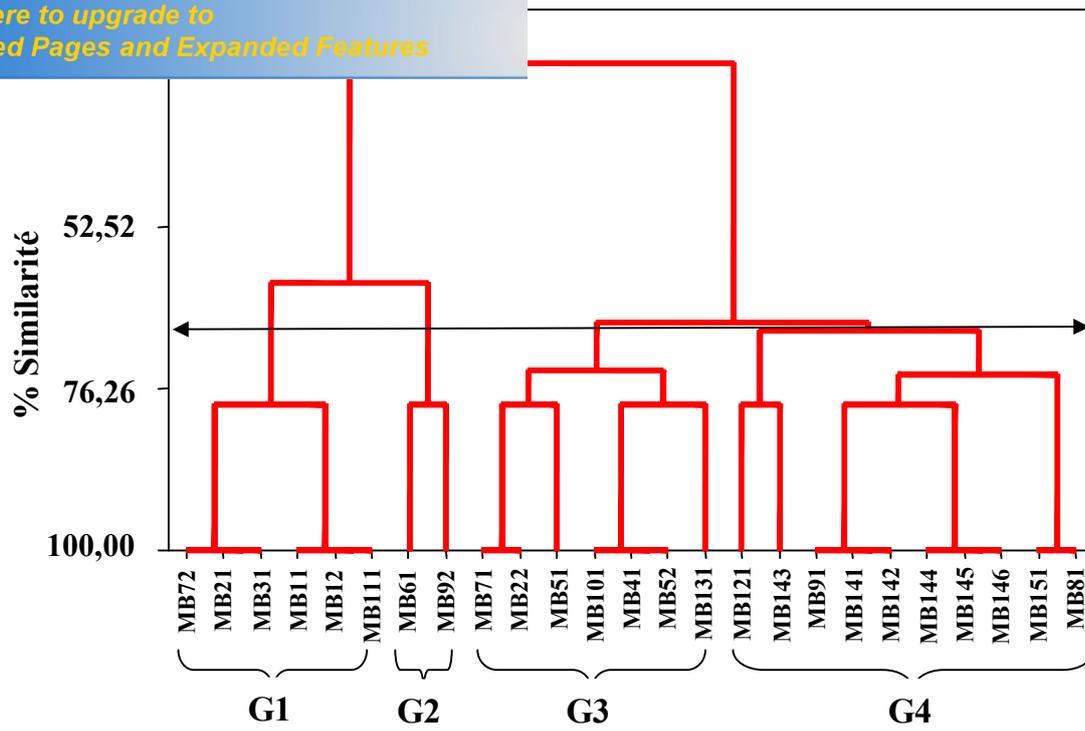


Fig. 10: Dendrogramme regroupant les isolats étudiés en fonction de leurs tolérances à la température

Tableau 29 : Tolérance à la température des souches des trois espèces de luzernes annuelles

Souches	20 °C	25 °C	30 °C	32 °C	35° C	40 °C	44 °C
MB72	++	+++	+++	+++	+++	+++	-
MB71	++	+++	+++	+++	+	-	-
MB101	++	+++	+++	+++	+	+	-
MB11	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
MB12	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
MB41	++	+++	+++	+++	+	+	-
MB131	+++	+++	+++	+++	+	+	-
MB121	+	+++	+++	+++	+	+	-
MB31	++	+++	+++	+++	+++	+++	-
MB61	++	+++	+++	+++	++	++	-
MB151	++	+++	+++	+++	-	-	-
MB91	+	+++	+++	+++	-	-	-
MB92	+	+++	+++	+++	++	++	-
MB21	++	+++	+++	+++	+++	+++	-
MB22	++	+++	+++	+++	+	-	-
MB111	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-
MB81	++	+++	+++	+++	-	-	-
MB51	++	+++	+++	+++	++	++	-
MB52	++	+++	+++	+++	+	+	-
MB141	+	+++	+++	+++	-	-	-
MB142	+	+++	+++	+++	-	-	-
MB143	+	+++	+++	+++	+	+	+
MB144	+	+++	+++	+++	+	-	-
MB145	+	+++	+++	+++	+	-	-
MB146	+	+++	+++	+++	+	-	-

+++ : Très bonne croissance; ++ : croissance moyenne; + : faible croissance; - : pas de croissance.

IV. 3. Tolérance à la salinité

Pour la tolérance à la salinité, les résultats obtenus (Tableau 29) montrent des réponses variables des souches aux différentes concentrations de NaCl. En effet, nous remarquons que toutes les souches testées ont présenté une croissance normale à des concentrations de 200 mM et 400 mM. Toutefois, 60% des souches peuvent tolérer une concentration de 600 mM, avec une meilleure croissance des souches MB145 et MB146 en présence de cette concentration. Au-delà de cette concentration aucune croissance n'a été signalée chez tous les isolats.

L'analyse de similitude montre que les 25 souches forment trois groupes aux tolérances relativement similaires, qui sont délimités à un taux de similarité équivalant à 76% (Fig. 9). La comparaison de tolérance indique que les souches du groupe G2 se distinguent par une bonne croissance à 600 mM, le groupe G1 présente une tolérance moyenne à cette concentration, alors que le groupe G3 n'a manifesté aucune croissance en présence de cette concentration

Nos résultats confirment ceux obtenus par **Merabet et al. (2006)**, qui indiquent que toutes les souches isolées des nodosités *M. ciliaris* et *M. plymorpha* ont eu une croissance normale en présence de 200 ou 400 mM de NaCl, dont vingt-six isolats ont toléré une concentration de 600 mM de NaCl, et quinze souches ont pu croître à une concentration allant jusqu'à 800 mM de NaCl. **Bekki et al. (2003)** signalent que 800 mM est la concentration maximale inhibitrice de la croissance des souches de *S. meliloti* étudiées. Selon **Zahran et al. (1994)**, certaines souches sont inhibées à une concentration de 100 mM de NaCl, alors que d'autres peuvent tolérer des concentrations de 1700 mM. Selon **Farissi et al. (2014)**, la salinité est un facteur majeur limitant la fixation symbiotique de l'azote. Elle affecte d'une manière délétère la croissance et la persistance des souches rhizobiennes dans le sol. **Elboutahiri et al. (2010)** signalent que quatre isolats de *S. meliloti* provenant des zones salines du sud

du Maroc ont présenté une forte tolérance au sel (1711 mM), indiquant ainsi que les sols salins sélectionnent naturellement des souches plus résistantes à la salinité.

Jebara et al. (2000), en étudiant la tolérance des bactéries isolées des nodosités de *M. sativa cv Gabes*, *M. scutellata* et *M. truncatula* au NaCl, ont distingués trois grands groupes d'isolats de *Sinorhizobium*, huit isolats sensibles ne tolérant pas plus de 0.15 mole, quatre isolats résistants, capables de supporter des concentrations supérieures à 0.7 mole, les 72 % restants, de tolérance intermédiaire, tolèrent des concentrations supérieures ou égales à 0.5 mole de NaCl. **Trabelsi et al. (2010)** en évaluant 150 populations de *Sinorhizobium* pour la tolérance au sel à la fois dans un milieu solide et liquide, ont rapporté la formation de trois classes principales phénotypiques, avec des seuils de tolérance de 300 mM, 600 mM et 1 M de NaCl. Selon **Bendifallah (2007)**, 57% des souches isolées chez quatre espèces de *Medicago* annuelles se sont développées à 500 mM, et parmi ces souches, 22 confirment cette tendance et se sont révélées capables de croître en présence de 1000 mM de NaCl, dont 12 capables de maintenir leurs capacités prolifératives à 1,5 mole de NaCl. **Belhadi et al. (2006)** signalent que les souches isolées chez *M. truncatula* ont une croissance appréciable à 400 mM, et deux de ses souches semblent tolérées une concentration de 500 mM. Chez le genre *Hédysarum*, **Torche (2006)** signale que toutes les souches testées croissent en présence des concentrations variant entre 85.5 mM et 855 mM, et aucune croissance n'a été observée à une concentration de 1710 mM pour la majorité des souches. **El-Hilali (2006)** a noté que la majorité des souches isolées chez le lupin présentent une bonne tolérance à des concentrations élevées de NaCl, et a pu identifier des souches qui tolèrent jusqu'à 1700 mM. Selon **Pathak et al. (2017)** Les capacités de tolérance au sel du rhizobium peuvent avoir un effet important sur les associations réussies de Rhizobium-légumineuses dans des conditions de salinité.

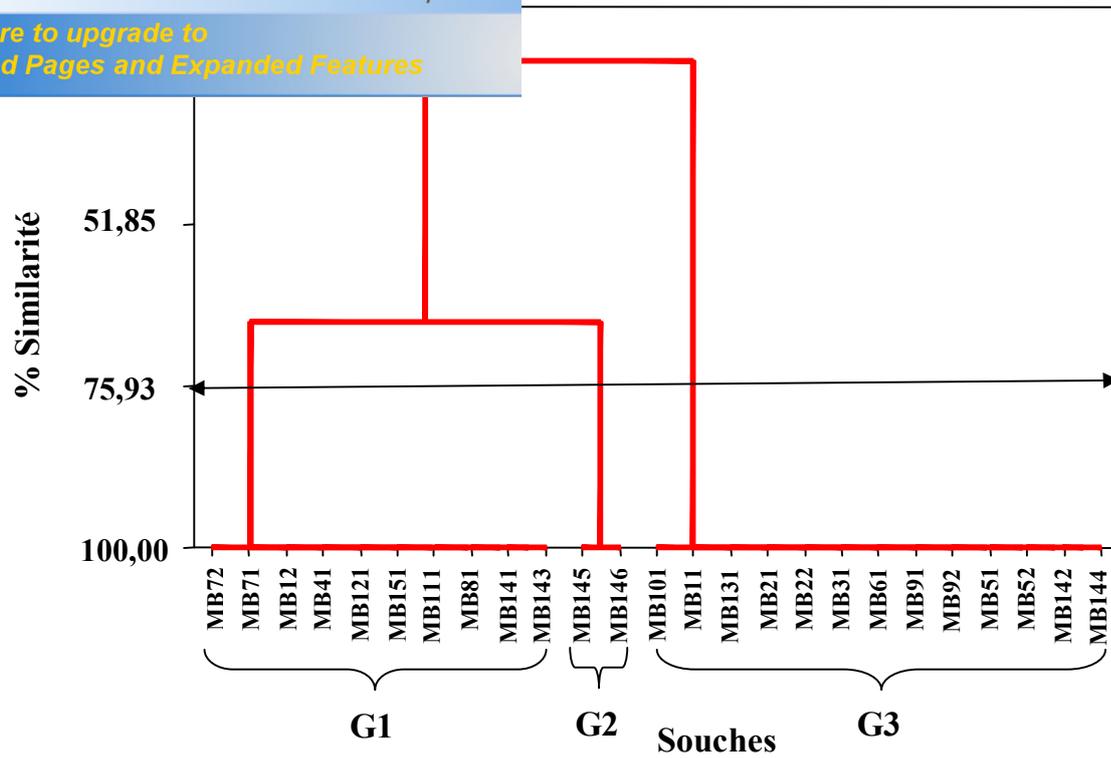


Fig. 11: Dendrogramme résultant de la tolérance des souches à la salinité

Tableau 30 : Tolérance à NaCl des souches des trois espèces de luzernes annuelles

Souches	T	200 mM	400 mM	600 mM	800Mm	1000 Mm
MB72	+++	+++	+++	++	-	-
MB71	+++	+++	+++	++	-	-
MB101	+++	+++	+++	-	-	-
MB11	+++	+++	+++	-	-	-
MB12	+++	+++	+++	++	-	-
MB41	+++	+++	+++	++	-	-
MB131	+++	+++	+++	-	-	-
MB121	+++	+++	+++	++	-	-
MB31	+++	+++	+++	-	-	-
MB61	+++	+++	+++	-	-	-
MB151	+++	+++	+++	++	-	-
MB91	+++	+++	+++	-	-	-
MB92	+++	+++	+++	-	-	-
MB21	+++	+++	+++	-	-	-
MB22	+++	+++	+++	-	-	-
MB111	+++	+++	+++	++	-	-
MB81	+++	+++	+++	++	-	-
MB51	+++	+++	+++	-	-	-
MB52	+++	+++	+++	-	-	-
MB141	+++	+++	+++	++	-	-
MB142	+++	+++	+++	-	-	-
MB143	+++	+++	+++	++	-	-
MB144	+++	+++	+++	-	-	-
MB145	+++	+++	+++	+++	-	-
MB146	+++	+++	+++	+++	-	-

+++ : Très bonne croissance; ++ : croissance moyenne; + : faible croissance; - : pas de croissance.

IV. 4. Tolérance au pH

Les résultats de la tolérance au pH montrent une tolérance très variable des souches testées (Tableau 30). On a remarqué que les souches MB71 et MB72 ont une préférence pour les pH acides par rapport aux pH basiques. Alors que les souches MB12 et MB144 ont une bonne croissance en présence d'un pH 9.5. Cependant, les souches MB11, MB21, MB22, MB81, MB142, MB143 et MB144, représentant 28%, n'ont pas pu croître au pH 5.5, alors que les souches MB71, MB72, MB101, MB41, MB131, MB121, MB31, MB61, MB91 et MB111, représentant 40%, n'ont pas pu se développer au pH 9.5.

L'analyse de similitude montre que les 25 souches forment cinq groupes, qui sont délimités à un taux de similarité équivalant à 67% (Fig. 10). Le groupe G1 est constitué des souches avec une bonne croissance à des pH acides que basiques. Les souches du groupe G2 montrent un optimum de croissance situé entre le pH 5.5 et le pH 8.5, mais elles ont tendance à pousser beaucoup mieux à des pH acides. Le groupe G3 est formé de souches présentant une croissance faible à nulle avec tous les pH. Le groupe G4 renferme les souches qui ont une tendance à bien se développer à des pH basique qu'acides. Les souches du groupe G5 ont présenté une bonne croissance entre pH 6.5 et 8.5, et une croissance faible à nulle à pH 5.5 et 9.5.

Selon **Jordan (1984)**, les rhizobia ont la capacité de tolérer des pH allant de 4.5 à 9. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Boulila et al. (2006)**. Ces derniers auteurs ont signalé que toutes les souches isolées chez *M. minima* survivent à pH 5, alors que quelques souches ont montré un optimum de croissance à pH 9. **Belhadi et al. (2006)** notent que la plupart des souches isolées chez *M. truncatula* montrent un optimum de croissance situé entre le pH 5 et le pH 7. **Sebbane et al. (2006)** rapportent que toutes les souches isolées chez *M. arabica*, *M. polymorpha*, *M. minima* et *M. orbicularis* tolèrent des pH de 5 à 9. **Elboutahiri et al. (2010)** ont

remarqué que tous les isolats de *Sinorhizobium meliloti* et *Sinorhizobium medicae* nodulant la luzerne testées croient en pH alcalin (pH 9 et 9.5). Chez le genre *Hédysarum*, les souches peuvent survivre dans l'intervalle de pH 4.0 à 10.0, et l'optimum de croissance de toutes les souches testées se situe entre le pH 6.5 et le pH 7.5 (Torche, 2006).

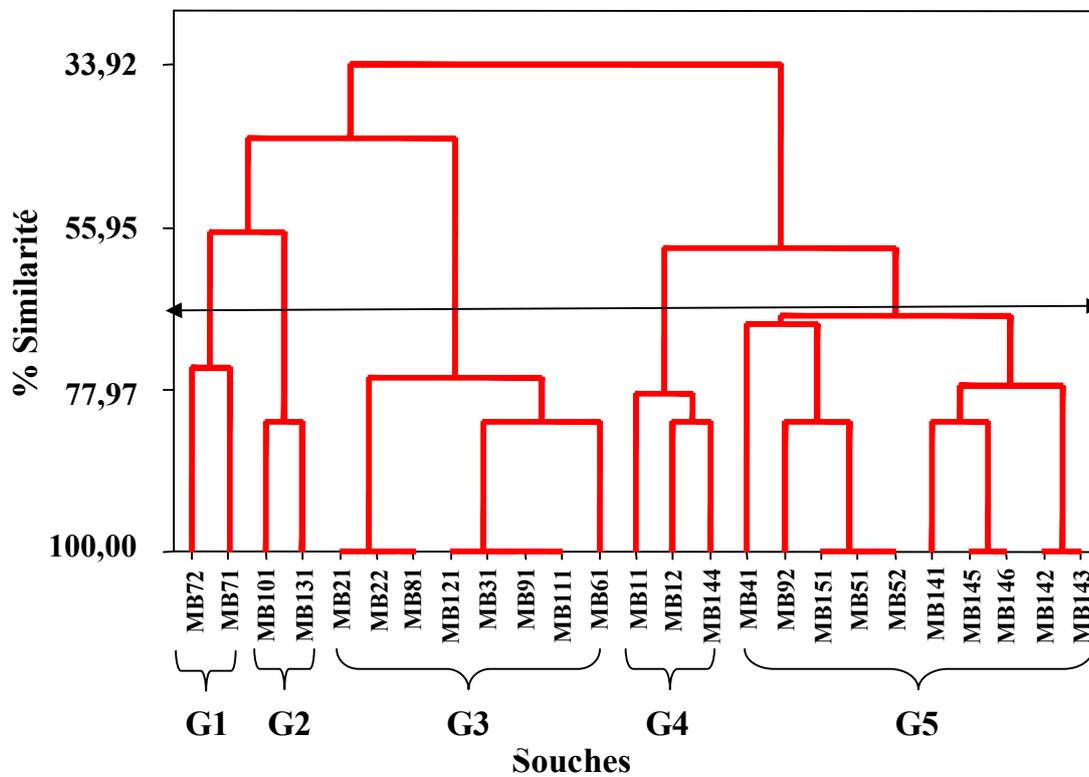


Fig. 12: Dendrogramme résultant de la tolérance des souches au pH

Tableau 31 : Tolérance au pH des souches des trois espèces de luzernes annuelles

Souches	pH 5.5	pH 6.5	pH 7.5	pH 8.5	pH 9.5
MB72	+++	+++	+	-	-
MB71	+++	+++	+	-	-
MB101	++	+++	+++	+	-
MB11	-	++	+++	+++	++
MB12	+	++	+++	+++	+++
MB41	++	+++	+++	+++	-
MB131	++	+++	+++	+	-
MB121	+	+	+	+	-
MB31	+	+	+	+	-
MB61	-	+	+	+	-
MB151	-	+	+	+	-
MB91	+	+	+	+	-
MB92	++	+++	+++	+++	+
MB21	-	+	+	+	+
MB22	-	+	+	+	+
MB111	+	+	+	+	-
MB81	-	+	+	+	+
MB51	++	+++	+++	+++	+
MB52	++	+++	+++	+++	+
MB141	+	+++	+++	+++	+
MB142	-	+++	+++	+++	+
MB143	-	+++	+++	+++	+
MB144	-	++	+++	+++	+++
MB145	+	+++	+++	++	+
MB146	+	+++	+++	++	+

+++ : Très bonne croissance; ++ : croissance moyenne; + : faible croissance; - : pas de croissance.

IV. 5. Typologie des souches établis par Analyse en Composante Principale

L'analyse en composante principale (ACP) menée pour l'étude de la diversité des souches isolées des nodosités de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula* s'est basée sur les caractères physiologiques, dont la variance est supérieure à 0 ($\sigma^2 > 0$). Les deux principales composantes absorbent 53.85 % de la variation totale. La première composante principale explique 33.16 % de la diversité totale, alors que la deuxième composante explique 20.69 %.

D'après les résultats de l'ACP, une grande plasticité de tolérance au pH, à la salinité et à la température a été notée pour l'ensemble des souches malgré leur provenance de régions très différentes. Ceci explique peut être que l'origine géographiques des isolats n'influe pas sur leur tolérance à ces stress abiotiques. La dispersion des individus dans le plan défini par les deux composantes principales a révélé une forte hétérogénéité entre les différentes souches.

Le premier axe a mis en évidence deux groupes de souches. Le premier groupe constitué des souches MB41, MB51, MB52, MB141, MB142, MB143, MB144, MB145, MB146 et MB151 se distingue du deuxième groupe formé de MB21, MB22, MB31, MB61, MB72 et MB111 par une bonne croissance au pH allant de 6.5 à 9.5. Le deuxième axe sépare les souches MB11, MB12, MB92 et MB131, qui se caractérisent par un bon développement aux températures 20°C, 35°C et 40°C, des souches MB71, MB81, MB91 et MB121.

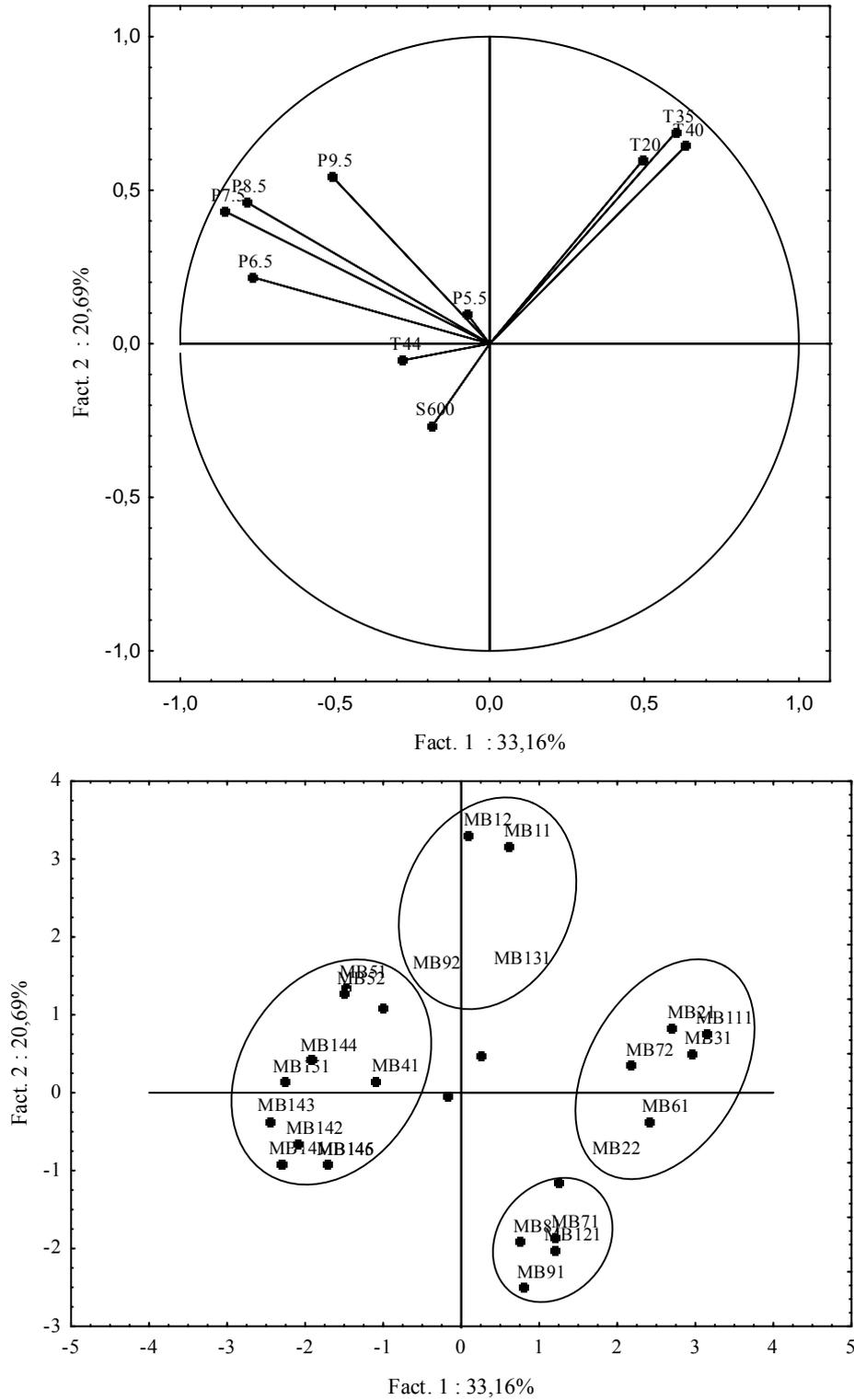


Fig. 13: Représentation sur le plan formé par les axes 1 et 2 de l'ACP des souches et des paramètres physiologiques testés

V. Conclusion

Dans cette étude nous avons essayé de caractériser et d'identifier des souches bactériennes isolées à partir des nodules des populations naturelles appartenant à *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*.

25 souches bactériennes obtenues ont été utilisées lors de cette étude. L'évaluation du temps de génération a montré une grande variation de la vitesse de croissance chez les souches. Les résultats montrent que toutes les souches possèdent un temps de génération qui varie de 3 h à 5 h. 64% de ces souches ont présenté un temps de génération supérieur à 4 h, alors que 36% ont eu un temps inférieur à 4 h. Cette croissance rapide est d'une grande importance pratique surtout dans les stratégies de production d'inoculum (**El-Hilali, 2006**).

Les résultats des tests physiologiques montrent une variabilité des souches pour leurs tolérances à la température, la salinité et au pH. En effet, la plupart des souches ont poussé sur une gamme de pH allant de 4,5 à 9,5. Toutefois, les souches MB71 et MB72 préfèrent les pH acides, contrairement à la majorité des autres souches. Pour la tolérance à la température, les résultats ont montré que seulement la souche MB143 a pu supporter et croître à une température de 44°C. Pour la tolérance à la salinité, nous avons noté que les souches MB145 et MB146 se sont distinguées par une meilleure croissance à 600 mM.

D'après les résultats de l'analyse en composantes principales, la dispersion des individus dans le plan défini par les deux composantes principales a révélé une forte hétérogénéité entre les souches des trois populations de *Medicago*, ce qui nous permettra d'identifier des souches résistantes aux facteurs environnementaux très variables.

D'autres recherches devraient être effectuées afin d'approfondir cette caractérisation phénotypique par l'utilisation d'autres tests phénotypiques (Biochimiques, nutritionnels, résistance aux antibiotiques), qui sera suivi par une caractérisation génétique par l'utilisation des techniques moléculaires, en l'occurrence le séquençage du gène de l'ADNr 16S.

Conclusion générale

L'utilisation des ressources phytogénétiques locales dans les programmes d'amélioration génétique des plantes est très importante, et particulièrement pour les espèces fourragères en vue d'améliorer la production fourragère en Algérie. Les ressources phytogénétiques du genre *Medicago* L., par leur capacité d'adaptation et de production de graines, peuvent jouer un rôle déterminant l'amélioration de la production fourragère et la valorisation des parcours des régions arides et semi-arides.

Au cours de ces travaux de recherche, nous avons pu, en premier lieu caractériser les populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*. Pour cette première étude les caractères morphologiques de la plante et les caractères des gousses et des graines ont été mesurés, analysés et discutés. En second lieu, nous avons évalué quinze génotypes au niveau de la station expérimentale de l'INRAA à Baraki, en se basant sur les caractères du développement végétatif des populations, de la phénologie, ainsi que l'évaluation du rendement et de ses composantes dans le but de sélectionner populations plus productives en fourrage et aussi en gousses et en graines. La dernière étude a pour objectif d'examiner les réponses de croissance de différentes souches de *Rhizobium*, isolées chez des populations naturelles de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*, à la température, la salinité et au pH, pour déterminer le degré de variabilité des souches à ces réponses en vue de sélectionner des souches tolérantes.

La caractérisation et l'évaluation des populations de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *M. truncatula* à l'aide des paramètres phéno-morphologiques et agronomiques nous a permis d'apprécier la variabilité génétique existante au sein des trois espèces étudiées. Cette variabilité serait d'une grande utilité, en nous offrant des possibilités pour la sélection d'un matériel végétal adapté à exploiter dans les systèmes d'élevage en Algérie. Les résultats de l'analyse de la variance des deux premières études ont révélé des différences significatives à très hautement significatives entre les populations pour la majorité des caractères mesurés chez les trois espèces, sauf pour les variables nombres des entre-nœuds et ramifications primaires chez *M. truncatula*.

A travers Les résultats obtenus, nous avons noté que les populations des trois espèces présentent un grand potentiel de production de fourrage vert et de graines. Ces mêmes populations se sont caractérisées par un bon développement végétatif, avec une tendance à mieux se développer au printemps qu'en hiver. Toutefois, les populations de *M. truncatula* se sont caractérisées par un bon développement en largeur, alors que les populations de *M. laciniata* et *M. minima* ont enregistré un meilleur développement en hauteur. Les populations des trois espèces ont enregistré des rendements élevés en gousses et en graines. Ceci indique la capacité de ces populations à régénérer naturellement les parcours grâce aux stocks de graines qu'elles constituent et leur pouvoir de s'auto-régénérer année après année. Cependant les populations de *M. minima* ont été les plus productives en gousses et en graines, par contre les populations de *M. truncatula* ont les graines les plus grosses et les plus lourdes. Chez les trois espèces, les caractères liés à la production de gousses et de graines sont très fortement liés entre eux, ainsi le rendement en graines dépend fortement du nombre de gousses.

Concernant la floraison, les dates de floraison varient significativement entre les populations et entre les espèces. *M. truncatula* est l'espèce la plus précoce, par contre *M. minima* et *M. laciniata* ont fleuri au même temps. Nous avons noté que pour *M. laciniata*, les populations les plus précoces proviennent des régions à haute altitude, alors que pour *M. minima*, les populations les plus tardives sont issues des régions à haute altitude. Pour *M. truncatula*, il n'y a pas de relation entre l'altitude du milieu d'origine des populations et le début de la floraison.

25 souches bactériennes obtenues ont été utilisées dans l'étude de la caractérisation des bactéries symbiotiques de luzernes annuelles. Ainsi, 92 % des souches ont présenté un taux de croissance rapide (24h).

Les résultats de l'évaluation de la tolérance de toutes les souches vis à vis des principaux facteurs environnementaux montrent une variabilité pour la tolérance à la température, la salinité et au pH. En effet, la plus part des souches ont poussé sur une gamme de pH allant de 4.5 à 9,5. Toutefois, les souches MB71 et MB72 préfèrent les pH acides, contrairement à la majorité des autres souches. Pour la tolérance à la température, les résultats ont montré que toutes les souches tolèrent des températures de croissance situées entre 20 et 35° C, seulement la souche MB143 a pu supporter et croître à une température de 44°C. Pour la tolérance à la salinité, nous avons noté que les souches testés ont présenté une croissance normale allant de 200 à 400 mM, seules les souches MB145 et MB146 se sont distinguées par une meilleure croissance à 600 mM.

L'analyse en composantes principales, regroupant toutes les données des tests physiologiques, nous a permis de noter une grande dispersion des individus dans le plan défini par les deux composantes principales. En fait les souches ont présenté une forte hétérogénéité, ce qui nous permettra d'identifier et sélectionner des souches résistantes aux facteurs environnementaux très variables.

D'autres recherches futures devraient être menée sous serre et/ou au champ afin de sélectionner des populations capables d'avoir une nodulation abondante et une activité élevée de la nitrogénase en conditions défavorables (stress hydrique et stress salin) pour permettre une fixation efficace afin d'améliorer la productivité des sols pauvres en éléments nutritifs des régions arides et semi-arides. Ainsi que l'approfondissement de la caractérisation des souches obtenues par l'utilisation d'autres tests phénotypiques (Biochimiques, nutritionnels, résistance aux antibiotiques), qui sera suivi par une caractérisation génétique par l'utilisation des techniques moléculaires, en l'occurrence le séquençage du gène de l'ADNr 16S.

Références bibliographiques

Aabbar K. 1994. Performance d'écotypes autochtones de *Medicago spp.* Annuelles et de *Trifolium subterraneum* au Maroc. *Al Awamia* 84: 51-66.

Abdelguerfi A. 1978. Contribution à l'étude écologique des luzernes annuelles en Algérie. Thès. Magist. INA, El-Harrach, 105 p.

Abdelguerfi A., Abdelguerfi-Berrekia R. 1987. Le système blé-medicago ? Pourquoi, où et comment ? *Céréaliculture* 16: 44-45.

Abdelguerfi A, Chapot J. Y., Conesa A. P., Roseau R. 1988. Contribution à l'étude des espèces spontanées du genre *Medicago* L. en Algérie. I. Répartition des espèces en fonction des facteurs du milieu. *Ann. Inst. Nat. Agro. El-Harrach*, Vol. 12 (1): 304-328.

Abdelguerfi A, 2002. Ressources génétiques d'intérêt pastoral et/ou fourrager. Distribution et variabilité chez les légumineuses spontanées (*Medicago*, *Trifolium*, *Scorpiurus*, *Hedysarum* et *Onobrychies*) en Algérie. Thèse de doctorat, INA El-Harrach, Alger, 375 p.

Abdelkefi A. Marrakchi M. 2000. Les ressources phytogénétiques fourragères et pastorales : de l'érosion à la conservation. Legumes for Mediterranean forage crops, pastures and alternative uses. *Cah. Options Méditerranéennes*, vol. 45: 15–27.

Abdelmoneim A., Cocks P. S. 1986. Adaptation of *Medicago regidula* to a cereal rotation in north-west Syria. *J. Agri. Sci.* 27: 227-234.

Adem L., 1974. Etude du comportement de *Medicago* annuelles (écotypes locaux et populations étrangères) dans les régions de Sétif, Médéa, Tiaret et Alger. Thès. Ing. Agro., INA, El-Harrach, 95p.

Arraouadi S., Badri M., Huguet T., Aouani M. E. 2006. Caractérisation phénotypique des populations naturelles de la légumineuse modèle *Medicago truncatula* (Fabaceae) issues du sud Tunisien. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 99-103.

Bagheri M., Sanavy S. A. M. M., Dolatabadian A. 2010. Impact of inter-row spacing on yield and yield components of several annual medics species. *Not. Sci. Biol.* 2: 116-124.

Badri M., Lazreg F., Huguet T., Aouani M. E. 2002. Polymorphisme génétique des populations naturelles de *Medicago truncatula* et *Medicago laciniata* issues des régions arides de la Tunisie. *Rangeland and pasture rehabilitation in Mediterranean areas. Cahiers Options Méditerranéennes*, vol. 62: 51-54.

Badri M., Zitoun A., Huguet T., Aouani M. E. 2006. Genetic variation within and among natural populations of *Medicago laciniata* Mill. (Fabaceae) investigated by quantitative traits. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 93-98.

Badri M., Ilahi H., Huguet T., Aouani M. E. 2007. Quantitative and molecular genetic variation in sympatric populations of *Medicago laciniata* and *M. truncatula* (Fabaceae): relationships with eco-geographical factors. *Genet. Res. Camb.* 89: 107–122.

Badri M., Zitoun A., Ilahi H., Huguet T., Aouani M. E. 2008. Morphological and microsatellite diversity associated with ecological factors in natural populations of *Medicago laciniata* Mill. (Fabaceae). *J. Genet.* 87: 241-255.

Baha N., Bekki A. 2014. An approach of improving plant salt tolerance of Lucerne (*Medicago sativa*) grown under salt stress: Use of bio-inoculants. *Journal of Plant of Growth Regulation* 34: 169- 182.

Bekki A. 1986. Fixation d'azote en condition de stress salin chez *Medicago*: Sensibilité respective des partenaires symbiotiques. Thèse Doctorat. Université des sciences et techniques de Nice, France, 80p.

Bekki A. 1995. Effet de la salinité sur la fixation d'azote chez l'association *Rhizobium- Medicago* : Sensibilité du partenaire bactérien à l'état libre et sous forme de microsymbiotes. Tentative d'essai au champ. In Facteurs limitants la fixation symbiotique de l'azote dans le bassin Méditerranéen. Les colloques 77: 139- 148.

Bekki A. 1997. Effet de la salinité des sols sur la répartition du *Rhizobium* et son partenaire végétal (*Medicago*). Les Xème journées Nationales de Microbiologie, 25-26 Novembre 1997. Université de Sétif.

Bekki A., Trinchand J. C., Rigaud J. 1987. Nitrogen fixation (C_2H_2 reduction) by *Medicago* nodules and bacteroids under sodium Chloride stress. *Physiology Plant* 71: 61- 67.

Bekki A., Rezki M. A., Gaouar G. 2003. Adaptation naturelle de rhizobia à la salinité des sols et rôle des plantes halophiles. Les Colloques 100: 173- 178.

Belhadi D., Ramdani N., Boulila A., Hamlat M., Boulila F., Bensaid K., Benallaoua S. 2006. Caractérisation et diversité de souches de rhizobia isolées de *Medicago minima* de la région de Béjaïa. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 120- 125.

Bendifallah N. 2007. Caractérisation phénétique de souches de rhizobiums associées au groupe des intertextae (Genre *Medicago*). Thèse Magister. INA. pp. 1-54.

Berlier Y. 1963. Quelques observations microbiologiques et physiologiques sur la croissance et la nodulation des légumineuses en basse Cote d'ivoire. ORSTOM. pp. 52- 66.

Berrada H., Fikri-Benbrahim K. 2014. Taxonomy of the Rhizobia: Current perspectives. *British Microbiology Research Journal* 4(6): 616-639.

Birouk A., Lewalle ., Tazi M. 1991. Le patrimoine végétal des provences sahariennes du Maroc. Doc. Sci. Et Tech. Actes Editions, 76p.

Bisseling T. 1992. Developmental aspects of the Rhizobium-legume symbiosos. Nodulation and nitrogen fixation in rice. Edited by Khush G. S. and Bennet J. pp. 23-28.

Bordeleau L.M., Prevost D. 1994. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. *Plant and Soil*. 161: 115-125.

Boulila F., Bensaid K., Belhadi D., Boulila A., Ramdani N., Benallaoua S. 2006. Caractérisation et diversité de souches de rhizobia isolées de *Medicago minima* de la région de Béjaia. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 126-129.

Bouchata K. 1992. Evaluation de 110 populations de sept espèces de *Medicago* dans deux zones agro-écologiques. Thèse Ing. Agro. INA, El-Harrach, 159p.

Boundedjmate M. 1992. Distribution des luzernes annuelles spontanées au Maroc en relation avec certains facteurs climatiques et édaphiques (Résumé de thèse). *El-Awamia* 79: 17-33.

Brundu G. A. D., Camarda I., Caredda M., Garau G., Maltoni S. L., Deiana P. 2004. A contribution to the study of the distribution of *Medicago-Sinorhizobium* symbiosis in Sardinia (Italy). *Agricoltura Mediterranea* 134: 33-48.

Cacciari1., Di Mattia E., Quatrini P., Moscatelli M. C., Grego S., Lippi D., De Paolis M. R. 2003. Réponses adaptatives des isolats de *Rhizobium* aux stress. Un arbre au désert, *Acacia raddiana*. 183-200.

Carter E. D. 1976. The potential for the increasing cereal and livestock production in Algeria. Rapport CIMMYT, MARA, pp. 7-35.

Chaïch K., Bekk A.i, Bouras N., Holtz M. D., Soussou S., Mauré L., Brunel B., de Lajudie P., Cleyet-Marel J. C. 2016. Rhizobial diversity associated with the spontaneous legume *Genista saharae* in the northeastern Algerian Sahara. Symbiosis: 1- 10.

Chebouti A. 1993. Comportement de 91 populations de *Medicago aculeata* et *Medicago orbicularis* dans deux zones agro-écologiques. Thèse Ing. Agro. INA, El-Harrach, 130p.

Chebouti A., Abdelguerfi A., Mefti M. 1995. Etude comparative de la production de gousses de populations de *Medicago orbicularis* (L.) Bart ; relation avec les conditions du milieu d'origine. Cahiers. Option Méditerranéennes, vol. 12: 21-24.

Chebouti A., Abdelguerfi A. 1999. Etude du comportement de 48 populations de *Medicago orbicularis* (L.) Bart. Dans deux zones agro-écologiques ; relation avec les conditions du milieu d'origine. Cahiers Options Méditerranéennes 39: 103-105.

Chebouti A., Abdelguerfi A., Mefti M., 2001. Effet du stress hydrique sur le rendement en gousses et en graines chez trois espèces de luzernes annuelles : *Medicago aculeata*, *Medicago orbicularis* et *Medicago truncatula*. Options Méditerranéennes 45: 163-166.

Chebouti A., Abdelguerfi A. 2005. Contribution à l'étude de la floraison et de la production de gousses chez huit espèces de medic dans deux zones agro-écologique. In « Actes du séminaire international sur l'amélioration des productions végétales », pp. 216-217.

Chebouti A., Mefti M., Abdelguerfi A. 2006. Etude du développement végétatif et de la nodulation chez trois espèces de luzernes annuelles : *Medicago aculeata*, *Medicago orbicularis* et *Medicago truncatula*. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 104-106.

Chebouti A., Bekki A., Mefti M., Meziani M. 2014. Characterization of Some Local Populations of *Medicago minima* Collected in the Central Steppe of Algeria. Quantitative traits breeding for multifunctional grasslands and turf, pp. 67-71.

Chaulet E. M. 1995. Diversité génétique de populations naturelles de luzernes annuelles (*Medicago* spp.) d'Algérie. Une espèce modèle : *Medicago truncatula* Gaertn. Thèse de doctorat, Montpellier (France).

Clarkson N. M. & Russell, J. S. 1975. Flowering responses to vernalization and photoperiod in annual Medics (*Medicago* spp.). Aust. J. Agric. Res. 26: 831 - 838.

Cocks P. S. 1988. Seed production and seed survival under grazing of annual medics (*Medicago* spp.) in North Syria. J. Agric. Sci. 110: 455-463.

Cocks P. S. 1990. Dynamics of flower and pod production in annual medics (*Medicago* spp.). I. spaced plants 1990. Australian Journal of Agricultural Research 41(5): 911 - 921

Cocks P. S. 1992. Plant attributes leading to persistence in grazed annual medics (*Medicago* spp.) growing in rotation with wheat. Australian Journal of Agricultural Research 43: 1559-1570.

Crawford E. J. 1970. Variability in a large Mediterranean collection of introduced lines of *Medicago truncatula*. *Proceedings of the XI International Grasslands Congress*, pp 188-192.

Del Pozo A., Ovalle C., Avendaño J. 1995. Time to flowering of *Medicago polymorpha* ecotypes and cultivars in response to temperature and photoperiod. In: Sylvopastoral System. Environmental, Agricultural and Economic Sustainability. Proc. Mediterranean Working Group of the FAO/CIHEAM Inter-Regional Research and Development Network on Pastures and Fodder Crops, Avignon, France. pp 33-36.

Del Pozo A., Aronson J. 2000. Ecophysiology of annual legumes. *Cahiers Opt. Méditerranéennes* 45: 223-230.

Del Pozo A., Ovalle C., Aronson J., Avendaño J. 2000. Developmental responses to temperature and photoperiod in ecotypes of *Medicago polymorpha* L. collected along an environmental gradient in central Chile. *Annals of Botany* 85: 809–814.

Denton M. D., Hill C. R., Bellotti W. D., Coventry D. R. 2007. Nodulation of *Medicago truncatula* and *Medicago polymorpha* in two pastures of contrasting soil pH and rhizobial populations. *Appl. Soil Ecol.* 35:441-448

Dixon R. O. D., Wheeler C. T. 1986. Nitrogen fixation in plants. Blackie, Glasgow, United Kingdom. 152p.

Dorry M. A. 2010. Forage production of eight annual medic cultivars under rainfed conditions of Golestan Province. *J. Agric. Sci. Technol.* 10: 185-190.

Dommergues Y., Duhoux E., Diem H. G. 1999. Les arbres fixateurs d'azote. Editions Espace 34, Montpellier, 528 p.

Downie J. A. 2005. Legume Haemoglobins: Symbiotic Nitrogen fixation needs bloody nodules. *Curr. Biol.* 15(6): 196-198.

Doyle J. J., Luckow M. A. 2003. The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol.* 131: 900-910.

Doyle J. J., Luckow M. A. 2003. The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol.* 131: 900-910

Drouin P. 1996. Caractérisation phénotypique et génotypique et étude des mécanismes d'adaptation aux basses températures de souches de *Rhizobium* isolées de *Lathyrus japonicus* et *Lathyrus pratensis*. Thèse Ph D, Université de Laval, 149p.

Elboutahiri N., Thami-Alami I., Udupa S. M. 2010. Phenotypic and genetic diversity in *Sinorhizobium meliloti* and *S. medica* from drought and salt affected regions in Morocco. *BMC Microbiology* 10: 15.

Elhadi D., Ramdani N., Boulila A., Hamlat M., Boulila F., Bensaid K., Benallaoua S. 2006. Diversity des symbioses de *Medicago truncatula* des régions salées de Béjaia. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 120-125.

El Hansali M., Zinelabidine L. H., Haddioui A. 2007. Variabilité des caractères morphologiques des populations naturelles de *Medicago truncatula* Gaertn au Maroc. *Acta Botanica Gallica* 154 (4) : 643-649.

El-Hilali I. 2006. La symbiose Rhizobium- Lupin : Biodiversité des microsymbiotes et mise en évidence d'une multi-infection nodulaire chez *Lupinus luteus*. Thèse Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 157p.

El-sheikh E. A. E., Wood M. 1989. Response of chickpea and soybean rhizobia to salt: osmotic and specific ions effects of salts. *Soil. Biol. Biochem.* 21: 889-895.

Emile J. C., Ghesquière M., Traineau R., Jadas-Hécart J., Mousset C. 2007. Evaluation de la valeur alimentaire de génotypes de fétuque élevée obtenus par différentes stratégies d'amélioration. *Fourrages* 151: 373-387.

Farissi, M., Bouizgaren, A., AZIZ, F., Faghire, M., Ghoulam, C. 2014. Isolation and screening of rhizobial strains nodulating alfalfa for their tolerance to some environmental stresses. *Prime Journal of Agricultural Research* 2: 9-19.

Fyad-Lamache F. Z. 2006. Variabilité génétique d'écotypes d'espèces annuelles de *Medicago*. Actes du Workshop International sur la diversité des Fabacées et de leurs symbiotes : In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 70-71.

Fortune J. A., Cocks P. S., Macfarlane C. K., Smith F. P. 1995. Distribution and abundance of annual legume seed in the wheatbelt of western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 35: 189-197.

Franche C., Lindström K., Elmerich C. 2009. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant Soil* 321:35–59

Fresnillo Fedorenko D. E. 2001. Ten years of ecological research on *Medicago minima* (L.) Bart. Quality in Lucerne and medics for animal production. Séminaires Méditerranéennes. *Options Méditerranéennes* 45:111–114.

Gintzburger G., Sheta A., Rahmane M., Fituri M., Francic C. M. 1983. Libyan forages collected. *Plant Genetic Ressources Newsletters* 56: 23-29.

Graham, P. H., Sadowsky M. J., Kersters H. H., Barnet Y. M., Bradley R. S., Cooper J. E., De Ley D. J., W. Jarvis B. D., Roslycky E. B., Strijdom B. W., Young J. P W. 1991. Proposed minimal standards for the description of new genera and species of root- and stem-nodulating bacteria. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 4: 582-587.

Graziano D., Di Giorgio G., Ruisi P., Amato G., Giambalvo D. 2010. Variation in phenol-morphological and agronomic traits among burr medic (*Medicago polymorpha* L.) populations collected in Sicily. Italy. *Crop and pasture Science* 61: 59- 69.

Jebara M., Aouani M. E., Mhamedi R., Ghrir R., Mars M. 2000. Effet du sel sur les isolats de *Sinirhizobiums sp.* de Tunisie in vitro ou en association avec *Medicago sp.* Cahiers Agricultures 9: 99- 102.

Jordan D.C. 1984. Family III. Rhizobiaceae. In N. R. Krieg and J. G. Holt (ed.), Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, vol.1. The Williams & Wilkins Co., Baltimore. p. 234-242.

Kamal G., Benata H., Ourarhi M., Abdelmoumen H., Paul R., El Idrissi M. M. 2009. Diversité des *rhizobia* qui nodulent quelques légumineuses de la région orientale du Maroc. Symposium International « Agriculture durable dans la région méditerranéenne. Rabat, Maroc, 14-16 Mai 2009.

Haddioui A., Zinelabidine L. H., Nouri M., Ajal E. A., El Hansali M., Hanine H. 2012. Genetic diversity of natural populations of *Medicago truncatula* in Morocco using isozyme polymorphism. World J. Agric. Sci. 8: 13-19.

Hirsch A. M. 1992. Developmental biology of legume nodulation. New Phytol. 122: 211-237.

Heyn C. C., 1963. The annual species of *Medicago* L. Publications of Hebrew University, Jerusalem, 54p.

Jauzein P. 1995. Flore des champs cultivés. INRA Editions, Paris, 898 p.

Jordan D. C. 1984. Family III. Rhizobiaceae Conn 1938. In Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Eds. N Krieg and R G Holt. 1st edition, Vol. 1 The Williams & Wilkins Co, Baltimore, pp. 234–235.

Kamal G., Benata H., Ourarhi M., Abdelmoumen H., Paul R., El Idrissi M. M. 2009. Diversité des Rhizobia qui nodulesnt quelques légumineuses de la région orientale du Maroc. AGDUMED, Rabat, Maroc, 14-16 mai2009.

Khedim A., Abdelguerfi-Laouar M., M4hammedi Bouzina F., Bellague D., Chedjerat A., Abbas K., Huguet T., Aouani M. E., Abdelguerfi A. 2006. Caractérisation morphologiques des quatre espèces de la section des intertextae du genre *Medicago*. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 87-92.

Kiers E. T., West S. A., Denison R. F. 2005. The legume-Rhizobia symbiosis: identifying selection pressures and mechanisms. In: Dilworth MJ, Newton WE, James EK, Sprent JI, editors. Nitrogen-fixing leguminous symbioses. Dordrecht, the Netherlands, Springer, pp. 59–76.

Kobayashi H., Broughton W. J. 2008. Fine-tuning of symbiotic genes in rhizobia: flavonoid signal transduction cascade. In Nitrogen-fixing Leguminous Symbioses, M.J. Dilworth, E.K. James, J.I. Sprent, and W.E. Newton Eds, Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 117-152.

Kouchi K. 1995. Phénologie et biométrie de quelques populations spontanées de *Medicago ciliaris* (L.) Krockner. Thès. Ing. Agro. INA, El-Harrach, 71 p.

Lesins K., Lesins I. 1979. Genus *Medicago* (Leguminosae): a taxogenetic study. Ed. W. Junk Pub. The Hague, London, 125p.

Laouar M. 1995. Phénologie et biométrie de quelques populations spontanées de *Medicago intrtexta* (L.) Miller. Thès. Ing. Agro. INA, El-Harrach, 76 p.

Laouar M. 1998. Autoécologie, variabilité agronomique et morphobiométrie des taxa *Medicago ciliaris* et *Medicago intertexta*. Thès. Magist. Agro. INA, El-Harrach, 178 p.

Laouar M. Abdelguerfi A. 1999. Variabilité de la production des gousses et des grains chez quelques populations spontanées de *Medicago intertexta*. Options Méditerranéennes 39: 111-117.

Laouar M., Abdelguerfi A. 2003. Variabilité morphologique et phénologique chez deux taxa proches : *Medicago ciliaris* et *Medicago intertexta*. Les Colloques 100:263-267.

Lodge G. M., Culis B. R., Welsby S. M. 1993. Evaluation of pasture legumes sown into prepared seedbed at Tamworth, New South Wales. I. Dry mater yield. Aust. J. Exp. Agric. 33: 287- 297.

Loi A., Nutt B. J., McRobb R., Ewing M.A. 2000. Potential new alternative annual pastyre legume for Australian Mediterranean farming system. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 45: 51-54.

Mefti M. 1993. Comportement de 112 populations de *Medicago truncatula* et *Medicago polymorpha* dans deux zones agro-écologiques. Thèse Ing. Agro. INA, El-Harrach, 111p.

Materon L. A., Zaklouta M. 1994. Symbiotic relationships and nitrogen fixation in annual *Medicago* species. In: Recent Developments in Biological Nitrogen Fixation Research inAfrica. Proceedings of the 5th AABNF Conference (1992), Rabat, Morocco. pp. 65-80.

Merabet C., Bekki A., Benrabah N., Baba-Hamed Bey M., Bouchentouf L., Ameziane H., Rezki M. A., Domergue O., Cleyet-Marel J.-C., Avarre J.-C., Béna G., Bailly X., de Lajudie P. 2006. Distribution of *Medicago* species and their microsymbionts in a saline region of Algeria. Arid Land Research and Management 20: 219-231.

Mouafek A. 2010. La symbiose à rhizobia chez la fève (*Ficia faba* L.) et la luzerne (*Medicagi sativa* L.) dans la région de Biskra. Mémoire de Magister. Université de Biskra. pp 1- 114.

Monza J., Fabiano E., Arias A. 1992. Characterisation of indigenous population of Rhizobia nodulating *Lotus corniculatus*. Soil Biol. Biochem. 24: 241-247.

Moulin L., Munive A., Dreyfus B. Boivin-Masson C. 2001. Nodulation of legumes by members of the b-subclass of proteobacteria. Nature 411: 948-950.

Nedjraoui D., Bédrani S. 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. Revue Vertigo, volume 8, n°1.

Negre R., 1956. Les luzernes du Maroc. Travaux Inst. Scie. Cher. Serv. Bot., 116p.

Obaton M., Cleyet Marel J. C., Gintzburger G. 1987. La fixation de l'azote des légumineuses cultivées en zones marginales sèches. In: FAO-European cooperative network on pasture and fodder crop production. Bulletin 5: 31-36.

O'Brien M., Colewell R. 1987. Characterization tests for numerical taxonomic studies. Method Microbial. 19: 69-104.

Oumata S., 1994. Phénologie et biométrie de quelques populations de *Medicago scutellata* (L.) Miller. Thèse Ing. Agro. INA, El-Harrach, 111 p.

Pathak R., Singh S. K., Gehlot P. 2017. Diversity, nitrogen fixation, and biotechnology of Rhizobia from aride zone plants. Rhizobium Biology and Biotechnology. Edts. Hansen A. P., Choudhary D. K., Agrawal P. K. and Varma A. Springer International Publisher AG. pp. 61-82.

Pereira Alexandre A. I. 2010. Temperature stress tolerance in chickpea rhizobia. PhD. Universidade de Évora. pp. 1-132.

Pierre J. B. 2008. Recherche de déterminants génétiques de la date de floraison chez la Légumineuse modèle, *Medicago truncatula*. Thèse Doctorat, ENSAR, France, 126p.

Pinto P. P., Raposeiras R., Macedo A. M., Seldin L., Paiva E., N. M. H. Sà. 1998. Effects of high temperature on survival, symbiotic performance and genomic modifications of bean nodulating Rhizobium strains. *Revista de Microbiologia*, vol. 29, pp. 295-300.

Porqueddu C. 2001. Screening germplasm and varieties for forage quality: constraints and potentials in annual medics. Quality in Lucerne and medics for animal production. *Options Méditerranéennes* 45: 89-98.

Porqueddu C. Gonzalez F. 2006. Pasture legumes: Which role and potential in mediterranean conditions? Actes du Workshop International sur la diversité des Fabacées et de leurs symbiotes: Applications Biotechnologiques, agronomiques et environnementales: 290-297.

Prosperi J. M. Bouard P. Angevain M. Mansat P. 1991. Répartition et adaptation écotypique de *Medicago* annuelles en Méditerranée occidentale. 4^e Congrès International des Terres de Parcours, avril 1991, Montpellier (France).

Prosperi J. M., Angevain M., Genier G., Olivieri I., Mansat P., 1993. Sélection de nouvelles légumineuses fourragères pour les zones difficiles méditerranéennes. *Fourrages* 135: 343-354.

Prosperi J. M., Guy P., Balfourier F. 1995a. Les luzernes ou genre *Medicago*. Ressources génétiques des plantes fourragères et à gazon. INRA et BRG, pp. 131-167.

Prosperi J. M. Angerani M., Bonuni I., Chaulet E., Genier G., Jenezewski E., Olivieri I., Roufort J. 1995b. Genetic diversity, Preservation and use of genetic resources of mediterranean legumes: Alfalfa et medics. Réseau inter-régional FAO/CIHEAM de recherche et de développement sur les pâturages et cultures fourragères. *Colloque du groupe méditerranéen sur les Medicago*. Hammamet, Tunisie 19-22 Oct. 1995. 11p.

Roberts E. H., Qi A., Ellis R. H., Summerfield R. J., Lawn R. J., Shanmugasundaram S. 1996. Use of field observations to characterise genotypic flowering responses to photoperiod and temperature: A soyabean exemplar. *Theor. Appl. Genet.* 93:519-533.

Rome S., Fernandez M. P., Brunel B., Normand P., Cleyet-Marel J. C. 1996. *Sinorhizobium medicae* sp. nov., isolated from annual *Medicago* spp. *International Journal of Systematic Bacteriology*, vol. 46, 4: 972-980.

Rotili P., Gnocchi G., Scotti C., Kertikova D. 2001. Breeding of the alfalfa plant morphology for quality. *Séminaire Méditerranéen. Cahiers. Opt. Méditerranéennes* 45: 25-27.

Sebbane N., Sahnoune M., Zakhia F., Willems A., Benallaoua S., de Lajudie P. 2006. Phenotypical and genotypical characteristics of root-nodulating bacteria isolated from annual *Medicago* spp. in Soummam Valley (Algeria) *Letters in Applied Microbiology* 42: 235–241

Segovia, L., D. Pinero, R. Palacios, and E. Martinez Romero. 1991. Genetic structure of a soil population of nonsymbiotic *Rhizobium leguminosarum*. *Appl. Environ. Microbiol* 57: 426-433.

Seklani H., Zoghlami A., Mezni M., Hassen H. 1996. Synthèse des travaux de recherche réalisés sur les *Medicago* à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. *Cah. Options Méditerranéennes* 18: 31-37.

Senhadri-Maamri F. 1999. Evaluation de la variabilité au niveau des gousses et des graines de populations de différentes espèces de luzernes annuelles. Thèse Magister, INA El Harrach, 157 p.

Senhadri-Maamri F., Abdelguerfi A., Rahmani D. H. 2000. Evaluation de la variabilité au niveau des gousses et des graines de populations de deux générations de *Medicago orbicularis* (L.) Bart. Cahiers Options Méditerranéennes 45:33-37.

Sharma R., Bisaria V. S., Sharma S. 2017. Impact of Rhizobial inoculants on rhizospheric microbial communities. Rhizobium Biology and Biotechnology. Edts. Hansen A. P., Choudhary D. K., Agrawal P. K. and Varma A. Springer International Publisher AG. pp. 1-10.

Si Ziani Y. 1992. Evaluation de 112 populations de deux espèces de *Medicago* dans deux zones agro-écologiques. Thès. Ing. Agro. INA, El-Harrach, 113 p.

Si Ziani Y., Abdelguerfi A. 1995. Comportement de populations de *Medicago truncatula* Gaertn. Dans deux zones différentes ; relation avec les facteurs du milieu d'origine. *Cahiers Options méditerranéennes* 12: 29-32.

Slatkin M. 1987. Gene flow and the geographic structure of natural populations. *Science* 236: 787-792.

Small E., Jomphe M., 1989. A synopsis of the genus *Medicago* (Leguminosae). *Canad. J. Bot.* Vol. 67: 3260-3294.

Somaroo B. H. 1988. Relationships between dry matter yield, seed yield and flowering time in annual forage legumes under dry conditions. *J. Applied Seed Prod.* 6: 31-35.

Somasegaran P., Hoben H. J. 1994. Handbook for Rhizobia: Methods in legume Rhizobia technology. Springer-Verlag, New York, 450 p.

Somasegaran P., Hoben H. J. 1985. Methods in legume-*Rhizobium* technology, University of Hawaii, Honolulu. pp 128-138.

Stebbins G. L. 1975. L'écologie comparative de quelques espèces de légumineuses de la flore méditerranéenne. La flore du bassin méditerranéen : Essai Systématique Synthétique. Colloque International du CNRS (Parris 235: 3671-368).

Sulas I., Franca A., Caredda S. 2000. Persistence and regeneration mechanisms in forage legumes. Legumes for Mediterranean forage crops, pastures and alternative uses. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 45: 331-342.

Suty L. 2015. Les végétaux : des symbioses pour mieux vivre. Editions Quae, collection "Les mémos de Quae", 56 p.

Svistoonof S. 2003. Implication d'une subtilase dans les étapes précoces des symbioses actinorhiziennes. Thèse Doctorat, Université de Montpellier II, 67p.

Tirichine L. 1994. Phénologie et biométrie de quelques types de *Medicago orbicularis* (L.) Bart. Thès. Ing. Agro. INA, El-Harrach, 74p.

Torche A. 2006. Isolement et caractérisation des bactéries nodulant les légumineuses du genre *Hédysarum*. Mémoire de Magister. Université de Constantine. pp. 1- 166.

Trabelsi D., Mengoni A., Aouani M. E., Bazzicalupo M., Mhamdi R. 2010. Genetic diversity and salt tolerance of Sinorhizobium populations from two Tunisian soils. Ann Microbiol 60:5 41–547.

Vance C. P. 1990. Symbiotic nitrogen fixation: recent genetic advances. In the biochemistry of plant: a comparative treatise. Academic Press, New York, pp. 43-88.

Vargiu M., Spanu E., Loche F., Salis L. 2000. Preliminary results of some forage legume populations cultivated in three different Sardinian environments. Cahiers Options Méditerranéennes 45: 55-58.

Vargiu M. 2010. Problems and perspectives of seed production activity of forage ecotypes in Sardinia. *Options Méditerranéennes*: 92145-149.

Verma D. P. S. 1992. Signals in root nodule organogenesis and endocytosis of *Rhizobium*. *Plant Cell*. 4: 373-382

Vincent, J. M. 1970. A Manual for the Practical Study of Root Nodule Bacteria. Blackwell Scientific Publications, Ltd., Oxford, England. IBP handbook, 15: 73-97.

Wan X., Hontelez J., Lillo A., Guarnerio C., Van de Peut D., Fedorova E., Bisseling T., Franssen, H. 2007. *Medicago truncatula* ENOD40-1 and ENOD40-2 are both involved in nodule initiation and bacteroid development. *J. Exp. Bot.* 58: 2033-2041.

Weir B. S. 2012. The current taxonomy of rhizobia. N Z Rhizobia website. <http://www.rhizobia.co.nz/taxonomy/rhizobia>

Willems A. 2006. The taxonomy of rhizobia: an overview. *Plant and Soil*: 287:3-14.

Yadav A. S., Nehra K. 2013. Selection/ Isolation of High Temperature Tolerant Strains of *Rhizobium* for Management of High Temperature Stress on *Rhizobium*-Legume Symbiosis. *International Journal of Microbial Resource Technology* Vol 2 (1) : 47- 57.

Young R. R., Brockwell J. 1992. Influence of soil pH on the development of symbiosis in field-grown acid sensitive and acid-tolerant annual medics. *Aust. J. Exp. Agri.* 32: 167-173.

Yahiaoui S. et Abdelguerfi A. 1995. Comportement et phénologie d'une espèce annuelle de luzerne *Medicago orbicularis* (L.) Bart. *Cahiers Options Méditerranéennes* 12: 25-28.

Yahiaoui S., Abdelguerfi A. 1999. Growth and phenology of some *Medicago ciliaris* populations: Interaction with the site of origin. Cahiers Options Méditerranéennes 39: 107-110.

Young R. R., Croft P., H., Sandral G. A. 1992. Variation in flowering times and agronomic characteristics of *Medicago laciniata* (L.) Miller collected in New South Wales. Aust. J. Exp. Agric. 32: 59-63.

Yahiaoui S., Abdelguerfi A. 1995. Comportement et phénologie d'une espèce annuelle de luzerne : *Medicago orbicularis* (L.) Bart. Cahiers Options Méditerranéennes 12: 25-28.

Yousfi N., Badri M., Abdelguerfi A., Aouani M. E. 2006. Effect of water stress on phenology and the production of pods and seeds for some populations of *Medicago trincatula* and *Medicago laciniata*: the behavior relationship of populations with bioclimatic factors of the environment of the origine. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 107-114.

Zahran H. H., Räsänen L. A., Karsisto K., Lindström. 1994. Alteration of lipopolysaccharide and protein profiles in SDS-Page of rhizobia by osmotic and heat stress. *W. J. Microbiol. Biotechnol.* 10: 100-105.

Zakhia F., De Lajudie P. 2001. Taxonomy of rhizobia. *Agronomie, EDP Sciences* 21 (6-7), pp. 569-576.

Zakhia F., Jeder H., Domergue O., Willems A., Cleyet-Marel J.C., Gillis M., Dreyfus B. De Lajudie P. 2004. Characterisation of wild legume nodulating bacteria (LNB) in the infra-zone of Tunisia. *Syst. Appl. Microbiol.* 27: 380-395.

Zeghida A. 1987. Possibilités et limites du matériel végétal d'introduction. Résultats d'expérimentation des écotypes locaux. *Céréaliculture* 16: 58-62.

Zitouni Z. 1997. Biométrie et phénologie chez quelques populations de *Medicago minima*. Thèse Ing. Agro. INA El Harrach, 109 p.

Zribi K., Mhamdi R., Huguet T., Aouani M. E. 2004a. Distribution and genetic diversity of rhizobia nodulating natural populations of *Medicago truncatula* in Tunisian soils, *Soil Biol. Biochem.* 36: 903-908.

Zribi K., Jeidi N., Mhamdi R., Aouani M. E., Huguet T. 2004b. Diversité génétique et polymorphisme symbiotique de *Sinorhizobium meliloti* nodulant *Medicago truncatula* en sols tunisiens des régions arides. *Cahiers Options Méditerranéennes* : 62 149-152.

Zribi K., Kthiri W., Badri M., Khaldi M., Laouar M., Merzouki N., Huguet T., Abdelguerffi A., Aouani M. E. 2006. Diversité génétique des populations naturelles nodulants *Medicago ciliaris* sur les sols tunisiens. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 138-141.

Zoghlami A., Hassen H., Seklani H., Robertson L., Salkini A. K. 1996. Distribution des luzernes annuelles en Tunisie centrale en fonction des facteurs édaphiques et climatique. *Fourrages* 145: 5-16.