

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre  
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Ecologie et environnement

**Spécialité :** Ecologie

**Par : MEHIRI Asma**

**ZAHOUANI Asma**

**Thème**

Variabilité intra-parcellaire chez la rhizosphère d'un sol cultivé  
de luzerne (*Médicago sativa* L.) dans la région de Ghardaïa  
(Cas de El' Atteuf).

Soutenu publiquement le :..24/06/2018

Devant le jury :

<b>M.KHENE M. A.</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>M. KRAIMAT M.</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>
<b>M<sup>me</sup>.OULED HEDDAR M.</b>	Doctorante	Univ. Ghardaïa	<b>Co-encadreur</b>
<b>M. BOUNAB C.</b>	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>

Année universitaire 2017/2018

## Dédicace

**A L'aide de dieu le tout puissant, Nous avons pu réaliser ce travail que nous dédions A la lumière, l'ombre de mes pas, le bonheur et la joie de ma, a ceux qui m'ont appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour leur patience, sacrifices, conseils et encouragement.**



**A mes plus belles étoiles qui puissent exister dans l'univers ; mes chères mères, celles à qui je souhaite une longue vie**

### APAPA

**celui qui ma accorder tant d'Attention, d'Amour, d'Aidée d'Encouragement, tout ce que je peux te dire ne peut jamais te décrire, ni te remercier assez pour tout ce que tu m' apportes en continue, car a mes yeux tu es le Meilleur Papa au monde, et le plus beau cadeau de vie, que dieu te protégé et te garde pour moi.**

### AMAMA

**Celle qui m'a toujours aimer soutenue dans toutes les situations, forte et tendre et douce tu n'espérer que nous voir réussir et nous ne souhaitons que te faire plaisir je souhaite être a la hauteur de tes espérances. Je T'aime Maman, que dieu te protégé et te garde pour moi.**

**Mes frère et mes soeurs: Abdelkader, Yacine, Younes, Faiza, Amina. Meriem, Marwa, Saide , Ahmad , Abderrahmane et Abdoullah.**

**A toute la famille: ZAHOUANI, MEHIRI et TOUATI**

**A mes meilleurs amis et fidèle :Imane,khadidja,Asma,Khaoula , Hanane , Hafsa**

**A mes enseignants et tout la promotion Master 2 Ecologie**

**2017-2018**

**ASMA**



## *Remerciements*

*Merci*

*Nos profonds remerciements à M Khene*

*De l'honneur de présider le jury, et aussi de juger ce travail*



*Nos sincères remerciements à Bonab Shoaib*

*Maître assistant à l'Université Ghardaia*

*Accepter la participation au jury et examiner notre travail.*



*Avec tout mon respect et mes sincères remerciements et remerciements pour*

*procéder à notre guide, M. Karimat Mohamed*

*Professeur assistant à l'Université de Ghardaia*

*Pour la qualité de sa supervision, de précieux conseils, la direction et la patience,*

*cela a été démontré lors du développement de cette étude.*



*Nous remercions également les Oulad Heddar*



*Nos remerciements également à tous les membres du Laboratoire de recherche*

*et des bibliothèques de la Faculté des sciences naturelles et de la vie et toutes les*

*personnes qui ont contribué à la réalisation de ces notes.*

# Variabilité intra-parcellaire chez la rhizosphère d'un sol cultivé de luzerne (*Medicago sativa* L.) dans la région de Ghardaïa

(Cas de El' Atteuf).

## Résumé :

Ghardaïa est une région saharienne caractérisée par ses conditions climatiques sévères et la pauvreté de ses sols, qui limitent leur production agricole. Ce travail a pour objet la mise en évidence, à l'aide d'outils cartographiques, les variations intra-parcellaires dans une parcelle cultivée de luzerne dans deux type de sol ( rhizosphérique et non rhizosphérique ) dans la région d'El-Atteuf à travers l'étude des quelques propriétés du sol décrivant les disponibilités des éléments nutritifs notamment le phosphore et le nitrate et qui rentre dans la gestion des ressources naturelles et l'utilisation rationnelle des intrants chimiques en présence et/ou en absence des souche rhizobiennes. Les principaux résultats obtenus attestent globalement que chez *Medicago sativa* L., la disponibilité du P importante, notée dans la rhizosphère accompagnant d'une acidification de la rhizosphère et une disponibilité assez importante du nitrate. En effet, les résultats d'teste de studente révéler des différences significatives au seuil de signification  $\alpha = 0.05$  entre les deux types du sol analysé (sol rhizosphérique ou non rhizosphérique). Les cartes thématiques conçues par méthode d'interpolation IDW(inter inverse), montrent bien ces différences de variabilité du phosphore assimilable, pH et nitrate entre les sols rhizosphériques et non rhizosphériques et les liaisons spatiales entre les différents éléments dosés.

**Mots clés :** Phosphore, luzerne, rhizosphère, *Rhizobia*, variabilité, El-Atteuf .

## **Intraparclaire variability in the rhizosphere of cultivated alfalfa (*Medicago sativa* L.) In the Ghardaia region (Case of El'Atteuf)**

### **Summary :**

Ghardaia is a Saharan region characterized by severe climatic conditions and poor soils, which limit their agricultural production. The purpose of this work is to demonstrate, using cartographic tools, the intrapartellar variations in a cultivated plot of alfalfa in two soil types (rhizosphere and non-rhizosphere) in the region of El-Atteuf. through the study of some soil properties describing the availability of nutrients including phosphorus and nitrate and which is part of the management of natural resources and the rational use of chemical inputs in the presence and / or absence of rhizobial strains . The main results obtained attest overall that in *Medicago sativa* L., the availability of the important P, noted in the rhizosphere accompanied by an acidification of the rhizosphere and a rather important availability of the nitrate. Indeed, the results of Student test reveal significant differences at the significance level  $\alpha = 0.05$  between the two types of soil analyzed (rhizosphere or non-rhizosphere soil). The thematic maps, designed by the IDW(Inverse Distance Weighted) interpolation method, clearly show these differences in the variability of available phosphorus, pH and nitrate between rhizospheric and non-rhizospheric soils and the spatial links between the different elements measured.

**Key words:** Phosphorus, alfalfa, rhizosphere, Rhizobia, variability, El-Atteuf.

## التغيرات الجزئية في منطقة الجذور لتربة مزروعة بالفصّة في منطقة غرداية

### -العطف-

#### الملخص :

غرداية هيا منطقة صحراوية تتميز بطروف قاسية وتربة فقيرة مما يحد من انتاجها الزراعي.

الغرض من هذا العمل هوا إظهار الاختلافات الموجودة داخل الصفائح في قطعة الأرض المزروعة بالفصّة في نوعين من التربة (الريزوسفيرية وغير الجذورية) في منطقة العطف وذلك باستخدام أدوات رسم الخرائط.

من خلال دراسة بعض من خصائص التربة التي تتصف بتوفر المغذيات بما في ذلك الفسفور والنترات والتي هيا جزء من إدارة الموارد الطبيعية وكذا الاستخدام الرشيد للمداخلات الكيميائية هي وجود واعدم وجود سلالة الريزوبيا.

انطلاقا من النتائج المتحصل عليها بشكل عام بالنسبة لنبته الفصّة لوحظ توفر الفسفور بنسبة كبيرة في ريزوسفار مع تحميض الجذور اما النترات فكان بنسبة ضئيلة.

و في الواقع تظهر نتائج Studente فروق ذات دلالة إحصائية عند  $\alpha=0,05$  بين هذين النوعين من التربة التي تم تحليلها (الريزوسفيرية وغير الجذورية).

تبين الخرائط الموضوعية التي تم تحليلها بالنسبة للنوعين من التربة المصممة بواسطة IDW إلى وجود اختلاف في تنوع الفسفور ودرجة الحموضة وكذا النترات في النوعين من التربة وكذا وجود روابط مكانية بين هذه العناصر.

**الكلمات المفتاحية:** الفوسفور ، الفصّة ، الجذور ، الريزوبيا ، التباين ، العطف

# *Liste des tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 1 :</b>	Classification des BNL selon Berrada et Benbrahim(2014).....	18
<b>Tableau 2 :</b>	Données climatiques de Ghardaïa durant la période (2011.2017).....	39

# Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1 :	Dendrogramme représentant les relations phylogénétiques entre espèces de légumineuses .....	5
Figure 2 :	Plante de luzerne ( <i>Medicago sativa</i> ).....	6
Figure 3 :	Morphologie de la luzerne.....	8
Figure 4 :	Pivot et collet d'un pied de luzerne.....	9
Figure 5 :	feuilles de luzerne.....	9
Figure 6 :	fleurs de luzerne.....	10
Figure 7 :	Morphologie de luzerne.....	10
Figure 8 :	Cycle de développement de la luzerne pérenne.....	11
Figure 9 :	Racines de luzerne nodulées.....	14
Figure 10 :	Différentes étapes de l'établissement de la symbiose <i>Rhizobia</i> -légumineuse.....	15
Figure 11 :	Schéma générale de la structure de nodule des légumineuses .....	16
Figure 12 :	Schéma illustrant le métabolisme général de la fixation symbiotique de N <sub>2</sub> au niveau des nodules et les échanges de métabolites avec la partie aérienne.....	17
Figure 13 :	Schéma général de la rhizosphère.....	25
Figure 14 :	Représentation schématique des trois zones de la rhizosphère.....	26
Figure 15 :	Principaux composants de la rhizosphère.....	27
Figure 16 :	Effets à court terme, les plus fréquents, des changements globaux affectant la plante et les microorganismes rhizosphériques avec lesquels elle interagit.....	28
Figure 17 :	Représentation schématique des interactions physico-chimiques entre racine, solution et constituants minéraux du sol dont la rhizosphère est le siège.....	29
Figure 18 :	Mécanisme de l'acidification et flux de protons, Cas des légumineuses.....	30
Figure 19 :	Cycle du phosphore dans le sol.....	33

<b>Figure 20 :</b>	Cadre administratif de la wilaya de Ghardaïa .....	35
<b>Figure 21 :</b>	Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa .....	37
<b>Figure 22 :</b>	Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa.....	40
<b>Figure 23 :</b>	Situation de la région de Ghardaïa dans le climagramme d'Emberger.....	41
<b>Figure 24 :</b>	Aperçu général de l'exploitation d'étude.....	42
<b>Figure 25 :</b>	Localisation géographique de l'exploitation d'étude.....	47
<b>Figure 26 :</b>	Variation du pH en fonction de type du sol.....	48
<b>Figure 27 :</b>	Variation du phosphore assimilable en fonction de type du sol.....	49
<b>Figure 28 :</b>	Variation du nitrate en fonction de type du sol.....	50
<b>Figure 29 :</b>	Variation spatiale du pH du sol rhizosphérique.....	51
<b>Figure 30 :</b>	Variation spatiale du pH du sol non rhizosphérique.....	52
<b>Figure 31 :</b>	Variation spatiale de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> du sol rhizosphérique.....	53
<b>Figure 32 :</b>	Variation spatiale de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> du sol non rhizosphérique.....	54
<b>Figure 33 :</b>	Variation spatiale du nitrate du sol rhizosphérique.....	55
<b>Figure 34 :</b>	Variation spatiale du nitrate du sol non rhizosphérique.....	56

## *Liste des abréviations*

C°	: Degré Celsius
cm	: Centimètre
CV	: Coefficient de variation
g	: Gramme
ha	: Hectare
Km	: Kilomètre
m	: Mètre
m <sup>2</sup>	: Mètre carré
mé	: Milliéquivalent
Mg	: Magnésium
ml	: Millilitre
mm	: Millimètre
N	: Azote
pH	: Potentiel d'hydrologique
Pi	: Phosphore inorganique
S	: Soufre
SNR	: Sol non rhizosphérique
SR	: Sol rhizosphérique
µm	: Micromètre
%	: Pourcentage
µg/g	: microgramme par gramme
mol. l <sup>-1</sup>	: moles par litre
ml	: millilitre
m	: mètre
g	: gramme
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: Nitrate
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	: Phosphore assimilable
IDW	: Inverse Distance Weighted
P	: Phosphor



# Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Liste de tableaux	
Liste de figures	
Liste abrégées	
Introduction générale	

## PREMIERE PARTIE: Synthèse Bibliographique

### Chapitre I :Les légumineuses et la fixation biologique d'azote

1.	Les légumineuses .....	3
1.2.	Le Macro-symbiote luzerne.....	5
1.2.1	Origine.....	6
1.2.2.	Morphologie.....	6
1.2.2.1	Racine.....	8
1.2.2.2.	Feuille.....	8
1.2.2.3.	Fleur.....	9
1.2.2.4.	Fruit .....	9
1.2.2.5.	Graine.....	9
1.2.3.	Classification.....	10
1.2.4.	Cycle de développement de la luzerne .....	10
1.2.5.	Utilisation et importance économique .....	11
1.2.6.	La situation de la luzerne en Algérie .....	11
❖	Avenir de la luzerne en Algérie .....	12
1.3.	Micro symbiote ( <i>Rhizobia</i> ).....	13
1.3.1.	Définition .....	13
1.3.2.	La nodulation .....	14
1.3.3.	Structure du nodule .....	15
1.3.4.	Fonctionnement des nodosités.....	16
1.3.5.	Classification.....	17

1.3.6.	Caractéristiques des <i>Rhizobia</i> .....	22
1.3.7.	Processus de symbiose rhizobienne .....	23

## Chapitre II :Interface rhizosphérique et interactions

Introduction .....	24
--------------------	----

1.	Notion de rhizosphère.....	25
2.	Les composés organiques de la rhizosphère .....	27
3.	Modifications rhizosphériques et interactions.....	28
4.	Le phosphore dans l'environnement .....	31
2.1.	Spéciation du P dans les sols.....	31

## DEUXIEME PARTIE : Matériel et Méthodes

1.	Approche méthodologique.....	34
1.1.	Situation géographique de la région d'étude .....	34
1.2.	Zone d'El-Atteuf.....	34
2.	Caractéristique du milieu .....	36
2.1.	Caractère édaphiques .....	36
2.1.1.	La particularité géologique de la région d'étude .....	36
2.1.2.	La particularité pédologique de la région d'étude.....	36
2.1.3.	Hydrogéologie .....	38
2.2.	Synthèse climatique .....	38
2.2.1	Température .....	38
2.2.2.	Précipitation.....	39
2.2.3.	Insolation .....	39
2.3.	Synthèse climatique .....	40
2.3.1.	Diagramme Ombrothermique .....	40
2.3.2.	Climagramme d'Emberger .....	41
3.	Choix du site d'étude .....	42
4.	Description de l'exploitation d'étude .....	42
5.	Echantillonnage .....	44
6.	Analyse physico-chimique des échantillons du sol .....	45
6.1.	Ph.....	45
6.2.	Phosphore assimilable .....	45

6.3.	Dosage de nitrate .....	46
7.	Analyse statistique .....	46
8.	Interpolation des données spatiales par IDW .....	46

### TROISIEME PARTIE : Résultats et discussion

1.	Etude de la variation spatiale des paramètres étudiés.....	47
1.1.	Variation du pH dans les deux type sols (rhizosphériques et non rhizosphériques).....	47
1.2.	Variation de disponibilité du P dans les deux type de sols (rhizosphériques et non rhizosphériques).....	48
1.3.	Variation du Nitrate dans les deux type de sols (rhizosphériques et non rhizosphériques).....	49
2.	Cartes de variabilité spatiale .....	50
2.1.	Carte de variabilité du pH pour les sols rhizosphériques.....	50
2.2.	Carte de variabilité du pH pour les sols non rhizosphériques.....	51
2.3.	Carte de variabilité de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> des sols rhizosphériques.....	52
2.4.	Carte de variabilité de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> des sols non rhizosphériques.....	53
2.5.	Carte de variabilité du nitrate des sols rhizosphériques .....	54
2.6.	Carte de variabilité du nitrate des sols non rhizosphériques.....	55
3.	Discussion générale.....	56

### Conclusion

Reference bibliographique

Annexe

# *Introduction*

## Introduction

Le sol est l'environnement où cohabitent les racines des végétaux, les animaux et les microorganismes, c'est un assemblage complexe de substances minérales et organiques, de gaz et d'eau, à l'intérieur duquel se déroule simultanément des phénomènes de dégradation et de synthèse à cause de son hétérogénéité, il abrite des populations de microorganismes, a des particularités biologiques et biochimiques très divers. L'activité de ces populations est influencées par divers facteurs : température, pH, profondeur du sol, humidité et présence des substances organiques et inorganiques (Ameur., 2014).

Les sols des régions sahariennes sont généralement pauvres en éléments nutritifs entre autre l'azote et le phosphore, donc l'utilisation des engrais minéraux reste la plus dominante et le seul moyen efficace pour l'obtention d'une production optimale. Néanmoins, l'utilisation des engrais azotés présentent des nombreux inconvénients surtout dans ces régions qui se caractérisent par des sols de texture sableuse. Parmi ces inconvénients, le coût élevé des engrais azotés et la pollution de la nappe phréatique (lessivage des nitrates) (Bounaama., 2011). Une caractéristique majeure des sols est donc leur hétérogénéité spatiale et temporelle due aux liens intimes entre la biologie, la physique et la chimie du système sol-plante (Young et Ritz., 2000 ; Pirret *et al.*, 2007).

La structure du sol a une importance considérable sur son fonctionnement. D'une part, elle détermine la pénétration des racines dans le sol, d'autre part, elle agit sur les déplacements d'eau, d'éléments nutritifs de la masse du sol vers les racines (Callot *et al.*, 1982 ; Lavelle et Spain., 2001).

La rhizosphère, qui est la partie du sol entourant les racines vivantes, est un milieu extrêmement complexe où s'opèrent de multiples interactions entre la plante, le sol et les organismes telluriques, son volume est variable selon le développement racinaire : il représente entre 0,1 et 1% du sol global des écosystèmes forestiers et près de 100% des premiers centimètres des sols. C'est ainsi, la rhizosphère présente des propriétés structurales (porosité-agrégation) et des caractéristiques physico-chimiques singulières (pH, minéraux, potentiel hydrique). Quant à la composante biologique, des études montrent une densité et une activité microbienne à proximité de la racine particulièrement intenses, en comparaison au sol non rhizosphérique (Lynch et Whipps., 1990). Cette microflore se compose majoritairement de bactéries, de champignons, de protozoaires et d'algues unicellulaires qui sont moins représentés (Subba., 1999).

Ces êtres vivants sont requis dans le processus de la décomposition et le recyclage des nutriments dans la rhizosphère (Germida *et al.*, 1998). Par ailleurs, la communauté microbienne joue un rôle notable dans l'amélioration et la stabilisation de la structure du sol. De ce fait, plusieurs études ont montré que l'agrégation et la stabilité d'un sol dépendent de sa nature et de sa

contenance en matière organique et qui joue un rôle aussi significatif dans l'état de santé des plantes (Elustondo *et al.*, 1990 ).

Les cultures de légumineuses fournissent majoritairement des glucides et des protéines mais également une panoplie variée selon les espèces des autres éléments pour l'alimentation des hommes et des animaux (Schneider et Huyghe., 2015). En effet, elles sont considérées depuis longtemps comme pionnières des sols pauvres en minéraux notamment en azote, grâce à leur symbiose avec des bactéries du sol fixatrice d'azote appelées *Rhizobium* ou bactéries nodulant les légumineuses « BNL ». Cette symbiose se traduit par la formation d'un organe ou nodule à l'intérieur duquel des *Rhizobia* réduisent l'azote atmosphérique en ammoniac assimilable par plante (Fares., 2008). La symbiose *Rhizobia*-légumineuses représente donc une alternative à l'utilisation des engrais azotés minéraux. En effet les légumineuses par leurs aptitudes de s'associer aux BNL (Bactéries nodulant les légumineuses) et de fixer des quantités très importantes d'azote atteignant des proportions de 150 à 400 kg / ha / an et permet ainsi d'améliorer la fertilité des sols agricoles. (Postagat., 1982 in Azziz., 2005).

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est une légumineuse fourragère à la famille des Fabacées .Sa culture remonte à plus de 9000 ans (Mauriès., 1994). Sous l'appellation luzerne, on classe deux espèces botaniques et leurs hybrides. Ces deux espèces, *Medicago sativa* et *Medicago falcata*, sont adaptées à des conditions écologiques différentes (Mauriès., 1994).

L'importance de la luzerne est justifiée par quatre raisons, elle constitue selon Marble (1993):

- Une source d'azote pour d'autres cultures d'assolement.
- Une culture propre à améliorer les sols.
- Une source complète d'éléments nutritifs pour la production de viande et de lait.
- Un aliment de haute qualité pour les bétails.

Notre travail consiste à l'étude de la rhizosphère d'un sol cultivé de luzerne (*Medicago sativa* L.) dans la région de Ghardaïa. La luzerne est l'une des légumineuses les plus utilisées vu son intérêt considérable dans les assolements et rotation (Foury, 1954), elle a un rôle important dans l'amélioration des qualités physiques et chimiques des sols cultivés. De fait, le présent travail a pour objet l'étude des variations intra-parcellaires et interactions entre plante-rhizosphère des sols cultivés de luzerne dans la région d'El-Atteuf.

# *Partie I*

---

## *Synthèse Bibliographique*

# *Chapitre I*

---

## *Les légumineuses et la fixation biologique d'azote*

## 1. Les légumineuses

La famille des légumineuses appelée aujourd'hui fabacée comprend de nombreuses espèces potagères comme le haricot, fèves, pois, soja, lentilles,...etc. Elles présentent toutes une particularité dans leur système racinaire, une symbiose avec une bactérie du sol, le Rhizobium, qui leur permet de bénéficier de l'azote de l'air pour leur croissance. Cela constitue en outre un apport azoté non négligeable pour la culture (Boché.,2012).

La famille des légumineuses est très diverse avec 3 sous familles: *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae*, et *Papilionoideae* (Doyle et Luckow., 2003) et compte environ 20.000 espèces (Gepts *et al.*,2005). La sous famille des *Papilionoideae* regroupe les espèces cultivées les plus importantes économiquement: le soja (*Glycine max*), le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le pois (*Pisum sativum*), la luzerne (*Medicago sativa*), l'arachide (*Arachis hypogaea*), le pois chiche (*Cicer arietinum*), et la fève (*Vicia faba*). Ces légumineuses cultivées forment deux groupes appelés *Galegoïdes* et *Phaseoloïdes* (Fig. 1), à l'exception de l'arachide qui appartient au groupe des *Aeschynomeneae* (Broughton *et al.*,2003).

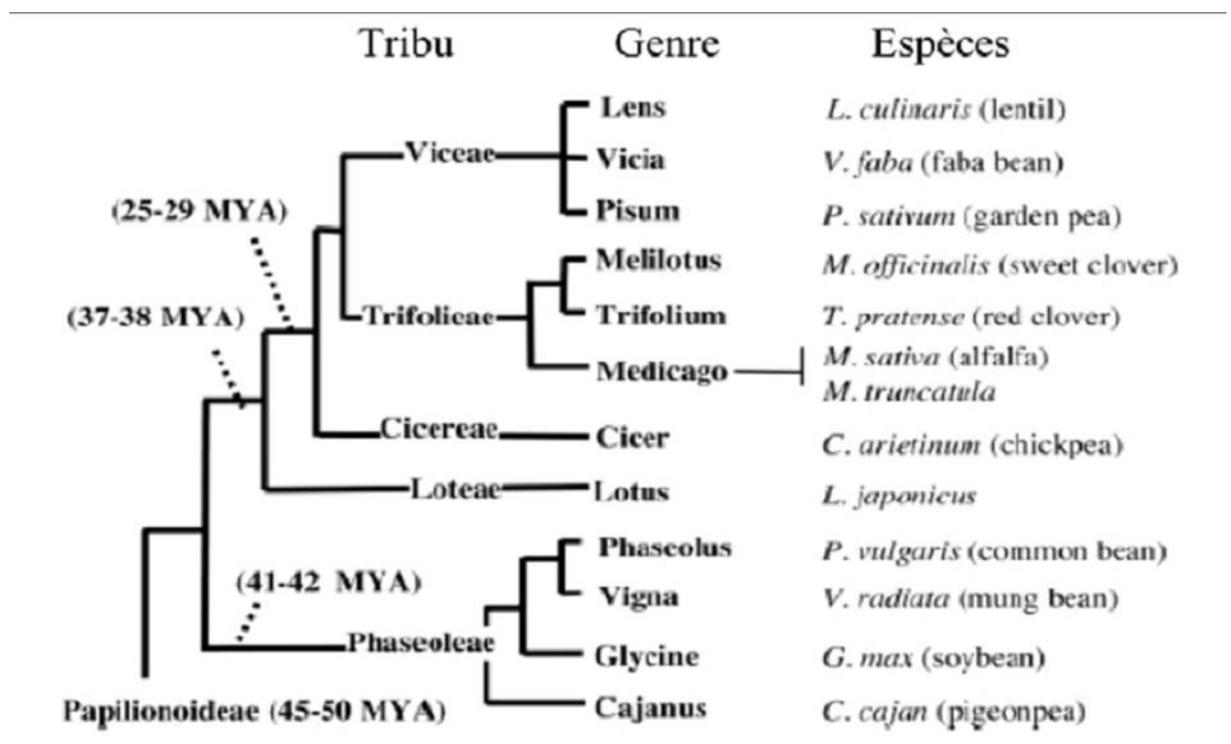
La sous-famille des *Mimosoideae*, comprend environ 3000 espèces regroupées dans quelques 77 genres. Elles produisent des fleurs régulières regroupées en inflorescences denses. Les espèces sont représentées principalement par des arbres et des arbustes distribués dans les régions tropicales et subtropicales sur tous les continents. Les genres *Acacia*, *Calliandra*, *Mimosa* et *Prosopis* sont les plus représentatifs (Ghalem., 2010).

La sous-famille des *Caesalpinioideae*, considérée comme la plus primitive, regroupe environ 4200 espèces dans quelques 162 genres. Les espèces possèdent des fleurs aux corolles irrégulières et sont représentées par des arbres, arbustes et herbacées vivaces distribuées des régions tropicales aux régions tempérées. Les genres *Caesalpinia*, *Cassia*, *Cercis* et *Gleditzia* sont les plus représentatifs de cette sous-famille (Ghalem., 2010).

La sous-famille *Papilionoideae*, d'une évolution plus récente, comprend quelques 14.000 espèces aux fleurs irrégulières, regroupées dans environ 476 genres. Parmi les tribus de cette catégorie on citera la tribu des *Phaseoleae* à laquelle appartiennent de nombreuses espèces importantes utilisées pour l'alimentation humaine directe (soja,

haricot, pois chiche ....etc.) ainsi que les plantes de pâturage les plus importantes utilisées par les agriculteurs (Ghalem., 2010)(Fig. 01).Elles sont cultivées principalement pour la consommation humaine (haricot, pois, fève,...) ou l'alimentation animale (soja, luzerne,...) grâce à la fixation symbiotique de l'azote. Elles sont aussi une source importante d'huiles végétales (arachide) et de bois de qualité (bois de rose, ébène), elles constituent toujours une part importante dans l'alimentation mondiale, particulièrement dans les pays en développement où elles sont la principale source de protéines pour l'homme. Citons le Haricot (*Phaseolusvulgaris*) en Amérique Latine, le Pois Chiche (*Cicer arietinum*), la lentille (*Lens culinaris*) et la Fève (*Vicia faba*) dans le bassin méditerranéen, le Soja (*Glycine max*) en Asie sans oublier l'Arachide (*Arachishypogea*) et le Pois (*Pisumsativum*) dans le monde entier (Mouradi., 2012).

Les légumineuses occupent la deuxième place, après les céréales, pour les terres cultivées et la production. En 2004, plus de 300 millions de tonnes de légumineuses à graines ont été produites sur une superficie de 190 millions d'hectares, soit 13% des terres cultivées (FAO.2006).



**Figure 01.** Dendrogramme représentant les relations phylogénétiques entre espèces de légumineuses (Zhu *et al.*, 2005).

Cette famille à un grand intérêt pour l'homme qui utilise ses produits comme aliments, gommes, teintures, résines, huiles et nombreux bois de construction.

Aussi certaines espèces de cette famille peuvent contracter une symbiose avec une bactérie du genre *Rhizobium*, pour permettre un accès privilégié à l'azote de l'air. Par cette symbiose, les plantes de cette famille s'affranchissent de la teneur en azote dans le sol. Ainsi ces plantes sont capables de s'adapter à des sols très pauvres, et très dégradés (Il faut rappeler que trèfles et luzernes étaient employés sur les sols en jachère, dans la rotation de la culture) (Sebihi., 2008).

### **1-2 Le Macro-symbiote luzerne**

La luzerne, c'est une plante herbacée fourragère de la famille des Fabacées, elle est très cultivée pour sa richesse en protéines et sa propriété améliorante des sols. C'est une légumineuse vivace cultivée essentiellement pour la production de fourrage, en culture pure ou associée. (Clement., 1981)., son nom latin est *Medicago sativa* L. La luzerne est le fourrage le plus important en Algérie, il s'agit d'une culture très bien adaptée au climat Saharien et très productive. Elle constituée le fourrage le plus utilisé dans l'alimentation du bétail (Baameur., 1998). Appartient à la famille des légumineuses, caractérisée par sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, grâce a une symbiose existant entre la plante et une bactérie qui se développe dans son système racinaire. La luzerne est cultivée pur ou en association avec une graminée qui est le plus souvent du dactyle (*Dactylis glomerata* L.),il y a deux sous espèces de *Médicago* (Mathieu., 2003).(Fig.2).



**Figure 02.** Plante de luzerne (*Medicago sativa*) (Originale , 2018.)

### **1-2-1 Origine**

L'histoire de la luzerne est liée essentiellement à l'histoire de l'élevage dans le bassin Méditerranéen. Elle est reconnue et domestiquée par l'homme antique comme étant une plante précieuse. Elle est un facteur essentiel de l'évolution des civilisations modernes. Elle a été identifiée, il y a près de 9 000 ans, dans le croissant fertile, en Asie mineure sur les hauts plateaux du Caucase, en Iran et en Turquie comme un fourrage facile à cultiver et à conserver, productif et très apprécié par les animaux. Les espèces apparentées sont dispersées en Asie centra le jusqu'à la Sibérie. Introduite en Grèce en 479 av. J.-C., la luzerne est diffusée en Europe méditerranéenne et en Afrique de l'Est puis du Nord par les conquêtes d'où elle s'est répandue sur tous les continents (Mauriès, 1994).

Il est admis que la luzerne est la plante la plus ancienne cultivée uniquement pour son fourrage. Lors des fouilles archéologiques en Turquie, on a découvert des tablettes hittites où il est fait mention que les animaux s'alimentaient de luzerne. Des preuves historiques témoignent d'une propagation à grande échelle de la luzerne à partir de la région nord-ouest de la Perse (ancien Iran) à la Ie millénaire av. J.-C. et en plaine de Mésopotamie (Irak);carrefour entre l'Asie, l'Afrique et l'Europe (Genier *et al.*, 1992).La luzerne est une des plantes fourragères les plus répandues dans le monde. Son plus grand développement se trouve dans les zones tempérées chaudes : Etats-Unis, Europe, Amérique du Sud, Asie, Japon, Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Nord et Argentine (Barnes *et al.*, 1990; Mauriès., 1994).

### **1-2-2 Morphologie**

C'est une plante herbacée vivace à tige dressée dès la base puis rameuse et anguleuse. Sa hauteur varie de 30 à 90 cm (Messioughi., 2016). Elle présente des tiges plus ou moins ligneuses et très ramifiées avec des feuilles ovoïdes et oblongues portant trois folioles pétiolés, finement dentés au sommet et d'environ 3 cm de long pour chacune. Ses fleurs sont disposées au niveau axillaire et de couleur bleu-violacé sous forme d'inflorescences en grappes de 10 à 20 fleurs de couleur violette, pourpre ou bleuâtre (Fig. 3) (Fares.,2008).



1.Fleur 2.Fleur épanouie 3.Fleur ouverte 4 et 5.Une pétale 6.Une inflorescence en stade fructification 7.Une gousse 8.Une graine 9.Coupe longitudinale d'une graine.

**Figure 3.** Morphologie de la luzerne *Medicago sativa* L. (Chiders., 2008).

### 1.2.2.1. Racine

La racine pivotante, en sol profond et bien drainé, descend habituellement à 2 m de profondeur. On voit nettement la partie supérieure de la racine de la luzerne, son fort pivot et les grosses racines secondaires. Ces racines portent des petites excroissances isolées ou en grappes, ce sont des nodosités ovoïdes ou d'aspect globuleux dont la taille ne dépasse pas 02 à 03 mm (Inra., 1965 et Ghediri., 2007). Les racines se développent à partir du méristème apical de la radicule. A partir d'une racine pivotante principale, émergent les racines secondaires (Maamouri.,2014) .(Fig. 4).



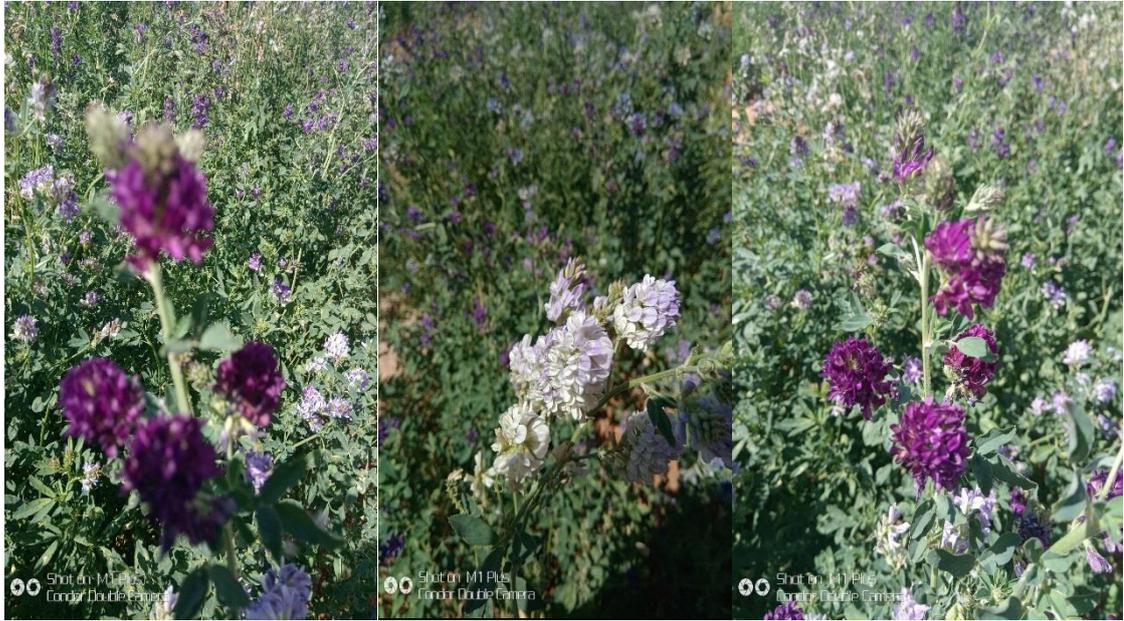
**Figure4** .Pivot et collet d'un pied de luzerne (Originale, 2018).

**1.2.2.2. Feuille :** La première feuille est unifoliée. Les feuilles suivantes alternes, sont composées de trois folioles égales, glabres, obtuses, un peu échancrées et denticulées (Messioughi., 2016). Les folioles sont de taille variable (8-28 mm x 3-15 mm). La première feuille est unifoliée, les suivantes sont trifoliées composées de trois folioles rattachées à la tige par un pétiole.(Frame., 2005).(Fig. 5).



**Figure 5.**feuilles de luzerne (Originale, 2018).

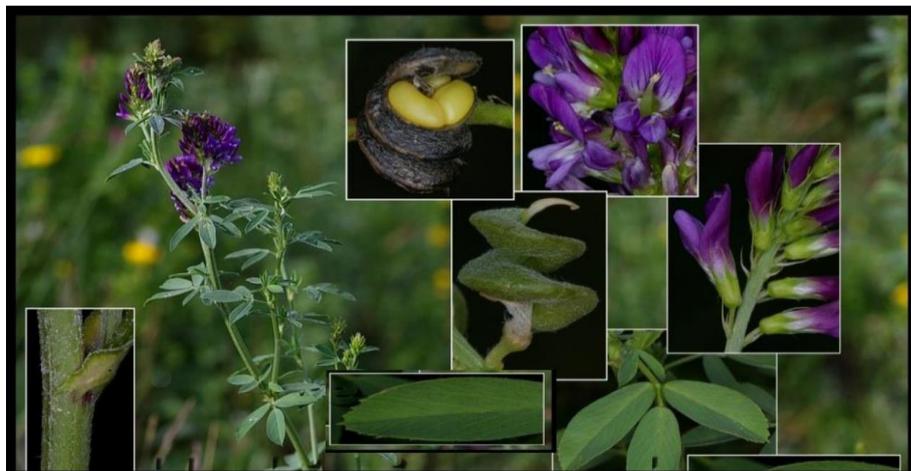
1.2.2.3.**Fleur** : Les fleurs violettes ou bleuâtres, sont réunies en grappes allongées avec un fruit sous forme d'une gousse plus ou moins enroulée et spiralée de 1 à 4 spires. La floraison se déroule entre juin et octobre (Messioughi., 2016). (Fig.6).



**Figure6.** fleurs de luzerne (Originale, 2018)

1.2.2.4.**Fruit** : Le fruit est une gousse non épineuse, recourbée en spirale à 2 - 3 tours de spires renfermant plusieurs grains réniformes, luisants, nombreux de couleur jaune verdâtre, le poids de 1000 grains est d'environ deux grammes (Foury., 1954).

1.2.2.5.**Graine** : la luzerne a des graines de petite taille (environ 500 000 graines/kg). (Maïs., 1990).(Fig.7).



**Figure 7.** Morphologie de luzerne (Papleux, 2015).

### 1-2-3 Classification

D'après l'Angiosperm Phylogenic Group (AGP III) (2009). (Référence électronique 2).  
la classification botanique de la Luzerne pérenne cultivée est comme suit :

Domaine : .....*Eukaryota*

Règne : .....*Plantae (Lignée verte)*

Sous règne : .....*Tracheobionta ;*

Division : .....*Magnoliophyta ;*

Embranchement : .....*Spermaphyta ;*

Clade : .....*Angiospermes ;*

Clade : .....*Eudicotylédones ou Dicotylédones vraies ;*

Clade : .....*Noyau des Dicotylédones vraies ou Eudicotylédones supérieures*

Clade : .....*Rosidées ;*

Clade : .....*Fabidees ou Eurosidées I ;*

Ordre : .....*Fabales ;*

Famille : .....*Fabaceae (Légumineuses) ;*

Sous famille : .....*Papilionaceae ;*

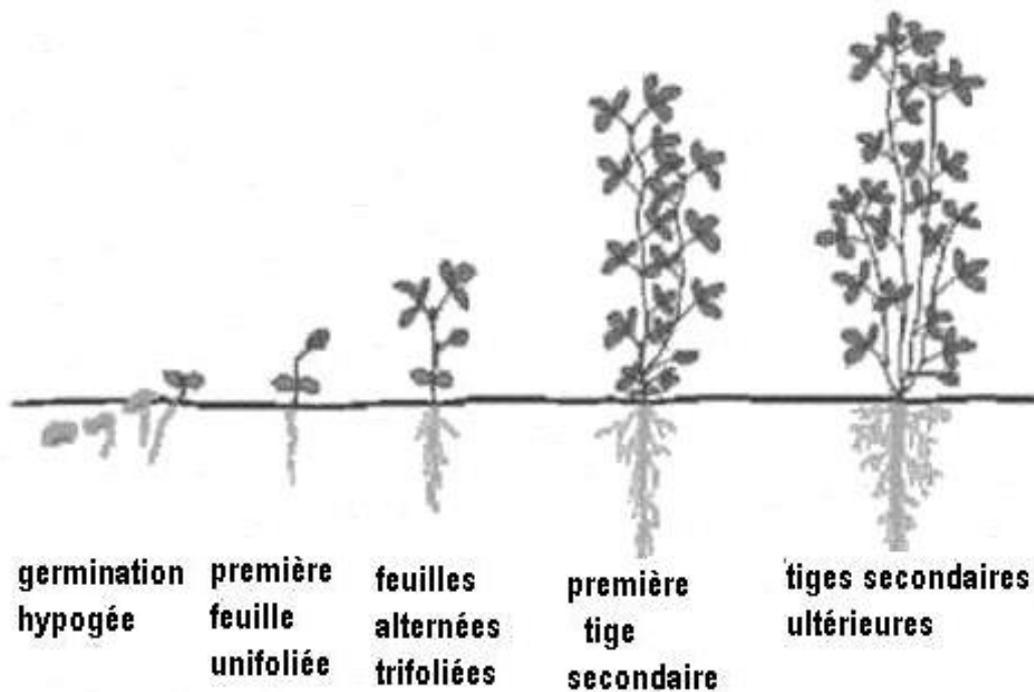
Tribu : .....*Trifolieae ;*

Genre : .....*Medicago ;*

Espèce : .....*Medicago sativa L.*

### 1-2-4 Cycle de développement de la luzerne

Selon Chaabena (2001), la germination intervient si la température est au minimum de 7°C l'optimum étant de 25°C. La croissance des jeunes plantes est rapide entre 20 et 30°C. Cette température optimale diminue ensuite sur les plantes plus âgées et se situe autour de 15 à 25°C. En dessous de 10°C et au-delà de 35°C, la croissance est fortement ralentie (Mauries., 1994). Les étapes de développement de la luzerne ont été résumées dans la fig. 8.



**Figure 8.** Cycle de développement de la luzerne pérenne (Prolea, 2002).

### 1.2.5. Utilisation et importance économique

#### ❖ Importance écologique

La fonction écologique de la luzerne se manifeste sur la conservation du sol et de sa fertilité, sur le contrôle de la pollution par les nitrates, sur la durabilité des systèmes fourragers qui la comprennent et sur la limitation des intrants chimiques et de labour grâce à sa pérennité.

La luzerne est surtout vulnérable à la concurrence des mauvaises herbes durant l'installation (Birouk *et al.*, 1997). Les mauvaises herbes peuvent concurrencer la luzerne de façon plus ou moins sévère, non seulement au moment de l'établissement lui-même (Labonne., 1976).

### 1.2.6. La situation de la luzerne en Algérie

En Algérie, pour la période 1995 à 1997, la superficie consacrée à la luzerne pérenne (*Medicago sativa L.*) représente entre 0,37 et 0,71% de la superficie réservée aux cultures fourragères ; par rapport aux cultures herbacées sa superficie représente entre 1,86 et 3,03% pour la même période (Chaabena et Abdelguerfi., 2001).

Dans le Sahara algérien, paradoxalement, la luzerne constitue le premier fourrage et occupe la place la plus importante (Chaabena., 2001). Compte tenu des conditions de microclimat au niveau des Oasis, elle assure jusqu'à dix coupes et parfois même plus (Abdelguerfi., 1994).

Dans le sud, le cultivar local, Temacine, est le plus utilisé par les agriculteurs, et ce malgré le prix de ses semences nettement plus élevé (3 à 4 fois plus) que celui des cultivars introduits. Les semences de Temacine sont produites localement par les agriculteurs alors que les semences des cultivars étrangers sont importées par les organismes d'Etat. Il semble que le cultivar Temacine serait assez résistant à la salinité en particulier (Abdelguerfi., 1987).

#### ❖ **Avenir de la luzerne en Algérie**

La luzerne pérenne devrait être développée dans les régions du nord et particulièrement là où l'eau ne serait pas un facteur limitant (Abdelguerfi., 1994). Cependant, elle supporterait sans dommage des restrictions hydriques importantes, voir totale ; cela permet à la luzerne de s'adapter à n'importe quel système fourrager, même à ceux ayant des ressources assez faibles en eau d'irrigation (Legoupil et Ruffin., 1974). Les luzernes pérennes à port rampant seraient à conseiller dans les zones marginales et au niveau des terres de parcours. Dans les Oasis, les techniques de conduites, particulièrement l'irrigation et la fertilisation devraient être améliorées pour permettre une production plus importante et une longévité plus élevée (Abdelguerfi., 1994).

### 1.3. Microsymbiote (*Rhizobia*)

#### 1.3.1 .Définition

Les *Rhizobia*, sont les bactéries aérobies du sol, constituant 0.1 à 8% de la flore bactérienne sont les partenaires symbiotiques des légumineuses. Cette famille des *Rhizobiaceae* est constituée par un ensemble hétérogène de bactéries *bâtonnets* ou de *coccobacilles* (Jordan.,1984).

Les *rhizobiums* sont généralement spécifiques de l'hôte qu'ils infectent, bien qu'une même légumineuse puisse être inoculée par plusieurs souches bactériennes différentes. Ces microorganismes sont sensibles à certains facteurs du milieu tels que la température, la salinité et l'acidité du sol ainsi que sa teneur en matière organique qui favorise la vie bactérienne (Beunard., 1984).

Somasegaran et Hoben (1994) ont indiqué que les BNL se trouvent sous deux formes :

- **une forme végétative (non bactéroïde):** ce sont des microorganismes réguliers que l'on trouve dans la rhizosphère et dans le cordon d'infection, très mobiles quand ils sont jeunes.
- **une forme bactéroïde:** chez les groupes *Rhizobium* légumine arum bvtrifoli, En si ferme li loti (anciennement *Rhizobiummeliloti*), les individus sont irréguliers et ont une taille à peu près 10 fois plus grande que ceux de la forme végétative. Par contre il n'existe pas de différence de taille entre les deux formes régulières chez le *Rhizobium* des groupes *Vigna* et *Lotus*.(Fig.9).

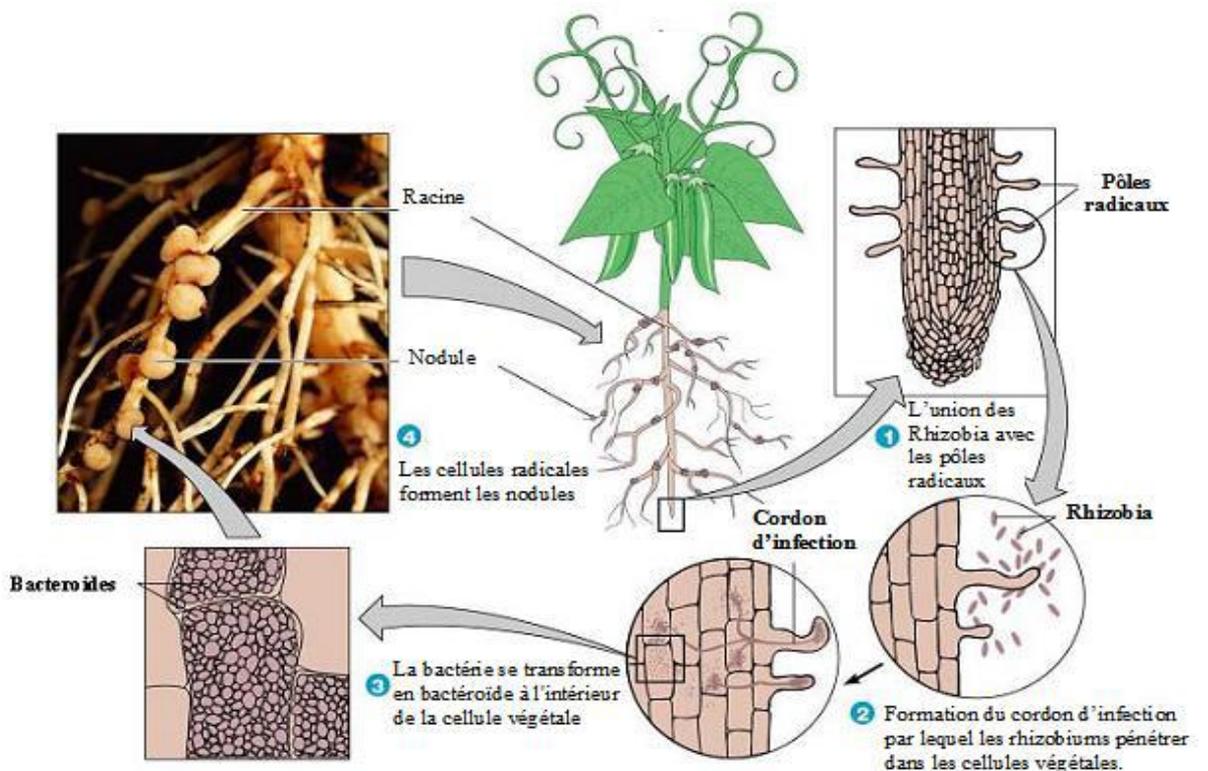


**Figure 9.** Racines de luzerne nodulées (Originale,2018).

### 1.3.2. La nodulation

Dans l'interaction entre la plante hôte et le rhizobium, les composés phénoliques (*Flavonoïdes, chémoattracteurs*) exsudés par la plante hôte entraînent chez la bactérie la production de lipo-oligosaccharides spécifiques dénommés les facteurs nod (Mulder *et al.*, 2005 ; Rodriguez-Navarro *et al.*, 2007). Ce sont des signaux moléculaires qui déclenchent la division des cellules corticales de la racine conduisant à la formation d'un nouvel organe différencié chez la plante, le nodule ou nodosité.

Il existe, en effet, deux types de nodules ; des nodules déterminés et des nodules indéterminés. Les nodules déterminés sont issus de l'auxèse des cellules du méristème apical qui cesse son activité à maturation de la nodosité. Les nodules indéterminés sont issus de mères du méristème apical persistant qui leur confère une croissance longitudinale. Le nodule du haricot est de type déterminé. Une coupe transversale, montre un cortex qui entoure la zone infectée. Ce cortex nodulaire est divisé en cortex externe (CE), moyen (CM) et interne (CI), les traces vasculaires sont localisées entre le CI et le CM (Ianetta *et al.*, 1993 ; Drevon *et al.*, 1995). Une assise, dite zone de distribution (ZD), séparerait le CI de la zone infectée (ZI) centrale, siège de la fixation de l'azote atmosphérique (Parsons et Day., 1990) (Fig. 10).

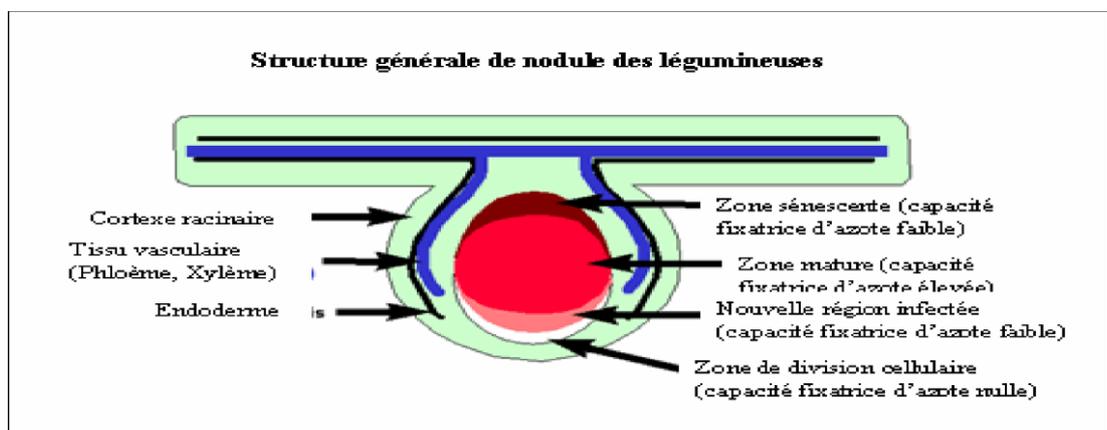


**Figure 10.** Différentes étapes de l'établissement de la symbiose *Rhizobia*-légumineuse (Navarro *et al.*, 2007).

### 1.3.3 Structure du nodule

Les nodules sont des structures qui se développent sur les racines, les tiges et parfois sur les feuilles. L'étude histologique d'une coupe du nodule révèle une organisation tissulaire composée de (Fig.11):

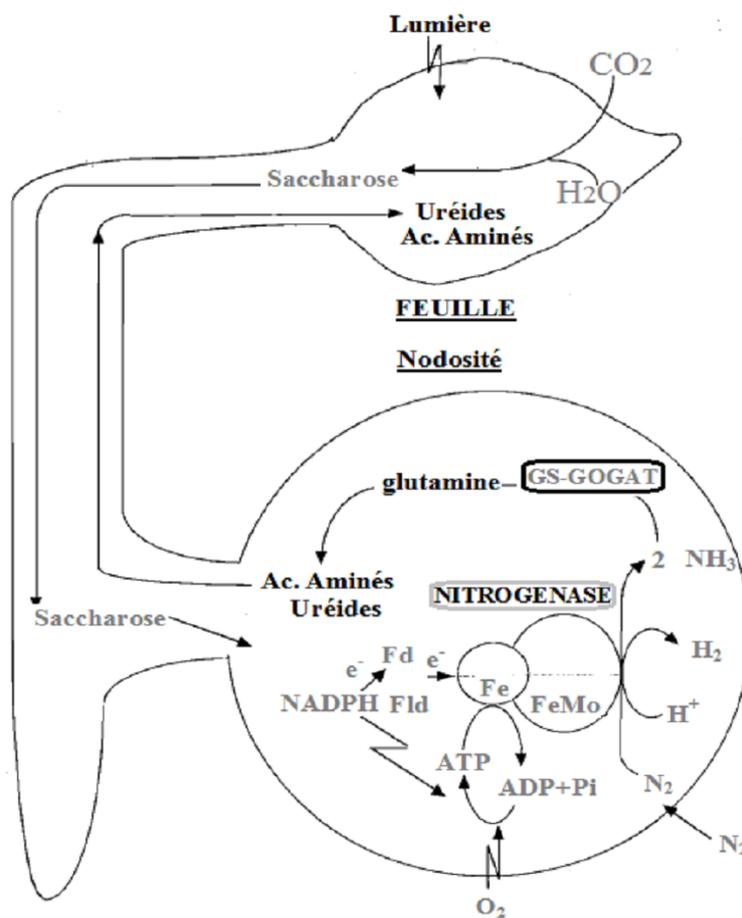
- Un tissu périphérique formé par un cortex, un endoderme et des bandes vasculaires. Il délimite une zone centrale.
- Un tissu central de couleur rose-rouge due à l'accumulation de la hémoglobine. Il est formé d'un ensemble de cellules végétales envahies par les bactéroïdes. Sur la base de leur morphologie, leur structure et la durée du fonctionnement du méristème nodulaire, les nodules des légumineuses se subdivisent en deux catégories : les nodules déterminés et les nodules indéterminés.
- Les nodules indéterminés. Les tissus des nodules à structure indéterminée sont générés à partir du cortex interne de la racine. Ce type de nodule présente un méristème nodulaire dont l'activité mitotique persiste après l'infection par le *Rhizobium*. Il se présente sous une forme allongée et se retrouve généralement chez les légumineuses des zones tempérées (Trèfles, luzernes, lentille, pois...).
- Les nodules déterminés. Dans ce cas, les tissus des nodules à structure déterminée sont générés à partir du cortex externe de la racine. Ce type nodulaire possède un méristème dont l'activité mitotique s'arrête juste après l'infection par le *Rhizobium* formant ainsi des nodules sphériques rencontrés généralement chez les légumineuses des régions tropicales ou originaires de celles-ci (Soja, Vigna, Haricot...).



**Figure 11** .Schéma générale de la structure de nodule des légumineuses (Hirsch., 1992).

### 1.3.4. Fonctionnement des nodosités

Chacun des deux symbiontes constitue pour l'autre une source d'un des éléments clefs de son métabolisme : l'azote moléculaire réduit par la nitrogénase des bactéroïdes (Dommergues *et al.*, 1999) est assimilé dans les cellules infectées de la plante hôte et exporté aux autres organes de la plante par le flux xylémien en échange de photosynthétats acheminés sous forme de saccharose par le flux phloémien jusqu'aux nodosités (Dixon et Wheeler., 1986) (Fig.12). Les nodosités sont des composantes nécessaires au fonctionnement de la nitrogénase.



**Figure 12.** Schéma illustrant le métabolisme général de la fixation symbiotique de  $N_2$  au niveau des nodules et les échanges de métabolites avec la partie aérienne.

(Dixon et Wheeler, 1986).

### 1.3.5. Classification

La classification des rhizobiums a été passée par un changement substantiel au cours des dernières années en raison de l'ajout de plusieurs genres et espèces de ce groupe de bactéries importantes. La découverte de nouveaux symbiotes associés à des légumineuses est nécessaire pour avoir un aperçu en profondeur dans la taxonomie du rhizobiums.(Berrada et Benbrahim., 2014).

**Tableau1** : Classification des BNL selon Berrada et Benbrahim (2014).

	Source d'isolement
<b>Classe:</b> <i>Alphaproteobacteria</i>	
<b>Ordere:</b> <i>Rhizobiales</i>	
<b>Famille:</b> <i>Rhizobiaceae</i>	
<b>Genre:</b> <i>Rhizobium</i>	
<i>R. leguminosarum</i>	
<i>Symbiovarviciae</i>	<i>Pisum, Viciae, Lens, Lathyrus</i>
<i>symbiovartrifolii</i>	<i>Trifolium pratense</i>
<i>symbiovarphaseoli</i>	<i>Phaseolusvulgaris</i>
<i>R. galegae</i>	<i>Galega, Leucaena</i>
<i>Symbiovarofficinalis</i>	<i>Galegaorientalis</i>
<i>Symbiovarorientalis</i>	<i>Galegaofficinalis</i>
<i>R. tropici</i>	<i>Phaseolus, Medicago, Macroptilium</i>
<i>R. leucaenae</i>	
<i>R. tropici</i>	
<i>R. endophyticum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>R. phaseoli</i>	<i>Phaseolus</i>
<i>R. fabae</i>	<i>Viciafaba</i>
<i>R. etli</i>	<i>Phaseolus,</i>
<i>Symbiovarmimosae</i>	<i>Mimosa affinis</i>

*Chapitre I: les légumineuses et la fixation biologique d'azote*

<i>Symbiovarphaseoli</i>	<i>Phaseolus</i>
<i>R. undicola</i>	<i>Neptunianatans</i>
<i>R. gallicum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>Symbiovarphaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>Symbiovargallicum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>R. giardinii</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>Symbiovarphaseoli</i>	<i>Phaseolus</i>
<i>Symbiovargiardinii</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>
<i>R. hainanensis</i>	<i>Desmodiumsinuatum, Centrosema</i>
<i>R. huautlense</i>	<i>Sesbaniaherbacea</i>
<i>R. mongolense</i>	<i>Medicagoruthenica, Phaseolus</i>
<i>R. yanglingense</i>	<i>Amphicarpaea</i>
<i>R. larrymoorei</i>	<i>Ficusbenjamina</i>
<i>R. indigoferae</i>	<i>Indigofera spp.</i>
<i>R. sullae</i>	<i>Hedysarum</i>
<i>R. loessense</i>	<i>Astragalus, Lespedeza</i>
<i>R. cellulosityticum</i>	<i>Populus alba</i>
<i>R. miluonense</i>	<i>Lespedeza</i>
<i>R. multihospitium</i>	<i>Multiple legume species</i>
<i>R. oryzae</i>	<i>Oryzaalta</i>
<i>R. pisi</i>	<i>Pisumsativum</i>
<i>R. mesosinicum</i>	<i>Albizia, KummerowiaDalbergia</i>
<i>R. alamii</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>
<i>R. alkalisoli</i>	<i>Caraganaintermedia</i>
<i>R. tibeticum</i>	<i>Trigonellaarchiducis-nicolai</i>
<i>R. tubonense</i>	<i>Oxytropisglabra</i>
<i>R. halophytocola</i>	<i>Coastal dune plant</i>
<i>R. radiobacter</i>	
<i>R. rhizogenes</i>	
<i>R. rubi</i>	
<i>R. vitis</i>	
<i>R. nepotum</i>	
<b>Genre: Ensifer</b>	

<i>E. meliloti</i>	<i>Medicago, Melilotus, Trigonella</i>
<i>E. fredii</i>	
<i>Symbiovarfredii</i>	<i>Glycine, Vigna, Cajanus</i>
<i>Symbiovarsiensis</i>	<i>Glycine</i>
<i>E. sahelense</i>	<i>Acacia, Prosopis, Neptunia, Leucaena</i>
<i>E. terangae</i>	<i>Different host plants</i>
<i>Symbiovaracaciae</i>	<i>Acacia</i>
<i>symbiovarsesbania</i>	<i>Sesbania</i>
<i>E. medicae</i>	<i>Medicago truncatula, Melilotus</i>
<i>E. arboris</i>	<i>Acacia, Prosopis</i>
<i>E. kostiense</i>	<i>Acacia, Prosopis</i>
<i>E. xingianense</i> (Formerly: <i>Sinorhizobium xingianense</i> )	<i>Glycine max</i>
<i>E. adhaerens</i>	
<i>E. kummerowiae</i>	<i>Kummerowia stipulaceae</i>
<i>E. americanum</i>	<i>Acacia</i>
<i>E. mexicanus</i>	<i>Acacia angustissima</i>
<i>E. numidicus</i>	<i>Medicago sativa</i>
<b>Genre: Shinella</b>	
<i>S. kummerowiae</i>	<i>Kummerowia stipulacea</i>
<b>Famille: Phyllobacteriaceae</b>	
<b>Genre: Mesorhizobium</b>	
<i>M. loti</i>	<i>Lotus, Cicer, Anthyllis, Astragalus...</i>
<i>M. huakuii</i>	<i>Astragalus sinicus</i>
<i>M. ciceri</i>	<i>Cicer arietinum</i>
<i>M. tianshanense</i>	<i>Glycyrrhiza pallidiflora</i>
<i>M. mediterraneum</i>	<i>Cicer arietinum</i>
<i>M. plurifarum</i>	<i>Acacia, Chamaecrista, Leucaena, Prosopis.</i>
<i>M. amorphae</i>	<i>Amorpha fruticosa</i>
<i>M. chacoense</i>	<i>Prosopis alba</i>
<i>M. septentrionale</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>
<i>M. temperatum</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>

<i>M. thiogangeticum</i>	
<i>M. albiziae</i>	<i>Albziakalkora</i>
<i>M. caraganae</i>	<i>Caragana spp.</i>
<i>M. gobiense</i>	<i>Wild legumes</i>
<i>M. tarimense</i>	<i>Wild legumes</i>
<i>M. australicum</i>	<i>Biserrulapelecinus</i>
<i>M. opportunistum</i>	<i>Biserrulapelecinus</i>
<i>M. metallidurans</i>	<i>Anthyllis vulneraria</i>
<i>M. alhagi</i>	<i>Alhagi</i>
<i>M. camelthorni</i>	<i>Alhagisparsifolia.</i>
<i>M. abyssinicae</i>	<i>Different agroforestry legume trees</i>
<i>M. muleiense</i>	<i>Cicerarietinum</i>
<i>M. hawassense</i>	<i>Different agroforestry legume trees</i>
<i>M. qingshengii</i>	<i>Astragalussinicus</i>
<i>M. robiniae</i>	<i>Robiniapseudoacacia</i>
<i>M. shonense</i>	<i>Different agroforestry legume trees</i>
<i>M. shangrilense</i>	<i>Caragana species</i>
<i>M. silamurunense</i>	<i>Astragalus species</i>
<i>M. tamadayense</i>	<i>Anagryislatifolia, Lotus berthelotii</i>
<b>Genre: Phyllobacterium</b>	
<i>P. trifolii</i>	<i>Trifoliumpratense</i>
<b>Famille: Methylobacteriaceae</b>	
<b>Genre: Methylobacterium</b>	
<i>M. nodulans</i>	<i>Crotalaria spp.</i>
<b>Genre: Microvirga</b>	
<i>M. lupini</i>	<i>Lupinus sp.</i>
<i>M. lotononidis</i>	<i>Different legume host</i>
<i>M. zambiensis</i>	<i>Different legume host</i>
<b>Famille: Brucellaceae</b>	
<b>Genre: Ochrobactrum</b>	
<i>Ochrobactrumcytisi</i>	<i>Cytisus</i>
<i>Ochrobactrum lupini</i>	<i>Lupinus albus</i>
<b>Famille: Hyphomicrobiaceae</b>	

<p><b>Genre:</b> <i>Azorhizobium</i></p> <p><i>A. caulinodans</i></p> <p><i>A. dobereinereae</i></p> <p><i>A. oxalatophilum</i></p> <p><b>Genre:</b> <i>Devosia</i></p> <p><i>Devosianeptunia</i></p> <p><b>Famille:</b> <i>Bradyrhizobiaceae</i></p> <p><b>Genre:</b> <i>Bradyrhizobium</i></p> <p><i>B. japonicum</i></p> <p><i>B. elkanii</i></p> <p><i>B. liaoningense</i></p> <p><i>B. yuanmingense</i></p> <p><i>B. betae</i></p> <p><i>B. canariense</i></p> <p><i>B. iriomotense</i></p> <p><i>B. jicamae</i></p> <p><i>B. lablabi</i></p> <p><i>B. huanghuaihaiense</i></p> <p><i>B. cytisi</i></p> <p><i>B. daqingense</i></p> <p><i>B. denitrificans</i></p> <p><i>B. oligotrophicum</i></p> <p><i>B. pachyrhizi</i></p> <p><b>Classe:</b> <i>Beta Proeobacteria</i></p> <p><b>Ordere:</b> <i>Burkholderiales</i></p> <p><b>Famille :</b> <i>Burkholderiaceae</i></p> <p><b>Genre:</b><i>Burkholderia</i></p> <p><i>B. caribensis</i></p> <p><i>B. cepacia</i></p> <p><i>B. tuberum</i></p> <p><i>B. phymatum</i></p> <p><i>B. nodosa</i></p> <p><i>B. sabiae</i></p>	<p><i>Sesbania rostrata</i></p> <p><i>Sesbania virgata</i></p> <p><i>Neptunianatans</i></p> <p><i>Glycine max, Glycine soja</i></p> <p><i>Glycine max</i></p> <p><i>Glycine max</i></p> <p><i>Lespedeza</i></p> <p><i>Betaevulgaris</i></p> <p><i>Genisteeae et Loteae</i></p> <p><i>Entadakoshunensis</i></p> <p><i>Pachyrhizuserosus</i></p> <p><i>Lablabpurpureus</i></p> <p><i>Glycine max</i></p> <p><i>Cytisusvillosus</i></p> <p><i>Glycine max</i></p> <p><i>Aeschynomene</i></p> <p><i>Pachyrhizuserosus</i></p> <p><i>Vertisolmicroaggregates</i></p> <p><i>Alysicarpusglumaceus</i></p> <p><i>Aspalatuscarnosa</i></p> <p><i>Machaeriumlunatum</i></p> <p><i>Mimosa bimucronata, Mimosa scabrella</i></p> <p><i>Mimosa caesalpiniifolia</i></p>
--	--

<i>B. mimosarum</i>	<i>Mimosa spp.</i>
<i>B. rhizoxinica</i>	<i>Rhizopusmicrosporus</i>
<i>B. diazotrophica</i>	<i>Mimosa spp.</i>
<i>B. endofungorum</i>	<i>Rhizopusmicrosporus</i>
<i>B. heleia</i>	<i>Eleocharisdulcis</i>
<i>B. symbiotica</i>	<i>Mimosa spp.</i>
Genre: <i>Cupriavidus</i>	<i>Aspalatuscarnosa</i>
<i>C. taiwanensis</i>	<i>Mimosa sp.</i>
<b>Classe:</b> <i>Gamma-Proteobacter</i>	
<b>Ordere:</b> <i>Pseudomonadales</i>	
<b>Famille:</b> <i>Pseudomonaceae</i>	
<i>Pseuomonassp.</i>	<i>Robiniapseudoacacia</i>

### 1.3.6. Caractéristiques des *Rhizobia*

Le *Rhizobium*, signifie étymologiquement « ce qui vit dans les racine (Frank.,1889). Le *Rhizobium* (en italique avec un R majuscule) est le nom taxonomique formel d'un genre bactérien. (Zakhia *et al.*,2004) ont proposé le terme BNL (bactérie nodulant les légumineuses ) pour éviter cette confusion. Les *Rhizobia* sont des aérobies strictes (Pelmont., 1993) ou *microaérophiles*, *asporulés*, Gram négatif (bekki.,1983 ; Jordan.,1984) et *mésophiles*, la température optimum pour leur croissance se situe entre 25 et 30 c (Somasegara et Hoben.,1994). Certaines espèce tolèrent des températures plus élevées en fonction de l'espèce et de la région d'isolement (Affianha et Alexander., 1992 ;Zhran.,1999 ; Cacciari *et al.*,2003). Le pH idéal se situe entre 6 et 7 (6.8), mais certaines souches tolèrent des pH très bas (Dommergues et Mangenot., 1970 ; Vincent., 1977) ou alcalins (Kulkarni *et al.*, 2000).

### **1.3.7. Processus de symbiose rhizobienne**

La symbiose *rhizobienne* est une association mutualiste à bénéfice réciproque entre les légumineuses et les bactéries du type *rhizobium*. ces dernies permettent de réduire l'azote atmosphérique en forme assimilable par les plantes. En échange, la plante fournit aux *Rhizobia* le carbone résultant de sa photosynthèse (Dommergues *et al.*,1999).Au cours de la symbiose, un nouvel organe, le nodule, est formé sur les racines ou plus rarement sur les tiges ou l'azote atmosphériques est fixé par les bactéries (Niste *et al.*,2014).

Le processus de fixation biologique de l'azote est précédé par la formation de nodules ou nodosités. En terme général, les nodules sont le résultat d'infection des racines par les bactéries. Le processus est appelé nodulation. Le processus d'infestation des racines par les *Rhizobium* est connu sous le nom de l'infection. (Patriarca *et al.*, 2004) .

Le processus de nodulation commence par un échange de signaux entre la plante hôte et la bactérie (Patriarca *et al.*, 2004). En condition de carence en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), la bactérie et la plante mettent en place un système de « dialogue» basé sur un échange de molécules chimiques (Perry *et al.*, 2004). Les plantes produisent des flavonoïdes (molécules signales) au niveau de leurs racines (Patriarca *et al.*, 2004). L'interaction est spécifique: une souche bactérienne n'attaque pas n'importe quelle plante, et inversement la plante ne se laisse pas envahir par n'importe quelle souche bactérienne (Pelmont., 1995).

# *Chapitre I I*

---

## *Interface rhizosphérique et interactions*

## **Introduction**

Le sol comporte 3 phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (solution du sol) et une phase gazeuse (air, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).

Le sol est le support des plantes, cultivées ou non. C'est la zone exploitée par les racines. Il englobe le domaine de la rhizosphère (Hiltner., 1904), zone d'échanges d'ions, de compétition pour l'eau, l'oxygène (Lemanceau et Heulin., 1998) où l'activité microbienne est stimulée par la libération de composés organiques. Principal objet d'étude des agronomes le sol, en tant que zone travaillée par les instruments aratoires, est le support des cultures. Son potentiel de production se traduit par la notion de fertilité, variable en fonction de ses caractéristiques intrinsèques mais aussi des apports extérieurs (fertilisation, amendements minéraux ou organiques, traitements phytosanitaires), des améliorations foncières (drainage, irrigation, sous-solage) ou des techniques culturales appropriées aux modes de cultures envisagés (labours, et façons aratoires diverses dont les récentes « techniques culturales simplifiées ». (Camuza., 2018).

## 1-Notion de rhizosphère

La rhizosphère est la région du sol autour des racines des plantes (Fig. 13). Le terme rhizosphère a été introduit en 1904 par Lorenz Hiltner, "rhizo" vient du grec "rhiza," signifiant "racine" et "sphère" est le champ d'action ou d'influence. Hiltner a décrit la rhizosphère comme étant l'étroite partie du sol, lieu d'une intense activité microbienne autour des racines des légumineuses. Par la suite, cette définition a été étendue à toutes les plantes. Enfin, elle correspond non seulement à l'étroite zone (1-2 mm) à proximité immédiate de la surface racinaire, mais aussi à la région de quelques centimètres de la racine, où ont lieu les échanges d'eau et de nutriments. La rhizosphère constitue ainsi un lieu d'échange entre le végétal et le minéral ; c'est un milieu complexe aux multiples interactions (Lynch., 1990).

Au sein de la rhizosphère, on distingue :

- Le rhizoplan : (surface des racines) ;
- L'endorhizosphère (surface intra-racinaire de certaines bactéries, à l'intérieur ou à l'extérieur des cellules des tissus)
- L'exorhizosphère ou sol rhizosphérique (Gobat *et al.*, 2010).(Fig.13)

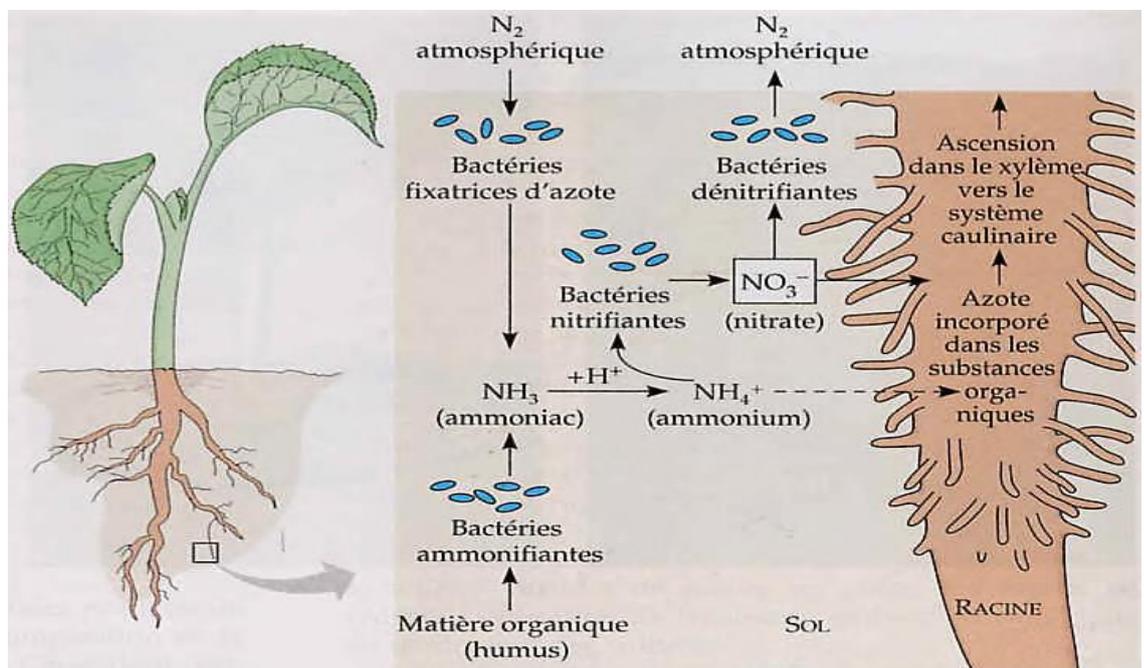


Figure 13 .Schéma général de la rhizosphère (Anonyme1,2003).

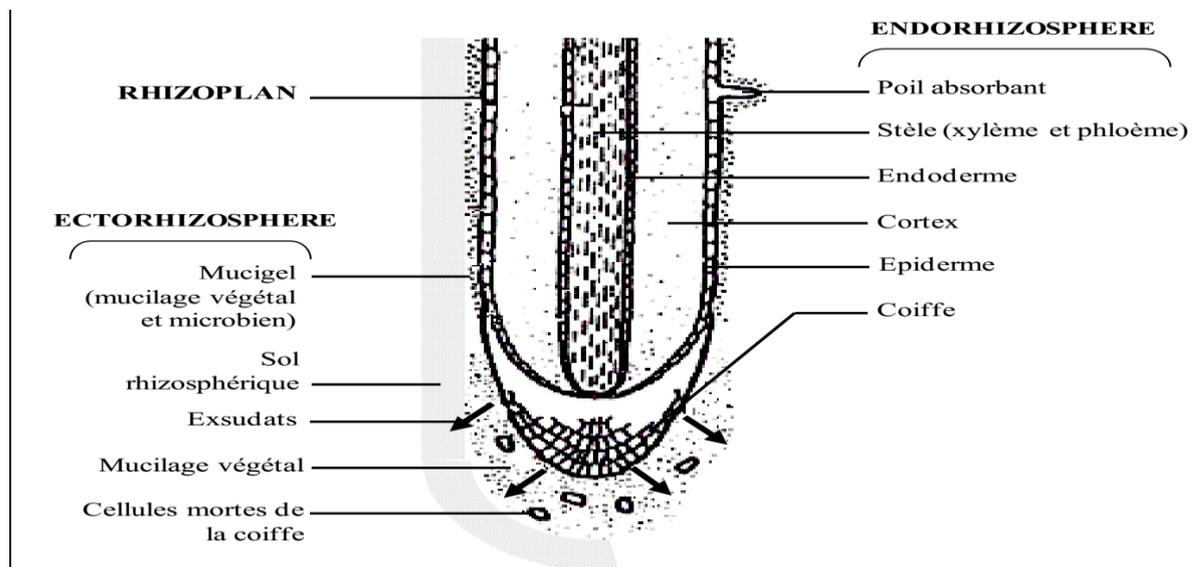
Pinton *et al.*, (2001) et Gobat *et al.*, (1998) ont distingué dans la rhizosphère deux principales parties :

### ✚ Ectorhizosphère

L'ectorhizosphère correspond au volume de sol colonisé ou potentiellement colonisable par les microorganismes (bactéries et champignons) et influencée par ceux-ci. Sa définition peut s'étendre à la mycorhizosphère correspondant au volume de sol qui environne une racine colonisée par un champignon mycorhizien permettant d'augmenter le volume de l'ectorhizosphère (Limam., 2015).

### ✚ Endorhizosphère

L'endorhizosphère correspond au volume de tissus racinaires. On distingue dans cette partie le rhizoplan correspondant à la surface même du tissu racinaire, l'histosphère correspondant à la région intra-tissulaire et extracellulaire de la racine où se trouvent les microorganismes et la cytosphère correspondant à la région intra-tissulaire et intra-cellulaire de la racine où se trouvent les microorganismes. (Limam., 2015).(Fig.14).



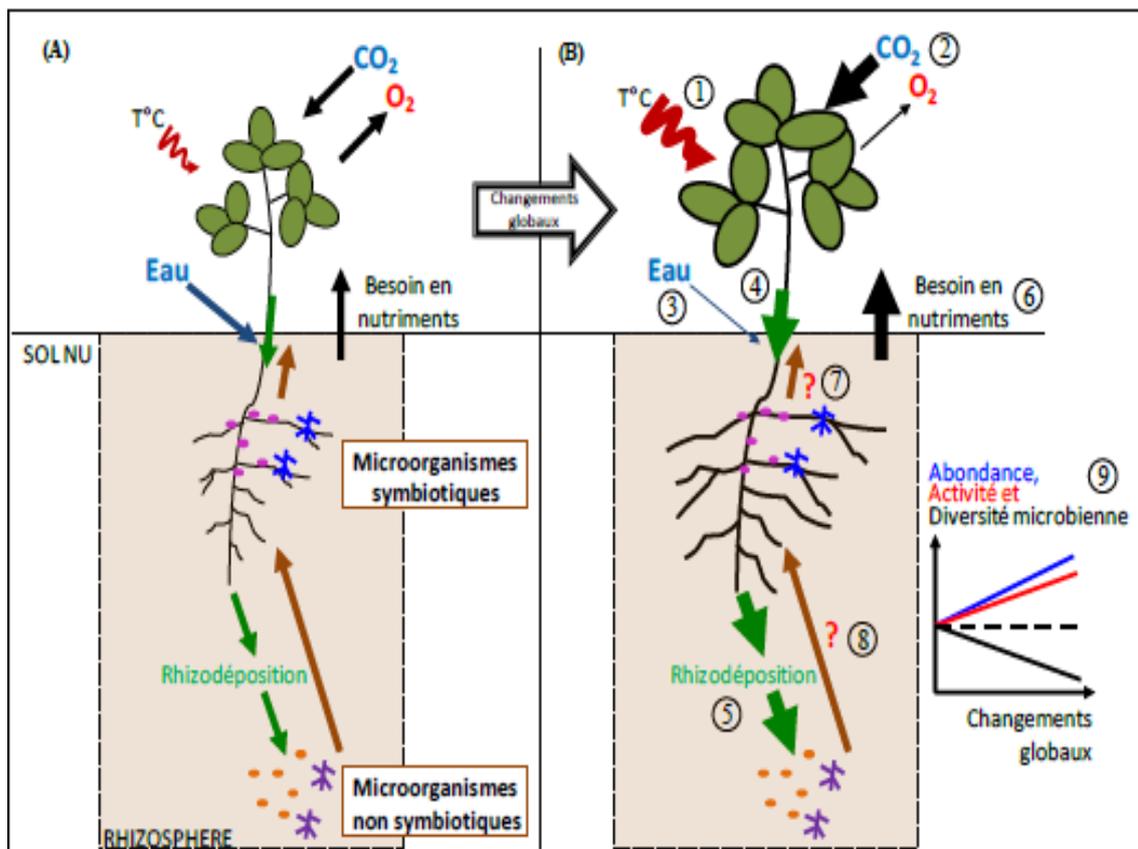
**Figure 14.** Représentation schématique des trois zones de la rhizosphère (D'après Lynch.,1983). La rhizosphère se décompose en trois régions qui sont l'endorhizosphère (tissus racinaires), le rhizoplan (surface des racines) et l'ectorhizosphère (sol adhérent aux racines ou sol rhizosphérique).



### 3. Modifications rhizosphériques et interactions

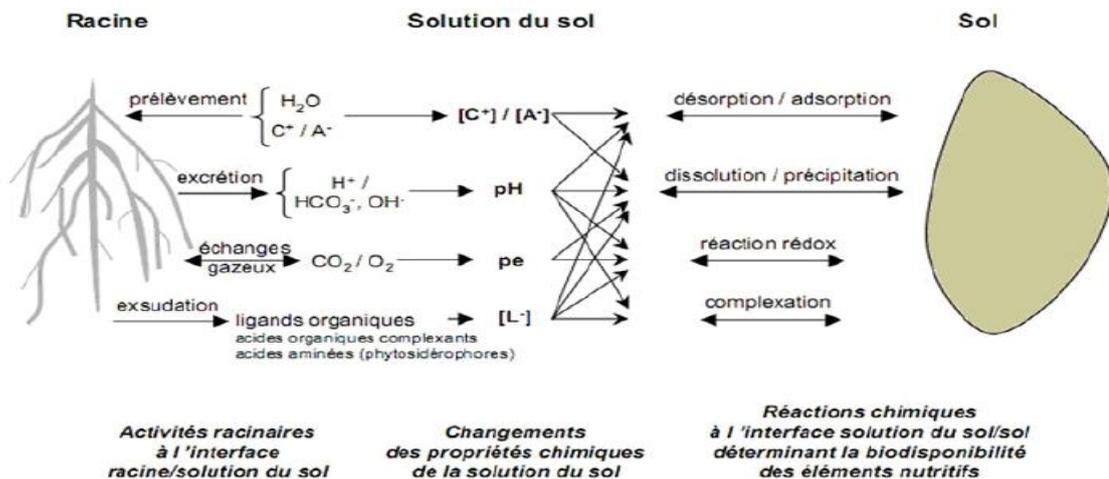
La rhizosphère est le siège d'interactions physico-chimiques entre racine, solution et constituants minéraux du sol (Fig. 16) (Hinsinger., 2001). Le premier processus chimique qui a été décrit dans la rhizosphère est une conséquence directe de la principale fonction des plantes : l'absorption de l'eau et des nutriments par la racine, responsable de considérables changements dans la concentration des solutés (Hinsinger *et al.*, 2006).

La rhizosphère et les processus qui s'y déroulent sont fortement influencés par les molécules et ions organiques ou inorganiques libérés par les racines. Ces molécules et ions peuvent directement mobiliser des éléments nutritifs, mais ils peuvent également modifier certaines conditions du milieu comme le pH qui est influencé par l'excrétion de substances racinaires (Alexis., 1988).(Fig.17).



**Figure 16.** Effets à court terme, les plus fréquents, des changements globaux affectant la plante et les microorganismes rhizosphériques avec lesquels elle interagit (Hinsinger., 2001).

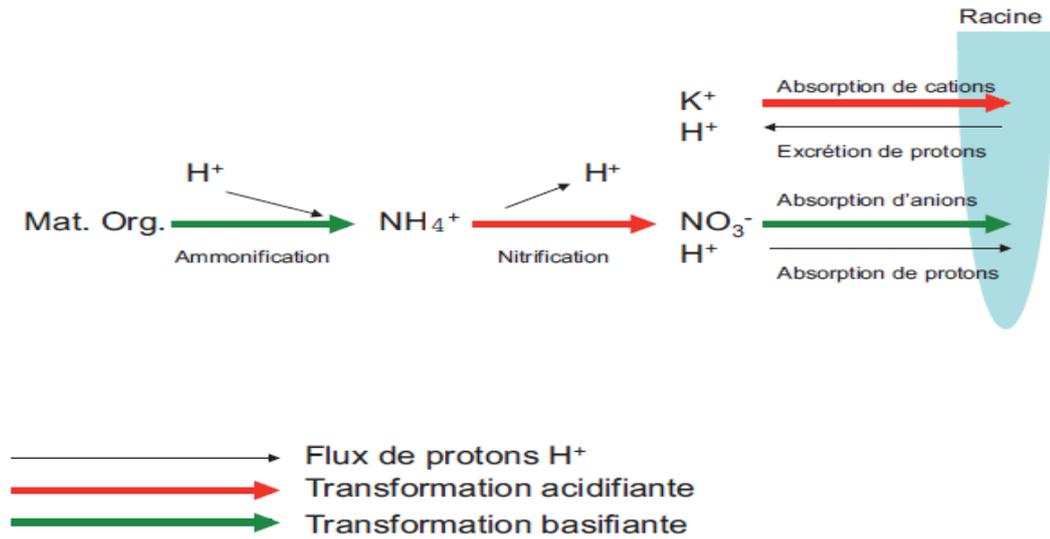
Interactions plante microorganismes en conditions (A) ambiantes et (B) soumises aux différents facteurs du changement global. (B) A court terme, la plupart des études mettent en évidence une augmentation de la biomasse végétale totale. (1) Les changements globaux entraînent une température plus élevée ; (2) la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique est aussi plus importante ; (3) enfin la quantité d'eau fournie à la plante est généralement soumise à des limitations. (4) La photosynthèse est alors plus importante et davantage de photosynthéta sont d'abord fournis aux microorganismes symbiotiques ; (5) les microorganismes non symbiotiques sont les derniers à recevoir les composés carbonés en quantité plus importante ; (6) en conséquence, le métabolisme de la plante étant augmenté, la plante a besoin de davantage de nutriments ; (7) les nutriments sont fournis à la plante, en premier lieu, par les microorganismes symbiotiques ; (8) puis, les microorganismes non symbiotiques vont fournir des nutriments à la plante dont la composition et la quantité risquent d'être affectés par les changements environnementaux subis par la plante. (9) La plupart des études concernant le devenir, à court terme, des microorganismes rhizosphériques suite aux changements affectant la plante montrent une augmentation de l'abondance et de l'activité microbienne mais une réduction de la diversité (LEPINAY,2013).



**Figure 17.** Représentation schématique des interactions physico-chimiques entre racine, solution et constituants minéraux du sol dont la rhizosphère est le siège (Hinsinger, 2001).

Les principales formes de réactions chimiques (pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), mobilisation des éléments minéraux, augmentation de disponibilité..... (Fig. 18)

Mécanismes de l'acidification et flux de protons H<sup>+</sup>



Que se passe-t-il dans le cas des légumineuses ?

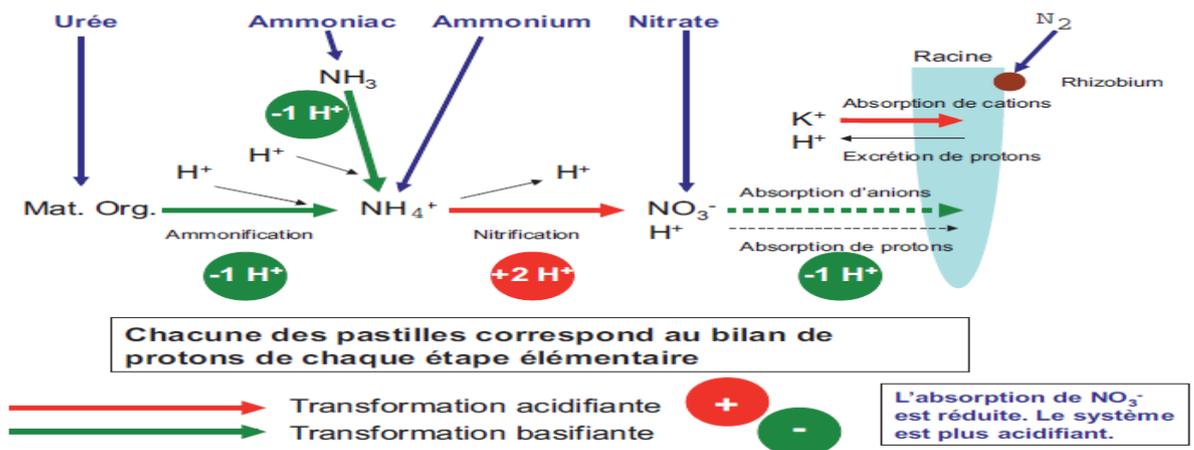


Figure 18. Mécanisme de l'acidification et flux de protons, Cas des légumineuses (Olsina.,2009).

#### **4. Le phosphore dans l'environnement**

Le phosphore (P) est l'élément le plus importante dans la nutrition de plante, après l'azote (N) . pratiquement, il joue un rôle importante dans tous les processus métaboliques, y compris la photosynthase, le transfert d'énergie , la traduction du signal , la biosynthèse des macromolécules , la synthèse d'acide nucléiques et la respiration chez les plantes ( khan *et al.*, 2010) . Il a aussi un rôle important dans la fixation de l'azote chez les légumineuses (Kouas *et al.*, 2005). Par conséquent, l'acquisition d'une concentration suffisante de phosphore augmente la croissance et le développement des plante dans différente système de production (Hayat *et al.*, 2010). Malgré son importance indéniable dans le cycle du vivant, l'approvisionnement en phosphore à partir du milieu reste toutefois une contraint majeure pour de nombreux organisme vivants du sol en particulier pour les plantes (Plassard *et al.*,2015) .

A l'inverse du carbone et de l'azote ,qui peuvent être tirés directement de l'atmosphère , le phosphore ne peut provenir que de la désagrégation des roches qui contiennent du phosphate (Hinsinger.,2001).

Dans le sol , le phosphore existe sous différentes formes qui interagissent via différents mécanisme physico-chimiques , biologiques et biochimiques impliquant des réaction d'absorption et de désorption et de dissolution , de minéralisation et des d'immobilisation . le cycle biogéochimique du phosphore inclut aussi des flux de phosphore sous forme de prélèvements par les plantes , et des partes par érosion ,ruissellement de surface et de profondeur , lessivage et drainage (Haygarth *et al.*, 1998 ;Kleniman *et al.*,2009)

##### **4.1 Spéciation du P dans les sols**

Dans les horizons de surface des sols, le P organique représente une part plus ou moins importante du P total. Il représente en moyenne 20% du P total dans les grandes cultures (Morel., 2002) alors que la proportion est plus importante pour les écosystèmes à couverture végétale permanente (prairies et forêts). Dans ces systèmes, la proportion de P organique est supérieure à 50% et peut atteindre 80% (Harrison., 1983 ; Attiwill et Adams., 1993 ; Ross *et al.*, 1999 ; Chen *et al.*, 2000 ; Chen *et al.*, 2003).

#### **4.1.1. Les formes inorganiques de P en solution**

Le P inorganique dissous est présent sous formes d'espèces ioniques libres ou complexées. Des polyphosphates peuvent également être rencontrés. La spéciation des ions P en solution, c'est-à-dire leur distribution en différentes espèces, est en premier lieu déterminée par le pH de la solution et plus précisément par des réactions de protonisation/deprotonisation. Les ions P dérivent de l'acide orthophosphorique ( $H_3PO_4$ ), un triacide faible dont les acidités successives sont caractérisées par trois valeurs de pKa. Un pKa (logarithme du  $K_a$ , constante de dissociation) est une valeur de pH pour laquelle un acide est à moitié dissocié (Barrow., 1987).

#### **4.1.2. Les formes organiques**

##### **❖ Les différents composés organiques contenant du P**

Le P organique peut être défini comme étant le P présent dans un composé organique en tant que constituant, c'est-à-dire le P ayant des liaisons avec le C ou l'H (Turner *et al.*, 2005). Il existe de nombreux composés organiques contenant du P (Turner *et al.*, 2005 ; Turner *et al.*, 2005).

Le P organique dans les sols est essentiellement représenté par les phosphates monoesters et plus particulièrement par la famille des phosphates inositol dont fait partie l'acide phytique (Turner *et al.*, 2005 ; Quiquampoix et Mousain., 2005). Après les phosphates monoesters, les diesters dont font partie les acides nucléiques et les phospholipides, représentent une autre classe fonctionnelle bien représentée dans les sols (Quiquampoix et Mousain., 2005 ; Turner *et al.*, 2005).

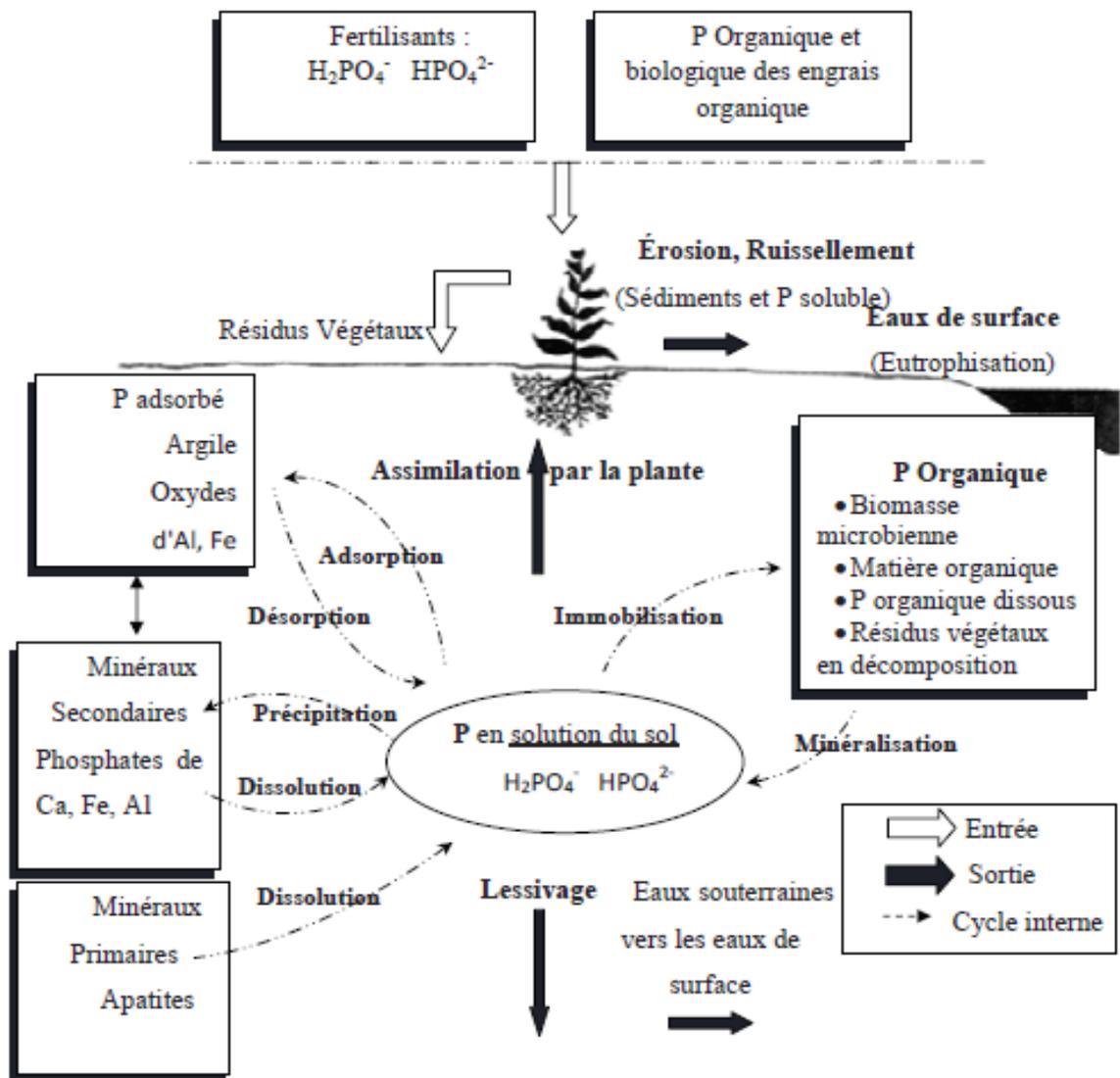


Figure 19. Cycle du phosphore dans le sol (Demers.,2008).

*Matériel et Méthode*

## **1. Approche méthodologique**

L'approche méthodologique choisie dans notre travail permet de caractériser les sols de culture d'luzerne dans la région de Ghardaïa au niveau de la commune d'El-Atteuf et comparer les paramètres physico-chimiques caractéristiques des sols rhizosphériques et non rhizosphériques tout en déduisant la variabilité intra-parcellaire chez la rhizosphère du sol cultivé de luzerne (*Médicago sativa L.*).

### **1-1. Situation géographique de la région d'étude**

La wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara à 32° 30' de latitude Nord et 3° 45' de longitude à 600 km au Sud d'Alger (Benhedid.,2008).Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle wilaya dépendait de l'ancienne wilaya de Laghouat. Il est composé des anciennes adirâtes de Ghardaïa, Metlili et El-Menia. Couvrant une superficie de 86.560 Km<sup>2</sup>, la wilaya de Ghardaïa est limitée :

- ❖ Au Nord par la wilaya de Laghouat.
- ❖ Au Nord Est par la wilaya de Djelfa.
- ❖ A l'Est par la wilaya d'Ouargla.
- ❖ Au Sud par la wilaya de Tamanrasset.
- ❖ Au sud-ouest par la wilaya d'Adrar.
- ❖ A l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh. (Amat., 1888 ; Zergoun., 1994 ; Anonyme., 2010).

### **1.2. Zone d'El-Atteuf**

La Wilaya de Ghardaïa se situe dans le Sahara Nord –Central Algérien (Fig.21). Elle comporte 13 communes parmi lesquelles la commune d'El-Atteuf qui fait l'objet de notre étude et qui est issues du découpage administratif de l'année 1985. Elle est située à 6 Km de chef-lieu de la wilaya. Sa superficie est de 717,01 Km<sup>2</sup> avec une population de 17113 habitants. Le tourisme et l'agriculture sont les principales activités de cette commune. (Référence électrique .3) (Fig.20).

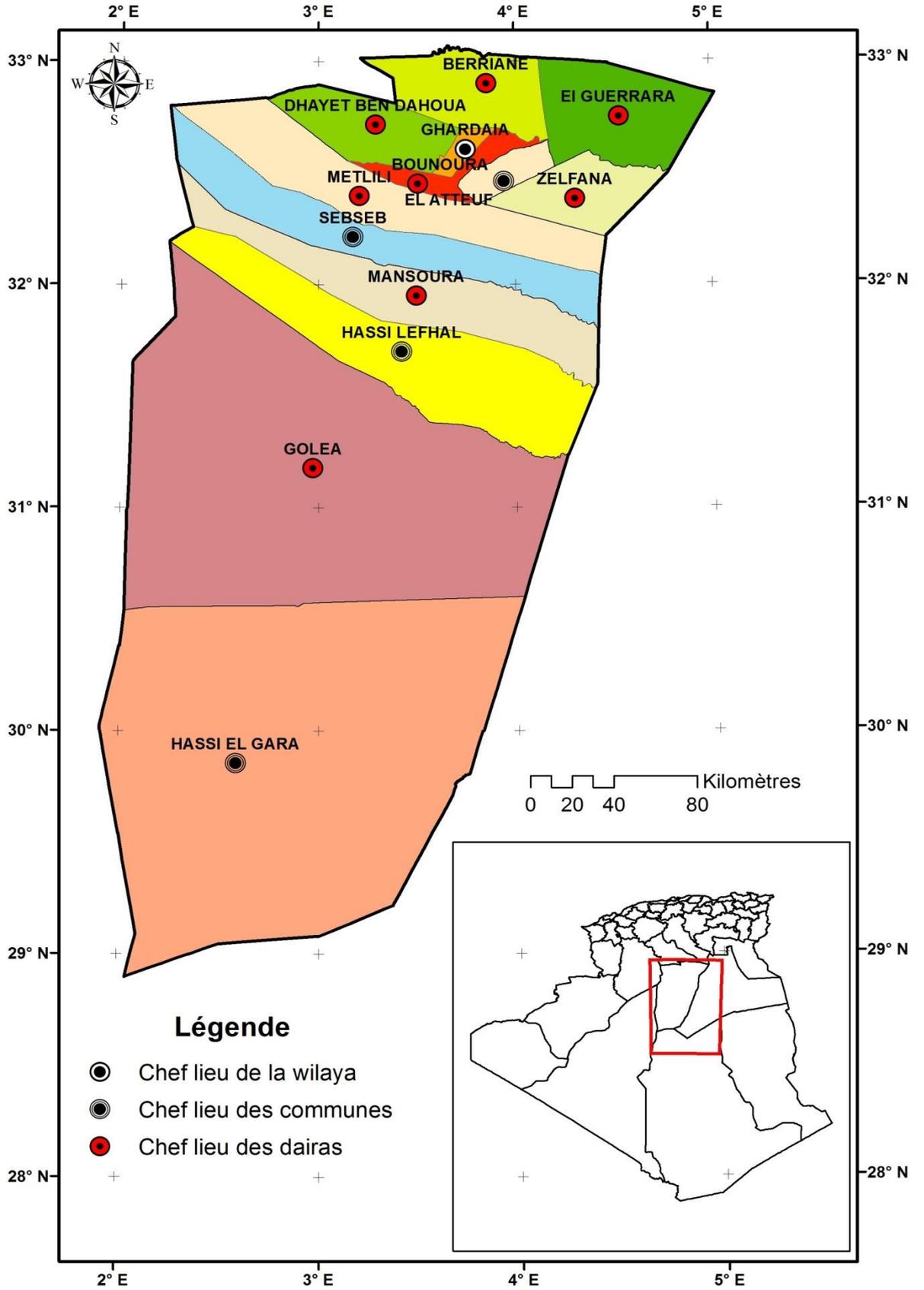


Figure 20 : Cadre administratif de la wilaya de Ghardaïa (Originale., 2018).

## **2. Caractéristique du milieu**

### **2.1. Caractère édaphiques**

Les facteurs édaphiques de la région de Ghardaïa concernent sa géologie, sa pédologie et son hydrographie, et qui ont une action écologique sur les êtres vivants. Ils jouent un rôle important, en particulier pour les insectes qui effectuent une partie ou même la totalité de leur cycle de développement dans le sol. (Dreux., 1980 ; Dajoz., 1982; Ramade., 1984).

#### **2.1.1. La particularité géomorphologique de la région d'étude**

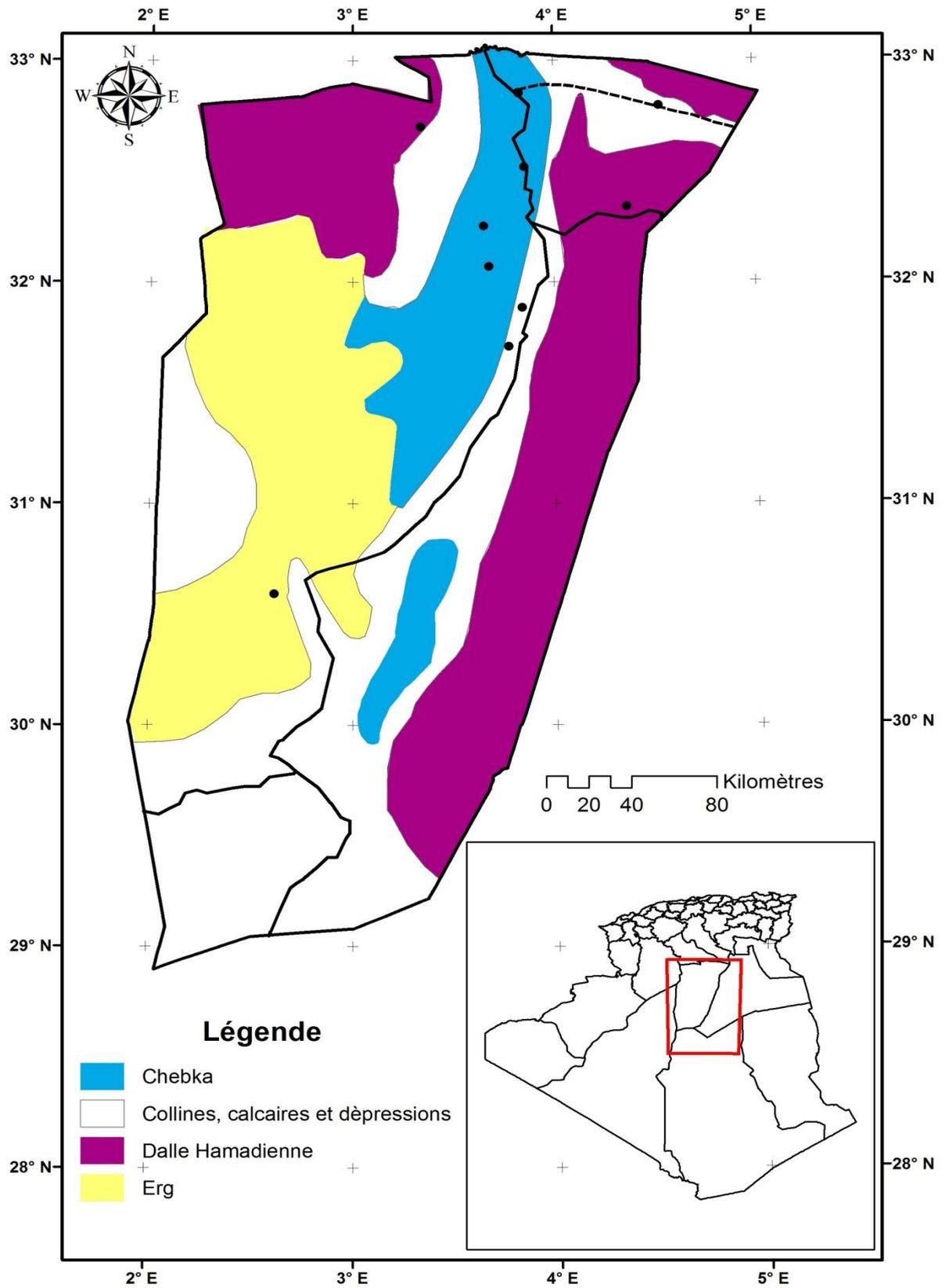
Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques D.P.A.T. (2005)

- La Chabka du M'Zab.
- La région des dayas.
- La région des Ergs

La région de M'Zab se caractérise au Nord par la présence d'une chaîne de monticules rocailloux appelée «la Chebka », et au sud par un immense plateau Hamada couvert de pierres. La partie Nord de la région est très accidentée, ce qui entraîne la formation de nombreuses vallées appelées D aya, très fertiles où coulent et se rejoignent une multitude d'oueds (Anonyme, 1987) (Fig.21).

#### **2.1.2. La particularité pédologique de la région d'étude**

Le sable ne domine pas dans le Sahara, les sols désertiques sont surtout pierreux. Les sols argileux couvrent une grande partie des déserts. La surface d'un sol argileux se dessèche très rapidement après une pluie. Cependant la dessiccation pénétrant de plus en plus profondément, la zone de départ de l'évaporation devient de plus en plus profonde et la zone d'évaporation de plus en plus basse au niveau de la région de Ghardaïa, les sols sont squelettiques suite à l'action de l'érosion éolienne et souvent marquée par la présence en surface d'un abondant argileux, type « Hamada ». Dans les dépressions, les sols sont plus riches grâce à l'accumulation des dépôts alluviaux, (Dubost., 1991).



**Figure 21** : Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (Originale.,2018).

### **2.1.3. Hydrogéologie**

La nappe phréatique est un aquifère superficiel dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Elle est alimentée par les pluies et surtout par les crues. La nappe phréatique de Ghardaïa, a été la ressource hydrique qui a permis aux anciennes populations de se maintenir dans la Chabka. Elle permet aussi l'alimentation des puits des parcours, qui assurent l'abreuvement des troupeaux et leurs possesseurs. Dans cette région, la nappe se trouve à des profondeurs considérables (de 10 à 50m et plus), contrairement à la partie orientale où elle affleure, causant parfois l'asphyxie de palmiers. (A.N.R.H.,2005).

## **2.2. Synthèse climatique**

Pour Ramade (1984), les données climatiques sont non seulement des éléments décisifs du milieu physique mais ont aussi des répercussions profondes sur les êtres vivants animaux et végétaux. Ils jouent un rôle fondamental dans la distribution de ces dernières qui ne peuvent se maintenir et prospérer que lorsque les conditions de milieu sont favorables. En l'absence de ces conditions, les populations sont éliminées suite aux actions multiples néfastes sur la physiologie de ces êtres vivants (Dajoz., 1982 ; Faurie *et al.*, 1984).

### **2.2.1. Température**

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. L'analyse d'une série rétrospective d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de l'an 2011 au 2017, a fait ressortir que la température moyenne enregistrée a été de 18.55 °C, température minimale en janvier 3.96°C et maximale en aout 42.47°C. (ONM, 2018).( tab.02).

### 2.2.2. Précipitation

Dans le Sahara septentrional la pluie tombe souvent pendant l'hiver, laissant une longue période estivale complètement sèche (Vial et Vial., 1974). La rareté et l'irrégularité des pluies sont les caractères fondamentaux de climat saharien. En effet le volume annuel des précipitations conditionne en grande partie les biomes continentaux (Ramade., 1984). Lorsque survient une pluie, elle prend souvent la forme d'une averse qui ruisselle à la surface du sol et ne s'infiltré qu'en partie, de sorte qu'elle ne profite que faiblement à la végétation (Vial et Vial., 1974). Pour la région d'étude, les valeurs des précipitations mensuelles obtenues à Ghardaïa durant la période 2011-2017 montrent un cumul moyen annuel de ..... (Tab. 02)

### 2.2.3. Insolation

La durée moyenne annuelle de l'insolation est de 282.6 heures/mois, avec un minimum de 241.14 heures/mois en décembre et un maximum de 352.42 heures/mois en Juillet. (Tab.02).

**Tableau 02** .Données climatiques de Ghardaïa durant la période (2011.2017). (ONM. 2018).

<i>Mois</i>	<b>T max</b>	<b>T min</b>	<b>T moy</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Ins (H)</b>
<b>Janvier</b>	<b>20.31</b>	<b>3.96</b>	<b>11.85</b>	<b>23.7</b>	<b>258.28</b>
<b>Février</b>	<b>21.34</b>	<b>4.8</b>	<b>12.85</b>	<b>24.6</b>	<b>242.57</b>
<b>Mars</b>	<b>26.38</b>	<b>7.78</b>	<b>16.75</b>	<b>69.8</b>	<b>282.42</b>
<b>Avril</b>	<b>32.91</b>	<b>12.07</b>	<b>22</b>	<b>37</b>	<b>311</b>
<b>Mai</b>	<b>38.01</b>	<b>17.31</b>	<b>26.85</b>	<b>18.9</b>	<b>341.28</b>
<b>Juin</b>	<b>40.78</b>	<b>21.63</b>	<b>30.97</b>	<b>24.5</b>	<b>343.28</b>
<b>Juillet</b>	<b>40.64</b>	<b>25.21</b>	<b>31.87</b>	<b>2.4</b>	<b>352.42</b>
<b>Août</b>	<b>42.47</b>	<b>25.23</b>	<b>27.05</b>	<b>19.7</b>	<b>329.42</b>
<b>Septembre</b>	<b>39.07</b>	<b>20.57</b>	<b>30.70</b>	<b>102.2</b>	<b>266.85</b>
<b>Octobre</b>	<b>33.417</b>	<b>15.46</b>	<b>23.94</b>	<b>29</b>	<b>285</b>
<b>Novembre</b>	<b>26.42</b>	<b>8.36</b>	<b>16.62</b>	<b>38.2</b>	<b>251.28</b>
<b>Décembre</b>	<b>20</b>	<b>4.71</b>	<b>11.94</b>	<b>35.3</b>	<b>241.14</b>

T : Température

P : Pluviométrie

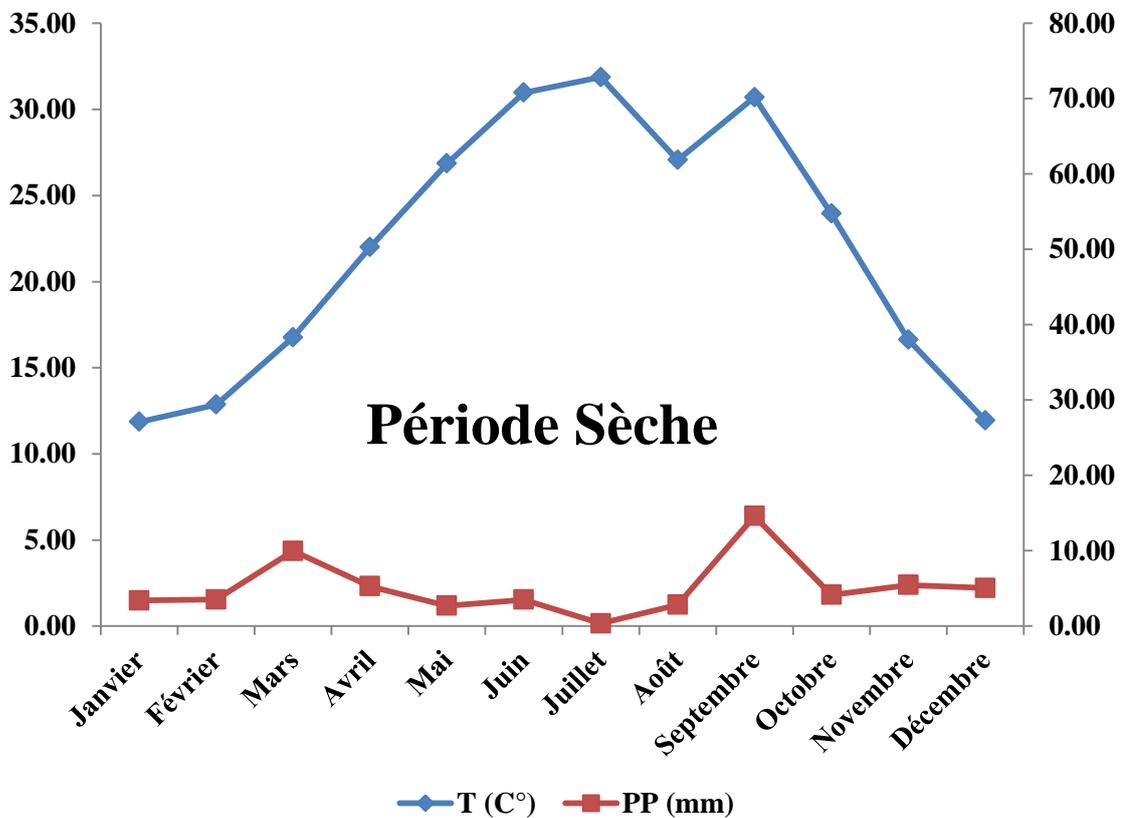
Ins : Insolation

### 2.3. Synthèse climatique

La synthèse climatique de la région est récapitulée à travers le diagramme Ombrothermique Climagramme d'Emberger.

#### 2-3-1. Diagramme Ombrothermique

Le digramme Ombrothermique permet de mettre en évidence les caractéristique du climat, il est une représentation graphique où sont portés, en abscisse les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), selon la formule  $P = 2T$ . En effet, pour la région de Ghardaïa, la saison sèche s'étale durant toute l'année pour la période allant de 2011 à 2017 (Fig.23).



**Figure 22:** Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2011-2017)

(ONM., 2018).

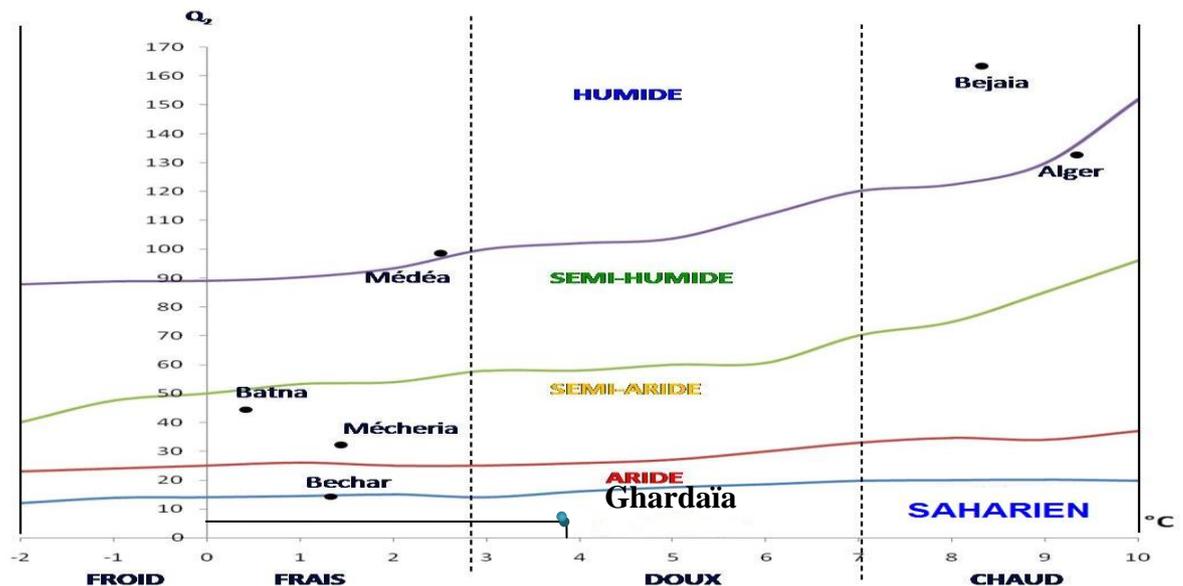
### 2.3.2. Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'Emberger permet la classification des différents types de climats méditerranéens (Dajoz., 1971), est permet de savoir à quel étage bioclimatique se situe notre région. Le quotient pluviométrique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante (Stewart., 1969) :

$$Q_2 = (3.43P) / (M - m)$$

- ❖  $Q_2$  : Quotient pluviométrique d'Emberger ;
- ❖ P : Somme des précipitations annuelles en mm ;
- ❖ M : Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud ;
- ❖ m : Moyennes des températures minimales du mois le plus froid.

Le quotient pluviométrique  $Q_2$  de la région d'étude calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période qui s'étalant sur les 7 ans (2011-2017) est égal à 5,68. Les températures moyennes des minima des mois les plus froids égalent à 3,96°C. En rapportant ces valeurs sur le Climagramme d'Emberger, on constate que la région de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (fig.24).



**Figure 23.** Situation de la région de Ghardaïa dans le climagramme d'Emberger pour la période de 2011 à 2017.

### 3. Choix du site d'étude

Nous avons sélectionné une exploitation agricole située dans la zone d'Oued El-Atteuf pour le déroulement de notre travail expérimental. Ce choix est basé sur essentiellement les critères suivants :

- L'accessibilité de l'exploitation et sa localisation par rapport à d'autres exploitations agricoles.
- La vocation de l'exploitation qui est basée sur les grandes cultures comme système de production dominant.
- La disposition d'une parcelle importante de luzerne, cultivée pendant une bonne période (dès l'année 2008).

### 4. Description de l'exploitation d'étude

L'exploitation d'étude se situe en amont d'Oued El-Atteuf, plus particulièrement dans la vallée d'Oued El-Habas, qu'appartient à M. Al-Shanini Haj Omar. Cette parcelle s'étend sur une superficie de 2 ha. Elle est caractérisée par une culture de luzerne pérenne, répartie en cinq provenances différentes (Touggourt, USA, Egypte, Australie, Allemagne). Il est à noter que le système de production est céréales-légumineuse dont la parcelle cultivée actuellement de luzerne a un précédent du blé. L'exploitation présente aussi quelques plantations d'olivier et de palmier dattier (Fig. 24). (Fig.25).



**Figure 24.** Aperçu général de l'exploitation d'étude (Originale.2018).

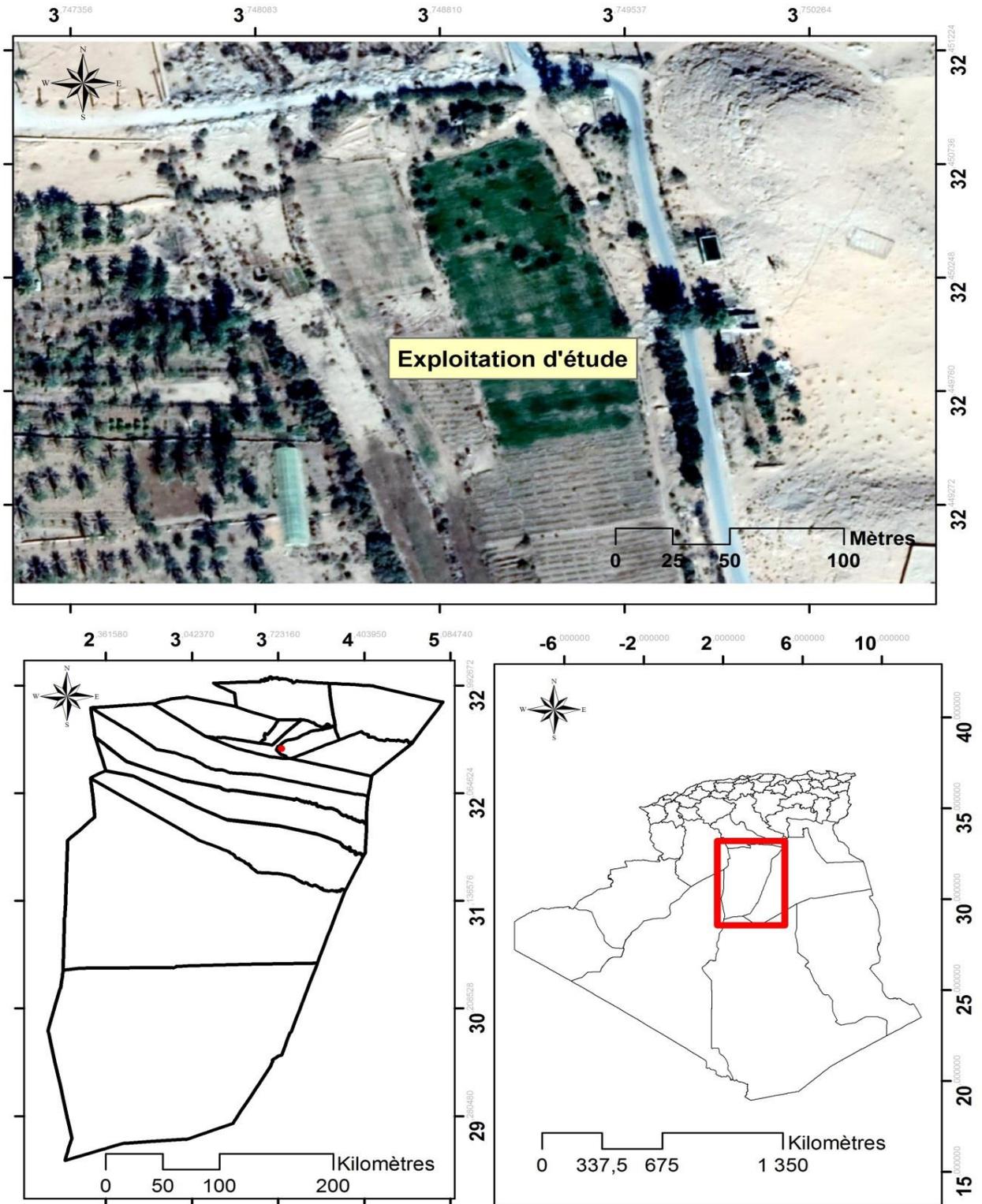


Figure 25 : Localisation géographique de l'exploitation d'étude(Originale.2018).

## **5. Echantillonnage**

Pour notre travail, nous avons adopté un échantillonnage systématique est basé un pas d'échantillonnage. Le prélèvement du sol est effectué le 01/11/2017 sur une parcelle de en procédant à un échantillonnage sur une maille régulière de 3,5m x 3,5m. Le profil est exploré en échantillonnant les deux types du sol. Pour les deux échantillons du sol rhizosphérique et non rhizosphérique on estime un total de 30 points de prélèvement. Les coordonnées géographiques (X, Y et Z) ont été, en parallèle, notées pour chaque prélèvement à l'aide d'un GPS. Les échantillons du sol pour chaque plante de luzerne ont été séparés en sol rhizosphérique et non rhizosphérique (Annexe.1).

Les échantillons du sol prélevés ont été conservés dans des sachets en papier, transportés et séchés à l'air libre, tamisés à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 2 mm. La fraction < 2mm a ensuite été envoyée au laboratoire pour faire l'objet des différentes analyses physico-chimiques, à savoir, le pH, P et le nitrate.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire des sciences du sol à l'Université de Ghardaïa.

## **6. Analyse physico-chimique des échantillons du sol**

### **6.1. pH**

Il a été déterminé à l'aide d'un pH mètre d'une suspension d'un rapport : sol / eau de 1/5 (Annexe. 2) (Mathieu et Pielthain., 2003).

### **6-2. Phosphore assimilable**

Le phosphore assimilable est dosé par la méthode Joret-Hébert. Le sol est agité à froid dans une solution aqueuse (100 ml) d'oxalate d'ammonium à pH = 7, la température de 20°C et sous agitation bien définie dans un rapport déterminée prise d'essai /solution. Le respect du pH doit être rigoureux, une variation du pH conduit à une variation de la quantité dissoute du phosphore. Le dosage se fait par spectrophotométrie à 825 nm du complexe phosphomolybdique réduit par l'acide ascorbique en milieu sulfurique à chaud. Des solutions étalons de 0.2 ,5.5 et 10  $\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$  ont été préparées à base d'une solution mer de phosphore (Annexe. 2) (Mathieu et Pielthain., 2003).

### **6.3. Dosage de nitrate**

Une prise de 10g de sol frais et 20 ml de sulfate de potassium à 0,5  $\text{mol}.\text{l}^{-1}$  sont placés dans une bouteille soumise à une agitation pendant 30min. Un volume de 1 ml de solution d'acide salicylique (5%) est rajouté à 0,5 ml de filtrat. Après 30 mn de repos, 10 ml de la solution d'hydroxyde de sodium est additionné au complexe. La coloration prend environ une heure pour se développer. L'intensité de coloration est mesurée au spectrophotomètre une longueur d'onde de 410 nm. Des solution étalons de 0,2,4,6,8, 10 $\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$  ont été préparées à base d'une solution de nitrate de potassium (Annexe.2) (Mathieu et Pielthain., 2003).

## **7. Analyse statistique**

Les données collectées de l'expérimentation ont été soumises à une comparaison des moyennes pour échantillons appariés à l'aide du test de Student au seuil de signification  $\alpha = 0.05$ , en utilisant le programme STATISTICA 10. Les formes de représentation graphique sous forme de boîte à moustache ont été aussi établies.

## **8. Interpolation des données spatiales par IDW**

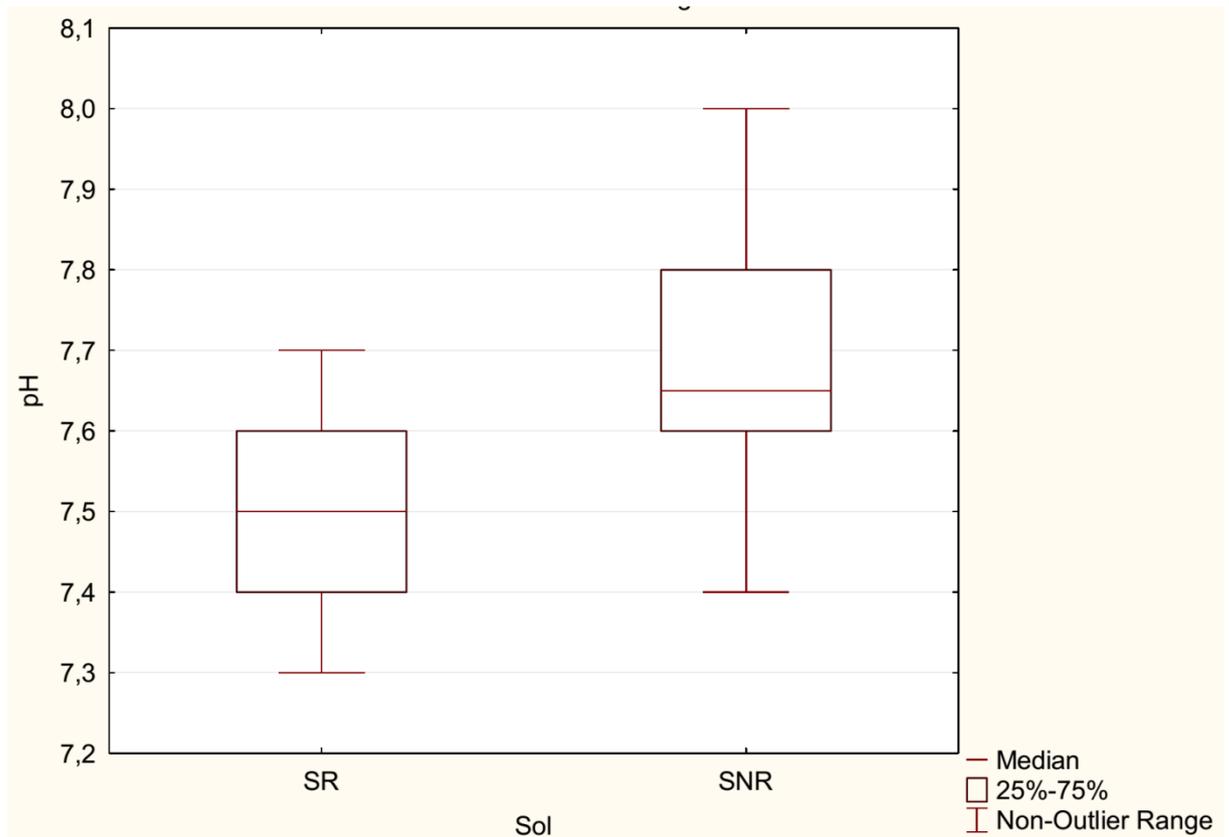
L'élaboration des cartes de variabilité spatiale pour chaque paramètre a été réalisée en exploitant la fonction Spatial Analyste Tools dans l'application Arc Tools Box du programme ARCGIS 10.3. L'interpolation par l'inverse de la distance pondérée (Inverse Distance Weighted ou IDW) est un algorithme simple qui donne plus de poids aux valeurs proches qu'aux valeurs éloignées (Shepard., 1968). Cette méthode d'interpolation est une méthode exacte, c'est-à-dire que la valeur interpolée aux points de mesure ne peut différer des valeurs effectivement mesurées. De plus, L'IDW est préférée lorsque l'échantillonnage n'est pas suffisamment dense, mais elle ne peut par conséquent pas créer de crêtes ni de vallées si ces extrêmes n'ont pas déjà été échantillonnés (Watson et Philip, 1985).

*Résultats et Discussion*

## 1. Etude de la variation spatiale des paramètres étudiés

### 1.1. Variation du pH dans les deux type sols (rhizosphériques et non rhizosphériques)

Les résultats de mesures du pH dans les deux types de sol rhizosphérique et non rhizosphérique sont présents dans la Fig26.

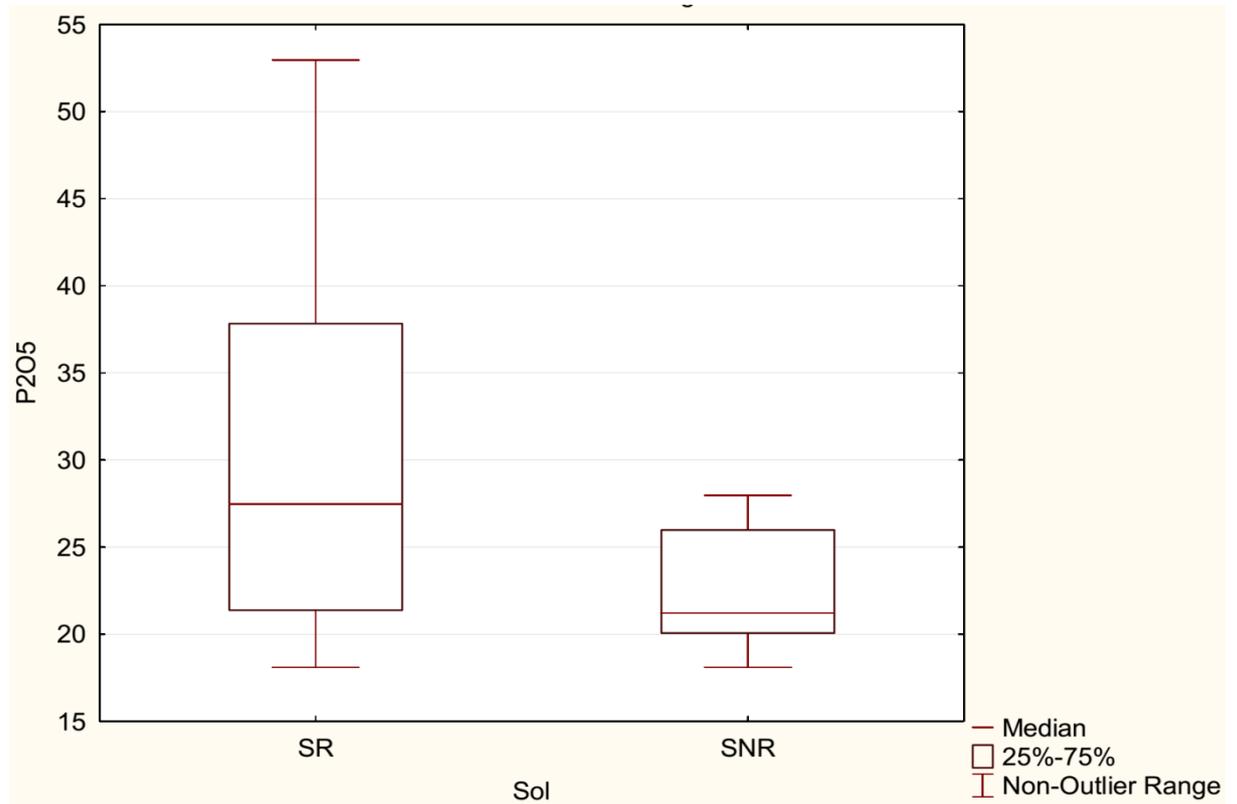


**Figure26. Variation du pH en fonction de type du sol.**

Le Test de Student pour échantillons appariés montre des différences fortement significatives entre les valeurs du pH des sols rhizosphériques et non rhizosphériques ( $P=0,002387$ ) au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ . En effet, pour les sols rhizosphériques, on constate que le pH varie entre 7,3 (faiblement alcalin) à 7,7 (modérément alcalin) avec une moyenne de  $7,526 \pm 0,185$  comparé à celui du sol non rhizosphérique qui varie entre 7,4 (faiblement alcalin) à 8 (fortement alcalin) avec une moyenne de  $7,67 \pm 0,182$  (Annexe 3). A cet effet, il a été noté une diminution du pH de 1,87% d'environ dans le sol rhizosphérique par rapport celui non rhizosphérique.

## 1.2. Variation de disponibilité du P dans les deux type de sols (rhizosphériques et non rhizosphériques)

D'après la représentation en boîte à moustache (Fig.27), il est possible de constater la variation du phosphore assimilable en fonction de type du sol.



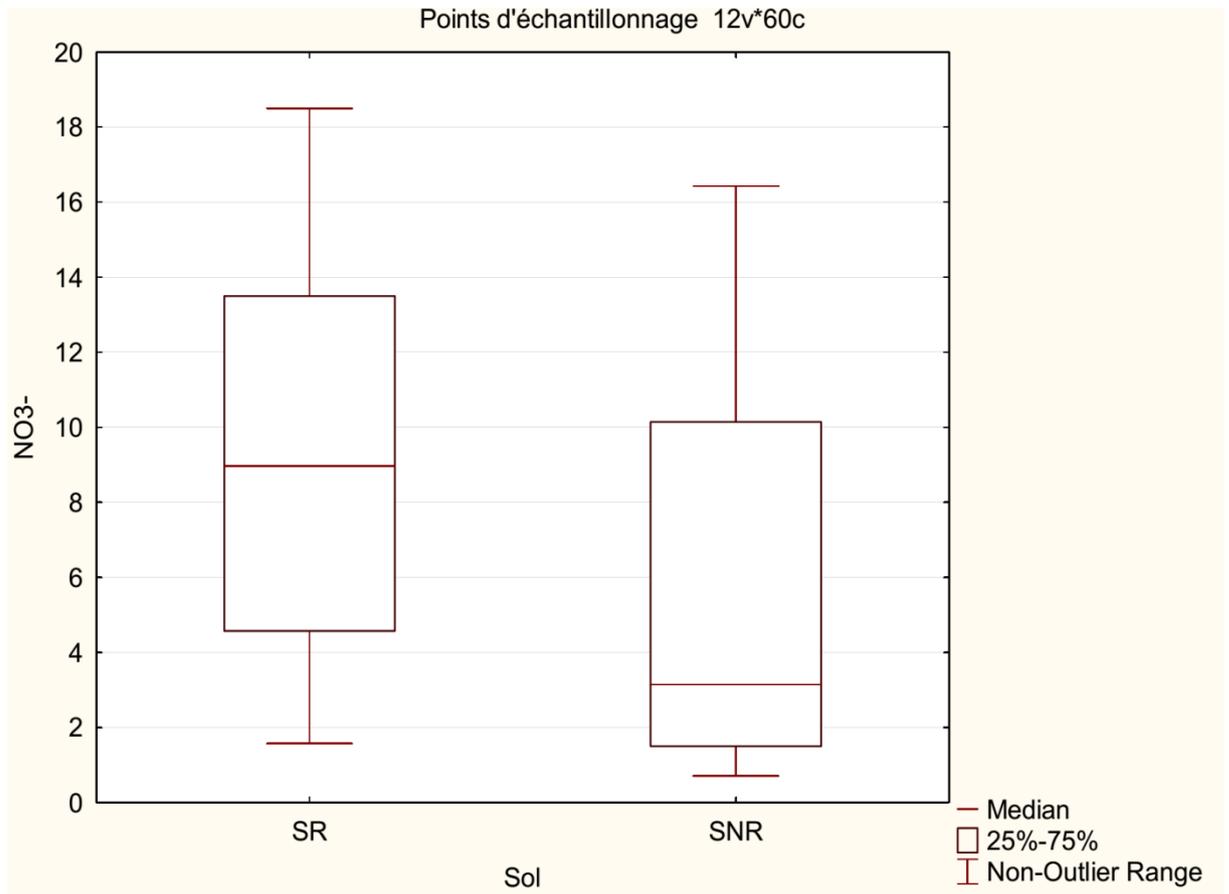
**Figure 27. Variation du phosphore assimilable en fonction de type du sol.**

Le Test de Student pour échantillons appariés montre des différences significatives entre les valeurs du phosphore assimilable des sols rhizosphériques et non rhizosphériques ( $P=0,023$ ) au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ . En effet, pour les sols rhizosphériques, on constate que le  $P_2O_5$  varie entre  $17 \mu\text{g/g}$  à  $57 \mu\text{g/g}$ , comparé à celui du sol non rhizosphérique qui varie entre  $17 \mu\text{g/g}$  à  $27 \mu\text{g/g}$ .

Concernant, les sols rhizosphériques, la disponibilité du phosphore assimilable est considérable avec un moyen de  $33,015 \pm 17,081 \mu\text{g/g}$ . Néanmoins, chez les sols non rhizosphériques nous avons noté une moyenne de l'ordre de  $24,539 \pm 7,716 \mu\text{g/g}$ , soit avec une augmentation de P dans le sol rhizosphérique de  $34,54 \%$  par rapport à celui non rhizosphérique (Annexe 3).

### 1.3. Variation du Nitrate dans les deux types de sols (rhizosphériques et non rhizosphériques)

Les résultats représentés dans la (Fig.28) nous a permis d'analyser la variation du  $\text{NO}_3^-$  échangeable de type du sol.



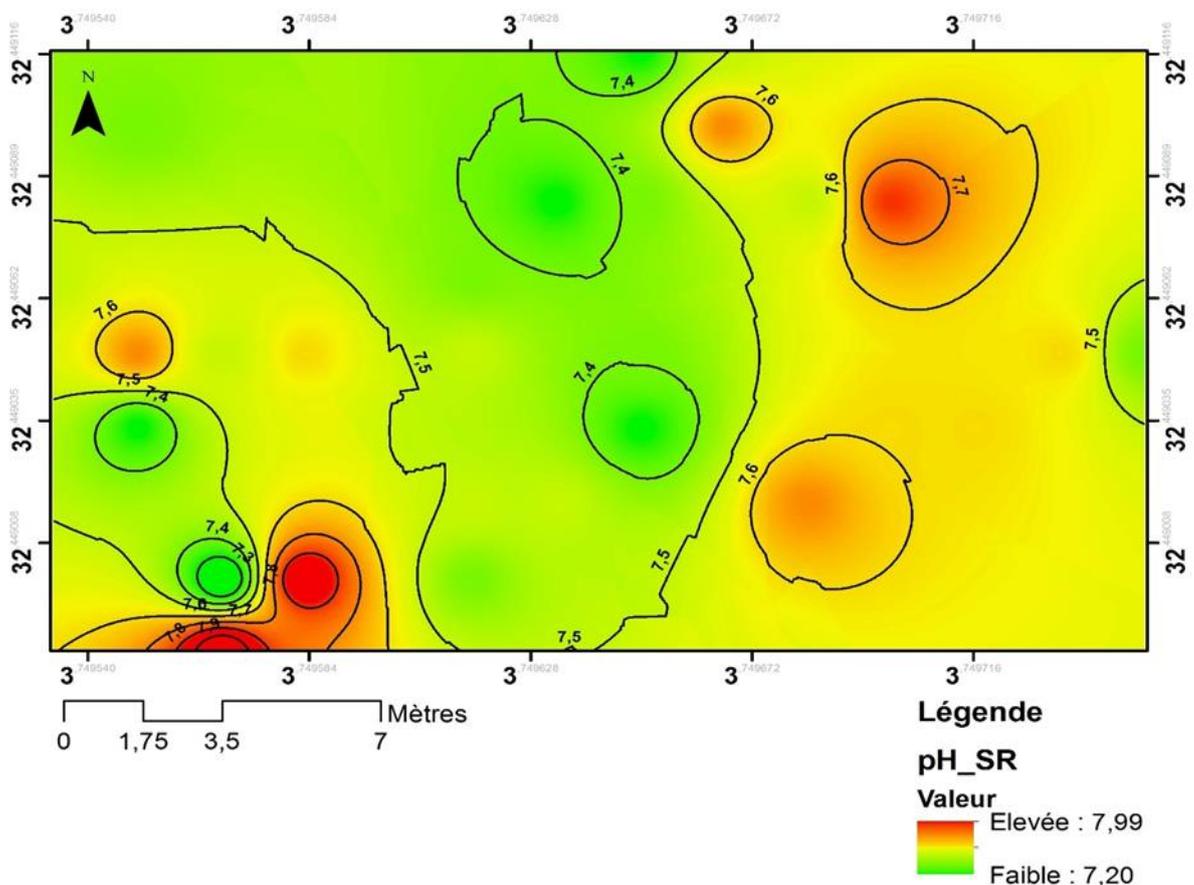
**Figure 28. Variation du nitrate en fonction de type du sol.**

Le Test Student pour échantillons appariés révèle une différence significative entre les valeurs du nitrate des sols rhizosphériques et non rhizosphériques ( $P = 0,002730$ ) au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ . En effet, le nitrate est généralement en quantité suffisante dans les sols rhizosphériques avec des moyens de  $10,56 \pm 7,077 \mu\text{g/g}$ . Ses quantités sont par contre faible pour les sols non rhizosphériques dont une valeur de  $5,611 \pm 5,125 \mu\text{g/g}$ , a été notée. Cependant, une augmentation assez importante en nitrate a été notée 88,20 %, dans le sol rhizosphérique (Annexe 3).

## 2. Cartes de variabilité spatiale

### 2.1. Carte de variabilité du pH pour les sols rhizosphériques

Le pH présente une variation spatiale dans le sol rhizosphérique oscillant entre 7,20 et 7,99. Les valeurs qui présentent une faible alcalinité des moyennes de 7,5 à 7,4 ce sont celles situées dans les zones Nord-Ouest, extrême Est et Sud-Ouest de la parcelle. Tandis que, nous notons également une valeur moyenne de 7,6 sont situées de la zone Nord-Est ver l'Ouest. Néanmoins, les valeurs alcalines sont réparties sur les autres espaces de la parcelle, avec des valeurs maximales de l'ordre de 7,8 à 7,9, enregistrées principalement au Sud-Ouest de la parcelle. La variation spatiale du pH de sol rhizosphérique est considéré comme faible avec un CV de 2,46 % (Fig. 29).

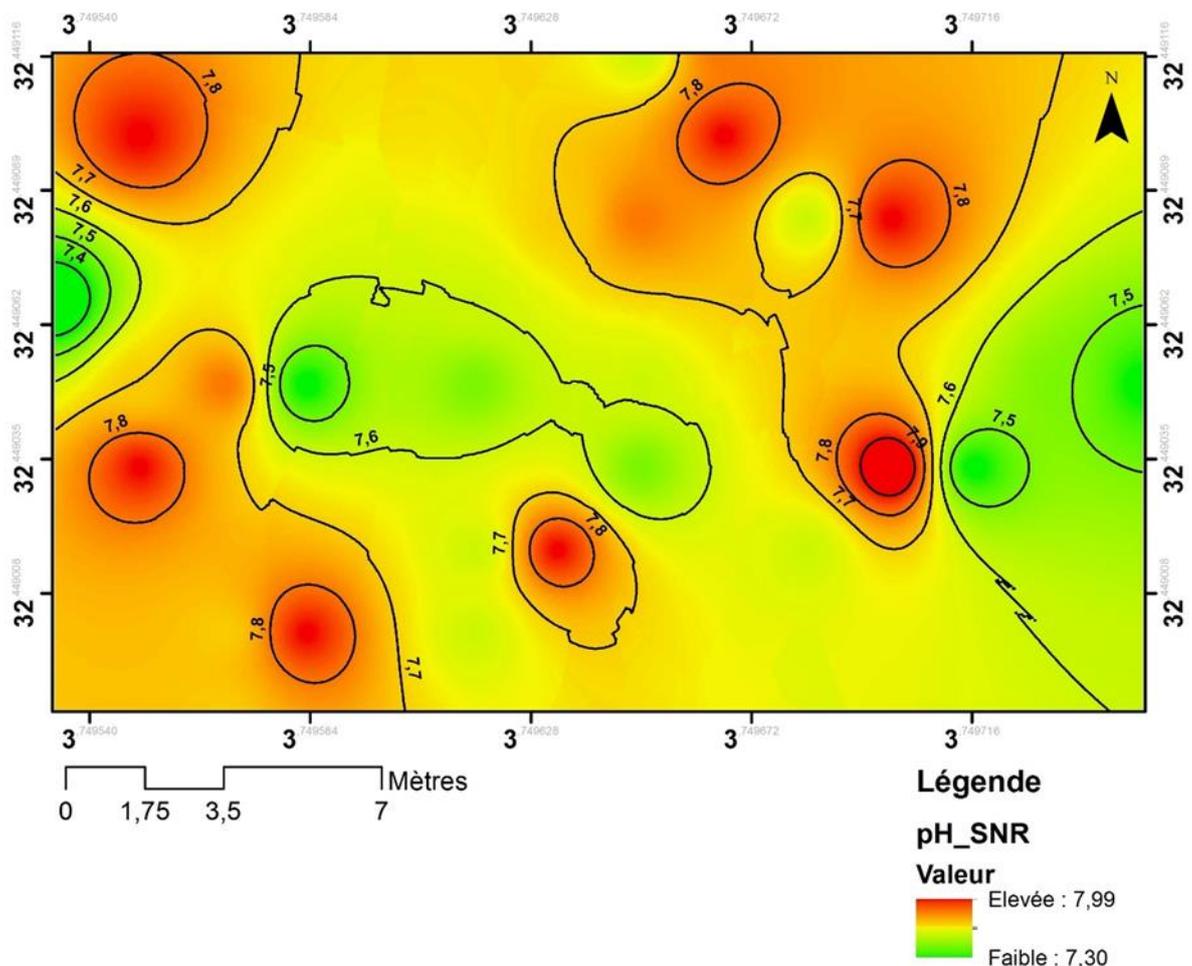


**Figure 29. Variation spatiale du pH du sol rhizosphérique.**

## 2.2. Carte de variabilité du pH pour les sols non rhizosphériques

La fige 30 illustre la distribution spatiale de pH de sol non rhizosphérique au sein de la parcelle d'étude. Des pH compris entre 7,30 et 7,99 ont été notés dans la totalité de la parcelle. Les valeurs du pH les plus élevées (entre 7,7 et 7,8), ont été marquées pour les zones Nord-Ouest, extrême Sud-Ouest de la parcelle. Bien que partie centrale est caractérisée par des pH moyens (entre 7,5 et 7,6), Les pH faibles ne se représentent que dans une petite zone à l'extrême Ouest.

La variation spatiale de pH de sol non rhizosphérique est également considérée comme faible avec un CV de 2.37%.



### 2.3. Carte de variabilité de $P_2O_5$ des sols rhizosphériques

La fig. 31 issue des données de terrain semble mieux refléter la variation spatiale de disponibilité de phosphore assimilable du sol rhizosphérique. Nous avons noté que la disponibilité en  $P_2O_5$  est beaucoup plus importante dans l'Est (de 60 à 80  $\mu\text{g/g}$ ). De même, une disponibilité assez moyenne est enregistrée à l'Ouest et au Sud (40 à 50  $\mu\text{g/g}$  de  $P_2O_5$ ). Cependant, les parties Nord-Ouest et Sud-Est, dotées des quantités variant entre 20 et 30  $\mu\text{g/g}$  de  $P_2O_5$ , ayant une disponibilité moins importante. La variation spatiale de phosphore assimilable de sol rhizosphérique est considérée, cette fois-ci, comme élevée avec un CV de 51,73 %.

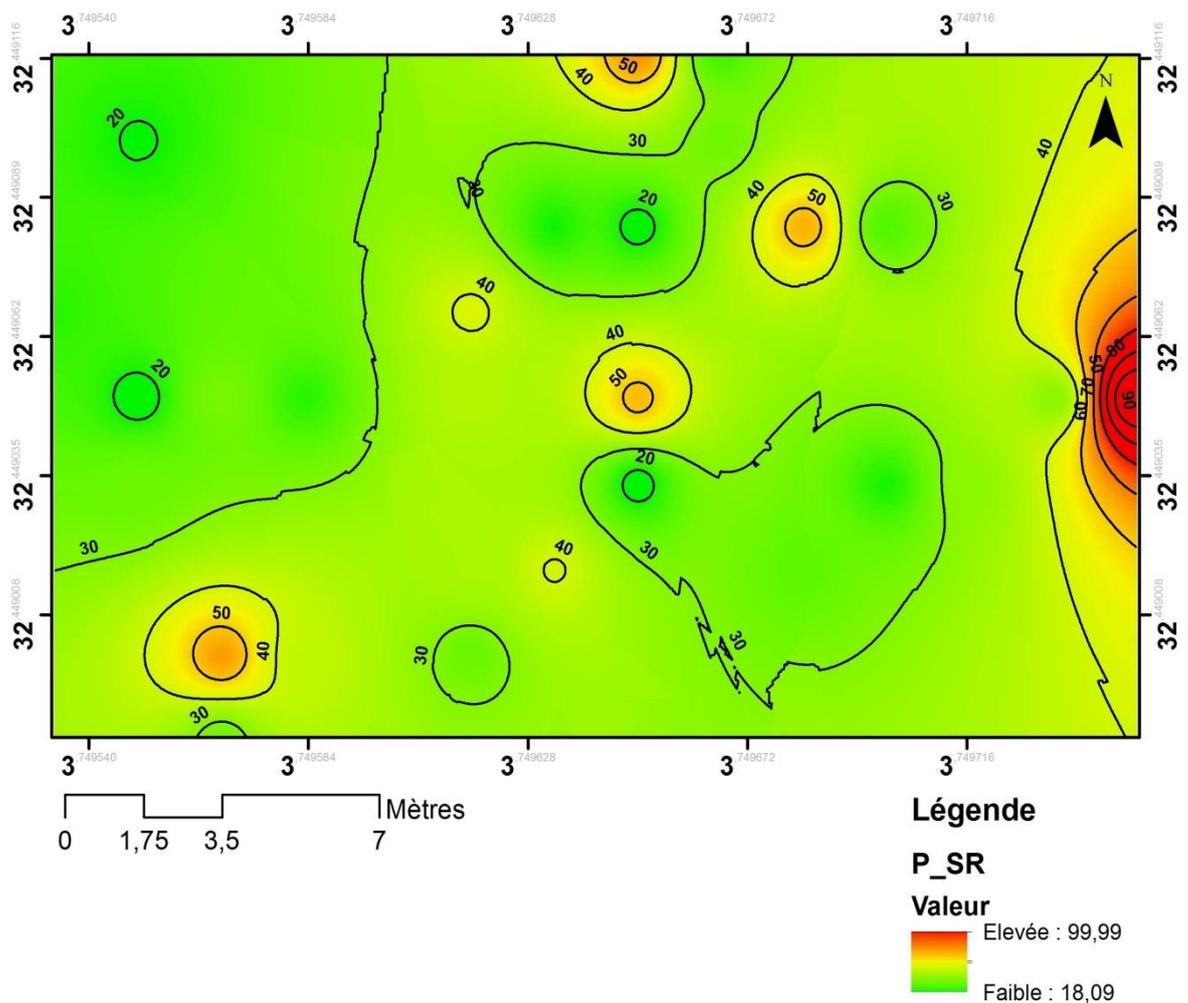


Figure 31. Variation spatiale de  $P_2O_5$  du sol rhizosphérique.

#### 2.4. Carte de variabilité de $P_2O_5$ des sols non rhizosphériques

Bien que l'analyse de la disponibilité de phosphore de sol non rhizosphérique montre des valeurs allant de 18,10  $\mu\text{g/g}$  à 44,39 $\mu\text{g/g}$ , les valeurs maximales de  $P_2O_5$  ne se concentrent que dans une petite zone Nord-Est de la parcelle. Cependant, une faible disponibilité en phosphore est distribuée dans une grande surface de la parcelle allant de la zone Est, Nord-Ouest et Sud-Ouest et dont une disponibilité oscillant entre 20  $\mu\text{g/g}$  et 22,5  $\mu\text{g/g}$  a été enregistrée. Le coefficient de variation évalué de 31,44 % montre une variabilité spatiale moyenne du phosphore assimilable des sols non rhizosphériques (Fig.32).

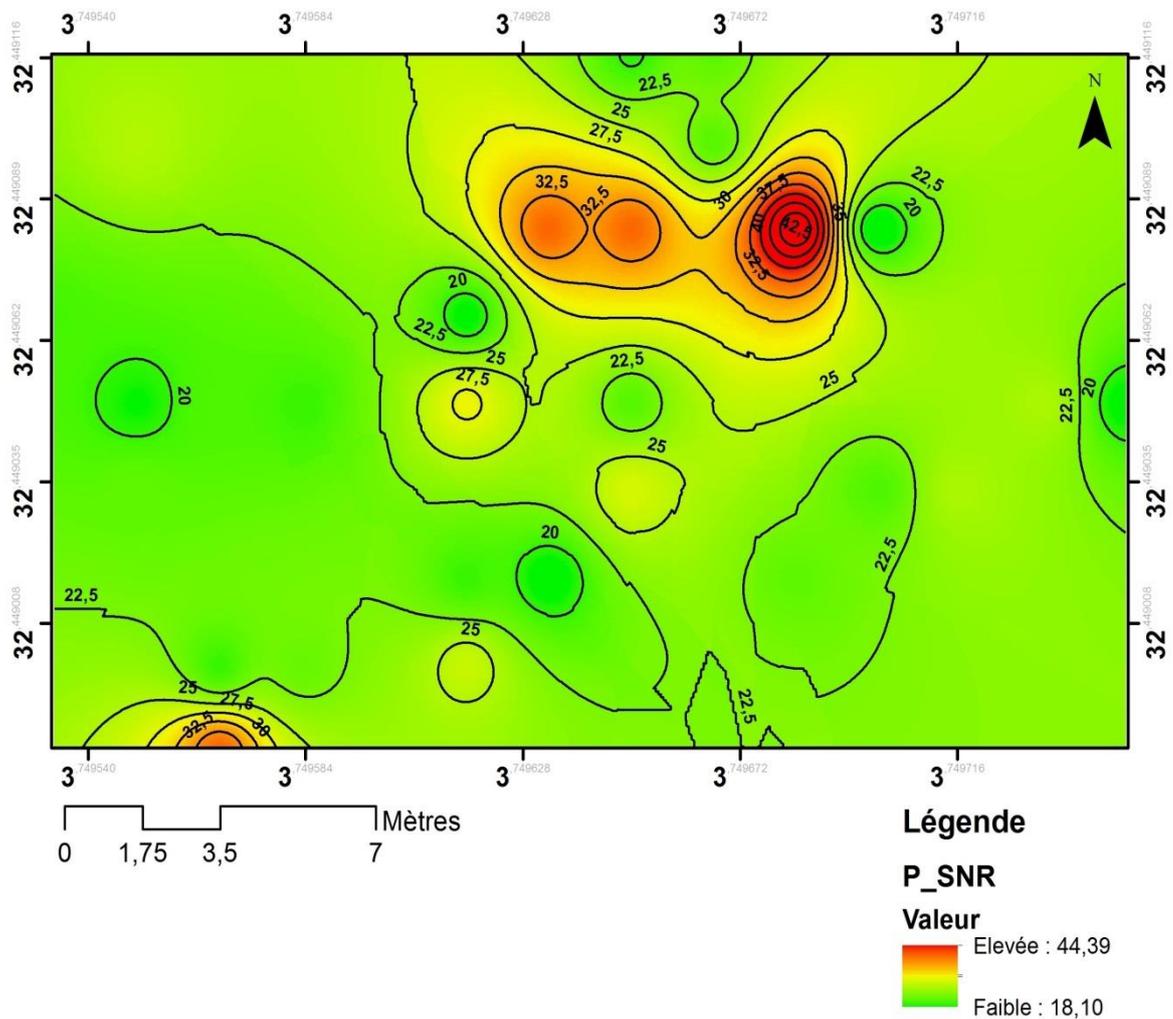


Figure 32. Variation spatiale de  $P_2O_5$  du sol non rhizosphérique.

### 2.5. Carte de variabilité du nitrate des sols rhizosphériques

La fig. 33 représente la distribution spatiale du nitrate du sol rhizosphérique. Des valeurs minimales de  $\text{NO}_3^-$  comprises entre 3  $\mu\text{g/g}$  et 6  $\mu\text{g/g}$  et 9  $\mu\text{g/g}$  ont été notées dans la zone Nord-Ouest et Nord-Est de la parcelle. Les valeurs maximales de l'ordre de 21  $\mu\text{g/g}$ , 24  $\mu\text{g/g}$  à 27  $\mu\text{g/g}$ , ont enregistrées principalement au Centre et Sud-Est et le Nord de la parcelle. La variation spatiale de Nitrate de sol rhizosphérique est considérée comme élevée avec un CV de 67.02%.

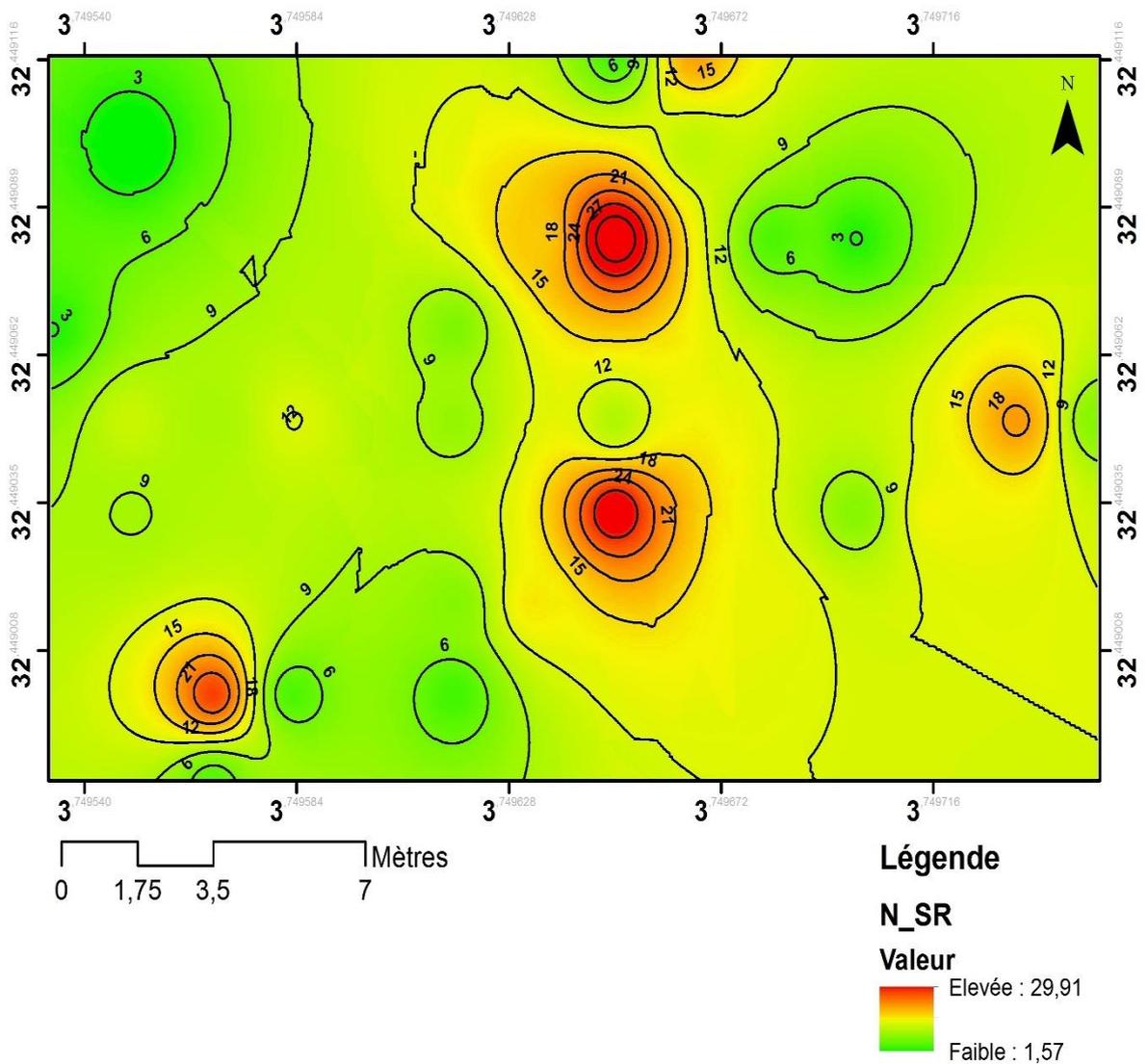


Figure 33. Variation spatiale du nitrate du sol rhizosphérique.

## 2.6. Carte de variabilité du nitrate des sols non rhizosphériques

Les ions  $\text{NO}_3^-$  présentent une variation dans le sol non rhizosphérique variant entre  $18,10\mu\text{g/g}$ , et  $44,39\mu\text{g/g}$ . En effet, les résultats obtenus révèlent que la parcelle représente une valeur moyenne de  $5,61\mu\text{g/g}$ , Les valeurs du nitrate maximales sont enregistrées principalement dans les surfaces du Nord Est et Nord l'Ouest de la parcelle, dont le nitrate va de  $32,5\mu\text{g/g}$  à  $42,5\mu\text{g/g}$ . Néanmoins, dans les autres zones, cette valeur ne dépasse guère les  $27\mu\text{g/g}$ . La variation spatiale du nitrate de sol non rhizosphérique est également considérée, cette fois-ci comme élevée avec un CV de  $91,35\%$ .(Fig.34).

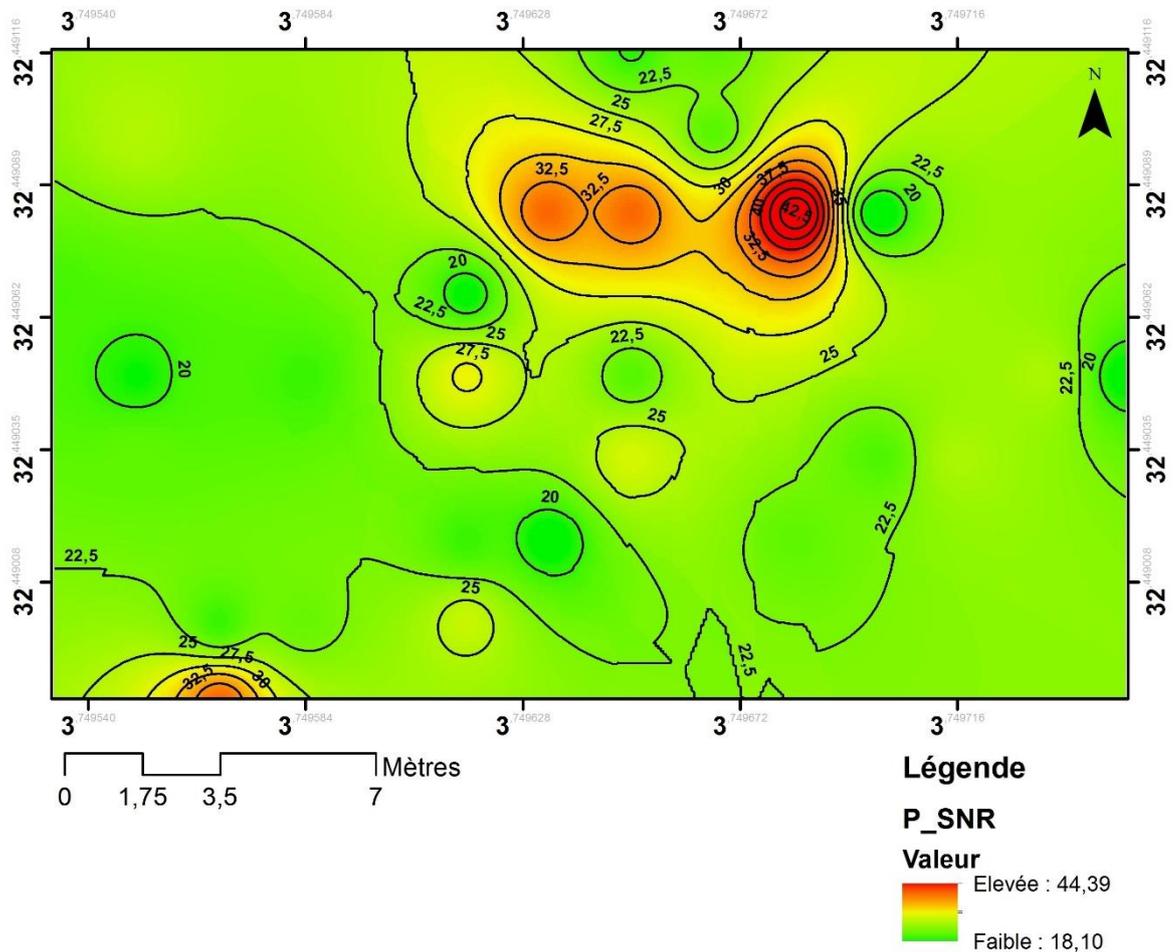


Figure34 .Variation spatiale du nitrate du sol non rhizosphérique.

### 3. Discussion générale

Les *Rhizobactéries* promotrices de la croissance des plantes, connues sous le terme PGPR stimulent directement la croissance de plantes en augmentant le prélèvement des éléments nutritifs du sol, en induisant et produisant des régulateurs de croissance végétale et en activant les mécanismes de résistance induite chez les végétaux. Un des leviers de l'intensification écologique consiste en l'utilisation des processus rhizosphériques (physiques, chimiques et biologiques) opérant à l'interface sol/racine pour améliorer la biodisponibilité des éléments nutritifs). La rhizosphère peut montrer des différences significatives comparativement au sol indemne d'activité racinaire (Sorensen, 1997; Courchesne *et al.*, 2001, Watteau *et al.*, 2006). Dans la rhizosphère, la libération de composés organiques par la racine stimule les microorganismes lesquels en retour favorisent la biodisponibilité des éléments nutritifs et leur prélèvement par la plante (Marschner, 1995; Grayston *et al.*, 1996). La nature et l'intensité du changement des concentrations ioniques au voisinage de la racine dépendent aussi de la correspondance entre la demande des plantes et la fourniture du sol (Hinsinger., 1998). Le pH est un paramètre que les racines peuvent directement modifier à travers de multiples processus parmi lesquels, principalement, la respiration racinaire et la libération de  $H^+$  ou  $OH^-$  pour compenser un excédent net de cations ou d'anions (Hinsinger *et al.*, 2001; Hinsinger *et al.*, 2009). Dans notre parcelle cultivée de luzerne, les résultats obtenus de pH montre une légère diminution dans les sols rhizosphériques (0.15 unité de pH), comparés à ceux non rhizosphériques.

La diminution relative du pH dans la zone des racines de luzerne, zone d'absorption intense des nutriments, comparativement au sol non rhizosphérique, pourrait s'expliquer par un prélèvement plus important d'anions en l'occurrence les anions nitrates et phosphates. En effet, la différence de pH entre la rhizosphère et le sol va dépendre en grande partie du rapport cations/anions (Vetterlein et Reinhold, 2004), et de la forme d'azote prélevée (Turpault *et al.*, 2005).

Dans le présent travail, nous assistons à des augmentations de disponibilité de l'ordre de 34,50% et 48,00% pour les  $P_2O_5$  et  $NO_3^-$ , respectivement dans les sols rhizosphériques, comparées aux valeurs des sols non rhizosphériques. En effet, La diminution du pH et la production d'acides organiques entraine une solubilisation remarquable du phosphore et une bonne croissance des *Rhizobia*. Illmer et

Schinner(1995) ont expliqué que le *Rhizobium* dissout le P du sol grâce à des acides organiques de faible poids moléculaire principalement l'acide gluconique et les acides clé-gluconique (Boudanga. ,2011). les plantes acidifient leur rhizosphère par la libération de protons résultant d'un prélèvement moindre en anions qu'en cations, parce que l'azote est soit faiblement disponible, soit il est sous forme de  $\text{NH}_4^+$  plutôt que sous la forme de  $\text{NO}_3^-$  (Turpault *et al.*, 2003 ; Girard *et al.*, 2005). Les légumineuses, en s'appuyant sur la fixation de  $\text{N}_2$ , peuvent contribuer à augmenter la disponibilité du P dans la rhizosphère à travers des mécanismes d'acidification de la rhizosphère résultant d'une augmentation de la libération de protons  $\text{H}^+$  par les racines nodules, des acides organiques ou des phosphatases (Hinsinger *et al.*, 2009).

Une cartographie à grande échelle s'impose afin de mieux apprécier la variabilité spatiale des sols et de leurs propriétés intrinsèques d'état du intra-parcellaire. Le suivi des variations spatiales des caractéristiques d'état du sol pour une meilleure gestion des parcelles agricoles (Guerif et King., 2007).Les paramètres inspectés au terme de ce présent travail mettent en évidence une variabilité spatiale faible du pH pour les deux types du sol rhizosphérique et non rhizosphérique, une variabilité moyenne à élevée des ions  $\text{P}_2\text{O}_5$  et une variabilité très élevée des nitrates.

*Conclusion*

## **Conclusion**

La biodisponibilité des éléments dans la rhizosphère est contrôlée par l'effet conjugué des propriétés du sol, des caractéristiques des plantes et des interactions entre les racines des plantes et les microorganismes. En plus des interactions avec les microorganismes dans la rhizosphère, les racines des plantes établissent des relations symbiotiques spécifiques avec certains microorganismes du sol, c'est le cas des *Rhizobia*, fixateurs biologiques d'azote chez les légumineuses.

Dans ce contexte, le diagnostic de la variabilité intra-parcellaire chez la rhizosphère d'un sol cultivé de luzerne (*Médicago sativa* L.) dans la région d'El-Atteuf (wilaya de Ghardaïa) a été entamé dans ce présent travail. Pour ce faire, une approche basée sur une caractérisation physico-chimique et une analyse spatiale, a été évaluée pour deux types du sol (rhizosphérique et non rhizosphérique).

Les résultats obtenus lors de ce présent travail nous amène à constater que les modifications du pH parvenues dans les sols rhizosphérique sont contribué efficacement dans la disponibilité des éléments majeurs (phosphore et azote), nécessaires pour la croissance des plantes de luzerne. De même, la variabilité élevée de ces éléments au niveau des sols non rhizosphériques nous amènent à constater la stabilité structurelle des sols rhizosphériques par rapport aux sols non rhizosphériques.

Grâce aux résultats obtenus, nous pouvons proposer les recommandations suivantes pour poursuivre ce travail :

- ❖ Appliquer les résultats obtenus pour assurer un bon rendement
- ❖ Les agriculteurs étaient conscients du rôle important de la conservation dans la protection des sols et le développement de l'économie agricole
- ❖ Promouvoir le développement des cultures agricoles et animales en plantant du fourrage et en assurant une agriculture durable dans les zones désertiques arides
- ❖ Le sujet est une continuation de ses études de plusieurs autres aspects tels que la biologie, l'ingénierie biochimique et agricole
- ❖ Utiliser des outils de cartographie dans d'autres domaines pour promouvoir le développement de l'environnement aride.

# *Références bibliographiques*

**Références bibliographiques**

1. **Abdelguerfi A., 1987-** Quelques réflexions sur la situation des fourrages en Algérie. Céréaliculture 16 . 1-6.
2. **Abdelguerfi A., 1994-** About the perennial Lucerne (*M. sativa*) In Eucarpia/FAO Medicago Meeting : Culture, Exploitation et Sélection de la Luzerne Pérenne pour Différentes Utilisations, Lusignan (France), 4-8 septembre 1994. Publication FAO-REUR Technical Series, 36. 18-20.
3. **Affianha T, Alexander D, 1992-** Defference among cowpea, rhizobia intolerance to high temperature and dissication in soil. Applied and environmental Microbiologie. 43 : 435-439.
4. **Alexis M., 1988-** Nutrition minéral relation sol-plante. Ed .Lavoisier, Paris. V, 320p
5. **Amat C., 1888 –** Le M'Zab et les Mzabites. Ed. Challamel, Paris, 284p.
6. **Ameur, H., 2014-** Effet d'osmoprotecteurs naturels sur la restauration de croissance de *Streptomyces* et de plantes d'intérêt agricole sur sol salé ou aride. Université Ferhat Abbas Sétif 1, Faculté des Sciences de la nature et de la vie. Thèse de doctorat.
7. **Anonyme., 2010-** Annuaire statistique de Wilaya de Ghardaia 2009. Volume1, D.P.A.T. Ghardaïa, p.
8. **Anonyme., 1987-** Ghardaïa en quelque chiffre, S.P.A.T., Ghardaïa., 20 p
9. **A.N.R.H., 2005-** Note relative sur les ressources en eau de la wilaya d'El-Oued.
10. **Attiwill P.M., Adams M.A., 1993-** Nutrient cycling in forests. New Phytol 124, 561–582.
11. **Barnes D., Heiche G., Vance C. and Peaden R., 1990-** Registration of 'Ineffective Agate' and 'Ineffective Saranac' non-N<sub>2</sub>-fixing alfalfa germplasms. *Crop Science.*, 30, 752-753
12. **Barrow N.J., 1987-** Reactions with Variable-charge Soils. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
13. **Benhedid A., 2008–** Impacts agronomiques et économiques dus aux moineaux dans les palmeraies de Chebket M'Zab et perspectives d'avenir. Mémoire Ing. agro., Univ Kasdi Merbah Ouargla, 138 p.
14. **Berrada.H et Fikri-Benbrahim.K ., 2014-** Taxonomy of the Rhizobia: Current Perspectives. British Microbiology Research Journal, 4.6.616-639

15. **Bouché M.,2012-** Formation à la production de semences maraîchères - Nature & Progrès/Semaines– LÉGUMINEUSES
16. **Broughton WJ, Hernandez G., Blair M., Beebe S., Gepts P., Vanderleyden J., (2003)-**Beans(*Phaseolus* spp.) . model food legumes. *Plant and Soil* 252: 55–128.
17. **Callot G., Chamayou H., Maertens C. et Salsac L., 1982-** Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris ., 325 .
18. **Chaabena A., 2001-** Situation des cultures fourragères dans le Sud-Est septentrional du Sahara algérien et caractérisation de quelques variétés introduites et populations sahariennes de luzerne cultivée. Thèse de Magister, INA, Alger.
19. **Chaabena A. et Abdelguerfi A., 2001-** Situation de la luzerne pérenne dans le Sahara et comportement de quelques populations locales et variétés introduites dans le sud-est du Sahara algérien. *Options méditerranéennes. Série A, No.79.CIHEAM.* PP 57-60.
20. **Chen C.R., Condon L.M., Davis M.R., Sherlock R.R., 2000-** Effects of afforestation on phosphorus dynamics and biological properties in a New Zealand grassland soil. *Plant Soil* 220, 151–163\*
21. **Chen C.R., Condon L.M., Davis M.R., Sherlock R.R., 2003-** Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. *For Ecol Manage* 177, 539–557\*.
22. **Chen C.R., Sinaj S., Condon L.M., Frossard E., Sherlock R.R., Davis M.R., 2003-** Characterization of phosphorus availability in selected New Zealand grassland soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65.89–100.
23. **Clémentine Lepinay.,2013-** Etude des interactions plantes-microbes et microbes-microbes, au sein de la rhizosphère, sous un aspect coûts-bénéfices, dans un contexte de variation environnementale, Thèse Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Bourgogne,56. orépine de luzerne
24. **Dajoz R., 1971-** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
25. **Dajoz R., 1982 -** Précis d'écologie. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 503 p.
26. **Darrah PR. 1993-** The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. *Plant and soil* 155/156. 1-20.

27. **Dermers I., 2008** -Formes et disponibilité du phosphore de composts utilisés comme amendements de sols agricoles, pour l'obtention du grade de maître des sciences (M. S Laval (Québec). 92p.
28. **Dixon ROD, Wheeler CT, 1986.** Nitrogen fixation in plants. Blackie. Glasgow. 152.
29. **Dommergues Y, Duhaux E, Hoang GD, 1999-** Les arbres fixateurs d'azote: Caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux. Y. Dommergues (ed.). Édition espaces 34. Paris. 475 .
30. **Dommergues Y.,Duhoux E., Diem H G.,1999-** Les arbres fixateurs d'azote, Paris, ORSTOM et Rome, FAO, Montpellier,Espaces 34.501 .
31. **Dommergues Y, Mangenot F., 1970-** Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie édit. Paris. 796.
32. **Doyle JJ., Luckow MA., 2003-**The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in aphylogenetic context. Plant Physiol 131. 900-910
33. **Dreux P., 1980** - Précis d'écologie. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231 p
34. **Dubest F., 1991-** La problématique du paysage, état des lieux. Etudes rurales . 121-124.
35. **Elustondo J., Laverdière M., Angers D., et N'dayegamiye A., 1990-** Etude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométriques de sept sols sous culture de maïs ou en prairie. Canadian journal of soil science 70.3. 395-402 .
36. **FAO. 2006-** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques, INRAA.FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).
37. **Foury A., 1954-**Les légumineuses fourragères au Maroc, RABAT (service de la recherche agronomique).
38. **Faurie C., Ferra C. et Medori P., 1984** - Ecologie. Ed. Baillière J. B., Paris, 168 p.
39. **Frank B. 1889-** Ueber dit Pilzsymiose der Leguminosen. Ber Dtsch Bot Ges. 7 .332-34
40. **Genier G., Guy P. et Prospero J.,1992-**Lucernes. In: Gallais A., Guy P. and

Prosperi J.M. (eds) *Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection*. Paris France: INRA. pp. 323-338-354-356.

41. **Gepts P., Beavis WD., Brummer EC., Shoemaker RC., Stalker HT., Weeden NF., Young ND .,2005-** Legumes as a Model Plant Family. Genomics for Food and Feed Report of the CrossLegume Advances through Genomics Conference. *Plant Physiology* 137.1228– 1235.
42. **Germida J. J., Siciliano S. D., de Freitas J. R., & Seib A. M.,1998-** Diversity of root-associated bacteria associated with field-grown canola (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *FEMS Microbiology Ecology*, 26.1., 43-50 .
43. **Ghalem M ., 2010 -** Contribution à l'étude du développement de la culture du soja ; effets du sol et de l'incultation , rendement et caractérisation des bactéries associées .Mémoire de Magister .Spécialité :Exploitation des Interactions Plantes – Microorganismes. Université d'Oran, 113 .
44. **Ghediri O., 2007-** Effet de stress hydrique sur quelques paramètres phynologiques de la luzerne (*Medicago sativa* l.) mémoire d'ING en biologie, UKMO.
45. **Gobat J.-M., Aragno M., et Matthey W.,1998-** Le sol vivant. Gérer l'environnement. 14. - Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne
46. **Gobat J. M., Aragno M., & Matthey, W., 2010-** Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols ( 14). PPUR Presses polytechniques. 656.
47. **Gobat J-M., Aragno M. et Matthey W., 2010 -** Le sol vivant. Bases de pédologie- Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 609p.
48. **Gobran G., Clegg S., Courchesne F., 1998-** Rhizospheric processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems. *Biogeochemistry* 42.107–120.
49. **Harrison A.F., 1983-** Relationship between intensity of phosphatase activity and physicochemical properties in woodland soils. *Soil Biol Biochem* 15. 93–99.

50. **Hayert P.M., Hepworth L., Jarvis S.C.1998-** Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland .European journal of soil science .1.65-72.
51. **Hayet R . Ali S . Amara U. kalid R. Ahmed I .2010-** Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion : a review . Annals of Microbiology. 4. 579-598
52. **Hinsinger P.,2001-**Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root –induced chemical changes : a review –plant and soil 2.173-195.
53. **Hinsinger P., 2001-** Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the rhizosphere. In trace element in the rhizosphere (G.R. Gobran, W.W. Wenzel and E. Lombi Eds.) CRC Press LCC, Boca Raton, USA. 25-41.
54. **Hinsinger P. 1998-**How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in agronomy* **64**, 225-265.
55. **Hinsinger P., Plassard C., Jaillard J. 2006-** Rhizosphere: A new frontier for soil biogeochemistry. *Journal of Geochemical Exploration* **88**. 210- 213.
56. **Hinsinger P., Bengough AG., Vetterlein D., Young IM., 2009.-**Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance- *Plant and soil* **321**, 117-152.
57. **Hirsch AM, 1992-** Tansley Review no 40: Developmental biology of legume nodulation. *New Phytologist* 122:211-237.
58. **Ianetta PM, de Lorenzo C, James EK, Fernandez-Pascual M, Sprent JI, Lucas M, WittYF J, de Felipe MR, Minchin FR, 1993-** Oxygen diffusion in lupin nodules. I. Visualisation of diffusion barrier operation. *J. Exp. Bot.* 44:1461-1467.
59. **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUE DU MAROC, 1965.** Les cultures fourragères irriguées au Maroc, INRAA, Rabat. 28.
60. **Jordan DC, 1984-**Family III. *Rhizobiaceae*, p. 234-242. In N. R. Krieg, and J. G. Holt (ed.), *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Williams and Wilkins Co, Baltimore, Md.

61. **Khan M.S., Zaidi A ., Ahmad M., Oves M., Wani P.A., 2010**-Plante growth promotion by phosphore solubilizing fungi-current perspective. Archives of Agronomy and soil science. 1.73-98.
62. **Kleinman P.J ., Sharpley A.N., Saporito L.S., Buda A.R ., Bryent R.B ., 2009**-Application of manure to no-till soils . phosphorus losses by sub-surface and surface pathways. Nutrient cycling in Agroecosystem .3.215-227.
63. **Kouas S., Labdi N ., Debz A ., Abdelly C .,2005**-Effect of P on nodule formation and N fixation in bean . Agronomy for sustainable developement .3.389-393.
64. **Legoupil J.C et Ruffin J.C., 1974.-** La luzerne : recherche sur l’adaptation de la culture aux conditions du périmètre irrigué du Haut Cheliff.INRA-A.1-57.
65. **Lemanceau P et Heulin, T.,1998-** La rhizosphère. In : Stengel P., Ed, Sol interface fragile. 93–105. INRA.
66. **Lynch J.M., Whipps J.M.,1990**-substrate flow in the rhizosphere. Plant and soil 129.1-10 .
  
67. **Marble V. L., 1993-** Des fourrages pour le proche Orient : La luzerne, Etude FAO Production . végétale et protection des plantes 97/1, FAO, Rome, 237p.
68. **Marschner, H. 1995.** Mineral Nutrition of Higher Plant, 2nd ed. Academic Press, San Diego. 889.
69. **Mathieu Q., 2009-** Cartographie à l’échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l’aide de la télédétection et des nouvelles technologies. Thèse Doc., institut national de la recherche scientifique Eau, Terre et Environnement. Québec.234.
70. **Mathieu C., Pielthain F., 2003-** Analyse chimique des sols. 2ème édition. LAVOISIER. 385.
71. **Mauriès M., 1994-** La luzerne aujourd’hui : vaches laitières, vaches allaitantes, brebis, chevaux, chèvres. Ed. France Agricole. Paris 254.
72. **Messioughi A., 2016-** Etude d’une plante fourragère la luzerne Médicago sativa. L : importances phytochimiques, aspects thérapeutiques et essais microbiologiques. Thèse de doctorat. UBMA (université badji mokhtar Annaba). 314.

73. **Morel C., 2002-** Caractérisation de la phytodisponibilité du Phosphore du sol par la modélisation du transfert des ions phosphates entre le sol et la solution. Mémoire d'HDR, INPL Nancy.80.
74. **Mouradi M., 2012** -Effet de la symbiose fève (*Vicia faba*)-*rhizobia* sur les plantes d'orge en culture mixte et évaluation du comportement de cette symbiose sous déficit en Phosphore. Mémoire de Master. Spécialité : Biotechnologie et développement durable des agro ressources. Université CADI AYYAD Marrakech. 72
75. **Mulder L, Hogg B, Bersoult A, Cullimore JV, 2005-** Integration of signalling pathways in the establishment of the legume-rhizobia symbiosis. *Physiol. Plant.* 123:207-218.
76. **Niste M, Vidican R, Rotar I, Stoian V, Pop R, 2014-**Plant Nutrition Affected by Soil Salinity and Response of Rhizobium Regarding the Nutrients Accumulation. *Pro-Environment.* 7 :71-75.
77. **O. N. M., 2018** - Bulletin d'informations climatiques et agronomiques. Office nati. météo, cent. clim. Ghardaïa, 3 p.
78. **Prolea D., 2002-**Espèces et utilisations, des ressources en protéines à redécouvrir : les plantes fourragères prairiales – la luzerne. Institut du Végétal et de l'Institut de l'Élevage. GNIS. Paris. 4-7
79. **Plassard C., Robin A., Le carde E., Marsden C., Trap J., Himann L., et al., 2015-**Amelioner la biodisponibilité du phosphore : comment valorison les compatenes de plante et les micanisme biologique de sol ?.*Innovation Agronomiques* .43 . 115-138 .
80. **Pelmont J., 1995-** Bactéries et environnement : Adaptation physiologique. Office des Pubucations Universitaires. 2 : 541- 572.
81. **Prolea D., 2002-** Espèces et utilisations, des ressources en protéines à redécouvrir : les plantes fourragères prairiales – la luzerne. Institut du Végétal et de l'Institut de l'Élevage. GNIS. Paris. pp 4-7
82. **Parsons R, Day DA, 1990.** Mechanism of soybean nodule adaptation ta different oxygen pressures. *Plant, Cell et Environment*, 13: 501-512.
83. **Quiquampoix H., Mousain D., 2005-** Enzymatic Hydrolysis of Organic Phosphorus. In : Turner, B.L., Frossard, E., Baldwin, D.S., (Eds.), *Organic Phosphorus in the Environment*. CABI Publishing, 875 Massachusetts Avenue, Cambridge, USA.89–112

84. **Ramade F., 1984** - Eléments d'écologie - Ecologie fondamentale. Ed. McGraw- Hill, Paris, 379 .
85. **Rodriguez-Navarro DN, Dardanelli MS et Ruiz-Sainz JE, 2007.** Attachment of bacteria to the roots of higher plants. *FEMS Microbiol Lett.* 272:127-136.
86. **Ross D.J., Tate K.R., Scott N.A., Feltham C.W., 1999-** Land-use change: effects on soil carbon, nitrogen and phosphorus pools and fluxes in three adjacent ecosystems. *Soil Biology & Biochemistry* 31. 803–813.
87. **Sebihi F.Z., 2008** - Les bactéries nodulant les légumineuses (B.N.L) caractérisation des bactéries associées aux nodules de la Légumineuse Fourragère, *Hedysarumperrauderianum*. Mémoire de Magister. Spécialité : Génétique et Amélioration des plantes. Université MENTOURI de Constantine, 121.
88. **SICA-FRANCE MAÏS., 1990-** Luzerne : conduite et diagnostic; Les cahiers techniques de France Maïs, Ed. Sica-France Maïs S.A., Toulouse., 28.
89. **Somasegaran P., Hoben H.J., 1994-** Handbook for Rhizobia. SpringerVerlag, Berlin.
90. **Schröder P., Hartmann A. 2003-** Global Soils: New Developments in Rhizosphere Research. *J. Soils & Sediments* 3 .4. 227.
91. **Subba Rao, N. S., 1999-** Soil microbiology: of soil microorganisms and plant growth (No. 631.46 S82 1999).
92. **Shepard D., 1968-** A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference. 517-524.
93. **Turner B.L., Cade-Menun B.J., Condron L.M., Newman S., 2005-** Extraction of soil organic phosphorus. *Talanta* 66.294–306
94. **Vial Y et Viyal M., 1974** - Sahara milieu vivant. Ed Hatier, Paris, 223.
95. **Wenzel W., Fitz T. 2005-** Rhizosphere processes involved in phytoremediation of contaminated soils rhizosphere. Ecology and biogeochemistry group- [www.rhizo.at](http://www.rhizo.at)
96. **Watson, D. F. et G. M. Philip.** "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." *Géotraitement* 2:315–327. 1985.
97. **Zhu H., Choi H-K., Cook DR., Shoemaker RC ., 2005-** Bridging Model and Crop Legumes through Comparative Genomics. *Plant Physiology* 137. 1189–1196.

98. **Zergoun Y., 1994** -Peuplement orthoptérologiques à Ghardaïa. Thèse Magister. Inst. nati. agro. El-Harrach, 192 .
99. **Zergoun Y., 1994** - Bio écologie des orthoptères dans la région de Ghardaïa – Régime alimentaire d'Acrotylus patruelis (Herrich-Schaeffer, 1828) (Orthoptères – Acrididae). Thèse Magister. Inst.Natio.Agro. El Harrach. Alger. 110 .
100. **Zahran HH .,2001-** Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. Journal of Biotechnology 91: 143–153
101. **Zakhia F, Jeder H, Domergue O, Willems A,Gillis M, Dreyfus B, De.Lajudie P-2004.** Characterisation of wild legume nodulating bacteria (BNL) in the infra-arid zone of tunisia, Syst Appl Microbiol. 27 :380-395.

❖ **Les références électroniques :**

- **Référenceélectronique1:**

Source:Disponiblesur<<http://www.cndp.fr/themadoc/nitrate/images/cycle.jpg>>

- **Référenceélectronique2:** APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. APG III. Botanical Journal of the Linnean Society 161 : 105–121.

- **Référenceélectronique3:**

Source : Disponible sur< [http:// www.ouargla30.com/t55293-topic](http://www.ouargla30.com/t55293-topic) >

# *Annexes*

**Annexe 1 : Méthodologie de travail sur le terrain.**



**Photo 01** : Echantillonnage des plants.



**Photo 02** : Nodulation de plants



**Photo 03** : Prélèvement du sol rhizosphérique.



**Photo 04** : Prélèvement  
du sol non rhizosphérique.



**Photo 05** : Conservation du sol dans des sachets en papier .

## **Annexe 2 : Méthode d'analyse des paramètres au laboratoire.**

### **1. Mesure du pH**

#### **-But et Principe**

Mesure électrométrique du pH au moyen d'une électrode combinée.

- La méthode proposée par MATHIEU et PIELTHAIN (2003) est de :
- Peser 10g de terre dans un bécher.
- Ajouter 25 ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- laissé à reposer de 2h .
- Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.
- Noter les valeurs à la décimale près.

---

## 2. Dosage du phosphore assimilable (Joret-Hébert) déterminé par MATHIEU et PIELTAIN, 2003

### 2.1. Mode opératoire

- Peser 4 g de sol sec tamisé à 2 mm et verser dans un bécher de 50 ml.
- Ajouter 100 ml de la solution d'extraction d'oxalate d'ammonium.
- Sans attendre, agiter durant 2 h à l'agitateur mélangeur rotatif.
- Filtrer dans une fiole de 100 ml.
- Effectuer un témoin dans les mêmes conditions, sans échantillon de sol.
- Dans des tubes à essai, introduire à la pipette de précision 1 ml:
  - ✓ du filtrat après extraction
  - ✓ du filtrat du témoin
  - ✓ des solutions étalons de phosphore
- Dans chaque tube, ajouter en une seule fois avec une pipette graduée 9 ml de réactif de coloration, homogénéiser.
- Chauffer dans un bain d'eau chaude pendant 30 min à 75°C.
- Refroidir aussitôt à 20 °C ± 5 °C.
- En prenant le témoin comme référence, ajusté à 0.00 l'absorbance du spectrophotomètre réglé à 825 nm.
- Mesurer l'absorbance au spectrophotomètre à 825 nm pour les solutions étalons et les échantillons.

### 2.2. Calcul

$$P (\mu g . g^{-1}) = \frac{C \times V}{S} = 25 C$$

Avec:

C: microgrammes de phosphore déterminés sur la courbe d'étalonnage ( $\mu g . ml^{-1}$ ).

V: volume d'extraction en ml (100 ml).S: poids de la prise de terre en g (4 g).

**3. Dosage de nitrate (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).**

**Mode opératoire :**

- ❖ Peser 10 g de sol frais .
- ❖ Ajouter 20 ml de solution de sulfate de potassium .
- ❖ Sans attendre , agiter durant 30 minute , à l'agitateur mélangeur rotatif .
- ❖ Filtrer et conserve le filtrat .
- ❖ Dans des tubes à essai , introduire à la pipette de précision 0,5 ml de chaque standard de la gamme étalon et de chaque échantillon .
- ❖ Ajouter 1 ml de la solution d'acide salicylique et agiter immédiatement et laisser reposer 30 minutes .
- ❖ Ajouter 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium , agiter et laisser pendant 1 heure .
- ❖ Mesurer au spectrophotomètre réglé à 410 nm .

**Mesurer :**

**Calcul N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en µg.ml<sup>-1</sup> :**

$$N-NO_3^- = \frac{G \times V}{s} = 2G \text{ N-NO}_3^-$$

G : N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en µg.ml<sup>-1</sup>

V: Volume d'extraction ( 20 ml )

**Annexe 3 : Echelles utilisées à l'interprétation des résultats**

**Tableau 1 : Normes d'interprétation du pH-eau du sol (MATHIEU ET PIELTHAIN, 2003).**

pH	Normes
0 - 3	Extrême acide
3 - 4	Très forte acidité
4 - 5	Forte acidité
5 - 6	Modéré acidité
6 - 7	Faible acidité
7	Neutre
7 - 8	Faible alcalinité
8 - 9	Modéré alcalinité
9 - 10	Forte alcalinité
10 - 11	Très forte alcalinité

**Tableau 2 : Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et *al.*,1997 in MATHIEU, 2009)**

<b>Intensité de la variabilité</b>	<b>Coefficient de variabilité (%)</b>
Faible <	<15
Modéré	15-35
Elevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

**Annexe 4 : Test de Student pour deux échantillons appariés**

**Tableau 1 : Test de Student pour deux échantillons appariés du pH.**

T-test for Dependent Samples (pointe d'échantillonnage ) Marked differences are significant at p <0 ,05000									
Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%
PH SR	7,52	0,18							
PH SNR	7,67	0,18	30	-0,14	0,23	-3,32	29	0,002	-0,23

**Tableau 2 : Test de Student pour deux échantillons appariés du P.**

T-test for Dependent Samples (pointe d'échantillonnage ) Marked differences are significant at p <0 ,05000									
Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%
P2O5 SR	33,01	17,08							
P2O5 SNR	24,53	7,71	30	8,47	19,33	2,40	29	0,023	1,25

**Tableau 3 : Test de Student pour deux échantillons appariés du NO3.**

T-test for Dependent Samples (pointe d'échantillonnage ) Marked differences are significant at p <0 ,05000									
Variable	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%
NO3 SR	10,56	7,07							
NO3 SNR	5,61	5,12	30	4,94	8,27	3,27	29	0,002	1,85

**Annexe 5 : Analyse Statistique****Tableau1 : Statistique descriptive du pH.**

	<b>SR</b>	<b>SNR</b>
<b>Nombre</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Moyenne</b>	<b>7.52</b>	<b>7.67</b>
<b>Minimum</b>	<b>7,2</b>	<b>7,4</b>
<b>Maximum</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
<b>Std.Dev</b>	<b>0.18</b>	<b>0.18</b>
<b>CV%</b>	<b>2.46</b>	<b>2.37</b>

**Tableau 2: Statistique descriptive du P.**

	<b>SR</b>	<b>SNR</b>
<b>Nombre</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Moyenne</b>	<b>33.01</b>	<b>24.53</b>
<b>Minimum</b>	<b>18,09</b>	<b>18,9</b>
<b>Maximum</b>	<b>100</b>	<b>49,67</b>
<b>Std.Dev</b>	<b>17.08</b>	<b>7.71</b>
<b>CV%</b>	<b>51.73</b>	<b>31.44</b>

**Tableau 3 : Statistique descriptive du NO3.**

	<b>SR</b>	<b>SNR</b>
<b>Nombre</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Moyenne</b>	<b>10.56</b>	<b>5.61</b>
<b>Minimum</b>	<b>1,57</b>	<b>0,71</b>
<b>Maximum</b>	<b>29,93</b>	<b>16,43</b>
<b>Std.Dev</b>	<b>7.07</b>	<b>5.12</b>
<b>CV%</b>	<b>67.02</b>	<b>91.35</b>

## التغيرات الجزئية في منطقة الجذور لتربة مزروعة بالفصصة في منطقة غرداية

### العطف-

#### الملخص :

غرداية هيا منطقة صحراوية تتميز بظروف قاسية وتربة فقيرة مما يحد من انتاجها الزراعي.

الغرض من هذا العمل هوا إظهار الاختلافات الموجودة داخل الصفائح في قطعة الأرض المزروعة بالفصصة في نوعين من التربة (الريزوسفيرية وغير الجذورية) في منطقة العطف وذلك باستخدام أدوات رسم الخرائط.

من خلال دراسة بعض من خصائص التربة التي تتصف بتوفر المغذيات بما في ذلك الفسفور والنترات والتي هيا جزء من إدارة الموارد الطبيعية وكذا الاستخدام الرشيد للمداخلات الكيميائية هي وجود واعدم وجود سلالة الريزوبيا.

انطلاقا من النتائج المتحصل عليها بشكل عام بالنسبة لنبتة الفصصة لوحظ توفر الفسفور بنسبة كبيرة في ريزوسفار مع تحميص الجذور اما النترات فكان بنسبة ضئيلة.

و في الواقع تظهر نتائج Studente فروق ذات دلالة إحصائية عند  $\alpha=0,05$  بين هذين النوعين من التربة التي تم تحليلها (الريزوسفيرية وغير الجذورية).

تبيين الخرائط الموضوعية التي تم تحليلها بالنسبة للنوعين من التربة المصممة بواسطة IDW إلى وجود اختلاف في تنوع الفسفور ودرجة الحموضة وكذا النترات في النوعين من التربة وكذا وجود روابط مكانية بين هذه العناصر.

**الكلمات المفتاحية:** الفوسفور ، الفصصة ، الجذور ، الريزوبيا ، التباين ، العطف

## Intraparclare variability in the rhizosphere of cultivated alfalfa

### (MedicagosativaL.) In the Ghardaia region (Case of Atteuf)

#### Summary :

Ghardaia is a Saharan region characterized by severe climatic conditions and poor soils, which limit their agricultural production. The purpose of this work is to demonstrate, using cartographic tools, the intrapartellar variations in a cultivated plot of alfalfa in two soil types (rhizosphere and non-rhizosphere) in the region of El-Atteuf. through the study of some soil properties describing the availability of nutrients including phosphorus and nitrate and which is part of the management of natural resources and the rational use of chemical inputs in the presence and / or absence of rhizobial strains . The main results obtained attest overall that in *Medicago sativa* L., the availability of the important P, noted in the rhizosphere accompanied by an acidification of the rhizosphere and a rather important availability of the nitrate. Indeed, the results of ANOVA reveal significant differences at the significance level  $\alpha = 0.05$  between the two types of soil analyzed (rhizosphere or non-rhizosphere soil). The thematic maps, designed by the IDW interpolation method, clearly show these differences in the variability of available phosphorus, pH and nitrate between rhizospheric and non-rhizospheric soils and the spatial links between the different elements measured.

**Key words:** Phosphorus, alfalfa, rhizosphere, Rhizobia, variability, El-Atteuf.