



Université de Saad Dahleb Blida 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie des Populations et des Organismes

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de master en biologie

Option : Biodiversité et Physiologie Végétal

Thème

Etude de la relation entre la nodulation et le développement végétatif chez quelques populations locales de trois espèces de luzerne annuelle (*Medicago L.*)

Présente par :

- Nemdil Imene
- Bergheul Sara

Date de soutenance : 28 /09/2020

Devant le jury :

M^{me}. BEN SALAH L.
M^r. CHEBOUTI A.
M^{me}. TAKARLI S.
M^{me}. FAIDI H.

Maitre assistante A
Maitre de recherche
Maitre assistante A
Maitre assistante A

U.Blida
INRA
U.Blida
U.Blida

Présidente
Promoteur
Co-promotrice
Examinatrice

Remerciements

Au terme de ce travail, nous souhaitons exprimer notre profond remerciement à notre encadreur

***M^r Chebouti Abderrezak** Maître de recherche à l'Institut National de Recherche Agronomique (INRAA) pour le grand honneur de nous avoir proposé ce sujet et de diriger ce travail, pour ses recommandations et ses discussions perspicaces ainsi que pour ses conseils qui ont beaucoup enrichi non seulement notre travail mais également nos connaissances.*

Nos appréciations et nos gratitudes vont aussi à notre Co-promotrice

***M^{me} Takarli Souad** maitre assistante à l'université Saad Dahleb de Blida pour avoir accepté de co-diriger notre travail.*

Nous remercions également :

***M^{me} Ben Salah** maitre assistante à l'université Saad Dahleb de Blida pour nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.*

***M^{me} Faidi** maitre assistante à l'université Saad Dahleb de Blida pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nos remerciement vont également à :

Tous les personnels de département de la biologie

Tous les profs de la spécialité de biologie et physiologie végétal

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont apportées conseils, encouragement et assistance.

DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à mes très chers

Parents qui sont ma source d'amour, de volanté et de courage.

*Merci pour leur soutien et affection inconditionnels, tous les sacrifices et que dieu vous
garde.*

Mes très chers frères : Nesraddin, Abdelmalek.

Mes chères sœurs : Meriem, Asmaa.

Ma grand-mère : Fatiha

Mon oncle : soufiene

Ma tente : Amina

Mes amies: Maria, Ahlem, Yousra.

Toutes les personnes qui ont participé, de loin ou de près à

L'accomplissement de ce travail.

IMENE

DEDICACE

Du profond de mon cœur, Je dédie ce travail

A ma très chère mère Salima,

Ma raison de vivre et raison de tout succès dans ma vie.

A mon père Said,

Mon ombre durant toutes mes années d'études, et qui a veillé à me donner de l'aide.

Que dieu les gardes et les protège.

A mon chère frère Amine et mon adorable sœur maria,

Leur soutien m'a beaucoup aidé.

A ma grand-mère maternelle Zoubida,

Qui m'a toujours aidé moralement, que Dieu lui préserve santé et longue vie.

Et à tous ceux qui me sont chères.

SARA

Liste des abréviations :

MmAO : *Medicago minima* Ain Oussera

MmMli : *Medicago minima* Mliliha

MmCh : *Medicago minima* Charef

MmOT : *Medicago minima* Oued Touil

MIBL : *Medicago laciniata* Bouiret Lahdab

MIMes : *Medicago laciniata* Messaad

MIMli : *Medicago laciniata* Mliliha

MIOT : *Medicago laciniata* Oued Touil

MtOT : *Medicago truncatula* Oued Touil

MtMli : *Medicago truncatula* Mliliha

MtAO : *Medicago truncatula* Ain Oussera

MtCh : *Medicago truncatula* Charef

Paramètre étudiées

PFA : Poids frais de la partie aérienne

PR : Poids des racines

NND : Nombre total des nodules

PND : Poids frais des nodules

Les analyses statistiques

LSD : least Significant difference

Moy.Gén : Moyenne générale

E-T : écart-type

CV : Coefficient de variation

Sign : Signification

INRAA : Institut National de la Recherches Agronomiques d'Algérie

U.S.D.B : Université Saad Dahleb Blid

Résumé :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des ressources phytogénétiques locales des espèces du genre *Medicago*. L'expérimentation réalisée nous a permis d'étudier la croissance des plantes et l'évaluation de la nodulation chez trois espèces spontanées de *Medicago* annuelles *M. truncatula*, *M. laciniata* et *M. minima* chaque espèce est représentée par quatre populations locales collectées au niveau de la région de Djelfa. L'essai a été mené au niveau de la station expérimentale de Mehdi Boualem de Baraki (INRAA). Cette zone est caractérisée par un climat subhumide. Le travail a commencé lors de la floraison, on comptait sur quatre caractères celle qui est Le poids frais de la partie aérienne, Le poids des racines, Le nombre total des nodules et Le poids frais des nodules. Notre étude nous a permis de distinguer la relation entre la nodulation et le développement végétatif de quelques populations qui ont données de bons résultats et qui peuvent faire l'objet d'autres travaux de l'amélioration de la production fourragère en Algérie.

Mots-clés : *M.truncatula*, *M.laciniata*, *M.minima*, production fourragère, nodulation.

Summary

This study is part of the framework of the valorization of the local phylogenetic resources of the species of the *Medicago* genus. The experiment carried out allowed us to study plant growth and evaluation of nodulation in three spontaneous annual *Medicago* species *M. truncatula*, *M. laciniata* and *M. minima*. Each species is represented by four local populations collected in the region of Djelfa. The test was conducted at the experimental station of Mehdi Boualem de Baraki (INRAA). This area is characterized by a subhumid climate. The work began during flowering, four characters were counted on the fresh weight of the aerial part, the weight of the roots, the total number of nodules and the fresh weight of the nodules. Our study allowed us to distinguish the relationship between nodulation and vegetative development of some populations which gave good results and which can be the subject of other work for the improvement of forage production in Algeria.

Keywords: *M.truncatula*, *M.laciniata*, *M.minima*, fodder production, nodulation.

ملخص

هذه الدراسة جزء من تطوير الموارد الوراثية النباتية المحلية لأنواع *Medicago* سمحت لنا التجربة التي تم إجراؤها بدراسة نمو النبات وتقييم الإيماء في ثلاثة أنواع عفوية من جنس *Medicago* وهي *M.truncatula* , *M.laciniata* , *M.minima* يمثل كل نوع أربعة مجموعات محلية تم جمعها على مستوى منطقة الجلفة وتم إجراء الاختبار في محطة مهدي بوعلام التجريبية في براقي INRAA تتميز هذه المنطقة بمناخ شبه رطب. بدأ العمل أثناء التزهير ، وتم التقييم على أربع سمات وهي الوزن الطازج للجزء الجوي ، ووزن الجذور ، والعدد الإجمالي للعقيدات ، ووزن العقيدات الرطب. سمحت لنا دراستنا بتمييز العلاقة بين العقيدات والتطور الخضري لبعض المجموعات السكانية التي أعطت نتائج جيدة والتي يمكن أن تكون موضوع أعمال أخرى لتحسين إنتاج الأعلاف في الجزائر

Sommaire

Sommaire

RESUME

REMERCIEMENTS

DEDICACE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION01

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur les légumineuses03

I.3. Classification et caractères morphologiques des légumineuses.....03

II. Importance des légumineuses fourragère.....05

III. Le genre *Medicago* L.....05

IV. Les luzernes annuelles « medics »06

IV.1. 1. Caractères morphologiques06

VI. 1. 2. Systématique07

VI. 1. 3. Aire de distribution.....08

V. Présentations des espèces.....08

V. 1. *Medicago truncatula*.....08

V.1. 1. Description de l'espèce08

V. 1. .2. Répartition géographique.....09

V. 2. *Medicago laciniata*09

V.2. 1. Description de l'espèce09

V. 2. .2. Répartition géographique.....10

V. 2. *Medicago minima*11

V.2.1.Description de l'espèce.....	11
V. 2. .2. Répartition géographique	12

VI. Importances de la fixation biologique de l'azote	12
VI. 3. La nodulation.....	13
VI. 3.1. Pré-infection.....	15
VI. 3. 2. Infection.....	17
VI. 3 .3. Formation des nodules.....	20
VI. 3 .5. Spécificité symbiotique.....	21

MATERIEL ET METHODES

VII. Matériel et méthodes.....	22
VII. 1. Matériel végétal	22
VII. 2. Analyse des données.....	25

RESULTATS ET DISCUSSION

VIII. Résultats et discussion.....	27
VIII. 1. Analyse de variance.....	27
VIII. 2. Relation entre caractères mesurés.....	31

CONCLUSION

Conclusion.....	32
-----------------	----

Liste des figures:

Figure 1: Différents organes de la plante de <i>M. truncatula</i>	p09
Figure 2: Différents organes de la plante de <i>M. laciniata</i>	p10
Figure 3: Différents organes de la plante de <i>M. minima</i>	p11
Figure 4: Etapes du processus de nodulation lors de la symbiose Légumineuses-Rhizobia	p14
Figure 5: Représentation schématique du dialogue moléculaire Rhizobia-Légumineuse.....	p15
Figure 6: Représentation schématique des réponses précoces induites par application globale des facteurs Nods au niveau de la zone racinaire susceptible à l'infection chez la plante hôte	p17
Figure 7: Ramification du cordon d'infection et progression vers le cortex interne puis Formation des symbiosomes et libération des bactéries dans une cellule du nodule.	p19
Figure 8: Schéma de la libération des bactéries dans les cellules de la zone d'infection (zone II) et formation d'un symbiosome	p19
Figure 9: Types de nodules fixateurs d'azote.....	p21
Figure 10: Obtention des graines à partir des gousses	p23
Figure 11 : Préparation des pots pour le semis	p23
Figure 12 : Semis des graines dans les pots	p23
Figure 13 : Développement des plantes.....	p24
Figure 14 : Formation des nodules sur les racines... ..	p25
Figure 15 : Variation du poids de la partie aérienne chez les populations de <i>Medicago laciniata</i> , <i>Medicago minima</i> et <i>Medicago truncatula</i>	p27
Figure 16 : Variation du poids de la partie racinaire chez les populations de <i>Medicago laciniata</i> , <i>Medicago minima</i> et <i>Medicago truncatula</i>	p28
Figure 17 : Variation du nombre des nodules chez les populations de <i>Medicago laciniata</i> , <i>Medicago minima</i> et <i>Medicago truncatula</i>	p29
Figure 18 : Variation du poids des nodules chez les populations de <i>Medicago laciniata</i> , <i>Medicago minima</i> et <i>Medicago truncatula</i>	p29

Liste des tableaux:

Tableau 1 : Synthèse des caractères distinctifs des trois sous-famille des fabacées.
.....p04

Tableau 2: Liste des populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula* et des sites
d'origine de collecte.....p22

Tableau 3: Valeurs moyennes des caractères mesurés chez les populations de *M.*
laciniata, *M. minima* et *M. truncatula*.....p30

Tableau 4: Relation entre les caractères mesurés chez les populations de *M. laciniata*, *M.*
minima et *M. truncatula*p31

INTRODUCTION

Introduction

La flore algérienne est caractérisée par sa diversité florale, constitue un immense réservoir de plantes diverses en particulier d'intérêt pastoral et fourragères (**Abdelguerfi et al., 2008**). La famille des légumineuses ou des fabacées recouvre une multitude d'espèces, variétés ou populations. C'est la plus importante parmi les dicotylédones, qui fournit le plus grand nombre d'espèces utiles à l'alimentation grâce à leur richesse en protéine (**Saoudi, 2008**).

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 bétails est assuré par les milieux naturels. Ces derniers subissent une dégradation continue due au surpâturage et à l'utilisation déraisonnable des parcours, les défrichements illicites et anarchiques ainsi que l'impact des aléas climatiques en particulier la sécheresse (**Chebouti, 2018**).

Le genre *Medicago* a une importance agro-économique en raison de son excellente qualité fourragère et de l'enrichissement de la fertilité du sol qu'elles assurent (**Kehal et Dani, 2015**). 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 leur graines dures (**Abdelguerfi et Abdelguerfi-Berrekia, 1987**). Elles permettent également la protection des sols contre l'érosion grâce à leur système racinaire puissant et l'amélioration de leurs propriétés physico-chimiques en rétablissant les réserves de matières organiques disparues (**Chebouti, 1999**).

La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique est une activité importante pour le maintien de la vie sur terre, car elle représente une source importante d'azote pour la vie végétale (**roger ,1996**). La symbiose Rhizobium-légumineuses fixe chaque

INTRODUCTION

année autant d'azote que l'ensemble des industries d'engrais chimiques de la planète, et revêt donc un intérêt économique et écologique considérable (*Catoira, 2000*).

La capacité des légumineuses à établir une symbiose avec les bactéries qui existe dans le sol pour produire des substances protéiques à partir de l'azote gazeux est un processus métabolique exclusivement réalisé par les organismes procaryotes (**La Bauer et Treseder, 2008**). Le micro-organisme peuvent réduire l'azote gazeux et le convertir en ammonium, qui est essentiel pour le développement de la plante, celle-ci à son tour, la plante 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**).

L'objectif de notre travail est l'étude de la croissance des plantes et l'évaluation de la nodulation chez quelques populations locales de *Medicago minima*, *Medicago laciniata* et *Medicago truncatula*, ainsi que la relation entre la nodulation et la croissance des plantes.

CHAPITRE I :

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur les légumineuses:

Les légumineuses représentent la troisième plus grande famille d'Angiospermes en nombre d'espèces après les *Orchidaceae* et les *Asteraceae*. Elle est considérée comme la famille la plus nombreuse et la plus variée des plantes à fleurs. La famille des légumineuses comprend 20000 espèces regroupées en 727 genres (Allen et Allen, 1981 ; Broughton , 1984 ; Singh et al , 2007) dont 53 genres et 339 espèces en Algérie (Quezel et Santa , 1962).

L'une des caractéristiques principales des légumineuses est leur capacité de fixer l'azote atmosphérique par le biais des bactéries symbiotiques (Crémer, 2014; Cellier et al ., 2016). Les légumineuses sont les espèces les plus utiles à l'Homme. Elles constituent une importante source pour l'alimentation humaine (Pois chiche, haricot, pois, lentilles, arachide ...) et pour l'alimentation animale tel que la Luzerne et le trèfle (Domergue, 2006; Sebihi, 2008).

I. 3. Classification et Caractères morphologiques des légumineuses:

Les légumineuses sont regroupées en trois sous-familles selon la forme florale :

Les *Mimosoideae* avec 77 genre et près de 3000 espèces, représentés principalement par des arbres et des arbustes distribués dans les régions tropicales et subtropicales colonisent aussi les zones arides et semi-arides de l'Afrique, de l'Amérique et de l'Australie (Singh, 2007; Berrabah et Chemissa , 2016)

Les *papilionoideae* avec 476 genres et près de 14000 espèces. Principalement représenté par des espèces herbacées vivaces et annuelles. Faboideae est cosmopolite

et peut être trouvée presque dans toutes les régions du monde. . (Singh, 2007; Berrabah et Chemissa, 2016).

Les *caesalpinoideae* considérés comme les plus primitives, avec 162 genre et environ de 3000 espèce, sont représentées par des arbres, arbustes et herbacées vivaces distribuées des régions tropicales aux subtropicale de l'Amérique, de l'Afrique et de l'Asie (Singh, 2007 ; Berrabah et Chemissa , 2016).

Tableau 1 : Synthèse des caractères distinctifs des trois sous-famille des fabacées (Singh, 2007; Berrabah et Chemissa, 2016)

Sous-familles	<i>Mimosoideae</i>	<i>Papilionoideae</i>	<i>Caesalpinoideae</i>
Inflorescences	Grappe, épi ou glomérule, sphérique ou cylindrique	Racème, panicule, épi	Grappe, épi parfois cyme
Feuille	Composés bipennés	Composés pennés ou trifoliées – rarement unifoliées	Composées bipennés et pennées
Fleurs	Petites, cyclique, régulières, Gamopétales, actinomorphes, monocarpellées	Cycliques, dialypétales, zygomorphes, forme de papillons, monocarpellées, bisexuées	Cycliques, dialypétales, zygomorphes, papilionacées, monocarpellées, bisexuées
Fruit	Gousse ou légume parfois indéhiscent, graine à long funicule	Gousse ou légume parfois loment ou samare. graine à court funicule	Gousse ou légume parfois drupe ou samare, graine avec long funicule.

II. Importance des légumineuses fourragère:

Les légumineuses fourragères jouent un rôle important dans l'amélioration de la fertilité des sols grâce la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, environ 175 million de tonne sont fixés annuellement, alors que la quantité d'engrais azoté utilisé en agriculture est de 40 million de tonnes par an (**Sebihi., 2008**). Cela permet de réduire la consommation globale d'azote, réduisant ainsi les émissions de combustibles fossiles et de gaz à effet de serre. Elles constituent aussi une source non négligeable en protéines (**Chebouti, 1999**).

Grâce à leur facilité d'utilisation, les légumineuses 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-Berrekia, 1987**). Elles sont également utilisées comme engrais verts permettant l'amélioration de la fertilité des sols.

III. Le genre *Medicago* L:

Le *Medicago* ou la luzerne appartient à l'ordre des *Fabales*. Superfamille des Légumineuses, famille *des fabacées*, tribu des trifoliées (**Abdelgeurfi, 2002**). Les espèces du genre *Medicago* doivent leur importance à l'aptitude d'interaction avec les bactéries du genre *Sinorhizobium* pour fixer l'azote moléculaire (**Zribi et al., 2006**).

Le genre *Medicago* est représenté par 55 espèces dont 40% des espèces vivaces tétraploïdes ($2n=4x=32$) préférentiellement allogames et 60% sont des espèces annuelles diploïdes ($2n=16$) (**Heyn, 1963; Lesins et Lesins, 1979; Small et Jamph, 1989**).

Il existe de nombreuses espèces de luzerne, dont une vingtaine est fréquente dans le bassin méditerranéen. Certains sont annuelles ou bisannuelles, d'autres sont

pérennes. La plus part sont herbacées parfois arbustives (luzerne arborescente) (**Lapeyronie, 1982**).

En Algérie, le genre *Medicago* est représenté par de nombreuses espèces spontanées dont les plus importantes sont décrites par **Quezel et Santa (1962)**. On peut citer : *M. intertexta*, *M. ciliaris*, *M. truncatula*, *M. littoralis*, *M. murex*, *M. arabica*, *M. hispida*, *M. rugosa*, *M. minima* et *M. laciniata*.

IV. Les luzernes annuelles « medics »:

la luzerne annuelle est une plante fourragère de cycle annuelle (**Chebouti,1999**). Les formes annuelles sont majoritairement autogames et très souvent diploïdes (**Lesins et Lesins, 1979**). Elle possède un puissant système racinaire pivotant pouvant atteindre plusieurs mètres de profondeur (**Kehal, 2015**). La luzerne est cultivée principalement pour l'alimentation animale et humaine grâce à leur richesse en protéine végétale et ne nécessitant pas d'engrais azotés, la luzerne est l'une des plantes les plus cultivées au monde avec 32 millions d'hectares (**Kehal , 2015**)

IV. 1. 1. Caractères morphologique :

Selon (**Lesins, 1979; Ayad, 2017**) les luzernes annuelles sont des plantes herbacées à :

Feuille : Trifoliées pétiolées composées de foliole dentées.

Fleurs : Une corolle papilionacée, caduque, constituée d'un étendard, de deux ailes libres et d'une carène formée par deux pétales inférieurs soudés. Le calice est contient cinq sépales soudés. Les fleurs sont de couleur jaune, parfois orangée.

Androcée comporte neuf étamines soudées, formant la colonne staminale, plus une dixième étamine libre.

Gousses : courbée, tordue, ou bien roulée en hélice, épineuse ou non, indéhiscente ou presque.

Graine : réniforme de longueur d'environ 10 mm.

Fécondation : allogame chez les espèces vivaces; et autogame chez les espèces annuelles

VI. 1. 2. Systématique:

D'après **Small et Jomphe (1989)** la luzerne classé comme suit :

Règne :	Plantae
Embranchement :	Spermatophytes
Sous-embranchement :	Angiosperme
Classe :	Dicotylédones
Sous-classe :	Rosidées
Ordre :	Fabale
Famille :	<i>Fabaceae</i>
Sous-famille :	Faboideae (papilionacées)
Tribus :	Trifolieae
Genre :	<i>Medicago</i>

VI. 1. 3. Aire de distribution:

Les espèces de *Medicago* annuelles sont représentés dans le Bassin méditerranéen : Sud de l'Europe, Afrique du Nord, Proche Orient. Certaines ont été introduites en Amériques du nord, en Australie (**Lapeyronie, 1982**). Mais l'ensemble des régions méditerranéennes constitue la zone de diversification principale de ces espèces (**Lesins et Lesins, 1979**).

Selon **Abdelkefi et Marrakchi (2000)**, 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 .

V. Présentations des espèces**V. 1. *Medicago truncatula*:****V. 1. 1. Description de l'espèce:**

Ce sont des plantes herbacées fourragères annuelles diploïdes ($2n=16$) et autogames (**Lesins et Lesins, 1979**). C'est une espèce de taille intermédiaire, 60 cm maximum, poilue, à port variable, souvent prostrée. L'inflorescence porte 1 à 5 fleurs jaunes de 5 à 8 mm de longueur. Les gousses de 3 à 12 graines 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 varie de 3.3 et 6 gramme. Les fleurs contiennent 10 ovules chacune s'ouvrent seulement après l'auto pollen pour fertilisé les ovules (**Prosperi, 1995**) (**Fig. 1**).



Figure 1: les différents organes de la plante de *M. truncatula* selon **Franck le Driant (2013)**

V. 1. .2. Répartition géographique:

Selon Nègre (1956), c'est une espèce commune du Maghreb et largement répandue en Algérie. Elle est adaptée à toutes les conditions climatiques. *M. truncatula* est prospecté presque dans toutes les zones agroclimatiques du territoire national (**Abdelguerfi et al., 1988**). Sa distribution est concentrée entre les isohyètes 200 et 1000 mm (**Zeghida, 1987**). **Prosperi et al. (1995)**, l'ont rencontrée principalement à une altitude moyenne (730 mètres). **Abdelguerfi et al. (1988)** l'ont signalé le plus souvent sur les sols moyens.

V. 2. *Medicago laciniata*:

V. 2. 1. Description de l'espèce:

Selon **Lesins et Lesins (1979)**, *M. laciniata* est une plantes herbacées annuelles diploïde ($2n=16$) et autogame de 15- 35 cm de long, contient peu de branche allant de la base, la partie végétative est glabre ou peu couverte par des poiles. Les feuilles sont glabres sur la face supérieure peu couverte de poile simple sur la partie inférieur. Les folioles obcordées (forme d'un cœur) avec un bord terminal sous forme de dents (**Lesins,1979**). Les fleurs ont une tailles de 4 à 6.5 mm de long, de couleur jaune, 1 a 2

fleurs portées sur un pédoncule. Les gousses sont de couleur brune jaune à grisâtre, sphériques, ovoïdes, cylindriques ou coniques et épineuses (**Lapeyronie, 1982**). La graine est de couleur jaune pâle à jaune marron, de forme ovale (**Fig. 2**).



Figure 2: les différents organes de la plante de *M. laciniata* selon **Franck le Driant (2018)**

V. 2. .2. Répartition géographique:

Les habitats naturels de *M. laciniata* sont les environnements désertiques secs, sableux ou pierreux. L'espèce semble être originaire des pays de côte sud de la mer méditerranée. Elle a été signalé du côté des îles canaries, de l'Afrique du nord à l'Asie, s'étendant jusqu'aux régions sèches du Pakistan et de l'Inde (**Lesins et Lesins, 1979**). **Abdelguerfi et al. (1988)** signale que *M. laciniata* est une espèce des sols à texture moyens à grossiers, et elle préfère les pH légèrement basiques à basiques. Selon **Negre (1956) et Heyn (1963)** L'espèce de *M. laciniata* se trouve dans les régions sèche et à faible pluviométrie.

V. 3. *Medicago minima*:**V. 3. 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 (**Small and Jomph, 1989**). C'est une plante de 20 à 60 cm de long, avec une couverture plus au moins dense de poiles simples ou se forme de glandes (**Lesins et Lesins,1979**)

Les Feuilles sont obovales, dentées dans leur partie supérieure. Les feuilles inférieures ont une forme de cœur, les stipules entières ou finement dentées. Les fleurs de taille de 3 à 6 mm de long, corolle brillante a jaune limon standard obovale. Les gousses de couleur brune claire a foncé, glabrescente ou à poiles simples et glanduleux, cylindriques ou ovales, épineuse a épines courte. Les graines sont de couleur jaune pâle de taille de 1.7 à 2.5 mm x 1 à 1.3 mm avec 1 à 2 graine par rang (**Lesins et Lesins, 1979**) (**Fig. 3**).



Figure 3: les différents organes de la plante de *M. minima* selon **Folliche ; Roquinarc'h et Martin**

V. 3. .2. Répartition géographique:

C'est l'une des espèces annuelle de *Medicago* les plus largement distribuées. Elle est omni-méditerranéenne, s'étendant au nord jusqu'à l'île de Öland (suède), à l'ouest jusqu'aux îles canaries. Elle se propage facilement grâce aux épines qui se fixent à la toison des moutons et autres animaux à fourrure (**Lesin et Lesins, 1979**) **Selon Heyn (1963)** l'espèce *M. minima* tolère les conditions édaphoclimatiques les plus diverses. *Medicago minima* existe sur tout le territoire Algérien (**Negre, 1959**). Elle pousse au niveau des régions de forte altitude, elle préfère le pH basique à basique *M. minima* est une espèce qui s'adapte aux textures des sols moyens à grossiers (**Abdelguerfi et al. 1988**)

VI. Fixation biologique de l'azote:

L'azote est un composant important pour la croissance et pour le développement de tous les organismes (y compris les acides nucléiques et les protéines indispensables à la reproduction et à la croissance) or, dans les écosystèmes naturels et cultivés, sa disponibilité est limitée, ce qui est généralement l'un des facteurs limitant la croissance des plantes.

La fixation biologique de l'azote est une activité microbienne vitale pour le maintien de la vie sur terre. C'est un processus qui implique la transformation de l'azote gazeux (N_2) en ammoniac de manière biologique à l'intérieur des nodules (**Hopkins, 2003**). Elle est assurée par un complexe enzymatique appelé nitrogénase (**Dixon et Wheeler, 1996**) pour produire des substances protéiques à partir de l'azote gazeux présent dans l'atmosphère et l'environnement (**Ken et al. 1991**). L'azote est

considère le facteur principal qui limite la croissance des plantes (**Chapin, 1980 ; Aerts et Chapin, 2000**).

Certaines plantes comme les légumineuses peuvent s'associer en symbiose avec des bactéries. Les bactéries fournissent aux plantes une forme d'azote qui peut être utilisée pour synthétiser leurs protéines. D'une part, les plantes fournissent aux bactéries l'énergie nécessaire pour fixer l'azote et, d'autre part, elles fournissent aux plantes les molécules de carbone nécessaires pour produire leurs propres molécules d'azote (**Guignard, 2000**).

L'implication dans la fixation symbiotique de plantes aussi importantes dans l'alimentation humaine (soja, pois, haricot...) et animale (trèfle, luzerne...) que les légumineuses participent à la revégétalisation des écosystèmes la faible teneur en azote en fait une flore végétale pionnière, l'initiateur de la succession écologique, et il est possible d'étendre cette caractéristique à d'autres espèces végétales d'importance agricole, éliminant ainsi le besoin d'engrais azote (**Jean-François, 2019**).

VI. 3. La nodulation:

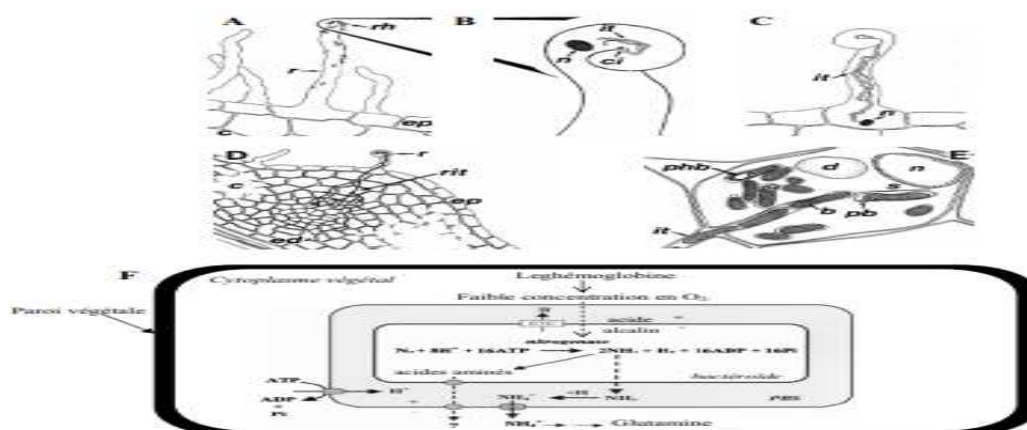
Les nodules sont de nouveaux organes produits par les plantes hôtes, dans lesquels des bactéries différenciées en bactéroïdes fixent l'azote atmosphérique (**Aouadj et Saidi , 2015**). C'est le seul organe localisé sur la racine qui fonctionne pour la survie des bactéries et l'activité de la nitrogénase. La plante conserve les nodules en condition de micro-oxygène par les parenchymes nodulaires, et la leghémoglobine transporte et régule la concentration d'oxygène nécessaire à la respiration (**Ott et al., 2005**).

Le processus de nodulation commence lors de la pré-infection, il y a une phase de reconnaissance entre les deux partenaires, suivie de deux phases presque

simultanées, l'infection des racines par la bactérie et l'organogenèse du nodule (Patriarca et al., 2004).

En général, la formation d'une nodosité fixatrice d'azote suit les étapes de développement suivantes (Fig. 4) (Perret et al., 2000; F: d'après Day et al., 2001):

- Chimiotaxie et attachement des rhizobiums aux racines de l'hôte ;
- Déformation des poils absorbants racinaires;
- Les bactéries envahissent le cytoplasme des cellules corticales par le cordon infectieux ;
- La division cellulaire corticale conduit à la formation de primordium nodulaires;
- Les bactéries se différencient en bactéroïdes, les primordiaux de nodules également se différencient en nodosité.



- A. Les rhizobia (rh) colonisent la rhizosphère et s'attachent aux poils absorbants (r).
- B. Les bactéries induisent la déformation du poil en crosse de berger et initient un cordon d'infection (it) au centre de la courbure à partir d'un centre infectieux (ci).
- C. Le cordon s'allonge et atteint la base de la cellule épidermique.
- D. Le cordon se ramifie (rit) à l'approche du primordium nodulaire formé suite à la division des cellules du cortex (c).
- E. Les bactéries sont relâchées dans les cellules du nodule et forment des symbiosomes, où elles se différencient en bactéroïdes fixateurs. Des granules de PHB s'accumulent dans les bactéroïdes entourés d'une membrane péribactéroïdienne.
- F. Fixation de l'azote et transport de l'ammonium dans le symbiosome. La leghémoglobine maintient une concentration basse en oxygène permettant le fonctionnement de la nitrogénase qui transforme l'azote en ammoniac dans le bactéroïde. L'ammoniac diffuse dans l'espace péribactéroïdien où il est transformé en ammonium qui est ensuite exporté dans le cytoplasme végétal via un canal et assimilé en glutamine par la plante. L'ammoniac peut aussi être assimilé au niveau du bactéroïde dans des acides aminés ensuite exportés vers le cytoplasme végétal.

Figure 4: Etapes du processus de nodulation lors de la symbiose Légumineuses-Rhizobia (Perret et al., 2000; F: d'après Day et al., 2001)

VI. 3.1. Pré-infection:

C'est l'étape de reconnaissance des partenaires et réponses biologiques induites chez la plante hôte. L'interaction entre la plante et la bactérie débute dans la rhizosphère par la colonisation de jeunes poils absorbants par les Rhizobia. La croissance des bactéries se fait d'une manière sélective par la plante (Mouna, 2008). En effet, le processus de nodulation débute par l'échange de signaux entre la plante hôte et la bactérie (Patriarca et al., 2004). Cette étape s'initie par un dialogue moléculaire spécifique entre les deux partenaires (Teillet, 2008.).

Dans un premier temps, les plantes produisent des flavonoïdes (molécules signales) au niveau de leurs racines qui sont reconnues par les bactéries (Patriarca et al., 2004). Ce signal est présent dans les exsudats racinaires détectés, le Rhizobium induit l'expression de gènes nodulation codant pour les enzymes de synthèse de facteurs Nod (lipochitinoooligosaccharides ou LCO), à l'origine de la reconnaissance spécifique entre les deux symbiotes et le déclenchement de l'organogénèse nodulaire chez le végétal par une cascade d'expression de gènes spécifiques (Dénarié, 2000; Gage, 2004) (Fig. 5). Ce sont des signaux de nodulation ciblant le programme organogénétique de la plante (Patriarca et al., 2004).

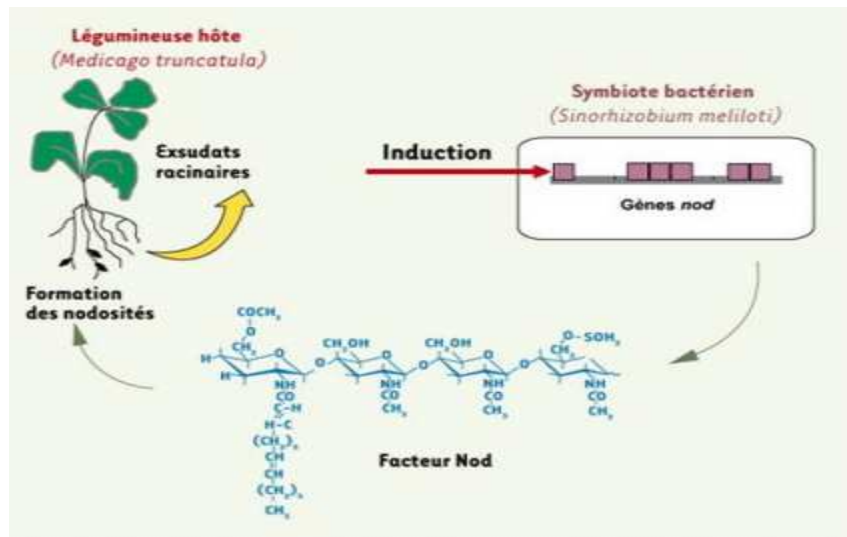


Figure 5: Représentation schématique du dialogue moléculaire Rhizobia-Légumineuse (Denarié et al., 1996) .

Les Facteurs Nods sont des signaux symbiotiques clés requis pour la reconnaissance plante hôte-bactérie (Perret et al., 2000; Broughton et al., 2000; Cooper et al., 2007). Ils sont produits par les Rhizobia au niveau de l'extrémité non réductrice des différents tissus racinaires de la plante hôte (Lerouge et al., 1990).

Les Facteurs Nods induisent la majorité des réponses de pré-infection observées pendant l'inoculation avec les bactéries.

L'usage exogène de facteurs Nod purifiés peut créer certaines réactions qui sont observées à l'inoculation par des Rhizobia (Fig6):

- Provoque la déformation du poil absorbant,
- Cause une forte dépolarisation membranaire, entourée d'une alcalinisation du cytoplasme et d'une augmentation de la concentration intracellulaire de calcium, sous forme d'oscillations de calcium (Walker et al., 2000 ; Wais et al., 2000).
- Stimule la division cellulaire,
- Induit l'expression de gènes Enod (EarlyNodulin) spécifiquement exprimés dans les nodules et dans certains cas peut même former des nodules (Miklashevichs et al., 2001 ; Cullimore, 2001).

La plupart de ces réactions se produisent à de très faibles concentrations de facteurs Nod et dans la zone de la racine susceptible de former des nodules (**Cullimore et al., 2001**). De plus, le FNod purifié active, au niveau du cortex interne, la reprise des divisions cellulaires qui sont à l'origine de la formation du primordium nodulaire (**Spaink et al., 1991 ; Truchet et al., 1991**). Enfin, le FNod purifié induit l'expression génique, appelés gènes de nodulines précoces, au niveau des cellules de l'épiderme, du cortex et du péricycle de la racine.

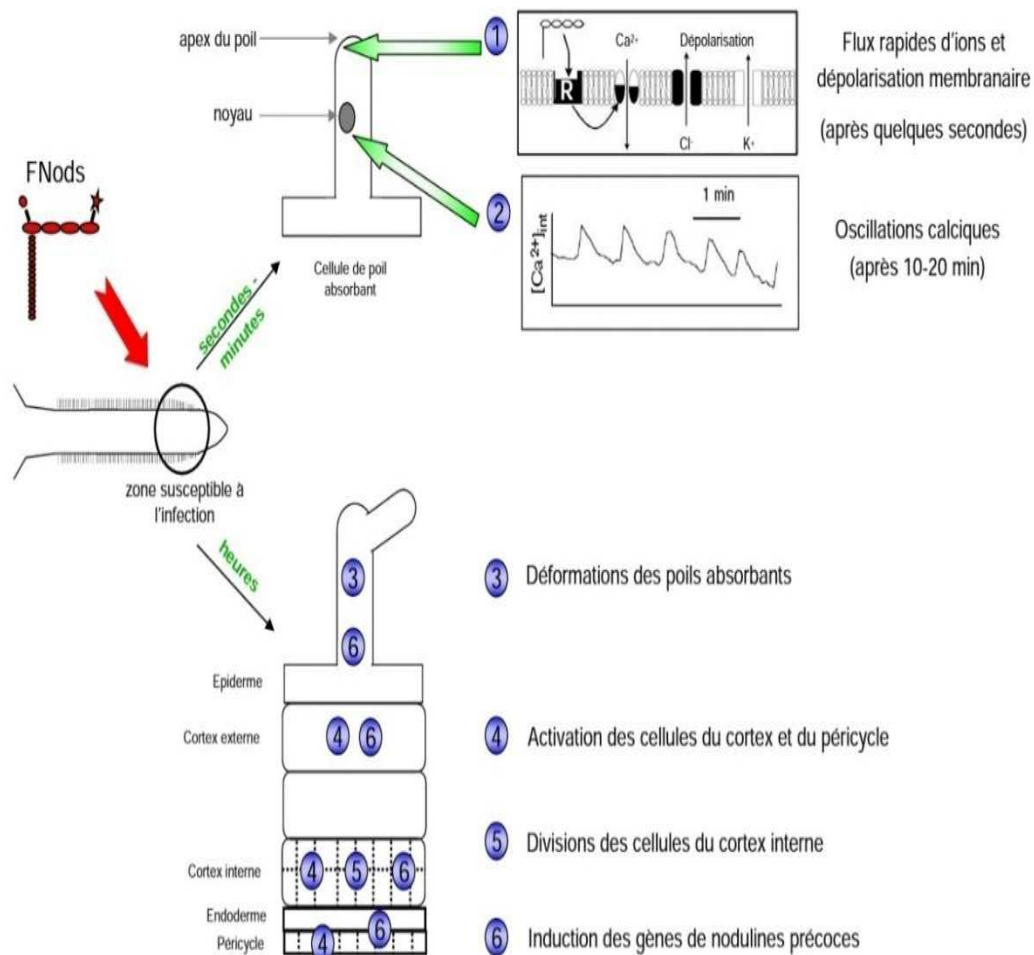


Figure 6: Représentation schématique des réponses précoces induites par application globale des facteurs Nods au niveau de la zone racinaire susceptible à l'infection chez la plante hôte (**Downie et Walker, 1999**).

VI. 3. 2. Infection:

C'est l'étape de l'initiation, de l'infection et la formation du cordon d'infection. Le processus d'infection dans les racines est une série d'évènements liés à la pénétration de bactéries dans les cellules radiculaires, qui peuvent avoir lieu à travers les poils des racines, les plaies ou les espaces intercellulaires (**Rasanen, 2002**).

Pendant le processus d'infection, la courbure des poils absorbants racinaires favorise la pénétration des bactéries et ensuite les bactéries sont entourées par la paroi végétale dans une zone confinée. Qui se déroulent par deux étapes :

Tout d'abord, les bactéries se lient aux poils grâce à une protéine bactérienne calcium dépendante de type adhésine, « rhicadhésine » (**Smit et al., 1989**). Ensuite, les fibrilles de cellulose synthétisées par les bactéries permettent de former un biofilm à l'apex des poils absorbants (**Smit et al., 1986; 1987**). Des lectines végétales situées à l'apex des poils sont aussi impliquées dans l'adhésion des bactéries. Ces lectines ont la capacité de se lier spécifiquement et de manière réversible aux composés saccharidiques présents à la surface des bactéries compatibles (**Kijne Et al., 1997 ; Hirsch, 1999**).

Une fois attachées à l'apex des poils en croissance, les bactéries vont inciter par la voie des FNods la courbure du poil absorbant en « crosse de berger ». Cette déformation typique de l'infection par *Rhizobium* correspond à une flexion à 360° des poils absorbants racinaires autour des micro-colonies bactériennes. A la suite de cette déformation les bactéries pénètrent dans les poils absorbants à travers une structure tubulaire appelée cordon d'infection.

Le cordon continue ainsi sa progression vers les tissus internes et produit des branchements (**Figure 7K**) en progressant vers le primordium nodulaire, augmentant ainsi le nombre possible de sites d'entrée des bactéries dans les cellules des nodules et

assurant la colonisation du nodule. Certains cordons libèrent ensuite des bactéries dans les cellules du nodule (**Figure 7L**), où elles se différencient et synthétisent les protéines requises pour fixer l'azote et la maintenir l'interaction (**Gage, 2004**).

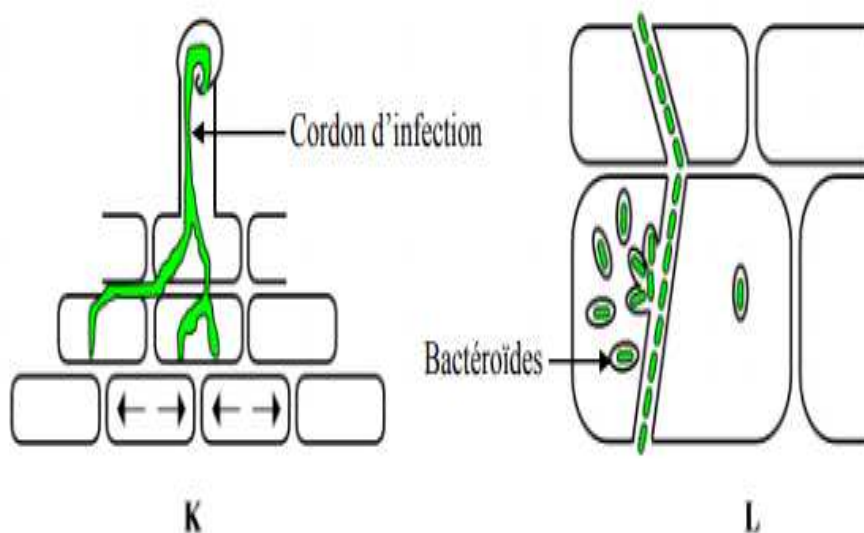


Figure 7: K. Ramification du cordon d'infection et progression vers le cortex interne qui est en cours de division pour former le primordium puis le méristème nodulaire. Les flèches représentent l'initiation de la mitose dans ces cellules. L. Formation des symbiosomes. Libération des bactéries dans une cellule du nodule où elles sont entourées d'une membrane provenant de la plante. D'après **Gage, 2004 ; Gage and Margolin, 2000 ; Brewin, 2004**.

C'est à cet endroit que les bactéroïdes s'enkystent, augmentent de volume et changent de forme. A l'intérieur des cellules végétales, les bactéroïdes sont entourés par une membrane pér bactéroïdienne qui les isole, en partie, du cytoplasme cellulaire. C'est à ce stade, ces microorganismes fabriquent la nitrogénase, l'enzyme responsable de la fixation du diazote (**Fig. 8**).

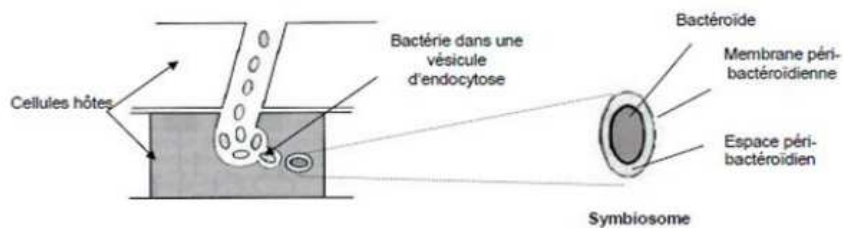


Figure 8: Schéma de la libération des bactéries dans les cellules de la zone d'infection (zone II) et formation d'un symbiosome (D'après **Kannenberg et Brewin, 1994**).

VI. 3 .3. Formation des nodules:

L'infection de la racine par les bactéries développe un nouvel organe qui forme une niche pour les bactéries: le nodule ou nodosité (**Borget., 1989; Madigan et Martinko, 2007**). Un nodule mature se compose de deux parties : le tissu interne, où se trouvent les cellules infectées par des bactéries et où la fixation d'azote à lieu et le tissu externe qui assure les échanges avec le reste de la plante et une protection des tissus internes (**Selami, 2015**).

Selon (**Hirsch, 1992**), les tissus périphériques nodulaires sont aux nombres de trois :

- Le cortex nodulaire, dérivé de l'épiderme racinaire;
- L'endoderme;
- Le parenchyme nodulaire (ou cortex interne).

Au niveau du parenchyme nodulaire se trouvent les traces vasculaires connectées au cylindre central de la racine. Ces vaisseaux périphériques fournissent des nutriments aux nodules et permettent d'exporter de l'azote fixe vers le reste de la plante (**Selami , 2015**).

Deux types de nodules peuvent être distingués : Les nodules à croissance indéterminé sont formés au niveau du cortex interne et les nodules de type déterminé qui sont formés au niveau du cortex externe.

Le type de nodule dépend de la plante hôte et non de son symbiote. Les légumineuses tempérées (pois, luzerne, trèfle...) forment généralement des nodules indéterminés, qui ont une activité méristématique continue dans le temps, tandis que les légumineuses tropicales (soja, haricot...) forment généralement des nodules déterminés, nodules avec une activité méristématique limitée dans le temps (**Hirsch, 1992**) (Fig. 9).

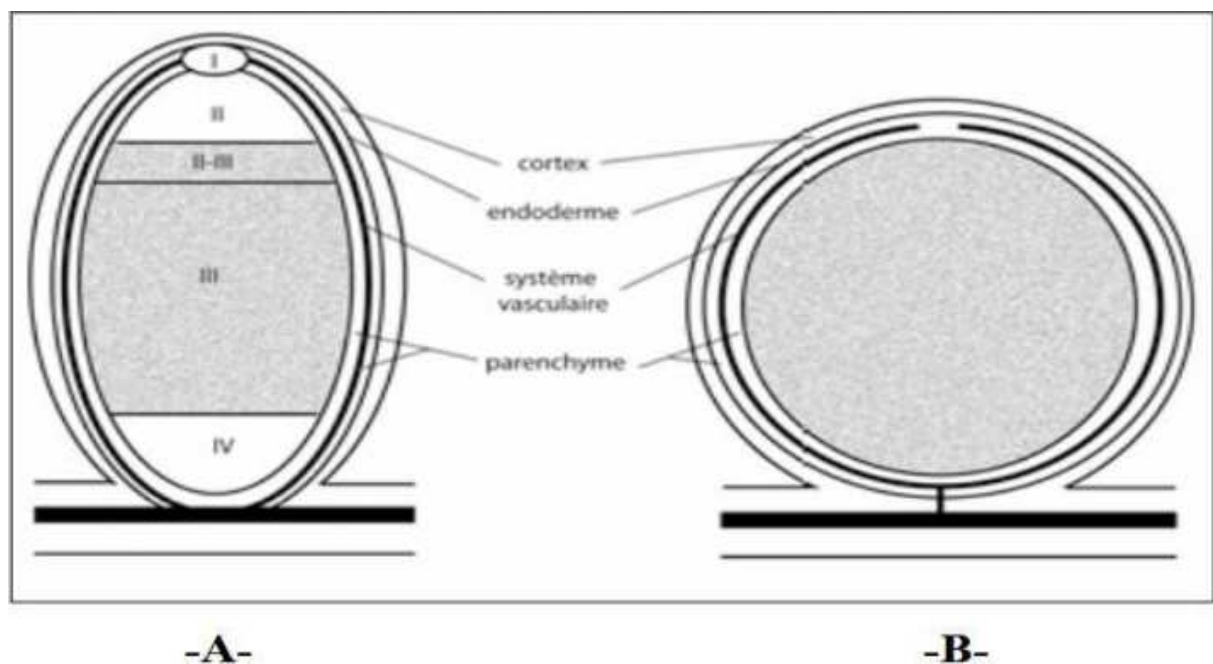


Figure 9: Les types de nodules fixateurs d'azote

(A) : Nodule de légumineuse de type indéterminé. (B) : Nodule de légumineuse de type déterminé. (**Chabbi, 2010**)

VI. 3 .5. Spécificité symbiotique :

L'une des principales caractéristiques de l'association rhizobium-légumineuse est leur spécificité d'hôte. Une espèce de rhizobium ne peut établir, de relation symbiotique efficace qu'avec un nombre limité de partenaires végétaux, en fonction son spectre d'hôtes.

De même une espèce de légumineuse ne peut être ondulée que par un certain nombre d'espèces de rhizobium, définissant ainsi le spectre d'hôtes de la légumineuse. (**Tilak et al., 2005**). Ces spécificités de l'hôte dépendant généralement de la composition des exsudats racinaires, et de la nature de déterminants moléculaires appelés facteurs Nods secrétés par les Rhizobia.

CHAPITRE II :

**MATERIEL ET
METHODES**

VII. Matériel et méthodes**VII. 1. Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé dans ce travail est constitué de trois espèces de luzernes annuelles : *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*. Chaque espèce est représentée par quatre populations locales collectées au niveau de la région de Djelfa (tableau 2).

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

Espèces	Site de collecte	Altitude (m)
<i>Medicago minima</i>	Ain Oussera (MmAO)	758
	Mliliha (MmMli)	806
	Charef (MmCh)	960
	Oued Touil (MmOT)	718
<i>Medicago laciniata</i>	Bouiret Lahdab (MIBL)	830
	Messaad (MIMes)	950
	Mliliha (MIMli)	806
	Oued Touil (MLOT)	718
<i>Medicago truncatula</i>	Oued Touil (MtOT)	718
	Mliliha (MtMli)	806
	Ain Oussera (MtAO)	758
	Charef (MtCh)	960

Description de l'essai :

L'essai a été mené au niveau de la station expérimentale de Mehdi Boualem de Baraki (INRAA). Cette zone est caractérisée par un climat subhumide avec un hiver doux et un été chaud.

- **Préparation des graines :**

Les graines sont obtenues manuellement par l'ouverture des gousses, puis scarifiées à l'aide d'une lime et du papier-verre.

- **Préparation des pots :**

On a utilisé pour le semis 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. Les pots ont été remplis avec 2/3 de terre argileuse et 1/3 de tourbe.

- **Le semis :**

Le semis a été effectué le 26 décembre 2019 à raison de cinq graines par pot. Les pots sont arrosés deux à trois fois par semaines selon l'évapotranspiration. Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en randomisation totale avec quatre (04) répétitions.



Fig 10. Obtention des graines à partir des gousses



Fig 12. Semis des graines dans des pots

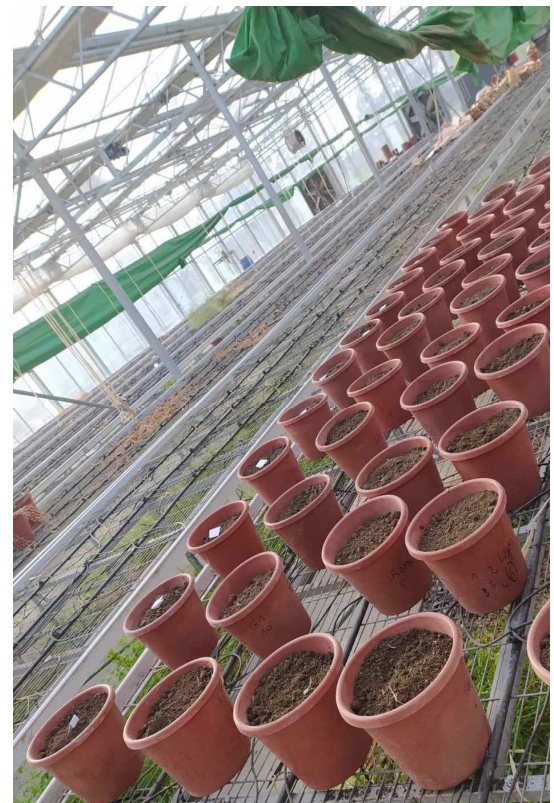


Fig 11. préparation des pots pour le semis

- **La levée :**

A la levée, nous avons arrachant certains plants, en laissant seulement deux plants par pot.



Fig 13. Développement des plantes

- **Préparation des plants :**

A floraison (fin mars- début avril), les plantes ont été déterrées. La partie aérienne et la partie souterraine ont été séparées. Les racines ont été lavées pour permettre la collecte des nodules. La partie aérienne et la partie souterraine ont été pesées à l'aide d'une balance d'une portée de 15 kg, alors que les nodules ont été pesés à l'aide d'une balance de précision vitrée.



Fig 14. Formation des nodules sur les racines

- **Les caractères mesurés :**

Les caractères suivants ont été mesurés sur huit plants par populations:

- Le poids frais de la partie aérienne en gramme (**PFA**),
- Le poids des racines en gramme (**PR**),
- Le nombre total des nodules (**NND**),
- Le poids frais des nodules milligramme (**PND**).

VII. 2. Analyse des données

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de variance à un seul critère de classification à l'aide du logiciel GenStat Discovery. Une comparaison multiple de moyennes est réalisée avec le test lsd (least significant difference) Les

relations entre les caractères mesurés ont été testées en utilisant les coefficients de corrélation de Pearson.

CHAPITRE III :

RESULTATS ET

DISSCUSION

III. Résultats et discussion

VIII. 1. Analyse de variance

- Le poids frais de la partie aérienne et le poids des racines:

L'analyse de variance montre des différences très hautement significatives entre les populations pour les deux caractères (Tableau 3). La population de *M. truncatula* originaire d'Ain Oussera a enregistré le poids frais de la partie aérienne le plus élevé avec 33.0 alors que la population de *M. minima* issue de la région de Mliliha a présenté le poids de la partie aérienne le plus faible avec 17.0g (Fig. 17)

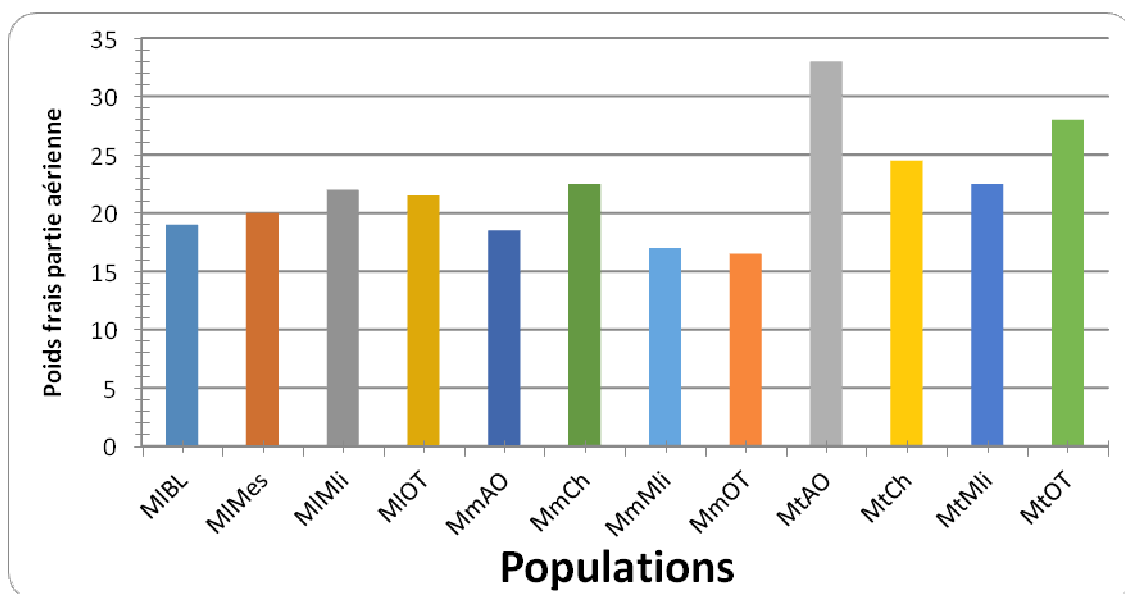


Figure 15: Variation du poids de la partie aérienne chez les populations de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*

La population de *M. truncatula* originaire d'Ain Oussera a enregistré le poids des racines les plus élevés avec 33.0 g , alors que la population de *M. minima* issue de la région de Mliliha a présenté les poids des racines les plus faibles avec 6.5 g (Fig18).

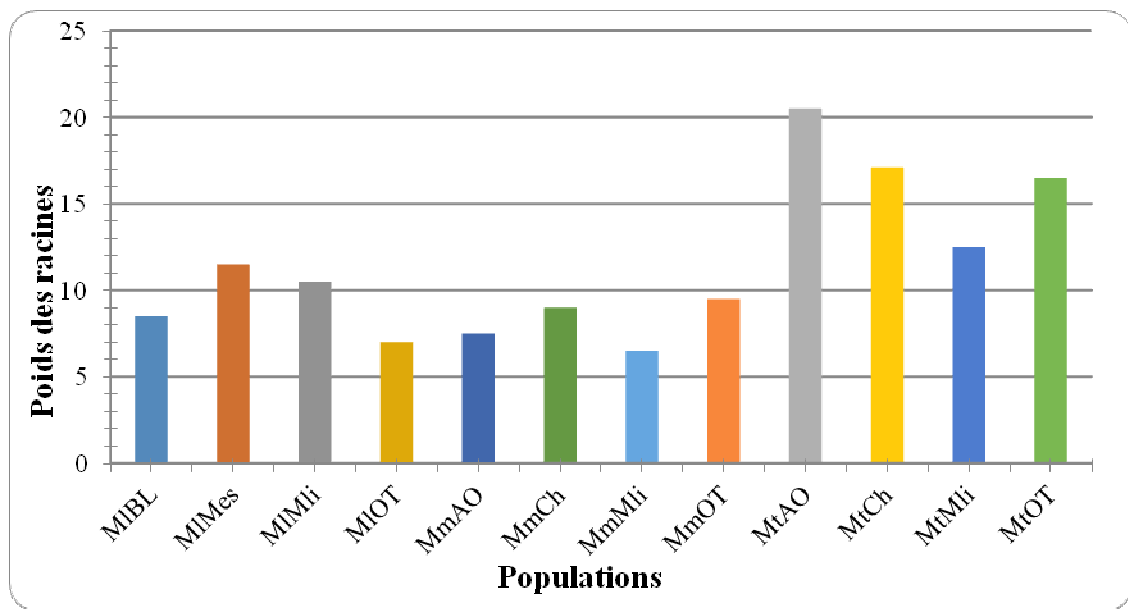


Figure 16: Variation du poids de la partie racinaire chez les populations de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*

- Le nombre et le poids frais des nodules:

L'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives entre les populations pour les deux paramètres (**Tableau 3**). Le nombre des nodules le plus élevé ont été enregistré par la population de *M. truncatula* de la région de Charef avec 116 mg , tandis que la population de *M. minima* issue de la région de Mliliha a le nombre de nodule le plus faible (34 mg) (Fig. 19)

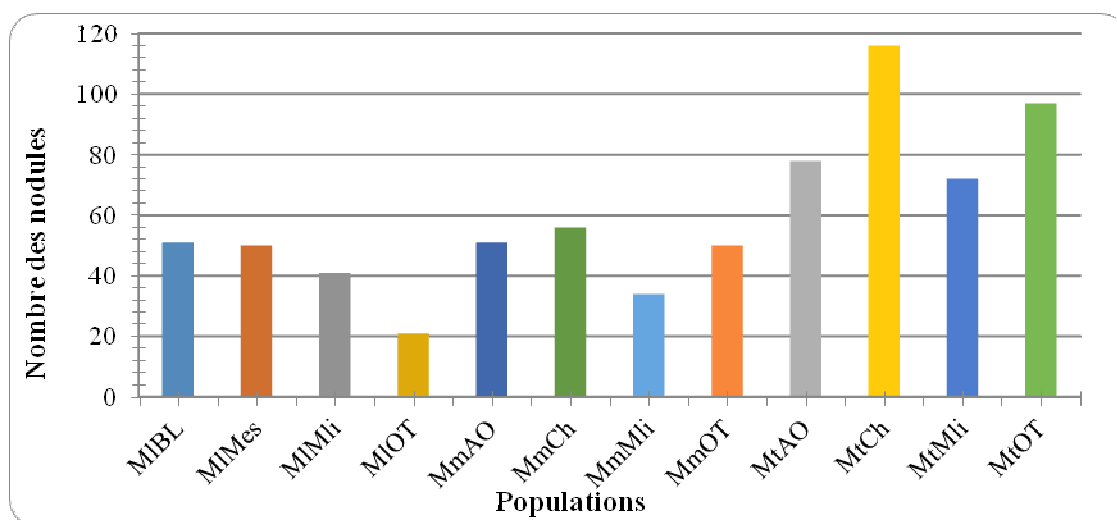


Figure 17: Variation du nombre des chez les populations de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*

Le poids des nodules les plus élevés ont été enregistré par la population de *M. truncatula* de la région de Charef avec 112.2 mg respectivement, tandis que la population de *M. minima* issue de la région de Mliliha a enregistré le poids des nodules le plus faible (29.4 mg) (Fig20)

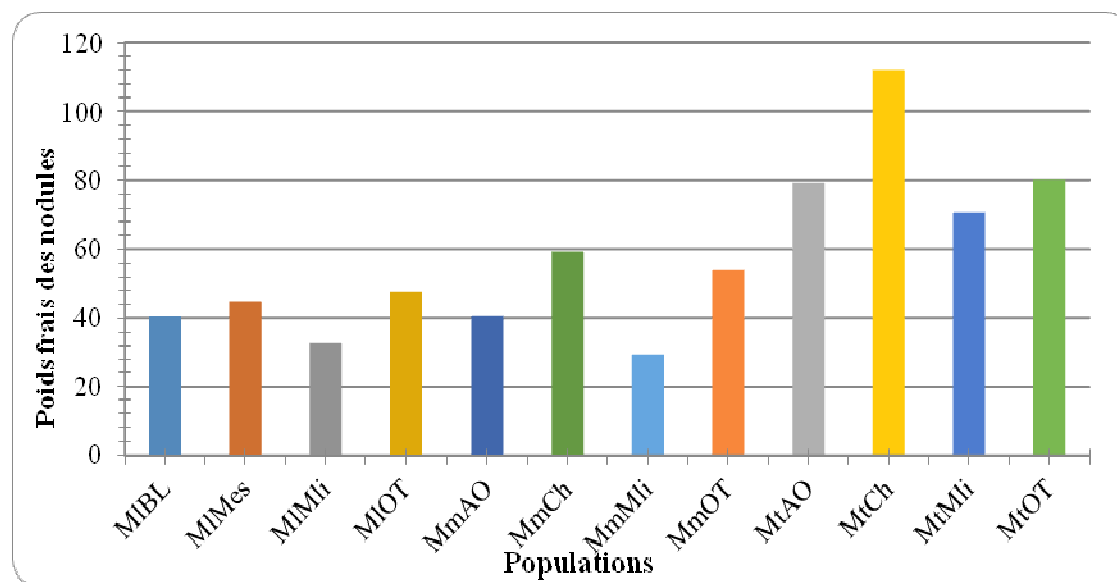


Figure 18: Variation du poids des nodules chez les populations de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula*

Tableau 3: Valeurs moyennes des caractères mesurés chez les populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*.

Populations	PFA	PR	NND	PND
MIBL	19.0	8.5	51	40.5
MIMes	20.0	11.5	50	44.7
MIMli	22.0	10.5	41	32.6
MIOT	21.5	7.0	21	47.4
MmAO	18.5	7.5	51	40.6
MmCh	22.5	9.0	56	59.2
MmMli	17.0	6.5	34	29.4
MmOT	16.5	9.5	50	53.9
MtAO	33.0	20.5	78	79.2
MtCh	24.5	17.1	116	112.2
MtMli	22.5	12.5	72	70.7
MtOT	28.0	16.5	97	80.2
Moy. Gén	22.09	11.4	59.7	57.7
p-value	0.001	0.001	0.001	0.001
Sign.	***	***	***	***
E. T	4.7	4.4	26.8	24.1
C.V (%)	21.7	38.6	44.8	41.9

Moy. Gén: Moyenne Générale; E.T: 2cart Type; C.V: Coefficient de Variation;

Sign.: Signification (*: Significatif; **: Hautement Significatif; ***: Très Hautement Significatif)

L'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives entre les populations pour les paramètres à savoir:

Le poids frais de la partie aérienne et le poids des racines.

Le nombre et le poids frais des nodules.

VIII. 2. Relation entre caractères mesurés

Nous avons noté une relation étroite entre les caractères de croissance et les caractères de la nodulation (Tableau 4). En effet le poids de la partie aérienne est très hautement corrélé avec le poids des racines. Les populations qui ont présenté une bonne croissance ont une bonne nodulation (nombre et poids des nodules élevés). Le poids des racines est hautement corrélé avec le nombre des nodules. Le nombre et le poids des nodules sont très hautement liés entre eux. Nos résultats confirment ceux obtenus par **Chebouti (1999)**, qui signale une corrélation positive entre le poids frais de la partie aérienne et le nombre des nodules chez *Medicago aculeata*, et entre le nombre de nodule et le poids frais des nodules chez *Medicago aculeata* et *Medicago*

orbicularis. **Dhan et al., (2006)** indique une corrélation positive et significative entre le nombre des nodules et la matière sèche aérienne chez *Hedysarum coronarium* L.

Tableau 4: Relation entre les caractères mesurés chez les populations de *M. laciniata*, *M. minima* et *M. truncatula*.

	PFA	PR	NND	PND
PFA	1.000			
PR	0.878***	1.000		
NND	0.609*	0.826**	1.000	
PND	0.654*	0.509	0.914***	1.000

Seuil de signification: 5%: 0.576; 1%: 0.707; 0.1%: 0.823

CONCLUSION

Conclusion

L'objectif de notre travail fixé au départ est l'étude de la croissance des plantes et l'évaluation de la nodulation chez quelques populations locales de *Medicago minima*, *Medicago laciniata* et *Medicago truncatula*, ainsi que la relation entre la nodulation et la croissance des plantes. Les résultats obtenus montrent qu'il existe une grande variabilité génétique chez les populations de *Medicago truncatula*, *Medicago laciniata* et *Medicago minima* pour la majorité des caractères étudiés. Les résultats obtenus montrent que les populations de *Medicago truncatula* ont été les plus performantes par rapport aux populations de *Medicago laciniata* et *Medicago minima*.

Concernant la croissance des plantes, la population de *M. truncatula* originaire de la région d'Ain Oussera a présenté le meilleur développement végétatif et un bon développement racinaire par rapport aux autres populations. Alors que pour la nodulation, la population de *M. truncatula* issue de la région de Charef s'est distinguée par une bonne nodulation.

Les populations locales des espèces annuelles de *Medicago* L., par leur capacité d'adaptation et de production peuvent jouer un rôle important dans l'amélioration de la production fourragère en Algérie. Donc, il est nécessaire de sélectionner des populations adaptées à nos conditions et performantes. Dans notre cas et selon les résultats obtenus, les populations de *Medicago truncatula* ont été les plus performantes par rapport aux populations de *Medicago laciniata* et *Medicago minima*. Et donc, il est préférable de sélectionner les populations de *Medicago truncatula*.

Pour une meilleure valorisation de ces ressources phylogénétiques locales, d'autres études futures devraient être menées afin d'identifier des populations capables d'avoir une nodulation abondante et une activité élevée de la nitrogénase en conditions de stress (stress hydrique et stress salin).

REFERENCES

Références :

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.

Abedlkefi A. et Marrakchi M. 2000. Les ressources phytogénétique et pastorales : de l'érosion a la conservation. Cahiers options mediterraneenes, vol **45**,15-27.

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, 375p.

Abdelguerfi A., Laouar M., M'Hammedie Bouzina M. 2008. Les production fourragères et pastorales en Algérie : Situation et Possibilités d'Amélioration. Revue Semestrielle 'Agriculture & développement' (INVA , Alger) n°**6**, 14-25.

Aouadj R ., Saidi O . 2015. Isolement et caractérisation des bactéries nodulant la légumineuse fourragère *Hedysarum pallidum* Desf., poussant dans la région de Djebel Boutaleb (Setif). Mémoire Master 2: Ecologie microbienne. Univerisite des Frères Mentouri, Constantine, 63p.

Ayad N. 2017. Analyse cytogénétique du complexe *Medicago intertexta*- *Medicago ciliaris* avec accent sur la méiose et ses anomalies. Mémoire Master : taxo-génétique végétale et évolution. Université Abderrahmane MIRA, Bejaia, 52p

REFERENCES

- Bazzicalupo M., Biondi E.G. et al. 2015.** Advances in Host Plant and Rhizobium Genomics to Enhance Symbiotic Nitrogen Fixation in Grain Legumes. *Advances in Agronomy* **129**, 1-116.
- Berrabah S., Chemissa M. 2016.** Aperçus ethnobotanique et chimique des fabacées. Mémoire Master : Gestion de l'environnement. Université Mohamed Boudiaf, M'SILA, 50p.
- Borget M. 1989.** Les légumineuses vivrières. Ed. Maisonneuve et Larose. Paris. 161p.
- Brewin, N.J. 2004.** Plant cell remodelling in the Rhizobium-Legume symbiosis. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **23**, 293- 316.
- Broughton W.J. 1984.** Nitrogen fixation: Legumes. *The Journal of Chartto and Windus 2Td*, Londres, 117p.
- Broughton, W.J., Jabbouri, S., Perret, X. 2000.** Keys to symbiotic harmony. *Journal of Bacteriology* **182**, 5641-5652.
- Chabbi, R.2010.** Caractérisation des bactéries isolées à partir du genre *Trigonelle L* (légumineuse) poussant dans différents écosystèmes de l'Est algérien. Mémoire Magister. Université Mentouri. Constantine. Algérie.126p.
- Chebouti A. 1999.** Effet du stress hydrique sur le comportement et la production de semences chez trois espèces de luzernes annuelles: *Medicago aculeata*, *Medicago orbicularis* et *Medicago truncatula*. Thèse Magister. INA, El-Harrach, 125p.

REFERENCES

Chebouti A. 2018. Evaluation des populations locales de *Medicago laciniata*, *Medicago minima* et *Medicago truncatula* et caractérisation phénotypiques des souches de rhizobiums associées. Thèse Doctorat. ENSA, El-Harrach, 137p

Cellier P., Odoux J.F., Thiébeau P., Vertès F. 2016. Ce que les légumineuses fourragères et prairiales apportent à l'environnement. *Association Française pour la Production Fourragère*, p.1-10.

Crémer S. 2014. Introduction à la reconnaissance des légumineuses. 6p.

Cooper J.E. 2007. Early interactions between legumes and rhizobia: disclosing complexity in a molecular dialogue. *Journal of Applied Microbiology* **103**: 1355-1365.

Cullimore, J.V., Ranjeva, R., Bono, J.J. 2001. Perception of lipo chitoooligosaccharidic Nod factors in legumes. *Trends Plant Science*, **6**, 24-30.

Denarie, J. 1990. Symbiotic host-specificity of *Rhizobium-Meliloti* is determined by a sulfated and acylated glucosamine oligosaccharide signal. *Nature* **344**, 781-784.

Denarie J. 2000. Les symbioses racinaires, dans le monde végétal, du génome à la plante entière. Académie des sciences, rst n ° 10. Editions TEC et DOC des sciences. Université Laval.

Dhan S., Zribi K., Jeddi F., Aouani M. E., Zouaghi M. 2006. Enquête sur la nodulation de *Hedysarum coronarium* L. (variété Birka 21) en Tunisie. Actes du Workshop International sur la diversité des Fabacées et de leurs symbiotes: Applications Biotechnologiques, agronomiques et environnementales. p. 249-252.

Dixon R.O.D., Wheeler C.T. 1996. Nitrogen fixation in plants. Backie. Glasgow, 152p.

REFERENCES

Dommergues O. 2006. Diversité des Rhizobia associés à *Ononis repens*, une légumineuse adaptée aux milieux méditerranéens. Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études. Sciences de la vie et de la terre, France, 33p.

Downie J.A. Walker S.A. 1999. Plant responses to nodulation factors. *Current Opinion in Plant Biology* **2**, 483-489.

Filoche S ; Martin Y ; Roquinarç'h : *Medicago minima* , disponible sur :

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/107658, consulté le 4/10/2020.

Fossou K.R. 2011. Diversité génétique des Rhizobia associés a un champ de pois d'Angole (*Cajanus cajan* L.) à Yamoussoukro (centre de la Côte d'Ivoire). Diplôme D'Agronomie Approfondie. Ecole Supérieure d'Agronomie. 143p.

Franck le Driant: luzerne laciniée.(avril 2018), disponible sur :

https://www.florealpes.com/fiche_medicagolaciniata.php?zoomphotod=3#visiga, consulté le 04/10/2020.

Franck le Driant: luzerne tronquée.(novembre 2013), disponible sur :

https://www.florealpes.com/fiche_medicagotruncatula.php?zoomphotod=6#visiga, consulté le 04/10/2020

Gage, D.J., and Margolin, W. 2000. Hanging by a thread: invasion of legume plants by rhizobia. *Current Opinion in Microbiology* **3**, 613-617.

Guignard, Jean-Louis, et Pierre Potier. 2000. Biochimie végétale. Dunod

Gage, D.J. 2004. Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **68**, 280-300.

REFERENCES

- Heyn C.C. 1963.** The annual species of *Medicago* L. Publications of Hebrew University, Jerusalem, 54p.
- Hrish A.M. 1992.** Developmental biology of legume nodulation. *New Phytologist* **122**, 211-237.
- Hirsch, A.M. 1999.** Role of lectins (and rhizobial exopolysaccharides) in legume nodulation. *Current Opinion in Plant Biology*, **2**, 320-326
- Hopkins W.G. 2003.** *Physiologie végétale*. Université des Sciences de Lille. Edition de boeck. p. 99-120.
- Jean-François F. 2019.** Définition de la fixation biologique de l'azote. <https://www.aquaportail.com/definition-5644-fixation-biologique-de-l-azote.html>.
- Ken et al .1991.** Generalite sur la fixation biologique de l'azote. <http://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-il-generalite-sur-la-fixation-biologique-de-lazote-908.html>.
- Kijne, J.W., Bauchrowitz, M.A., and Diaz, C.L. 1997.** Root Lectins and Rhizobia. *Plant Physiol*, **115**, 869-873
- 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. Symposium international «Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED), Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009.
- Kehal S., Dani O. 2015.** Appréciation de la diversité génétique de cinq espèces du genre *Medicago* L. collectées dans le nord algérien par les marqueurs protéique

REFERENCES

(Globulines) .Mémoire Master 2: Biochimie moléculaire et Santé. Université des frères Mentouri, Constantine , 67p

Lapeyronie A. 1982. Les productions fourragères méditerranéennes - technique agricole et production méditerranéenne. Maisonneuve et Larose. Paris. p 307-315

LaBauer D.S. Treseder K.K. 2008. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology* **89**, 371–379.

Lerouge P., Roche P., Faucher C., Maillet F., Truchet G., Prome J.C., et Denarie, J. 1990. Symbiotic host-specificity of *Rhizobium-Meliloti* is determined by a sulfated and acylated glucosamine oligosaccharide signal. *Nature* **344**, 781-784.

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

Madigan M. Martinko J. 2007. Biologie des micro-organismes. Ed. Pearson. Paris. 1047p.

Miklashevichs, E.H., Rohrig, J., Schmidt, S.J. 2001. Perception and signal transduction of rhizobial NOD factors. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **20**, 373-394.

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

Nègre R. 1959. Révision des *Medicago* d'Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. Nat. De L'Afrique du Nord* **50**, 267-314.

Patriarca E.J., Tate R., Ferraioli S., Iaccarino M. 2004. Organogenesis of legume root nodules. *International Review Cytology* **234**, 201-262

REFERENCES

Perret X., Staehelin C., Broughton W.J. 2000. Molecular basis of symbiotic promiscuity. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **64**, 180- 201.

Prosperi J.M., Guy P., Genier G., Angervian M. 1995. Ressources génétiques des plantes fourragères et à gazon. BRG-INRA, Paris, pp 131–168.

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

Quézel P. Santa S. 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS. Paris. 1170p.

Rasanen L.A. 2002. Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia* and *Prosopis*. These de doctorat Université de Helsinki. Finland. 93p.

Raven., Evert., Eichhorn. 2007. Biologie végétale. 2ème édition . Édition de boeck. Paris - France. pp. 653-660

Roger, P (1996). la fixation biologique de l'azote : quelle potentialité pour le développement ? Salle de conférence de l'ORSTOM, Paris ,30 Mai 1996. 35p

Saoudi M. 2008. Les bactéries nodulant les légumineuses (G.N.L.P): caractérisation des bactéries associées aux nodules de la légumineuse *Astragalus armatus*. Mémoire de Magister en Génétique et Amélioration des plantes, Université Mentouri de Constantine, 75p.

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

REFERENCES

- Smit, G., Kijne, J.W., and Lugtenberg, B.J. 1986.** Correlation between extracellular fibrils and attachment of *Rhizobium leguminosarum* to pea root hair tips. *J Bacteriol* **168**, 821-827.
- Smit, G., Kijne, J.W., and Lugtenberg, B.J. 1987.** Involvement of both cellulose fibrils and a Ca²⁺-dependent adhesin in the attachment of *Rhizobium leguminosarum* to pea root hair tips. *J Bacteriol* **169**, 4294-4301.
- Smit, G., Logman, T.J., Boerrigter, M.E., Kijne, J.W., and Lugtenberg, B.J. 1989.** Purification and partial characterization of the *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* Ca²⁺-dependent adhesin, which mediates the first step in attachment of cells of the family Rhizobiaceae to plant root hair tips. *J Bacteriol*, **171**, 4054-4062.
- Spaink, H.P., Sheeley, D.M., van Brussel, A.A., Glushka, J., York, W.S., Tak, T., Geiger, O., Kennedy, E.P., Reinhold, V.N., and Lugtenberg, B.J. 1991.** A novel highly unsaturated Fatty acid moiety of lipo-oligosaccharide signals determines host specificity of *Rhizobium*. *Nature*, **354**, 125-130.
- Sebihi F.Z. 2008.** les Bactéries nodulant les Légumineuses (BNL) : caractérisation des bactéries associées aux nodules da légumineuse fourragère *Hedysarum perrauderianum*.Thèse de Magister. Université de Constantine. Algérie.
- .
- Selami N. 2015.** Etude des associations symbiotiques de *Retama monosperma* approches morphologique, anatomique et ultrastructurale, caractérisation moléculaire des isolats. Thèse de doctorat: Biotechnologie végétale. Université des sciences de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 150p.
- Singh R.J., Chung G.H., Nelson R.L. 2007.** Landmark research in legumes. *Genome* **50(6)**, 525–537.

REFERENCES

Teillet A. 2008. Caractérisation de deux déterminants moléculaires impliqués dans le processus d'infection lors de l'interaction symbiotique entre la légumineuse modèle *Medicago truncatula* et *Sinorhizobium meliloti*. Thèse de doctorat: Biosciences végétales. Université de Toulouse, 172p

Tilak K.V.B.R., Ranganayaki N., Pal K.K., De R., Saxena A.K., Shekhar Nautiyal C., Mittal S., Tripathi A.K., Johri B.N. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science* **89**, 136-150.

Truchet, G., Roche, P., Lerouge, P., Vasse, J., Camut, S., Debilly, F., Prome, J.C., and Denarie, J. 1991. Sulfated Lipo-Oligosaccharide Signals of Rhizobium-Meliloti Elicit Root Nodule Organogenesis in Alfalfa. *Nature*, **351**, 670-673.

Teillet A. 2008. Caractérisation de deux déterminants moléculaires impliqués dans le processus d'infection lors de l'interaction symbiotique entre la légumineuse modèle *Medicago truncatula* et *Sinorhizobium meliloti*. Thèse de doctorat: Biosciences végétales. Université de Toulouse, 172p

Wunderlin R. 1982. The leguminosea: A source of characteristics, uses, and nodulation. *Economic Botany* **36**, 224.

Walker, S.A., Viprey, V., and Downie, J.A. 2000. Dissection of nodulation signaling using pea mutants defective for calcium spiking induced by Nod factors and chitin oligomers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **97**, 13413- 13418.

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

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

REFERENCES

nodulants *Medicago ciliaris* sur les sols tunisiens. In « Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes », pp. 138-141.