



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 :DJEKAOUA Ahlam
OULED MESSAOUD GHEMMAR Rahma

Thème

Variabilité intra-parcellaire du phosphore dans la rhizosphère
d'un sol cultivé d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la
région de Ghardaïa (Cas de Sebseb)

Soutenu publiquement le :18/05/2017

Devant le jury :

M. BENBRAHIM Fouzi	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Président
M. KRAIMAT Mohamed	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Encadreur
M. BENSEMAOUNE Youcef	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur
M. BAKELLI Aissa	Maître Assistant B	Univ. Ghardaïa	Examineur

Dédicace

Avec l'aide de Dieu ALLAH tout puissant, j'ai pu achever ce Travail que je dédie :

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

☪☪ A **mon cher père** qui n'a pas cessé de m'encourager et de se sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études.

☪☪ A celle que j'aime et je respecte :

☪☪ A Mes adorables frères : **M. Fathi, Tayeb, Mohamed. T.**

☪☪ A Mes sœurs : **Horia et Nour** et Spécialement les anges de la maison : **ANESS, AMIR, SARA**. Et ne pas oublier de mentionner femme de frère qui m'a beaucoup aidé: **Wafa**.

☪☪ A **Ma tante** décédée, qui a longtemps été considéré comme une seconde mère, et qu'elle voulait me voir ce jour-là.

☪☪ A mon intime et binôme : **Rahma**

☪☪ Aux deux familles : **DJEKAOUA et BOUAMER**

☪☪ Ames enseignants et toute la promotion Master II Ecologie 2016-2017



ALLAM

Dédicace

☞ A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, ma **chère mère** l'ange Gardien de ma vie j'espère que je suis la bonne fille que t'as rêvé de l'avoir,
Chère mère; aucun mot ne peut exprimer ta valeur pour moi.

☞ A mon **cher père**, je ne peux jamais imaginer une vie sans toi, merci pour ta patience, pour ton soutien infini; pour tes conseils d'or tout à la langue de ma vie, j'espère que je serai une source de fierté pour toi.

☞ A mes chers frères : **Tayeb, Mehdi et Yahia** et mes chères sœurs : **Nedjma et Bouchra**

☞ A mes deux familles paternelle et maternelle : **Ouled Messaoud Ghemmar et Mehaia**

☞ A tous mes amies en particulier mon binôme et fidèle amie **Ahlam**

☞ A mes enseignants et toute la promotion Master II Ecologie 2016-2017



RAHMA

Remerciements

Nous remercions " Dieu " tout puissant de nous avoir accordé la force et la chance, la patience et le courage à fin de pouvoir accomplir de modeste travail.



Avec tous mes respects et mes plus sincères remerciements et reconnaissances vont spécialement à notre promoteur **M. KRAIMAT Mohamed**

Maître Assistant à l'Université de Ghardaïa

pour la qualité de son encadrement et ses précieux conseils, ses orientations et son patience dont il a fait preuve durant l'élaboration de cette étude.



Nos profonds remerciements à **M. BENBRAHIM Fouzi** Maître Assistant

à l'Université de Ghardaïa

qui a fait l'honneur de présider le jury, et aussi de juger ce travail



Nos vifs remerciements s'adressent à **M. BENSEMAOUNE Youcef** et **M. BAKELLI Aissa**

Des Maitres-assistants à l'Université de Ghardaïa

D'avoir accepté de prendre part au jury et en qualité d'examineurs de notre travail.



Nos remerciements également aux : M. BOUAMER Hocine et à tous les membres du laboratoire de recherche et de bibliothèque de la faculté des sciences de la nature et de la vie et toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire

© Ahlam et Rafima ©



Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1 :	Classification des bactéries nodulant les légumineuses	15
Tableau 2 :	Les principales différences entre les types de nodule indéterminé et déterminée.....	20
Tableau 3 :	Classification de l'arachide(<i>Arachishypogaea</i> L.).....	25
Tableau 4 :	Décomposition de la durée du cycle végétatif de l'arachide en fonction des principales phases et du type de variété.....	27
Tableau 5 :	Production mondiale d'arachide non décortiquée pour la période (2006-2007).....	28
Tableau 6 :	Production des arachides en Algérie (1995-2009).....	29
Tableau 7 :	La production des arachides de la commune de Sebseb.....	34
Tableau 8 :	Données climatiques de Ghardaïa durant la période de culture	37



Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1 :	Cycle du phosphore dans le sol et dans l'eau	4
Figure 2 :	Distribution des différentes formes solubles du phosphore en fonction du pH...	5
Figure 3 :	Variation du phosphore assimilable en fonction du pH.....	7
Figure 4 :	Les nodules d'arachide	13
Figure 5 :	Développement des nodules sur les racines dans un cas de symbiose entre <i>Rhizobium</i> et une plante.....	19
Figure 6 :	Architecture de nodule déterminé et indéterminé.....	20
Figure 7 :	Représentation des Feuilles d'arachide.....	22
Figure 8 :	Les fleurs d'arachide.....	23
Figure 9 :	Gousses d'arachide.....	23
Figure 10 :	Représentation d'une plante d'arachide.....	24
Figure 11 :	Carte de localisation de la zone d'étude.....	35
Figure 12 :	Parcelle étudiée	37
Figure 13 :	Carte de localisation géographique d'échantillonnage.....	38
Figure 14 :	Variation du pH en fonction de type du sol.....	41
Figure 15 :	Variation du phosphore assimilable en fonction de type du sol.....	42
Figure 16 :	Variation du Ca en fonction de type du sol.....	43
Figure 17 :	Analyse variographique du pH du sol rhizosphérique.....	44
Figure 18 :	Carte de répartition spatiale du pH de sol rhizosphérique.....	45
Figure 19 :	Analyse variographique du pH du sol non rhizosphérique.....	46
Figure 20 :	Carte de répartition spatiale de pH du sol non rhizosphérique.....	47

Figure 21 :	Analyse variographique du P du sol rhizosphérique.....	48
Figure 22 :	Carte de répartition spatiale de P du sol rhizosphérique.....	49
Figure 23 :	Analyse variographique du P du sol non rhizosphérique.....	50
Figure 24 :	Carte de répartition spatiale de P du sol non rhizosphérique.....	51
Figure 25 :	Analyse variographique du Ca du sol rhizosphérique.....	52
Figure 26 :	Carte de répartition spatiale de Ca du sol rhizosphérique.....	53
Figure 27 :	Analyse variographique du Ca du sol non rhizosphérique.....	54
Figure 28 :	Carte de répartition spatiale de Ca du sol non rhizosphérique.....	55

Liste des abréviations

P	: Phosphore
ADN	: Acide Désoxyribonucléique
ADNr	: Acide Désoxyribonucléique ribosomique
ADP	: Adénosine Di-Phosphate
ARN	: Acide Ribonucléique
atm	: Atmosphérique
ATP	: Adénosine Tri-Phosphate
Ca	: Calcium
CV	: Coefficient de variance
EDTA	: Acide éthylène-Diamine-tétra-Acétique
K ⁺	: Potassium
mé	: Milliéquivalent
Mg	: Magnésium
N	: Azote
pH	: Potentiel d'hydrogène
Pi	: Phosphore inorganique
Qx	: Quintaux
S	: Soufre
SNR	: Sol non rhizosphérique
SR	: Sol rhizosphérique

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	

Introduction

PREMIERE PARTIE : Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Le phosphore dans le système sol-plante

	Introduction.....	3
1.	Cycle du phosphore.....	3
2.	Fractions du phosphore dans le sol.....	4
2.1.	Le phosphore total.....	4
2.2.	Le phosphore assimilable.....	5
3.	Formes et disponibilité du phosphore dans le sol.....	5
3.1.	Phosphore soluble.....	5
3.2.	Phosphore facilement échangeable.....	5
3.3.	Phosphore insoluble.....	6
4.	Phosphore dans la plante.....	7
4.1.	Forme minérale.....	7
4.2.	Forme organique.....	7
5.	Rôles du phosphore dans les plantes.....	7
6.	Importance de la nutrition phosphatée chez légumineuses.....	8
7.	Déficiences en P et mécanismes d'adaptation des légumineuses.....	8
7.1.	Réponses morphologiques.....	9
7.2.	Réponses physiologiques et biochimiques.....	9
8.	Notion de rhizosphère.....	10
8.1.	Ectorhizosphère.....	10
8.2.	Endorhizosphère.....	10
	Chapitre II : les légumineuses et la fixation biologique d'azote	
1.	Les légumineuses.....	11
1.1.	Généralités.....	11
1.2.	Importance des légumineuses.....	11

2.	La symbiose rhizobienne.....	12
2.1.	Le micro- symbionte: les <i>Rhizobia</i>	13
2.1.1.	Caractéristiques des <i>Rhizobia</i>	13
2.1.1.1.	Caractères morphologiques.....	13
2.1.1.2.	Caractères biochimiques.....	14
2.1.1.3.	Caractères physiologiques.....	14
2.1.1.4.	Caractères cultureux.....	14
2.1.2.	Classification de <i>Rhizobia</i>	14
2.2.	Etablissement de la symbiose légumineuses- <i>Rhizobia</i>	17
2.2.1.	Processus de nodulation.....	18
2.2.1.1.	Phase de Pré-infection.....	18
2.2.1.2.	Phase d'Infection.....	18
2.2.1.3.	Phase de fonctionnement ou maturité des nodules.....	18
2.2.1.4.	Phase de dégénérescence.....	19
2.2.2.	Structure et morphologie des nodules.....	19
2.3.	Le macro-symbionte : l'arachide.....	20
2.3.1.	Origine.....	20
2.3.2.	Description.....	21
2.3.2.1.	Ports et tige.....	21
2.3.2.2.	Les racines.....	21
2.3.2.3.	La feuille.....	21
2.3.2.4.	Fleurs et inflorescences.....	22
2.3.2.5.	Fruit.....	23
2.3.3.	Classification.....	25
2.3.4.	Ecologie de l'arachide.....	26
2.3.5.	Le cycle de vie d'arachide.....	26
2.3.5.1.	Phase végétative.....	26
2.3.5.2.	Phase de floraison.....	27
2.3.5.3.	Phase de fructification.....	27
2.3.5.4.	Cycle végétatif et maturité.....	27
2.3.6.	Production de l'arachide.....	28
2.3.6.1.	Dans le monde.....	28
2.3.6.2.	En Algérie.....	29
3.	Effet de la disponibilité de phosphore sur l'association symbiotique.....	29

DEUXIEME PARTIE : Matériel et Méthodes

1.	Approche méthodologique.....	31
2.	Présentation de la région d Sebseb	31
3.	Choix du site d'étude.....	36
4.	Echantillonnage.....	36
4.1.	Présentation de la zone d'échantillonnage.....	36
4.2.	Méthode de prélèvement des échantillons du sol	38
5.	Méthodes d'analyse au laboratoire.....	39
5.1.	pH.....	39
5.2.	Phosphore assimilable.....	39
5.3.	Calcium Echangeable.....	39
6.	Analyses statistiques	39
7.	Cartographie et krigeage.....	39

TROISIEME PARTIE : Résultats et discussion

1.	Etude de la variation des paramètres étudiés	41
1.1.	Variation du pH dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques	41
1.2.	Variation de disponibilité du P dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques... ..	42
1.3.	Variation du Ca dans les sols rhizosphérique et non rhizosphérique.....	43
2.	Analyse variographique et la réalisation des cartes thématiques.....	44
2.1.	pH.....	44
2.2.	Phosphore assimilable	47
2.3.	Calcium échangeable.....	51
3.	Discussion générale	55

Conclusion

Reference bibliographique

Annexe

Introduction

Introduction

Au Sahara, l'agriculture constitue l'activité principale et un facteur de stabilisation des populations et c'est à ce titre que l'état a retenu dans le cadre de la mise en valeur dans le Sud l'option « agriculture saharienne » qui vise un développement harmonieux des régions concernées, favorisent une gestion rationnelle des ressources en eau et en sol (**KHADRAOUI, 2010**).

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, mais l'utilisation des engrais azotés présentent des nombreux inconvénients surtout dans ces région 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**).

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**). Ainsi que pour le maintien de la fertilité des systèmes de production dans les zones arides et semi arides. Elle représente une famille d'une grande importance économique et occupe le second rang après les céréales comme culture alimentaire dans le monde (**OUSLIM, 2016**). 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 légumineuse « BNL ». Cette symbiose se traduit par la formation d'un organe ou nodule à l'intérieur duquel des rhizobiums réduisent l'azote atmosphérique en ammoniac assimilable par plante (**FARES, 2008**).

L'Arachide (*Arachis hypogaea* L.) est l'une des plus importantes oléagineuses cultivées dans le monde, notamment dans les régions arides et semi-arides de l'Afrique. Son succès réside dans le fait que c'est une oléoprotéagineuse aux nombreuses utilisations alimentaires et fourragères (graine, huile, tourteaux, fanes et coques). Sa culture prend de l'ampleur en Algérie (**BENMOHAMED et al., 2004**), Cependant, les surfaces dédiées à cette culture sont principalement localisées au Nord-Est (El-Tarf, Skikda), au Sud-Est dans les Oasis (Ghardaïa) et au Sud (Adrar, El-Oued) (**LAZALI, 2009**). L'arachide présente l'avantage agronomique d'exiger peu d'intrants, de couvrir très vite et donc de protéger le sol par un épais tapis herbacé (sur une hauteur de 20 à 70 cm). Elle peut fournir jusqu'à 30% de l'azote nécessaire à la plante mais la quantité d'azote fixée est très variable car l'activité symbiotique est influencée par plusieurs facteurs (**WANI et al., 1995**). Cependant, la plus large part du phosphore éventuellement disponible pour

les cultures est adsorbée sur les particules de sol et est graduellement libérée dans la solution du sol où elle sera prélevée par les racines (**BEAUDIN *et al.* , 2008**). Le phosphore exerce une influence significative sur la croissance des plantes et le développement, comme il est évident que la carence en phosphore provoque plusieurs problèmes de nutrition, vu que la nutrition de phosphore est liée à l'absorption et l'assimilation des autres nutriments minéraux (**DIF et MESSAAD, 2015**). En agriculture, un apport du phosphore sous forme d'engrais est indispensable pour obtenir de bons rendements. Comme les réserves de phosphore naturel biodisponible sont limitées, un apport ciblé et respectueux de l'environnement est nécessaire pour l'agriculture (**VOLKER et RENE, 2005**). La stratégie actuelle se fonde en premier lieu sur les besoins des plantes cultivées et ensuite sur la biodisponibilité en phosphore de la parcelle. La plupart des sols algériens sont carencés en phosphore ce qui contribue davantage à la matérialisation d'une production agricole insuffisante et des rendements en général bas (**BOUHANIA et ZEHRI, 2005**).

Notre travail consiste en l'étude de variabilité intra-parcellaire du phosphore dans la rhizosphère d'un sol cultivé d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la région de Ghardaïa (commune de Sebseb) et qui a pour l'objet:

- La mise en évidence des indications relatives à la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère des sols sahariens.
- L'étude des variations intra-parcellaires et interactions entre plante-rhizosphère des sols cultivés d'arachide.
- L'exploitation des outils de Krigeage pour mettre au point les éventuelles modifications spatiales au niveau des ces sols dans l'objectif d'une fertilisation raisonnée.

Partie I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Le phosphore dans le système sol-plante

Chapitre I – Le phosphore dans le système sol-plante

Introduction

Le phosphore (P) est le onzième constituant de la croûte terrestre. Presque entièrement dérivé de l'altération des phosphates de calcium des roches de la surface terrestre, il entre dans la constitution des tissus ou il joue un rôle important dans le stockage et les transferts d'énergie. Il est donc essentiel à la vie humaine, animale et végétale sur terre (**BEAUDIN *et al.*, 2008**). Le P est un élément généralement peu mobile dans les sols et peu disponible aux plantes. Ainsi, de grandes quantités d'engrais-P sont appliquées aux sols agricoles causant son accumulation sous formes minérales et organiques. Les microorganismes de la rhizosphère peuvent améliorer la nutrition minérale des plantes en dissolvant les minéraux insolubles et en minéralisant la matière organique (**CHABOT *et al.*, 1998**).

1. Cycle du phosphore

Le cycle global du phosphore (Fig. 1) est le plus lent parmi ceux des bioéléments majeurs. Tirant son origine de l'altération de roches ignées, le phosphore s'est progressivement accumulé dans les roches formées dans les sédiments marins, principalement sous la forme de phosphate calcium (apatite et hydroxyapatite). Ces roches sont ramenées ensuite en altitude par les mouvements tectoniques. Le phosphore du sol provient donc dans sa quasi-totalité de l'altération des roches phosphatées (**GOBAT *et al.*, 2010**).

Le phosphore présent dans le sol n'y est pas particulièrement mobile, et les ions phosphate ne se lessivent pas facilement puisqu'ils sont normalement retenus fortement par les particules d'argile, de sol et de matière organique. Ces particules, érodées de la couche arable, enrichissent les cours d'eau en phosphore une fois qu'elles y sont entraînées : les ions P se détachent de leur surface (désorption) et se solubilisent. Le P retrouvé dans les plans d'eau peut également provenir de la remise en suspension des sédiments déposés au fond et sur le littoral (**GANGBAZO, 2011**).

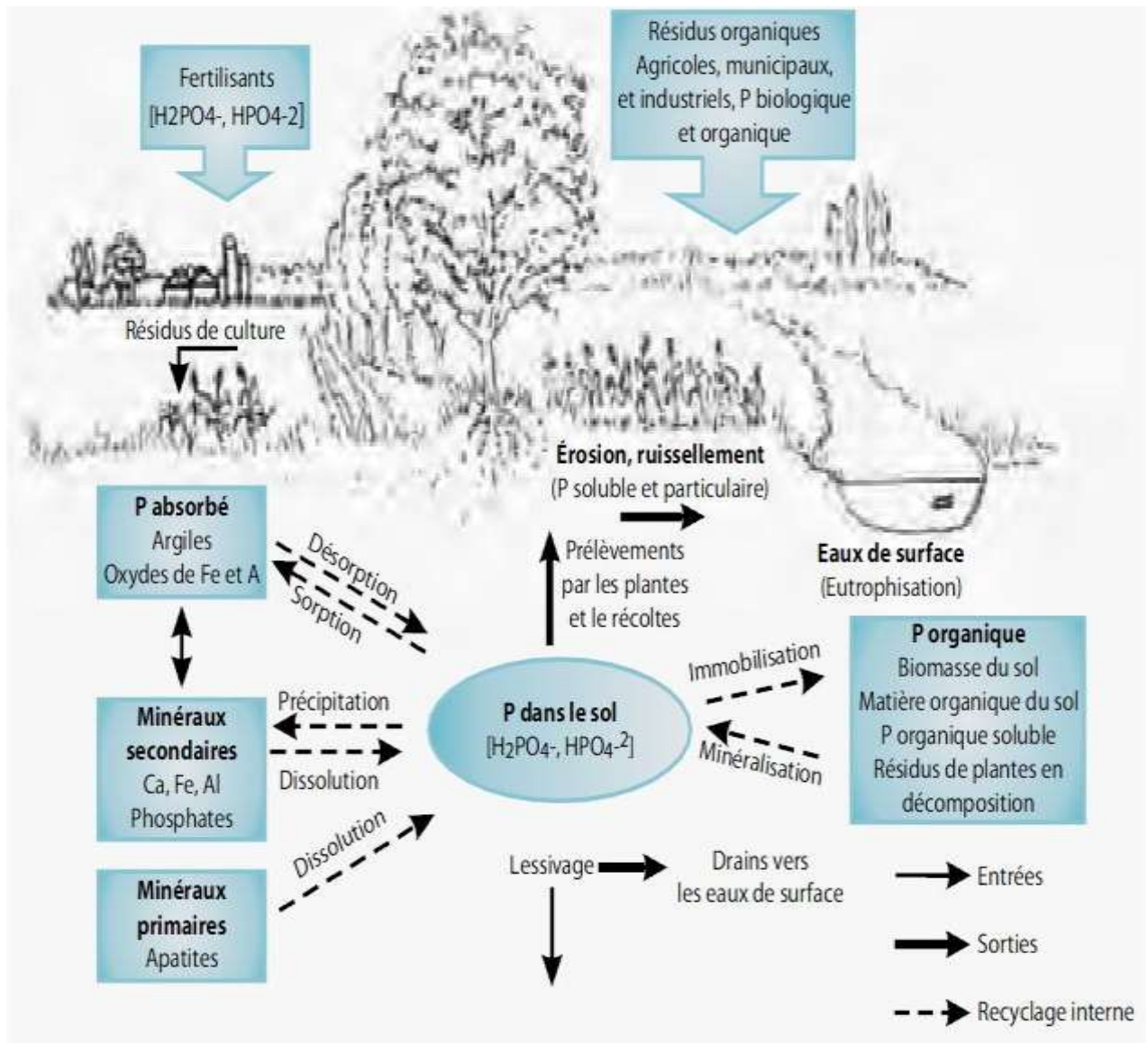


Figure 1. Cycle du phosphore dans le sol et dans l'eau (GANGBAZO, 2011).

2. Fractions du phosphore dans le sol

2.1. Le phosphore total

C'est l'ensemble de toutes les formes de phosphore présentes dans un échantillon de sol, qu'elles soient minérales ou organiques. La teneur en phosphore total dans la plus part des sols est comprise entre 0.02 à 0.08 %. Les sols dérivant des roches ignées sont plus riche en phosphore totale que les roches issues des roches sédimentaires (MIHOUB, 2009).

2.2. Le phosphore assimilable

C'est la quantité du phosphore capable de participer à la nutrition des végétaux, généralement. C'est la concentration d'ions phosphoriques sous forme H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{3-} présentes en solution dont les proportions relatives dépendent du pH du milieu (Fig. 2), généralement 5 à 10 % du phosphore total du sol (BOUHANIA et ZEHRI, 2005).

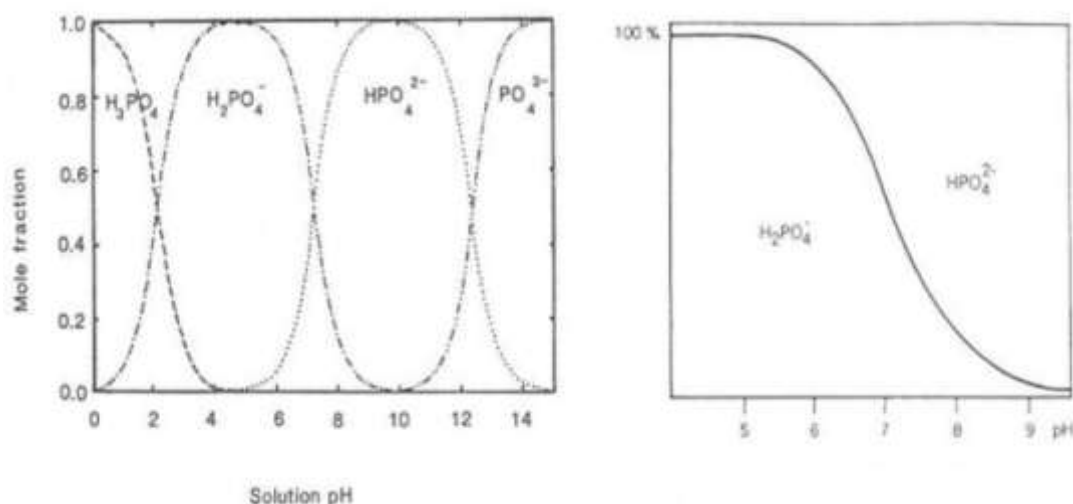


Figure 2. Distribution des différentes formes solubles du phosphore en fonction du pH (DROUET, 2010).

3. Formes et disponibilité du phosphore dans le sol

3.1. Phosphore soluble

L'absorption du phosphore par la plante se fait sous la forme du phosphore soluble dans la solution du sol, sa concentration est très faible et est presque constante du fait des échanges continuels avec le phosphore adsorbé. Nous notons aussi que l'absorption de l'acide phosphorique par les végétaux dépend toujours de la forme d'ion dominant dans la solution du sol et cette dominance dépend du pH. Certains végétaux sont susceptibles, grâce à leurs excréments racinaires d'utiliser les formes insolubles de P_2O_5 (DIEHL, 1975).

3.2. Phosphore facilement échangeable

Ce sont les ions phosphoriques adsorbés sur le complexe adsorbant du sol ; ils participent aux échanges constants (sol-solution) et constituent l'essentiel du «pool alimentaire » des plantes

(**FARDEAU, 1993**). En effet, les ions phosphates ont une charge électronégative, ils sont retenus dans le sol par le biais de cations métalliques essentiellement par le Ca^{2+} . L'acide phosphorique est un anion, et ne peut être retenu par le complexe que par l'intermédiaire d'un cation: fer, aluminium, potassium, mais plus généralement le calcium (**LAMBERT, 1979**).

3.3. Phosphore insoluble

Le phosphore est l'un des 6 macronutriments (N, P, K, Ca, Mg et S) les plus inaccessibles du sol. Plus de 90 % du phosphore total est sous forme insoluble (**LATATI, 2012**). Le phosphore absorbé ou précipité est principalement sous forme de phosphate de fer ou d'aluminium dans les sols acides et sous formes de phosphate de calcium et de magnésium dans les sols alcalins et calcaires (**PEREDA CAMPOS, 2008**).

L'acide phosphorique H_3PO_4 est un triacide qui donne donc 3 types de sels selon qu'un, deux ou trois fonctions acides sont neutralisées par les cations. Par exemple, avec le calcium :

- Le phosphate mono-calcique $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ est soluble;
- Le phosphate di-calcique $\text{Ca}_2(\text{HPO}_4)_2$ est peu soluble;
- Le phosphate tricalcique $\text{Ca}_3(\text{HPO}_4)_2$ est insoluble.

Il existe dans le sol des phosphates tricalciques (apatite par exemple) insolubles, de même qu'en sols acides des phosphates de fer et d'aluminium, le phosphore ainsi combiné est inutilisable (**ÉLIARD et LOUIS, 1979**).

Responsable d'importantes pertes de phosphore dans les sols, n'intervient en fait qu'à des pH très élevé, cependant la précipitation des sels de fer et d'aluminium reste possible jusqu'au des pH faiblement acide mais elle se fait en partie avec l'anion (OH^-) à l'état d'hydrate et totalement sous cette forme quand le pH est alcalin (Fig. 3) (**GERVY, 1970**).

Les formes dites insolubles où ne font néanmoins pas partie des réserves lourdes de phosphore existant dans le sol. Des modifications de pH, l'action de la matière organique, l'activité microbienne, la possibilité d'utilisation directe des phosphates minéraux par plusieurs espèces végétales font que ces formes de phosphore exercent un rôle non négligeable dans la nutrition des plantes (**GERVY, 1970**).

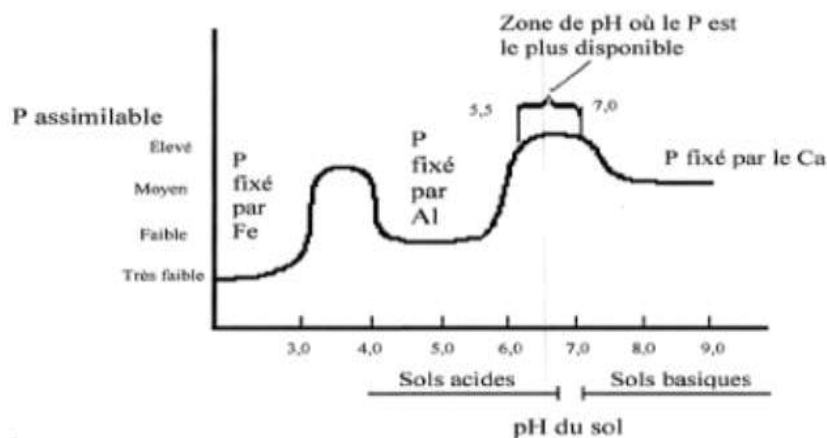


Figure 3. Variation du phosphore assimilable en fonction du pH (DEMERS, 2008).

4. Le phosphore dans la plante

4.1. Forme minérale

Des phosphates alcalins, tels que phosphate mono-sodique NaH_2PO_4 , et disodique Na_2HPO_4 existent à l'état plus ou moins dissocié dans de nombreux tissus. Chez les végétaux les phosphates alcalins et alcalino-terreux se rencontrent dans tous les tissus, du phosphate de calcium apparaît même à l'état solide dans les graines. La proportion de phosphore minérale est variable, faible dans les graines, moyenne dans les rhizomes et tubercule; elle devient supérieure dans les feuilles de graminées et toute particulièrement dans le foin qu'elles fournissent (GERVY, 1970).

4.2. Forme organique

Le phosphore organique correspond à celui que l'on retrouve dans la matière organique fraîche et l'humus. (FARDEAU et CONESA, 1994). Les plantes contiennent quatre types de composés organiques du phosphore, les phytines, les sucres phosphatés, les phospholipides et les acides nucléiques. Les phytines ou phosphates d'inositol sont la forme organique de P la plus abondante, les autres composés étant généralement rapidement transformés et minéralisés. Cependant les formes du phosphore organique ne sont bien identifiées que pour moins de 50 % seulement en raison de la présence de polysaccharides phosphatés, de complexe entre composés organiques et inorganiques et d'associations avec les substances humiques (CALVET, 2003).

5. Rôles du phosphore dans les plantes

Le phosphore est un élément nutritif indispensable aux végétaux et quasiment non substituable. Il intervient dans le matériel génétique, métabolique, structural et de régulation (MOLLIER, 2016). Il joue un rôle important dans le métabolisme énergétique, la synthèse et le métabolisme des

glucides, participe à la composition du noyau cellulaire et se concentre dans les organes reproducteurs du végétal (SCHEINER, 2005). Il entre dans la composition des acides nucléiques et dans la composition de l'ADN, ainsi que dans celle de l'ARN qui permet la transcription de l'information génétique en protéines. De même, il est impliqué dans les transferts d'énergie à l'intérieur des cellules par l'intermédiaire de molécules telles que l'ATP, il entre dans la composition des phospholipides qui contrôlent la stabilité et les propriétés des membranes cellulaires (BARGAZ, 2012).

6. Importance de la nutrition phosphatée chez les légumineuses

Les légumineuses disposent d'un système racinaire moins développé par rapport aux graminées ; ce qui limite l'absorption du phosphore qui se diffuse très lentement à travers la solution du sol vers la rhizosphère (GHANIMI, 2014). Toutefois, il stimule la croissance, le poids sec de la plante, la surface foliaire, le nombre et le poids sec de nodules et l'activité nitrogénasique. Dans de nombreux essais menés sur différentes légumineuses, il a été démontré que l'augmentation des apports de P augmente le nombre et le poids des nodules parallèlement à l'amélioration de la matière sèche des racines et de la plante entière. Ce qui suggère que le phosphore améliore la fixation biologique d'azote par l'amélioration de la biomasse de la plante et par la suite la mise en place des photo-assimilats pour la fixation biologique d'azote plutôt que par l'amélioration directe de l'initiation ou du fonctionnement des nodules (DAOUI, 2007).

7. Déficience en P et mécanismes d'adaptation des légumineuses

Une déficience en phosphore chez les légumineuses n'affecte pas seulement l'établissement de la culture et sa croissance mais aussi la nodulation et la fixation biologique d'azote en diminuant la masse et la taille des nodosités. En effet, elle entraîne également la réduction de la biomasse racinaire et aérienne de la plante en réponse à la déficience en phosphore les plantes établissent des mécanismes avec lesquelles elles peuvent acquérir le phosphore tel que l'acidification de la rhizosphère, l'exsudation des anions organiques et la sécrétion des phosphatases par les racines. Comme pour la déficience phosphatée, l'excès de P peut aussi nuire à la fixation biologique d'azote (BENAGGAB, 2011).

En réponse aux niveaux constamment bas de P disponible dans la rhizosphère, la plante développe des mécanismes morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires fortement spécialisés. Pour acquérir et utiliser le P de l'environnement. Les conséquences finales de ces modifications augmentent la disponibilité de P dans la rhizosphère, ainsi que son prélèvement par la plante (LATATI, 2012). Ces modifications peuvent être décrites comme suit :

7.1 Réponses morphologiques

Les réponses morphologiques impliquent la modification de l'architecture racinaire, principalement par une baisse de la croissance des racines primaires et l'augmentation du nombre des racines latérales et la formation des poils absorbants. La croissance et la configuration spatiale du système racinaire permettent l'exploration continue de nouveaux horizons du sol. Une augmentation significative du nombre de racines fines a été observée dans les sols pauvres en P chez légumineuses (**BOUDANGA, 2011**).

La formation de structures racinaires spécialisées tels que les poils racinaires ou les racines en « cluster » permet d'augmenter considérablement la surface d'échange et le volume de sol exploré.

Cependant **SHULAEV et al. (2008)**, ont noté que certaines légumineuses étudiées ont montré une réduction des masses racinaires en réponse à des conditions de déficit en P. Il a été remarqué aussi que cette contrainte affecte la croissance des pousses et le développement des nodules (**BOUDANGA, 2011**).

7.2. Réponses physiologiques et biochimiques

Les réponses physiologiques et biochimiques comprennent les modifications du métabolisme du carbone afin de contourner les mesures nécessitant le phosphore. Ces mécanismes sont principalement : la synthèse et la sécrétion des phosphatases et des phytases, l'exsudation d'acides organiques (citrate et malate), et l'amélioration de l'expression des transporteurs de phosphate de haute affinité (**BOUDANGA, 2011**).

Les plantes sont également capables de mobiliser le Pi à partir des formes de phosphore complexées par la sécrétion d'acides organiques et de phosphatases dans la rhizosphère. En général, les exsudats racinaires sont des composés de faible poids moléculaire et peuvent accroître la mobilisation des éléments minéraux dans la rhizosphère surtout les ions phosphates complexés dans le sol. Les phosphatases ou les phytases, permettant la récupération de phosphate piégé dans des molécules organiques, l'exsudation du citrate peut constituer un mécanisme important de l'adaptation vis à vis d'une faible disponibilité en P et que l'élévation de la sécrétion des exsudats racinaire en acides organiques pourrait être due à l'augmentation de la perméabilité membranaire induite par la diminution dans le contenu des phospholipides dans les racines déficientes en P (**BOUDANGA, 2011**).

8. Notion de rhizosphère

La rhizosphère, terme employé pour la première fois en 1904 par HILTNER, correspond à la zone du sol soumise à l'influence des racines vivantes. Les composantes physico-chimiques et biologiques de la rhizosphère diffèrent nettement de celles d'un sol non cultivé. Les racines elles-mêmes, par leur développement, induisent mécaniquement des modifications structurales telles que la compaction du sol à leur proximité et par conséquent une diminution de sa porosité. Par ailleurs, la libération dans le sol de mucilage, substance organique gélatineuse sécrétée principalement par les apex racinaires, permet d'augmenter la stabilité des agrégats (CREGUT, 2009).

PINTON *et al.* (2001) et GOBAT *et al.* (1998) ont distingué dans la rhizosphère deux principales parties :

8.1. 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 mycorrhizosphère correspondant au volume de sol qui environne une racine colonisée par un champignon mycorhizien permettant d'augmenter le volume de l'ectorhizosphère (LIMAM, 2015).

8.2. Endorhizosphère

L'endorhizosphère correspond au volume de tissus racinaires. On distingue dans cette partie le rhizoplancorrespondant 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).

Chapitre II

Les légumineuses et la fixation biologique d'azote

Chapitre II- Les légumineuses et la fixation biologique d'azote

1. Les légumineuses

1.1. Généralités

La famille des *Fabaceae* compte plus de 18000 espèces regroupées en 714 genres et elle est la troisième plus grande famille d'Angiospermes (ou plantes à fleurs) après les *Orchidaceae* et les *Asteraceae*. Les *Fabaceae* sont divisées en trois sous-familles : les *Caesalpinioideae*, les *Mimosoideae* et les *Papilionoideae* (SOUSSOU, 2013).

La sous-famille des *Mimosoïdeae*, 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 *Caesalpinoïdeae*, 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 *Caesalpineae*, *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 chicheetc.) ainsi que les plantes de pâturage les plus importantes utilisées par les agriculteurs (GHALEM, 2010).

1.2. Importance des légumineuses

Cette famille a un grand intérêt pour l'homme qui utilise ses produits comme aliments, gommés, 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).

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 (*Phaseolus vulgaris*) 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 (*Arachis hypogea*) et le Pois (*Pisum sativum*) dans le monde entier (MOURADI, 2012).

2. La symbiose rhizobienne

La plus grande partie de l'azote de la biosphère (79 %) se trouve dans l'atmosphère. La fixation d'azote est le principal moyen naturel par lequel l'azote atmosphérique est ajouté au sol. Mais seul un nombre réduit de genres bactériens vivant librement ou en symbiose avec les plantes sont capables de réduire l'azote moléculaire de l'atmosphère. Par la symbiose entre les bactéries réductrices de l'azote atmosphérique, une grande partie des légumineuses utilisent principalement l'azote provenant de l'atmosphère. A l'échelle mondiale, la fixation biologique annuelle de N est estimée au double de l'utilisation mondiale des engrais. Elle est très importante pour fournir l'azote disponible pour les plantes dans les systèmes naturels et dans les régions agricoles où l'engrais synthétique est trop cher ou non disponible (SEBIHI, 2008).

La symbiose rhizobienne est une association mutualiste à bénéfice réciproque entre les légumineuses et les bactéries du type rhizobium. Ces dernières permettent de réduire l'azote atmosphérique en forme assimilable par les plantes. En échange, la plante fournit aux *rhizobia* le carbone résumant de sa photosynthèse. Au cours de la symbiose, un nouvel organe, le nodule, est formé sur les racines ou plus rarement sur les tiges où l'azote atmosphérique est fixé par les bactéries (NEHILA, 2016).

Le bon fonctionnement de la symbiose légumineuses-*Rhizobia* nécessite une coordination entre deux partenaires : la plante hôte (légumineuse ou macro-symbionte) et la bactérie (*rhizobia* ou micro-symbionte) (MOUAFEK, 2010)

2.1. Le micro- symbionte: les *Rhizobia*

2.1.1. Caractéristiques des *Rhizobia*

On désigne par *Rhizobia* ou bactéries nodulant les légumineuses, toute bactérie capable de former une symbiose se traduit par la formation sur les racines ou plus rarement sur les tiges ou les feuilles d'une légumineuse, d'un organe particulier (le nodule ou nodosité) (Fig. 4) capable de fixer ou de réduire l'azote moléculaire (LEBBIDA, 2009).



Figure 4. Les nodules d'arachide « originale ».

2.1.1.1. Caractères morphologiques

Les *Rhizobia* sont des bactéries Gram négatifs, non sporulantes, on distingue deux formes ;

- **La forme végétative** : les bactéries sont mobiles par un seul flagelle polaire ou par deux à six flagelles et apparaissent sous forme de bâtonnets réguliers de 0,5 à 0,9 μm de largeur sur 1,2 à 3 μm de longueur. Pour les *rhizobia* à croissance rapide, les cellules sont mobiles par 2-6 flagelles. Celles à croissance lente sont mobiles par un seul flagelle polaire ou un flagelle subpolaire (SOMASEGARAN et HOBEN, 1994).

-**La forme bactéroïde**: à l'intérieur des cellules du cortex racinaire, les *rhizobia* se transforment en bactéroïdes de forme branchée, sphérique ou en massue (PERRY et al., 2004). Il existe des bactéroïdes réguliers et des bactéroïdes irréguliers. Chez les groupes *Rhizobium trifoli*, *Rhizobium meliloti* et *Rhizobium leguminosarium*, les individus sont irréguliers et ont une taille à peu près dix fois plus grande que ceux de la forme végétative (SOMASEGARAN et HOBEN, 1994).

2.1.1.2. Caractères biochimiques

Les *Rhizobia* sont des bactéries chimio-organotrophes ; ils utilisent des carbohydrates relativement simples comme le glucose, le mannitol, le saccharose et des composés aminés. Certaines espèces exigent des vitamines pour leurs croissances. Les *Rhizobia* à croissance rapide peuvent croître dans une large gamme de carbohydrates, mais ils ont une croissance meilleure dans le glucose, le mannitol ou le saccharose. La majorité des souches à croissance lente préfère le pentose (SOMASEGARAN et HOBEN, 1994). Les *rhizobia* n'assimilent pas l'azote en dehors de la plante et ont besoin d'une source d'azote ammoniacale ou aminé pour se développer à l'état libre (PELMONT, 1995).

2.1.1.3. Caractères physiologiques

Le *Rhizobia* est un micro-organisme aérobie ou micro-aérophile et peut se contenter d'une faible tension en oxygène (pression de 0,01 atm). Le pH optimum de la croissance se situe entre 6 et 7, plus exactement 6,8, mais certaines souches tolèrent un milieu acide (pH = 4) comme *Rhizobium japonicum*. La température idéale se situe entre 25-30°C (SOMASEGARAN et HOBEN, 1994).

2.1.1.4. Caractères cultureux

Le Yeast Mannitol Agar (YMA) est un des milieux solides les plus utilisés pour la culture de *rhizobia* (MOURADI, 2012). Sur ce milieu les colonies apparaissent sous forme circulaire, blanche, opaque ou laiteuses, humides, translucides, elles peuvent être brillantes. Les colonies jaunes sont pâles rencontrées surtout dans les cultures âgées (SOMASEGARAN et HOBEN, 1994).

Il est admis que seules les bactéries correspondant aux bactéries non différenciées en bactéroïdes sont capables de pousser sur boîte de Pétri (MOURADI, 2012).

2.1.2. Classification de *Rhizobia*

Pendant longtemps, les propriétés symbiotiques sont restées la seule base de la caractérisation des *rhizobia* mais actuellement l'on a complété l'étude classique des caractères phénotypiques par celle de la structure génomique. La classification moderne est basée sur l'approche poly-phasique, c'est à dire sur l'analyse génétique (Séquence de l'ADNr, homologie ADN / ADN) ainsi que sur l'analyse numérique afin de décrire toute nouvelle espèce de *rhizobia*(RAMDANE et BOUKARANA, 2016).

Le tableau 1 tente simplement de refléter l'état des connaissances actuelles sur la taxonomie des bactéries nodulant les légumineuses et fixatrices d'azote symbiotique des légumineuses; mais celle-ci est très probablement appelée à être modifiée à l'avenir.

Tableau 1. Classification des bactéries nodulant les légumineuses.

Genre	Espèce	Plante- hôte
<i>Rhizobium</i>	<i>R. leguminosarum</i>	
	biovar <i>viciae</i>	<i>Pisumsativum</i> , <i>Vicia</i> <i>Lathyrus</i> , <i>Lens</i>
	biovar <i>trifolii</i>	<i>Trifolium pratense</i>
	biovar <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolusvulgaris</i> L
	<i>R. tropici</i>	
	TypeII A	<i>P. vulgaris</i> L., <i>Leucaena</i>
	Type II B	<i>P. vulgaris</i> L., <i>Leucaena</i>
	<i>R. etli</i>	
	biovar <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolusvulgaris</i> , <i>Leuceana</i>
	biovar <i>mimosae</i>	<i>Mimosa affinis</i>
	<i>R. hainanense</i>	<i>Desmodiumsinuatum</i> et autres plantes de région arides
	<i>R. gallicum</i>	
	biovar <i>gallicum</i>	<i>Phaseolusvulgaris</i> L.
	biovar <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
	<i>R mongolense</i>	<i>Medicagoruthenica</i>
	<i>R. galegae</i>	
	biovar <i>orientalis</i>	<i>Galegaorientalis</i>
	biovar <i>officinalis</i>	<i>Galegaofficinalis</i>
	<i>R. giardinii</i>	
	biovar <i>giardinii</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> L
biovar <i>phaseoli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	
<i>R. huautlense</i>	<i>Sesbaniaherbacea</i>	
<i>R. indigoferae</i>	<i>Indigofera</i>	
<i>R sullae</i>	<i>Hedysaumcoronarium</i>	
<i>R. loessense</i>	<i>Astragalus</i> , <i>Lespedeza</i>	

	<i>R. yanglingense</i> <i>R. daejeonense</i> <i>R. cellulolyticum</i>	<i>Coronilla, Amphicarpea,</i> <i>Gueldenstaedtia</i> Bioreactor Nod+ on <i>Medicagosativa</i>
<i>Sinorhizobium</i>	<i>S. meliloti</i> biovar <i>meliloti</i> biovar <i>acaciae</i> biovar <i>medicaginis</i> <i>S. fredii</i> chemovar <i>fredii</i> chemovar <i>siensis</i> <i>Sinorhizobium xinjiangense</i> <i>S. sahelense</i> biovar <i>acaciae</i> biovar <i>sesbaniae</i> <i>S. terangaie</i> biovar <i>acaciae</i> Biovar <i>sesbaniae</i> <i>S. medicae</i> <i>S. Kostense</i> <i>S. morelense</i> <i>S. americanum</i> <i>S. arboris</i> <i>S. Kummerowiae</i> <i>S. adhaerens</i>	<i>Medicago, Melilotus, Trigonella</i> <i>M. Lasciniata, M. Sauvagei</i> <i>Glycine max</i> <i>Glycine max</i> <i>Glycine max</i> <i>Sesbaniaspp</i> <i>Acacia spp</i> <i>Sesbaniaspp</i> <i>Acacia spp</i> <i>Sesbaniaspp</i> <i>Medicagospp</i> <i>Acacia, Prosopis</i> <i>Leucaenaleucocephala</i> <i>Acacia</i> <i>Acacia, Prosopis</i> <i>Kummerowia stipulacea</i> <i>Sesbania, Medicago</i>
<i>Allorhizobium</i>	<i>A. undicola</i>	<i>Neptunianatans</i>
<i>Mesorhizobium</i>	<i>M. loti</i> <i>M. huakuii</i> biovar <i>loti</i> <i>M. ciceri</i> <i>M. tianshanense</i> <i>M. mediterraneum</i> <i>M. plurifarum</i>	<i>Lotus corniculatus</i> <i>Astragalus sinicus, Acacia spp</i> <i>Cicer arietinum</i> <i>Glycyrrhiza pallidiflora</i> et autres plantes tropicales <i>Cicer arietinum</i> <i>Acacia, Prosopis</i>

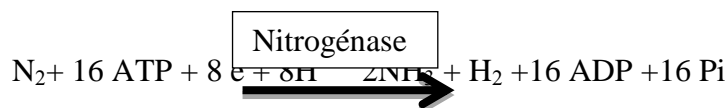
	<i>M. amorphae</i> <i>M. chacoense</i> <i>M. temperatum</i> <i>M. septentrionale</i> <i>M. thioanganeticum</i> <i>M. albiziae</i>	<i>Amorpha fruticosa</i> <i>Prosopis alba</i> <i>Astragalus adsurgens</i> <i>Astragalus adsurgens</i> soil (India, Clitoriaternatea) <i>Albziakalkora</i>
<i>Phyllobacterium</i>	<i>P. trifolii</i>	<i>Trifolium pratense</i>
<i>Methylobacterium</i>	<i>M. nodulans</i>	<i>Crotalariaspp</i>
<i>Ochrobactrum</i> sp.	<i>Ochrobactrum</i> sp. <i>Ochrobactrum</i> lupini	<i>Acacia mangium</i> <i>Lupinus</i> albus
<i>Azorhizobium</i>	<i>A. caulinodans</i> <i>A. johannense</i> <i>Azorhizobium</i> sp	<i>Sesbania rostrata</i> <i>Sesbania rostrata</i> <i>Sesbania virgata</i> <i>Sesbania rostrata</i>
<i>Devosia</i>	<i>Devosianeptuniae</i>	<i>Neptunianatans</i>
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>B. japonicum</i> biovargenistearum biovarglycinearum <i>B. elkanii</i> <i>B. liaoningense</i> biovarglycinearum <i>B. yuanmingense</i> <i>B. betae</i> <i>B. canariense</i> biovargenistearum biovarglycinearum <i>Bradyrhizobium</i> sp	<i>Glycine max. Glycine soja</i> <i>Glycine max</i> <i>Glycine max, Glycine soja</i> <i>Lespedezaspp</i> <i>Bata vulgaris</i> <i>Genistee et Loteae</i> <i>Vigna, Lupinus, Mimosa,</i> <i>Acacia, Aeschynomene</i>

(SAOUDI, 2008)

2.2. Etablissement de la symbiose légumineuses-Rhizobia

Les bactéries de la famille rhizobiacées peuvent infecter les racines des légumineuses entraînant la formation de structures appelées nodosités ou nodules. Par ces nodules, la plante hôte offre un micro habitat exceptionnellement favorable à la bactérie tout en lui procurant des substrats carbonés provenant de la photosynthèse. Le processus de la fixation, lui-même, consiste en la réduction de l'azote atmosphérique N₂ sous forme ammoniacale. Cette réaction est catalysée par un

complexe enzymatique appelé nitrogénase d'origine bactérienne, cette association à bénéfice réciproque entre la légumineuse et les bactéries appelée symbiose fixatrice de l'azote atmosphérique (LATATI, 2012).



2.2.1. Processus de nodulation

La formation de nodosité se déroule en une séquence d'évènements dont les étapes les plus importantes sont (Fig. 5) :

2.2.1.1. Phase de Pré-infection

L'interaction entre la plante et la bactérie commence dans la rhizosphère, la croissance des bactéries s'effectue d'une manière sélective par la plante. En effet, les rhizobiasont attirés vers les poils absorbants des racines par une large gamme de substances de types flavonoïdes et isoflavonoïdes, principalement par les phénylpropanoïdes exsudés par la racine. D'ailleurs, en milieu pauvre en azote qu'une production est plus importante. Ainsi, les flavonoïdes présents dans les exsudats racinaires engendrent l'expression des gènes *nod*bactériennes qui va produire par conséquent des facteurs Nod. Et ces facteurs Nod induisent des évènements morphologiques, physiologiques et moléculaires chez la plante hôte et la déformation du poil racinaire se poursuit (TOMBOZARA, 2014).

2.2.1.2. Phase d'Infection

L'infection des racines pourrait avoir lieu à travers les poils absorbants ou des blessures, ou à travers l'espace intercellulaire .Au cours de l'infection, la pénétration de la bactérie est facilitée par la courbure du poil racinaire et par conséquent la bactérie est entourée par la paroi végétale dans une zone confinée. La croissance des nodosités se poursuit dans les régions infectées de l'écorce et du péricycle, jusqu'à ce que ces deux masses de cellules fusionnent et forment la nodosité (ELFERIHA, 2010).

2.2.1.3. Phase de fonctionnement ou maturité des nodules

Les nodosités se forment par multiplication des cellules infectées. Les *rhizobiums* prennent la forme bactéroïde, entourés par une membrane pér bactéroidienne après leur libération du cordon d'infection. La membrane pér bactéroidienne a pour rôle la stabilité du système hôte/symbiose ; si elle est endommagée, les bactéries vont se libérer dans le cytoplasme et considérées comme des corps étrangers et donc détruites par la cellule hôte (BENSELMA, 2015).

2.2.1.4. Phase de dégénérescence

L'étape finale dans le processus d'infection se déroule lors de la lyse des bactéroïdes et de la libération des bactéries dans le sol (BENSELMA, 2015).

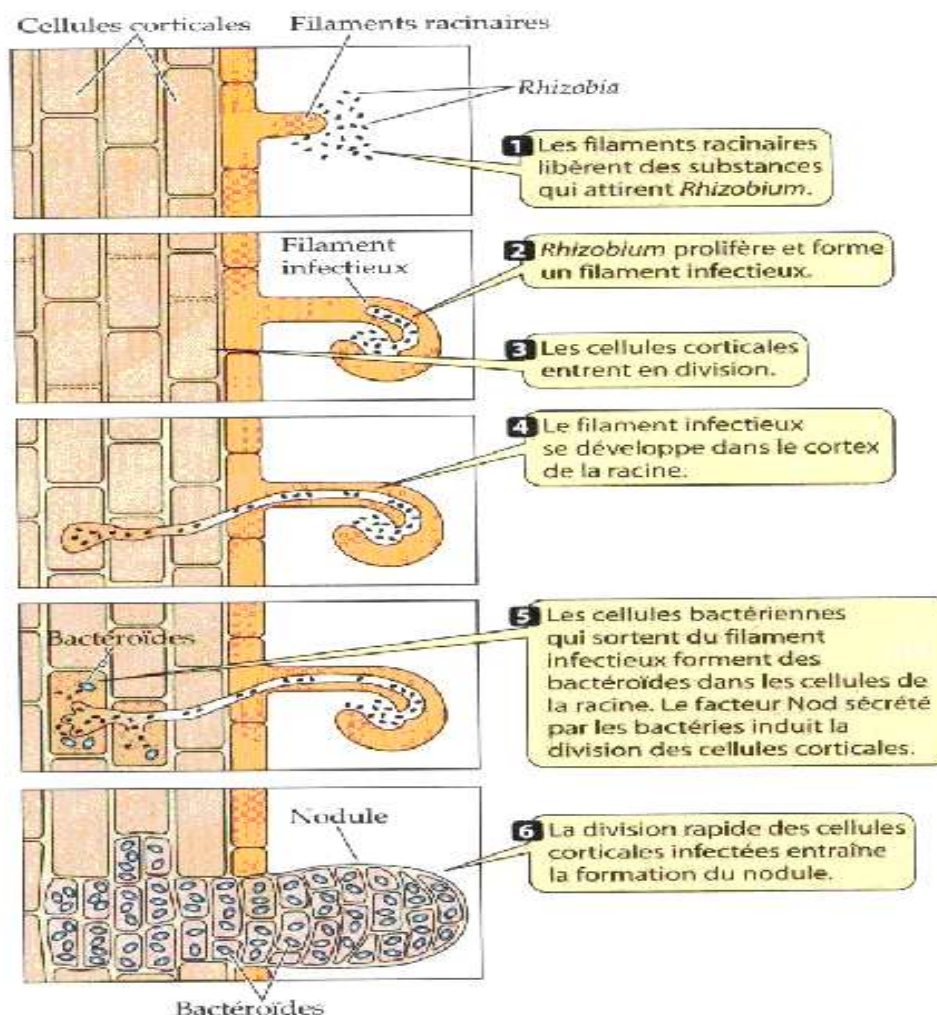


Figure 5. Développement des nodules sur les racines dans un cas de symbiose entre *Rhizobium* et une plante (GRAMA, 2008).

2.2.2. Structure et morphologie des nodules

On distingue deux types de nodules : les nodules indéterminés, qui comportent un méristème nodulaire persistant, et les nodules déterminés, chez lesquels ce méristème n'existe pas (par méristème on entend qui de perpétue tel quel et non simplement un ensemble de cellules qui se divise activement pendant un certain temps pour se différencier ultérieurement) (Fig. 6) (RAMDANE et BOUKARANA, 2016).

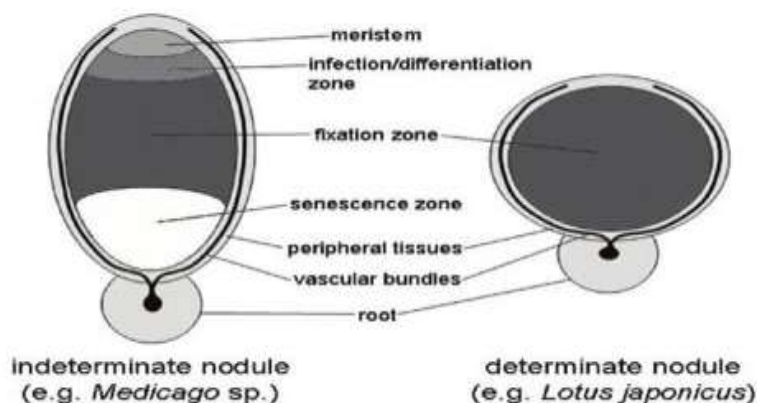


Figure 6. Architecture de nodule déterminé et indéterminé (RAMDANE et BOUKARANA, 2016).

Tableau 2. Les principales différences entre les types de nodule indéterminé et déterminé.

Type de nodosité	Indéterminée	Déterminée
Site de divisions cellulaires initiales	Cortex racinaire intérieur à côté du pôle de xylème	Externe ou au milieu, le cortex à côté du pôle xylème
Type de méristème	méristème Persistante	Aucun méristème persistant
Forme de nodule	Cylindrique / ramifié	Sphérique
Fil de l'infection	Large	Étroit
Les cellules infectées	hautement vacuolé	vacuolisation Minimal
Région géographique d'origine végétale	Les régions tempérées	Subtropicale et tropicale
Exemples	<i>Medicago, clover</i> et <i>pea</i>	<i>Soybean, bean, Pongamiapinnata, et Lotus</i>

(RAMDANE et BOUKARANA, 2016)

2.3. Le macro-symbionte : l'arachide

2.3.1. Origine

L'arachide est une plante tropicale originaire d'Amérique du Sud. Le centre d'origine se situe à l'est des Andes dans une région comprise entre le sud-est de la Bolivie, le nord-ouest de l'Argentine, le nord du Paraguay et la région ouest du Matto Grosso au Brésil. La région du Matto Grosso au Brésil représente un point chaud de diversité dans lequel on retrouve la plupart des espèces sauvages du genre *Arachis*. L'espèce cultivée (*A. hypogaea* L.) a été probablement

domestiquée sur le versant oriental des Andes entre le sud de la Bolivie et le nord de l'Argentine car c'est dans cette zone que l'on retrouve ses plus probables progénitures. L'Afrique de l'Ouest et l'Asie du Sud-Est ont été décrites comme les deux centres secondaires de diversité de l'arachide cultivée. Le transfert de la plante en Afrique de l'Ouest s'est fait à partir des côtes brésiliennes par les navigateurs portugais et en Asie du Sud-est à partir des côtes péruviennes par les navigateurs espagnols. La diversité observée dans ces centres secondaires semble résulter des effets combinés de l'hybridation naturelle entre les différents types botaniques et de la sélection (**FONCEKA, 2010**).

2.3.2. Description

L'arachide est une légumineuse herbacée annuelle à fleurs jaunes de 30 à 70 cm de hauteur. C'est une plante autogame, mais elle a un taux moyen d'allogamie qui varie de 0,20 à 5% (**SCHILLING *et al.*, 1996**). Elle est rustique et résistante à la sécheresse avec un besoin en eau de 400 mm pour un cycle de 90 jours (**THIAW, 2008**).

2.3.2.1. Ports et tige

L'arachide cultivée présente pour certaines variétés un port érigé ou un port rampant pour d'autres. La tige principale et les ramifications primaires peuvent avoir de 0,20 à 0,70 m de long, selon les variétés et les conditions du milieu. Les ramifications sont toujours herbacées de couleur vert clair, vert sombre ou plus ou moins pourpre (**GILLIER, 1969**).

2.3.2.2. Les racines

Le système racinaire, est formé d'un pivot central qui peut s'enfoncer à plus de 1 m dans des sols cultivés et des racines latérales qui naissent à diverses hauteurs sur ce pivot, se ramifient pour constituer un chevelu dense. L'hypocotyle et les ramifications aériennes au contact du sol donnent naissance à des racines adventives. Les racines de l'arachide portent des nodules dus à l'association symbiotique de la plante et des bactéries fixatrices d'azote. Ces nodules apparaissent environ 15 jours après levée (**MIHINDOU, 2000**).

2.3.2.3. Les feuilles

Les feuilles de l'arachide sont pincées avec deux paires de folioles portées par un pétiole de 4 à 9 cm de long environ. Les folioles sont subsessiles ou opposées de forme plus ou moins elliptique, de couleur verte plus ou moins foncée plus ou moins jaune selon les variétés. Les pétioles sont enserrés à leur base par deux stipules larges, longues et lancéolées, les variations de

l'organisation foliaire donnent occasionnellement des feuilles à cinq, trois, deux ou une foliole (Fig. 7) (GILLIER, 1969).



Figure 7. Représentation des feuilles d'arachide « originale ».

2.3.2.4. Fleurs et inflorescences :

Les inflorescences de l'arachide prennent naissance sur les rameaux végétatifs, à l'aisselle d'une feuille complète ou rudimentaire et comportent à chacun de leur nœud une feuille rudimentaire. Les fleurs sont jaunes, papilionacées et sessiles (Fig. 8). L'arachide possède deux sortes de fleurs: les fleurs aériennes et les fleurs souterraines (MIHINDOU, 2000).

a) Les fleurs aériennes

Elles sont ainsi constituées de:

- **le calice** : constituée de 5 sépales vert clair dont 4 sont soudés et un libre. Les sépales se prolongent à leur base en un pédoncule floral.
- **La corolle** : qui est composée d'un étendard jaune citron et deux ailes en coquilles jaune citron.
- **L'androcée**: constituée de 8 étamines dont 4 ont une anthère sphérique et 4 une anthère allongée à déhiscence longitudinale.
- **Le gynécée** : comprend un ovaire à un seul carpelle, un style fin et très long et des stigmates plumeux (AGUIEB et MESSAI BELGACEM, 2015).

b) Les fleurs souterraines

Ces fleurs existent chez toutes les variétés d'arachide mais elles sont exceptionnelles chez les arachides tardives (3 à 4 % pieds seulement).Elle sont fréquentes chez variétés hâtives et se rencontrent sur 99% des plantes (MIHINDOU, 2000).



Figure 8. Les fleurs d'arachide (FONCEKA, 2010).

2.3.2.5. Fruit

Après fécondation, la fleur se fane et la base de l'ovaire s'allonge pour former un long pédoncule appelé gynophore qui s'enfonce dans le sol ou se forme un fruit appelé coque composé d'une gousse qui contient une à cinq graines. La coque ou péricarpe comprend un exocarpe, un mésocarpe sclérenchymateux et un endocarpe parenchymateux. Les graines sont de dimensions, de formes et de couleurs variées selon les variétés; leurs poids peuvent varier entre 0,2 et 2 g.

La forme peut être sphérique, elliptique ou plus ou moins allongée avec une partie souvent aplatie dans la zone de contact avec la graine voisine, la couleur de tégument séminale est blanche, rose, rouge ou violacée (ABDOUL HABOU, 2003). Ce sont des gosses ovoïdes ou cylindriques longues de 1 à 8 cm et large de 0,5 à 2 cm. Les gosses sont groupées à la base du pied pour les variétés à port érigé, ou réparties le long des rameaux pour les variétés rampantes (AGUIEB et MESSAI BELGACEM, 2015).



Figure 9. Gosses d'arachide « originale ».



Figure 10. Représentation d'une plante d'arachide (AGUIEB et MESSAI BELGACEM, 2015).

1 : feuille composée de 4 folioles, 2 : fleur, 3 : hypanthe, 4 : gynophore, 5 : gousses, 6 : bec de la gousses, 7 : constriction ; 8 : tégument de la graine, 9 : graine sans tégument, 10 : cotylédon portant l'hypocotyle, l'épicotyle et la radicule (FONCEKA, 2010).

2.3.3. Classification

L'arachide de nom scientifique *Arachis hypogaea* appartient à la famille des Papilionacées (Fabaceae), au groupe des *Aeschynomeneae* et sous-groupe des *Stylosanthinae*. Elle a été décrite par Linné en 1753. Au sein de l'espèce, on reconnaît deux sous-espèces (SCHILLING et al., 1996). *A. hypogaeahypogaea* et *A. hypogaeafastigiata*, chacune étant subdivisée en deux variétés botaniques, *hypogaea* et *hirsute*, pour la première, *fastigiata* et *vulgaris*, pour la seconde (CHARRIER et al., 1997).

On distingue plusieurs types variétaux, principalement sur la base de leur système de ramification, fréquence des ramifications d'ordre élevé et disposition relative des rameaux végétatifs et des rameaux reproducteurs. A ainsi défini deux groupes : l'un à ramification séquentielle, l'autre à ramification alternée. Dans le type séquentiel, les inflorescences apparaissent à plusieurs nœuds successifs des ramifications. Les arachides de ce type sont toujours érigées, généralement peu ramifiées (4 à 5 rameaux d'ordre 1) et de cycle court (80 à 100 jours). C'est le groupe des Valencia et des Spanish.

Dans le type alterné, on observe des successions de 2 rameaux végétatifs et de 2 rameaux reproducteurs. Le port peut être rampant ou érigé mais, dans ce dernier cas, la ramification plus abondante donne un aspect buissonnant à la plante. C'est le groupe des Virginia, caractérisé par un cycle plus long (120 à 150 jours). Ces différents types cultivés Virginia, Spanish et Valencias'inscrivent aisément dans la classification de l'espèce (Tab. 3) (CHARRIER et al., 1997).

Tableau 3. Classification de l'arachide (*Arachis hypogaea*.L).

Espèce	<i>Hypogaea</i>			
Sous-espèces	<i>Hypogaea</i>		<i>Fastigiata</i>	
Variétés	<i>Hypogaea</i>	<i>hirsuta</i>	<i>Fastigiata</i>	<i>Vulgaris</i>
Type botanique	Virginia	Peruvian	Spanish	Valencia
Ramification	Alternée	Alternée	Séquentiele	Séquentiele
Port	Erigé/rampant	rampant	Erigé	Erigé
Nombre de graines par gousses	2 à 3	2 à 4	3 à 5	2

(CHARRIER et al., 1997)

2.3.4. Ecologie d'arachide

En fait l'extension de cette culture se trouve conditionnée par les besoins importants des plantes en eau et en température. Des pluviométries annuelles de 400 à 1200 mm et des températures moyennes situées entre 24 et 33°C. Seraient les conditions optimales les plus couramment citées. En deçà de 15°C et au-delà de 45°C la culture paraît devenir totalement impossible, les germinations se trouvent en effet complètement inhibées. En réalité les exigences de la plante se modulent différemment selon les divers stades de son développement phénologique. Les germinations puis la croissance des pieds d'arachide demandent des températures moyennes assez élevées. L'eau devient ensuite le facteur essentiel et sa présence dans le milieu en quantités suffisantes, conditionne impérativement la réalisation dans de bonnes conditions de la floraison puis de la fructification. Par contre la maturation des gousses ne peut se faire parfaitement que dans un sol relativement sec (POLLET, 1995).

2.3.5. Le cycle de vie d'arachide

2.3.5.1. Phase végétative

a) Phase de germination

La graine gonfle. Dès qu'elle se trouve en contact avec l'humidité 24 à 48 heures après sa mise dans le sol, la racine apparaît 5 à 6 jours après le semis, la graine arrive au niveau de la surface du sol et les cotylédons s'ouvrent. La germination est hypogée.

La germination se déroule en plusieurs étapes : absorption d'eau, activation des enzymes, croissance de l'embryon, rupture de la testa, allongement et émergence de la racine, croissance du bourgeon terminal et de l'axe embryonnaire (AGUIEB et MESSAI BELGACEM, 2015).

b) Phase de croissance

La tige principale commence par croître lentement. Lorsqu'elle atteint 2 à 3 cm de long, les deux rameaux cotylédonaires apparaissent à la base. Un peu plus tard, deux autres rameaux apparaissent en croix par rapport aux précédents. Les premières nodosités apparaissent sur les racines 3 semaines environ après la germination. Les cotylédons persistent très longtemps et se présentent comme deux petits moignons ridés. Les courbes de croissance présentent deux points intéressants où elles changent de pente. Un premier point correspondant à l'apparition des premières fleurs et un second se situe au moment où les plantes portent de nombreux gynophores (GILLIER, 1969).

2.3.5.2. Phase de floraison

Elle commence en général de 20 à 40 jours après la levée. Elle peut se prolonger durant 2 à 3 mois. Cette durée dépend beaucoup de l'humidité du sol. La phase de floraison utile, c'est-à-dire la durée d'émission des fleurs qui donneront de gousses mûres, durée de 15 à 20 jours en moyenne. La quantité de fleurs donnant naissance à des gynophores et à des fruits est variable dans le temps ; ce sont en général les fleurs formées durant les deux ou trois premières semaines de floraison qui sont les plus utilisées pour former les gynophores. Une forte humidité permet la pénétration du gynophores dans le sol et stimule la fructification (**ABDOUL HABOU, 2003**).

2.3.5.3. Phase de fructification

La fécondation et le développement du fruit limitent la floraison. Une semaine après fécondation, l'ovaire s'allonge et forme le gynophore qui pénètre dans le sol une dizaine de jours plus tard (**MIHINDOU, 2000**).

L'arachide est une plante strictement autogame ; ce comportement est dû à la fécondation nocturne et le non ouverture des fleurs avant fécondation (cléistogamie) ; mais l'allogamie n'est pas nulle (0,24 à 6,6% selon les variétés). Une forte humidité permet la pénétration du gynophores dans le sol et stimule la fructification (**GILLIER, 1969**).

2.3.5.4. Cycle végétatif et maturité

Le cycle végétatif de l'arachide est fortement influencé par la température. Dans les conditions écologiques qui permettent les plus courtes durées de végétation, caractérisées par des températures uniformes voisines de 30°C, le cycle se décompose de la façon suivante dans le tableau 4 (**DOIKH, 2001**).

Tableau 4. Décomposition de la durée du cycle végétatif de l'arachide en fonction des principales phases et du type de variété.

Stades de développement	Variétés hâtives	Variétés tardives
Semis- levée	4 – 5 jours	4 – 5 jours
Levée- première fleur	15 – 20 jours	18 – 25 jours
Floraison utile	20 – 25 jours	30 – 40 jours
Durée de maturation	40 – 45 jours	54 – 55 jours

(**DOIKH, 2001**)

Les divers critères de maturité : apparition de taches brunes à l'intérieur des coques, poids maximal d'huile, et poids maximal de matière sèche dans les graines sont atteints presque

simultanément chez les variétés hâtives et successivement chez les variétés tardives (**DOIKH, 2001**).

2.3.6. Production de l'arachide

2.3.6.1. Dans le monde

La production mondiale d'arachide non décortiquées (en coque) a dépassé 34 millions de tonnes en 2007. Elle a connu une progression remarquable ces dernières années. Elle est dominée par huit pays qui couvrent à eux seuls 83% de la production mondiale. La chine vient en première position et fournit 38% de cette production. Elle dédie à cette culture plus de 5 millions d'hectares. L'inde vient en deuxième position et contribue pour 19 %, avec une superficie de plus de 6 millions d'hectares.

Le Nigeria, USA, Indonésie, Myanmar, Argentine, (Ghana, Soudan, Sénégal, Tchad, Vietnam) viennent ensuite et contribuent respectivement avec 11%, 5%, 4%, 3%, 2%, (1%), à la production mondiale (Tab. 5) (**AMRI TILIOUINE, 2008**).

Tableau 5. Production mondiale d'arachide non décortique pour la période (2006-2007).

Pays	Production en tonnes 2006	Production mondiale %	Production en tonnes 2007	Production mondiale %
Chine	14737561	43 %	13090000	38 %
Inde	4909000	14 %	6600000	19 %
Nigeria	3825000	11%	3835600	11%
Usa	1575980	5%	1696728	5%
Indonésie	1470000	4%	1475000	4%
Myanmar	910000	3%	1000000	3%
argentine	496176	1%	714286	2%
Ghana	520000	2%	440000	1%
Soudan	364000	1%	460000	1%
Sénégal	460481	1%	427093	1%
Tchad	450000	1%	450000	1%
Vietnam	464900	1%	490000	1%
Autres Pays	4288216	12%	4177300	12%
Totale	34471314	100%	34856007	100%

(**AMRI TILIOUINE, 2008**)

2.3.6.2. En Algérie

La culture de l'arachide en Algérie est menée durant la période estivale pratiquement dans toutes les régions d'Algérie. Ce sont essentiellement des variétés de bouche. Les surfaces dédiées à cette culture sont principalement localisées au Nord-Est (El-Tarf, Skikda), au Sud-Est dans les Oasis (Ghardaïa) et au Sud (Adrar, El-Oued) où la nature des sols et le régime thermique répondent le mieux aux exigences de l'arachide (MADR, 2010).

Selon les statistiques du MADR (Tab. 6), on constate que la production d'arachide est en fluctuations continue d'une année à une autre. A partir de l'année 2005, la production a subi une diminution nette, due à un rétrécissement presque de moitié des superficies réservées à cette culture par rapport aux autres années. Alors que le rendement dépasse toujours les 10 quintaux par hectare.

Tableau 6. Production des arachides en Algérie (1995-2009).

Année	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
1995	2260	30930	13,7
1996	2880	30780	10,7
1997	2290	23830	10
1998	3380	41350	12,2
1999	4260	47490	11,1
2000	4020	38940	9,7
2001	4250	46210	11
2002	3750	46160	12,3
2003	3380	38420	11,4
2004	4081	42690	10,4
2005	2837	33040	11,6
2006	2718	29950	11
2007	2683	33190	12,4
2008	2840	32222	11,3
2009	2574	30570	11,9

(MADR, 2010)

3. Effet de la disponibilité de phosphore sur l'association symbiotique

Le déficit en phosphore influence l'activité des *Rhizobia* voir l'efficacité de la symbiose, plusieurs études ont montré que la biomasse des racines et des nodules était inférieure dans les

cultures sous déficience en phosphore. La biomasse nodulaire est fortement corrélée à la disponibilité du P chez le trèfle, ainsi que plusieurs auteurs ont montrés que les nodules contiennent une teneur élevée de phosphore par rapport aux parties aériennes.

La disponibilité du P dans le sol et surtout sa mobilisation par la plante a un effet direct sur la fixation de l'azote atmosphérique tandis que l'effet de la carence en P sur la fixation de N₂ est indirect, cela peut être expliqué par la réduction de la croissance de la plante. En effet, des études ont montré que le taux de l'azote fixé est significativement augmenté sous suffisance en P ce qui laisse suggérer que cet élément exerce un rôle spécifique dans le fonctionnement des nodosités en limitant le développement et le taux de servie des *Rhizobia*, la formation des nodosités, et la croissance de la plante hôte (**MOURADI, 2012**).

Partie II

Matériel et Méthodes

1. Approche méthodologique

L'approche méthodologique choisie dans notre travail permet de caractériser les sols de culture d'arachide dans la région de Ghardaïa au niveau de la commune de Sebseb et comparer les paramètres physico-chimiques caractéristiques des sols rhizosphériques et non rhizosphériques tout en déduisant la variabilité intra-parcellaire du phosphore dans la rhizosphère d'un sol cultivé d'arachide (*Arachis hypogaea* L.).

2. Présentation de la région de Sebseb

La commune de Sebseb est située dans la Wilaya de Ghardaïa (Fig. 11) entre de 32° 9' 57 '21'' Nord, 3° 35' 01'22'' Est fait partie de la Daïra de Metlili, elle est située à 60 Km du chef-lieu et 660 Km d'Alger à 429 m d'altitude. S'étend du Nord au Sud sur 15 à 30 Km, et d'Est en Ouest sur environ 200 Km avec une superficie de 5640 Km² (6,55% du total Wilaya).

- La commune de Sebseb est limitée :
- Au Nord par la commune de Metlili Chaâmba (Wilaya de Ghardaïa).
- Au l'Est par la commune d'Aine El-Beida et la Wilaya d'Ouargla.
- Au Sud par la commune d'El Mansoura.
- A l'Ouest par la commune de Briséna et la Wilaya d'El-Bayad (**BEN SAHA, 2013**).

Les principales composantes du climat sont la température, les précipitations et l'évaporation. Ce sont d'ailleurs, les trois facteurs employés pour la détermination des indices climatiques. Le climat Saharien est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, la très forte évaporation et les grands écarts de températures (**HOUICHITI, 2009**).

Les indices climatiques déterminés par **YOUCEF (2003)**, montrent que la zone est caractérisée par un climat hyper aride et présente un caractère xérique, une continentalité pluviale et thermique, ce qui accentue l'aridité, et une durée d'évaporation de la tranche annuelle de pluie très courte. Ainsi, la classification bioclimatique de la station étudiée, suivant le climagramme d'EMBERGER, qui inclut le degré de fraîcheur hivernale, montre qu'il s'agit d'un climat Saharien à hiver tempéré.

Le territoire de Sebseb comprend trois parties géomorphologiquement différentes. Elles se disposent en bandes adjacentes de l'Ouest à l'Est. La Chebka occupe la partie centrale du territoire, sa marge Est c'est une Hamada, tandis qu'à l'Ouest on trouve une haute plaine (**HOUICHITI, 2009**).

La plaine de l'Ouest est un prolongement de la région septentrionale dite "zone des Dayas", zone steppique où le climat est intermédiaire entre celui du Sahara et celui du versant méridional de l'atlas (**PASSAGER, 1958**). Cette partie qui couvre environ 2.400 Km² (43 % de la circonscription) est parcourue par les vallées de deux oueds descendant du piémont de l'atlas saharien : Zergoune et Mehaiguen qui arrivent ici à leur extrémité. Cette région est une sorte de cuvette, réceptacle de toutes les eaux descendantes des monts des Ksours et du Djebel Amour (Aflou et Laghouat) (**CAUNNEILLE, 1968**).

La Chebkacouvre environ 1.440 Km² soit 1/4 de la surface communale. Elle est limitée à l'Ouest par la grande falaise du plateau d'Oum El Hassiane et se termine à l'Est, suivant un méridien qui peut être matérialisé par la route nationale N° 01. Cette partie est rocailleuse et présente un relief très déchiqueté par les ramifications abruptes des oueds (**PASSAGER, 1958**).

La hamadacouvre la partie Est du territoire, le terrain est vaste à ondulations douces et amples et présente une légère pente vers l'Est, direction vers laquelle tendent toutes les vallées collectrices de la Chebka, ici sans ramifications. La hamada s'étend sur environ 1.800 Km², soit 32 % de l'espace géographique de Sebseb.

La vallée de Sebseb est une formation qui appartient au quaternaire continental. Cette structure se présente sous forme de lits d'oueds, de dépressions et de dunes. Le plateau rocheux de la Chebka est la formation la plus ancienne, elle appartient au secondaire, représentée par le crétacé moyen (le turonien) et le crétacé supérieur marin (le sénonien) (**URBATIA, 1996**).

La hamada de l'Est et la plaine de l'Ouest sont formées de poudingues calcaires lacustres du pliocène continental (**URBATIA, 1996**).

Au niveau de la Chebka, on ne trouve que des roches calcaires ou dolomitiques, dont le sous-sol est riche en marnes. Les hamadas ne sont que de vastes étendues pierreuses. On ne rencontre du sol qu'au niveau des bas-fonds, daya ou lit d'oued suffisamment large, comme celui de Sebseb (**HOUICHITI, 2009**).

Dans cette vallée on retrouve 3 types d'horizons superficiels : sur l'axe de l'oued, la texture du sol se compose de sable grossier, les éléments fins sont périodiquement lessivés par le ruissellement des crues. Le côté sud est couvert d'une nappe de sable éolien, l'arène présente une profondeur qui varie de 10 cm à 1 m. C'est un sable plus ou moins vif selon son état d'humidité, sa couleur jaunâtre indique la dominance d'un faciès gypseux. Dans la rive nord, on rencontre un mélange compact de terre fine et de cailloux (reg) (**HOUICHITI, 2009**).

Le terrain présente une surface globalement plane, sauf dans les zones de ruissellement et auprès des obstacles et lieux favorables à l'accumulation du sable, comme les clôtures, les touffes de végétation spontanée, les pistes et les constructions (HOUICHITI, 2009).

L'horizon inférieur, a le plus souvent une texture fine et plus ou moins équilibrée, dite localement *Tkouri* (mélange de sable et d'éléments fins). Ce profil n'est pas totalement homogène, car il contient une succession de minces couches argilo-limoneuses. Dans les dépressions et lieux d'épandages des eaux de crue, l'horizon argileux est plus important; il mesure entre 30 cm et 1 m et prend une structure massive assez dure (HOUICHITI, 2009).

La profondeur totale du sol augmente des marges vers l'axe de la vallée, où elle est d'environ 7 m, après quoi la roche mère (*El safia*) apparaît, très peu altérée à sa surface (HOUICHITI, 2009).

Le climat et la géologie sont des facteurs déterminants pour les ressources hydriques, sur leur importance, leurs formes et leur mobilisation. L'eau mobilisée pour l'irrigation provient principalement de la nappe phréatique, exploitée par des puits traditionnels. Selon la surface de la parcelle, on réalise un ou deux puits. Ceci est valable pour les exploitations dotées de forages albiens, réalisés par les services agricoles (HOUICHITI, 2009).

Deux nappes différentes sont exploitées par la population de Sebseb, l'une depuis des siècles, la nappe phréatique, l'autre depuis des années, la nappe du continentalintercalaire, le grand réservoir du Sahara.

- La nappe phréatique

L'existence d'eaux souterraines dans la région du M'Zab, s'explique par la présence d'assises marneuses imperméables, de l'étage cénomanien, sous les calcaires turoniens de la Chebka (MOULIAS, 1927).

La nappe phréatique est alors, la principale source pour l'irrigation; ici chaque parcelle exploitée a son propre puit. D'ailleurs, vers cette règle tendent les périmètres munis de réseaux collectifs, alimentés par des forages albiens, établis par les autorités (HOUICHITI, 2009).

La profondeur de pompage des eaux de la nappe phréatique varie entre 15 et 25 mètres à partir de la surface du sol. Cette profondeur augmente chaque fois que l'on s'éloigne de l'ancienne oasis. Les puits de la nappe phréatique se trouvent également à l'extérieur de l'oasis. Ils sont nécessaires pour les nomades, et constituent des sources d'eau et des repères pour les terrains et les parcours (HOUICHITI, 2009).

- La nappe du continental intercalaire

En vue d'augmenter les disponibilités en eau pour les besoins agricoles et domestiques des habitants, 11 forages ont été réalisés dans la nappe albienne (**DJEKAOUA, 2006**). La profondeur de ces forages est la même (500 m), mais le débit varie de 22 à 60 litres par seconde. Pour amener l'eau à la surface, le pompage est nécessaire (**HOUICHITI, 2009**).

La culture d'arachide fait partie de la culture ancienne de la population de Sebseb. La population agricole dans sa presque totalité pratique cette culture, et se trouve au déliant des autres gammes de cultures (**FIHA KHIR, 2012**).

Les superficies exploitées par les arachides s'avèrent de plus en plus en progression. A titre d'exemple pour l'année 2015 à 2016 les valeurs sont 320 ha. La production moyenne en quintaux est de 6400qx (Tab.7), avec une qualité du produit très appréciée par le marché (**FIHA KHIR, 2012**).

Tableau 7. La production des arachides de la commune de Sebseb.

Année	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
(2010-2011)	300	6000	20
(2011-2012)	350	7000	20
(2012-2013)	320	6400	20
(2013-2014)	300	6000	20
(2014-2015)	300	6000	20
(2015-2016)	320	6400	20

(D.S.A, 2017)

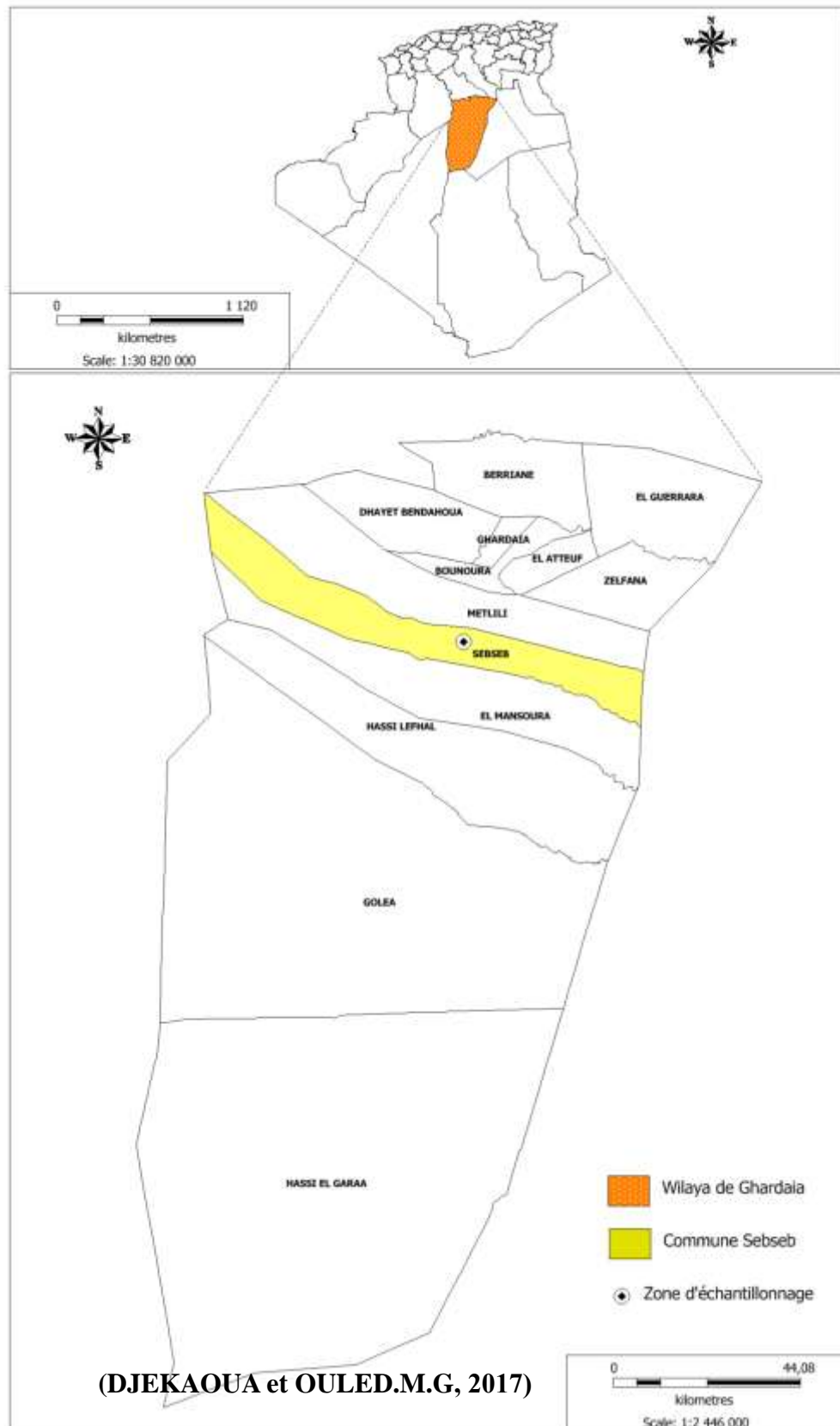


Figure 11. Carte de localisation de la zone d'étude(originaire,2017).

3. Choix du site d'étude

Nous avons sélectionné le site de Djedid situé à commune de Sebseb pour le déroulement de notre travail expérimental. Ce choix est basé sur les critères essentiellement d'ordre scientifique et économique, les plus importants sont les suivants :

- Le nombre important d'année de jachère, ce qui est recherché pour estimer l'évolution des paramètres étudiés.
- L'existence de l'exploitation agricole surtout la culture d'arachide est plus importante dans cette région.
- L'enrichissement de l'étude pédologique dans cette région.

4. Echantillonnage

Pour notre travail, nous avons adopté l'échantillonnage systématique qui est basé sur les types d'échantillons élémentaires et toutes les mesures déjà décrites en les associant. Les échantillons étant régulièrement espacés (GOUNOT, 1969).

Dans ce cas, nous avons choisi une parcelle présente des dimensions de 75 m × 155 m au niveau de l'amont d'oued Sebseb, la zone de Djedid.

4.1. Présentation de la zone d'échantillonnage

La situation du périmètre Djedid se trouve à 08 Km par rapport à la zone de Sebseb, et d'une superficie de 549 ha. Le sol sur lequel est implanté le périmètre est de nature sablo/limoneuse et argilo/limoneuse, au même titre que les autres périmètres de la région de Sebseb (FIHA KHIR, 2012).

Nous avons travaillé sur la parcelle de BOUAMER HOCINE (Fig. 12), est située à l'amont de l'oued Sebseb avec une superficie de 11625 m², L'exploitation de cette parcelle la première fois après dernière exploitation de 15 ans, que la culture de l'arachide a été utilisé comme un moyen de type d'irrigation goutte à goutte et l'irrigation centrale. Le semis a été réalisé 15/06/2016 et la récolte a été effectuée du 26/11/2016 jusqu'au 10/12/2016. Il est à noter qu'aucun apport d'intrant n'a été ajouté à la culture ni traitements phytosanitaires contre les champignons et les ravageurs de cette culture n'ont été effectués. Une enquête de nodulation a été réalisé juste avant la récolte met en évidence l'existence des nodules au niveau des racines des plants d'arachide. Les données climatiques caractéristiques de la période de culture sont représentées dans le tableau 8.



Figure 12. Parcelle étudiée « originale ».

Tableau 8. Données climatiques de Ghardaïa durant la période de culture.

Paramètre	T Min(C°)	T Max (C°)	T moye (C°)	H%	P (mm)	V moye (km/h)
Juin	24,4	38,2	31,9	20,3	0	14,5
Juillet	27,7	40,6	34,5	19,2	0	12,8
Août	27	38,9	33,1	24	0,76	12,7
Septembre	23,5	35,4	29,4	33,1	1,27	11,2
Octobre	18,9	31,1	24,8	36	2,03	12,4
Novembre	10,8	22,1	16,3	43,5	3,05	10
Décembre	8,2	16,9	12,3	63,4	2,79	14

(O.N.M. 2016)

H : Humidité relative T : Température P : Pluviométrie V : Vitesse moyenne de vent

4.2. Méthode de prélèvement des échantillons du sol

Le prélèvement du sol est effectué dans la parcelle le 25/11/2016. Le profil du sol est exploré en échantillonnant les deux types du sol. Pour deux échantillons du sol rhizosphérique et non rhizosphérique on estime 100 point de prélèvements (50 point sol rhizosphérique et 50 point sol non rhizosphérique).

Pour le sol rhizosphérique, nous avons donc pris 5 points pour largeur et 10 points de longueur de parcelle, nous avons procédé à un échantillonnage sur une maille régulière de 10 m x10 m en fonction de l'écartement entre les points. Nous avons fait une prise des 50 points dans le sol rhizosphérique tout en prenant les coordonnées de chaque point à l'aide d'un GPS (Magellan Meridian Gold). Les mêmes étapes ont été répétées pour le sol non rhizosphérique pour chaque plant d'arachide (Annexe. 1). La figure 13 montre la répartition spatiale des échantillons sur la parcelle étudiée.

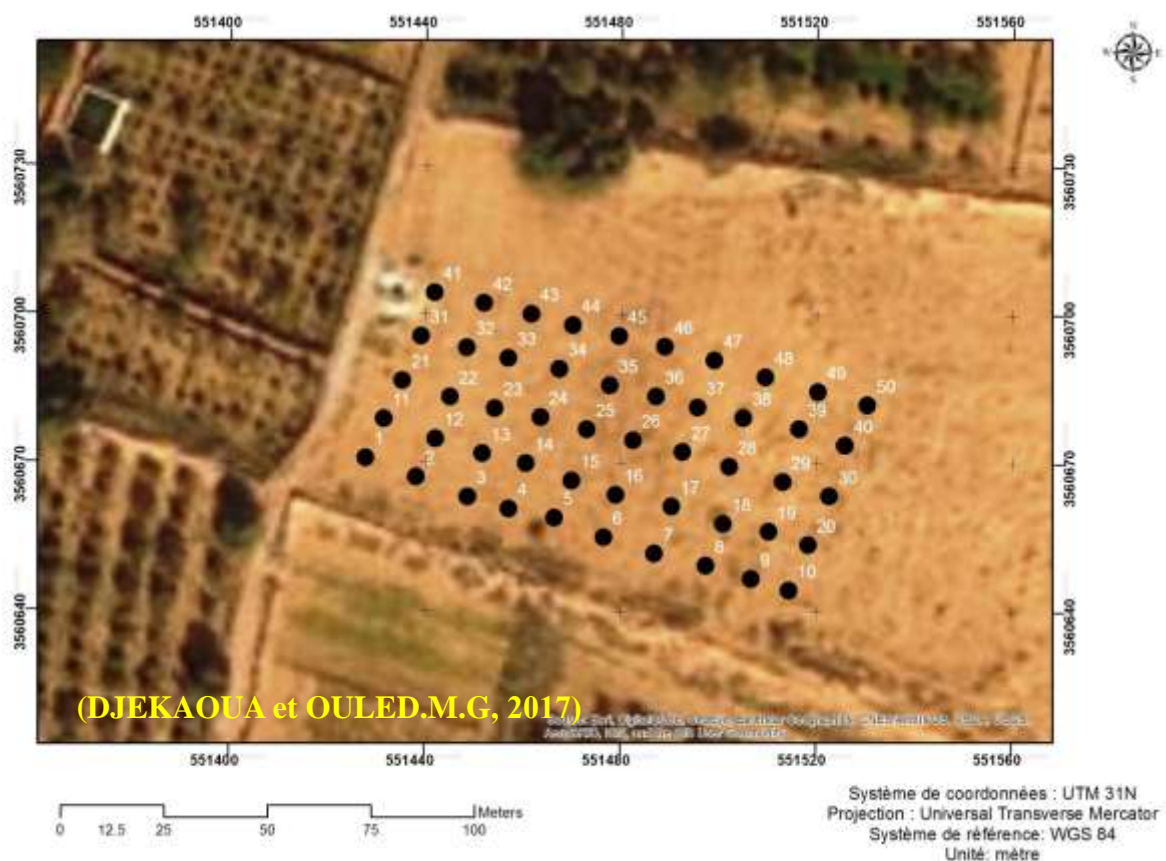


Figure 13. Carte de localisation géographique d'échantillonnage « originale ».

Les échantillons de sol prélevés sont conservés dans des sachets en plastiques, 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 Ca échangeable.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de géologie de l'Université de Ghardaïa.

5. Méthodes d'analyse

5.1. 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).

5.2. 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 (Annexe. 2) (MATHIEU et PIELTHAIN, 2003).

5.3. Calcium échangeable

Calcium échangeables s'effectue par complexométrie sur le filtrat récupéré lors de saturation du sol avec d'acétate d'ammonium, ajusté à pH=12. Le dosage de calcium échangeable a été effectué par la titration avec la solution d'EDTA (0.005 mol.L⁻¹) (Annexe. 2) (MATHIEU et PIELTHAIN, 2003).

6. 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 en utilisant le programme STATISTICA 10. Les formes de représentation graphique sous forme de boîte à moustache ont été aussi établies.

7. Cartographie et Krigeage

L'analyse géostatistique de la variabilité du pH, P et Ca des sols rhizosphérique et non rhizosphérique dans notre parcelle étudiée dans la région de Sebseb permet une caractérisation de l'état actuel de la répartition spatiale. Elle comprend deux étapes essentielles, l'étude variographique et l'interpolation par krigeage pour dessiner des cartes thématiques.

Les données géographiques ont fait l'objet une conversion du système de projection en utilisant l'application UTM Coordinate Converter en système UTM 31N (WGS 84).

UnKrigeage a été établi selon la méthode d'interpolation simple à l'aide du logiciel ArcGIS 10.1 (ESRI). Cela offre également la possibilité de mesurer la structure spatiale en ajustant le variogramme expérimental au modèle sphérique selon l'équation suivante :

$$Y(h) = C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right)$$

Avec :

C_0 : Effet de pépité

C : Palier

a : Portée

h : distance

Partie III

Résultats et Discussion

1. Etude de la variation des paramètres étudiés

1.1. Variation du pH dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques

Les résultats de mesures du pH dans les deux types de sol rhizosphérique et non rhizosphérique sont illustrés dans la figure (14).

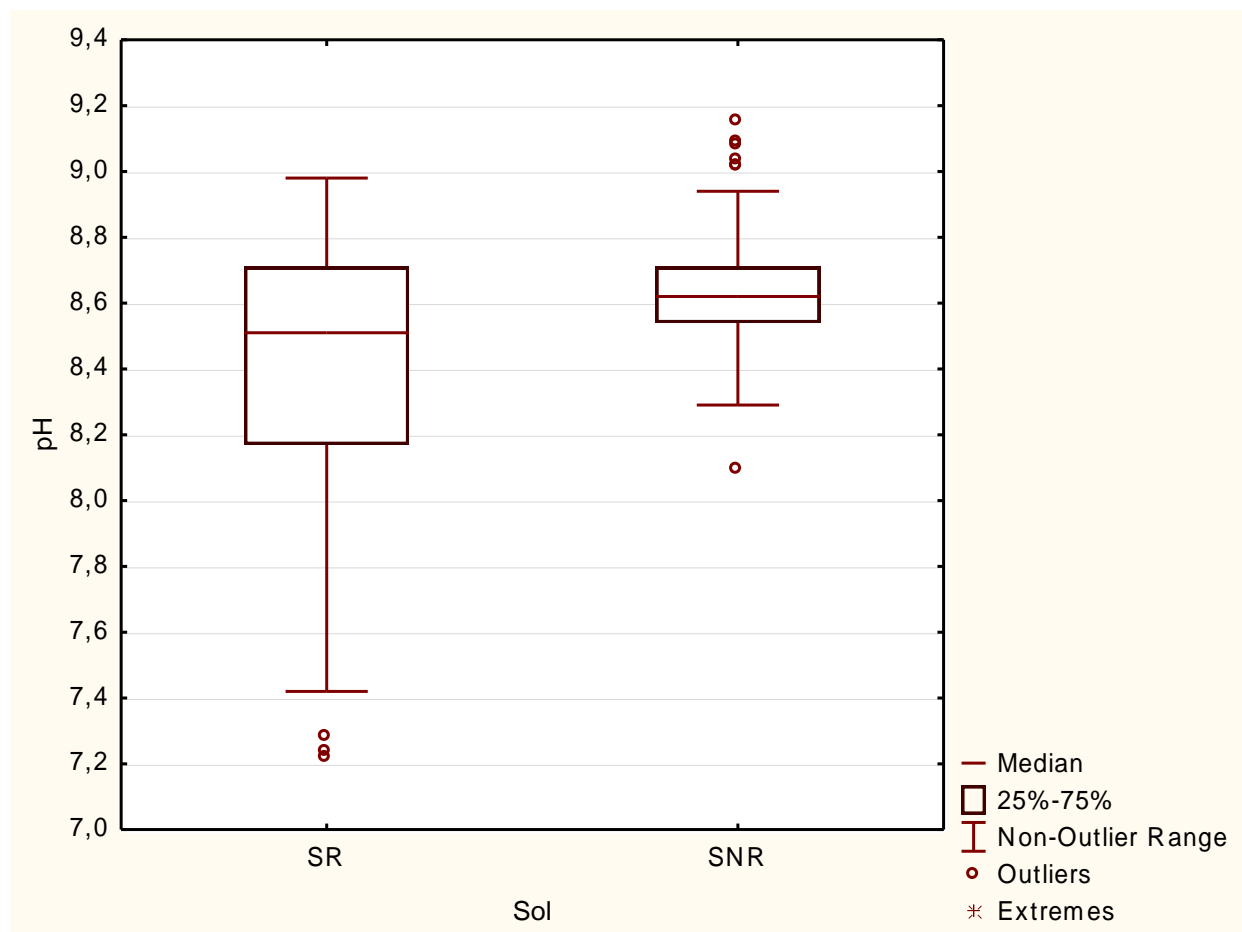


Figure 14. Variation du pH en fonction de type du sol.

Le Test de Student pour échantillons appariés montre des différences fortement significatives entre les valeurs du pH des sols rhizosphériques et non rhizosphériques ($P=0,001649$) au seuil de signification $\alpha = 0,05$. En effet, pour les sols rhizosphériques, on constate que le pH varie entre 7,22 (faiblement alcalin) à 8,98 (modérément alcalin) avec une moyenne de $8,406 \pm 0,465$ comparé à celui du sol non rhizosphérique qui varie entre 8,10 (modérément alcalin) à 9,15 (fortement alcalin) avec une moyenne de $8,652 \pm 0,21$ (Annexe 4 .tableau 1). A cet effet, il a été noté une diminution du pH de 2,84% d'environ dans le sol rhizosphérique par rapport celui non rhizosphérique.

1.2. Variation de disponibilité du P dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques

D'après la représentation en boîte à moustache (Fig. 15), il est possible de constater la variation du phosphore assimilable en fonction de type du sol.

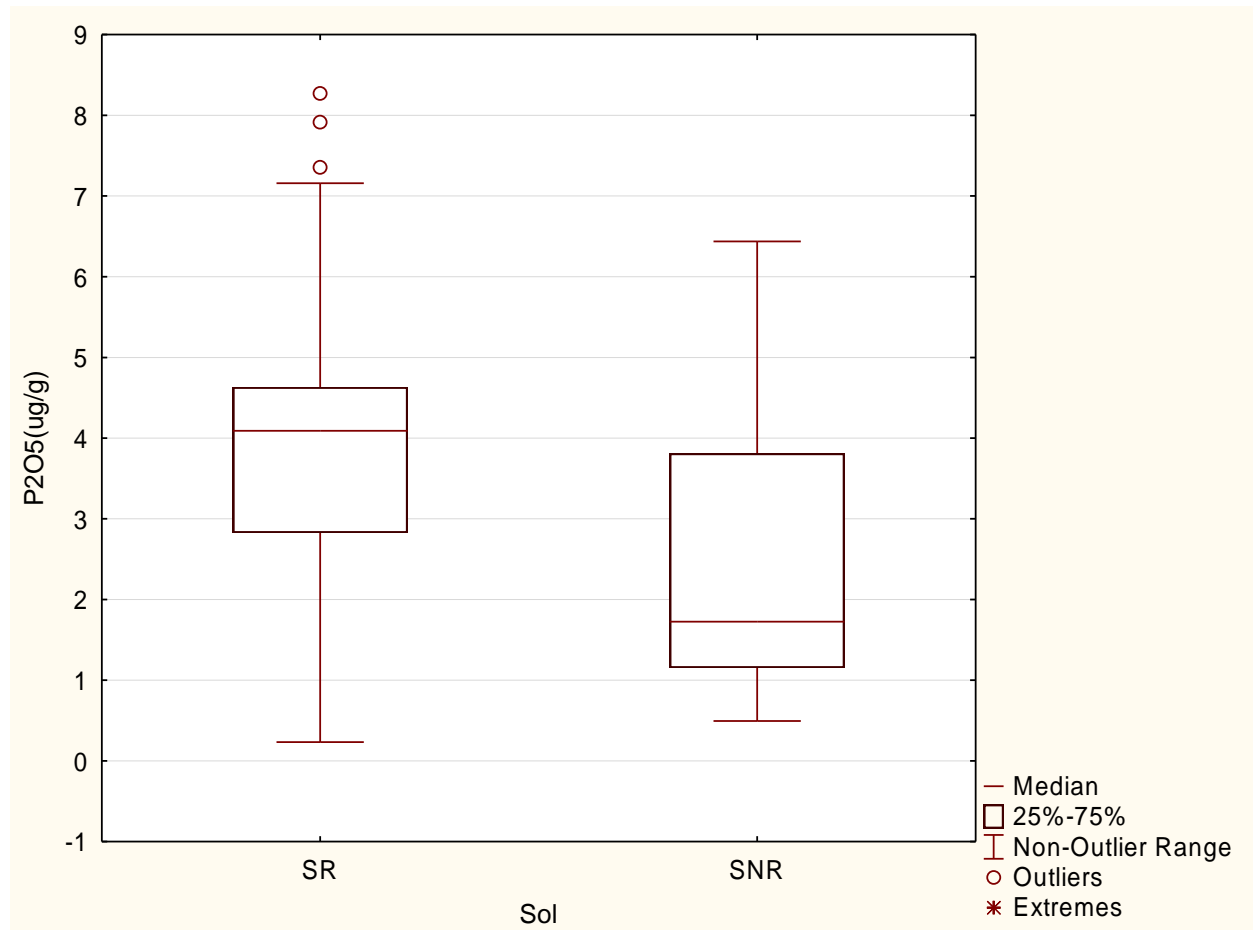


Figure 15. Variation du phosphore assimilable en fonction de type du sol.

Le Test de Student pour échantillons appariés montre des différences hautement significatives entre les valeurs du phosphore assimilable des sols rhizosphériques et non rhizosphériques ($P= 0,000041$) au seuil de signification $\alpha = 0,05$.

Concernant, les sols rhizosphériques, la disponibilité du phosphore assimilable est considérable avec un moyen de $4,082 \pm 1,918 \mu\text{g/g}$. Néanmoins, chez les sols non rhizosphériques nous avons noté une moyenne de l'ordre de $2,583 \pm 1,695 \mu\text{g/g}$, soit avec une augmentation de P dans le sol rhizosphérique de 58,04 % par rapport à celui non rhizosphérique (Annexe 4, tableau 2).

1.3. Variation du Ca échangeable dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques

Les résultats représentés dans la figure (16) nous a permis d'analyser la variation du Ca échangeable de type du sol.

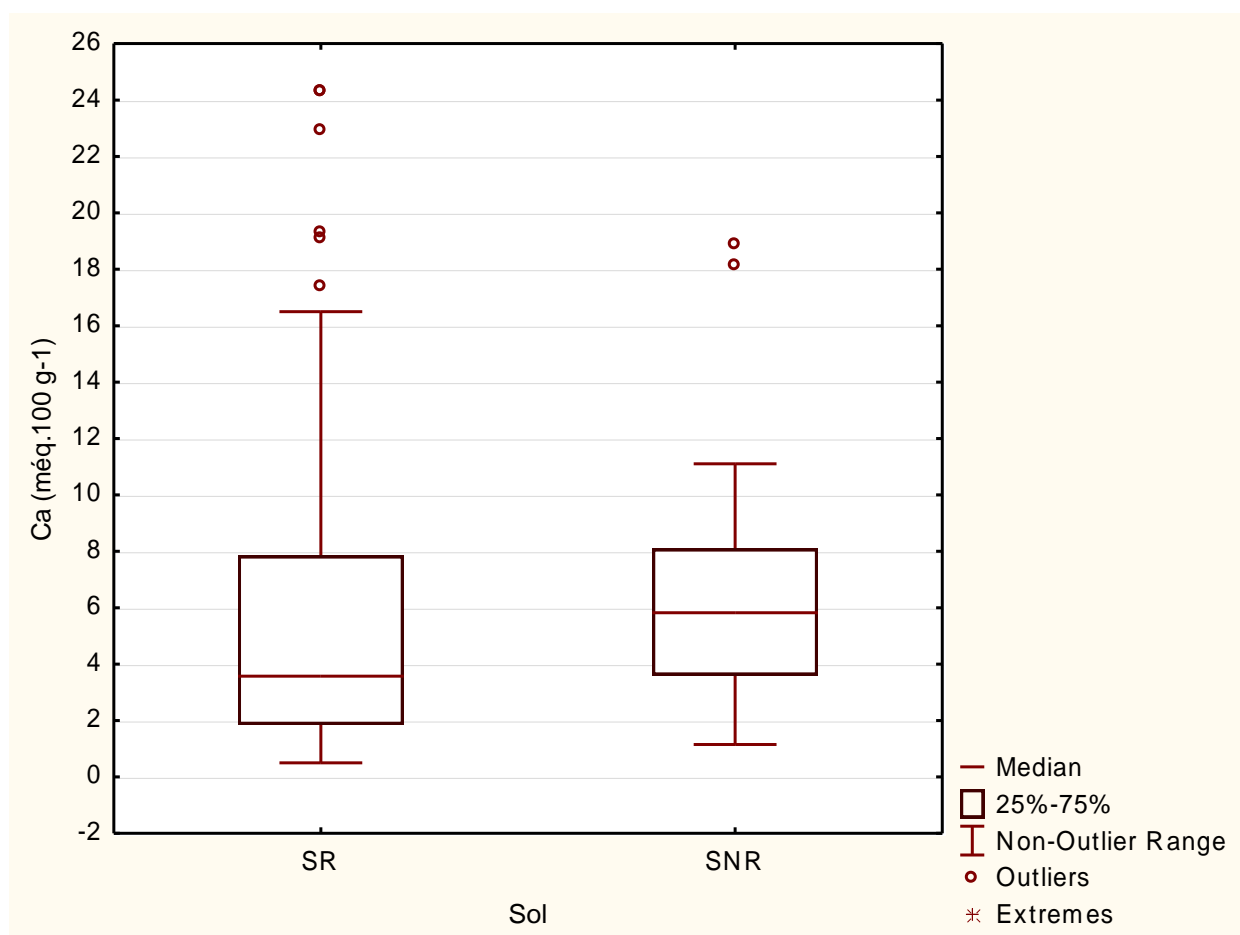


Figure 16. Variation du Ca échangeable en fonction de type du sol.

Le Test Student pour échantillons appariés révèle qu'il n'y a aucune différence significative entre les valeurs du calcium échangeable des sols rhizosphériques et non rhizosphériques ($P = 0,8611$) au seuil de signification $\alpha = 0,05$. En effet, le calcium est généralement en quantité suffisante pour assurer les besoins des plantes dans les sols rhizosphériques et non rhizosphériques avec des moyens respectivement de $6,435 \pm 6,600$ (méq.100g⁻¹) et $6,259 \pm 3,674$ (méq.100g⁻¹). Cependant, une légère augmentation en cations Ca a été notée (2,81%), dans le sol rhizosphérique (Annexe 4 .tableau 3).

2. Analyse variographique et la réalisation des cartes thématiques

2.1. pH

- Le sol rhizosphérique

Le variogramme illustré dans la figure (17) nous a conduits à exprimer la variation spatiale du pH du sol rhizosphérique dans la parcelle cultivé d'arachide. Le modèle sphérique théorique ajusté permet de constater une certaine régularité des points échantillonnés tant que l'effet de pépité est nul. Le palier est de l'ordre de 1,059 et la portée est de 21,789 m. En effet, à partir de cette distance on considère qu'il n'y pas de corrélation entre deux points échantillonnés et que les points sont indépendants.

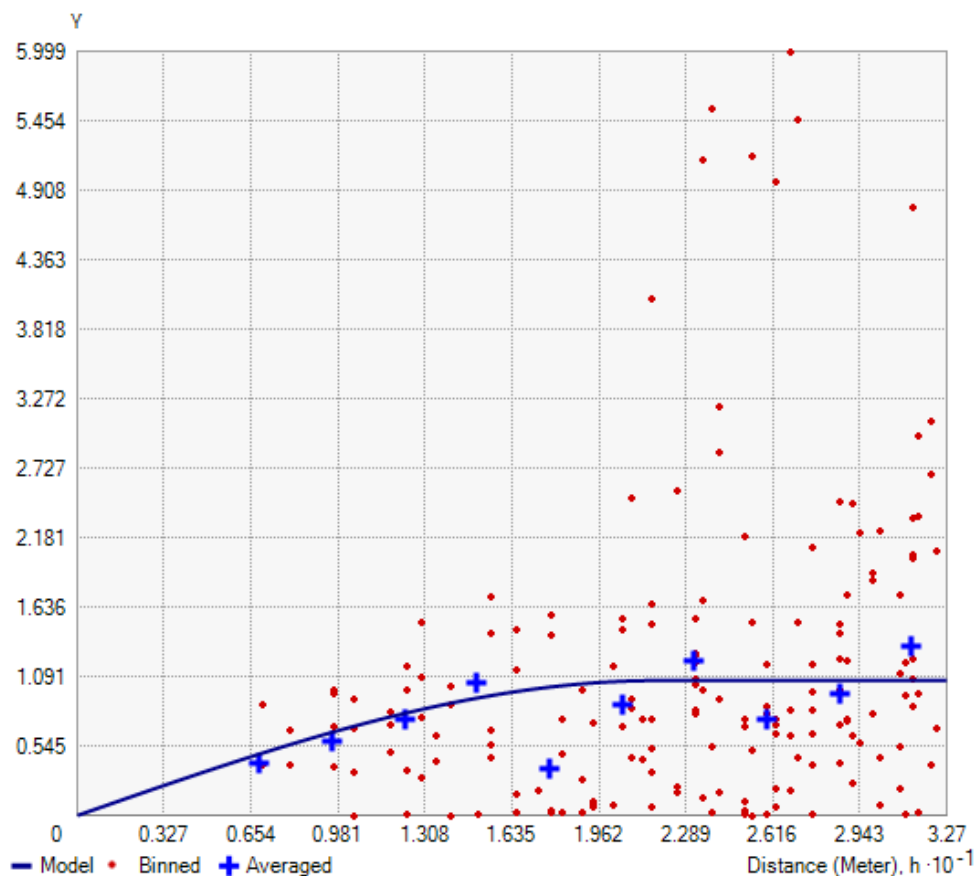


Figure 17. Analyse variographique du pH du sol rhizosphérique.

- Toutefois, on peut exprimer l'équation du modèle comme suit :

$$Y(h) = 1,059 \left(\frac{3h}{2(21,789)} - \frac{h^3}{2(21,789)^3} \right)$$

D'après la figure (18), le pH présente une variation spatiale dans le sol rhizosphérique oscillant entre 7,22 et 8,98. Les valeurs qui présentent une faible alcalinité des moyennes de 7,63, 7,95 se sont celles situées de la zone Nord-Est de la parcelle et petit côté de Nord-Ouest.

Néanmoins, les valeurs alcalines sont réparties sur les autres espaces de la parcelle, avec des valeurs maximales de l'ordre de 8,84 ,8.9 à 8,98, enregistrées principalement au Sud de la parcelle. La variation spatiale du pH de sol rhizosphérique est considéré comme faible avec un CV de 5,54%.

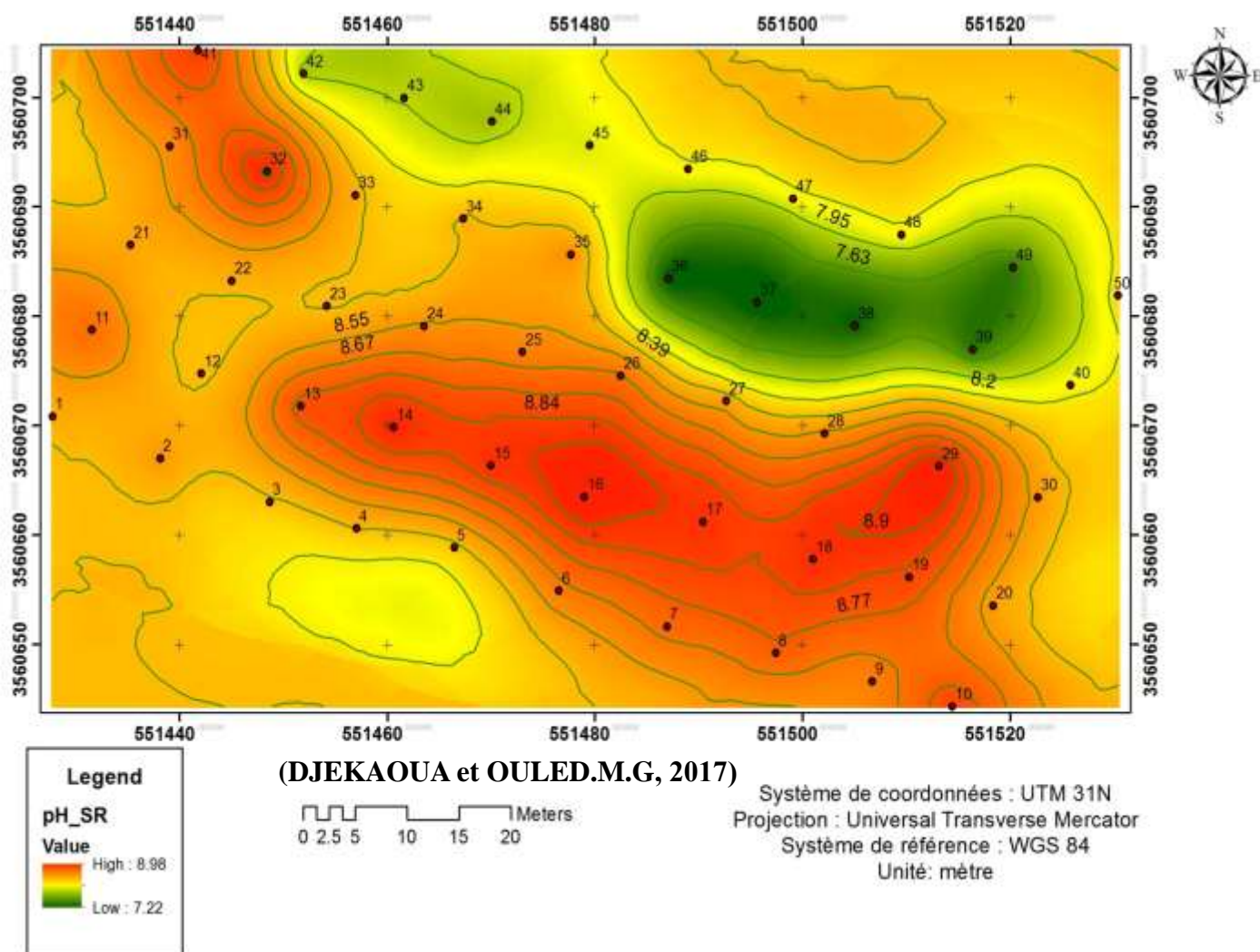


Figure 18. Carte de répartition spatiale de pH de sol rhizosphérique.

- Le sol non rhizosphérique

La figure (19) montre un variogramme expérimental établi pour le pH du sol non rhizosphérique. Il est ajusté à un modèle sphérique, ce qui explique les variations spatiales du pH de la parcelle cultivé d'arachide dans notre site d'étude. Cette variation est caractérisée par un effet pépitique de 0,506, un palier de 0,606 et une distance (portée), de 17,405 m. Ceci nous permet de

constater qu'il existe une certaine irrégularité entre les points d'échantillonnage et à partir d'une distance de 17,405 m, on considère que les points sont indépendants (absence de corrélation).

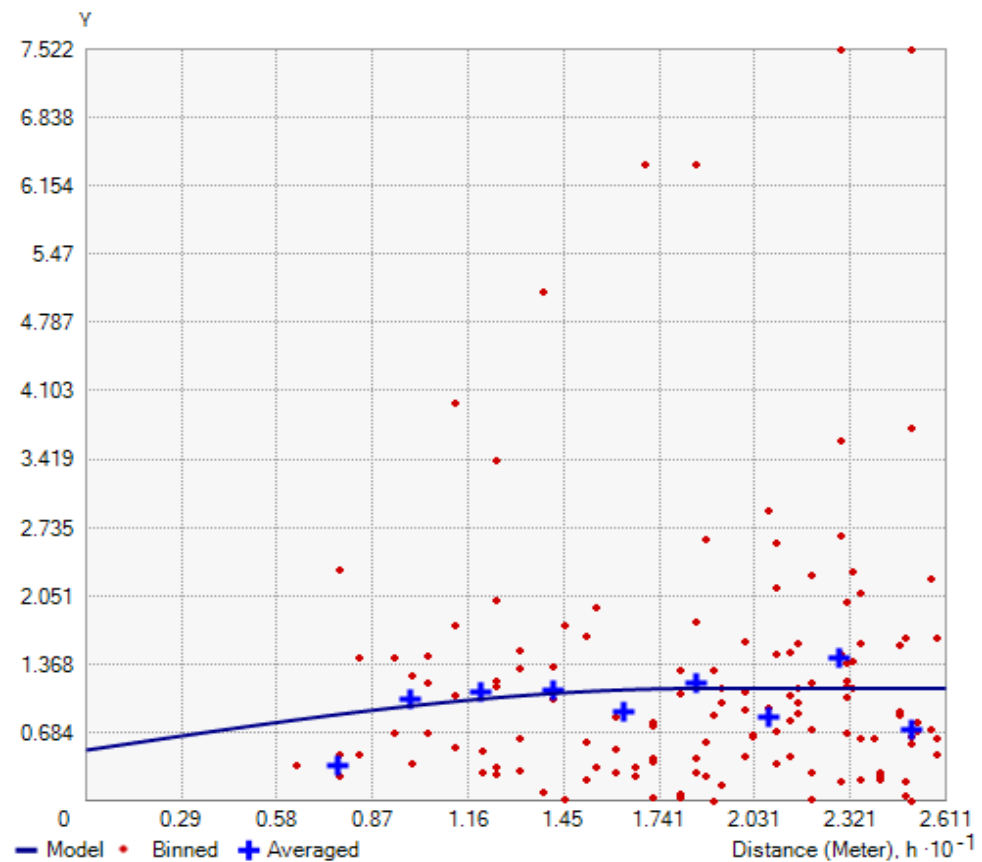


Figure 19. Analyse variographique du pH du sol non rhizosphérique.

L'équation peut être exprimé dans ce cas-là par :

$$Y(h) = 0,506 + 0,606 \left(\frac{3h}{2(17,405)} - \frac{h^3}{2(17,405)^3} \right)$$

La figure (20) représente la répartition spatiale du pH de sol non rhizosphérique. Les valeurs du pH qui sont modérément alcalin sont enregistrée dans la majorité de surface de la parcelle, variant entre 8,46 à 8,59 vers l'Ouest de la parcelle alors que vers valeur le pH va de 8,54 ; 8,66 jusqu'à 8,79. La valeur forte alcaline située au Centre-West et Sud-Est de la parcelle. La variation spatiale de pH de sol non rhizosphérique est également considérée comme faible avec un CV de 2,43 %.

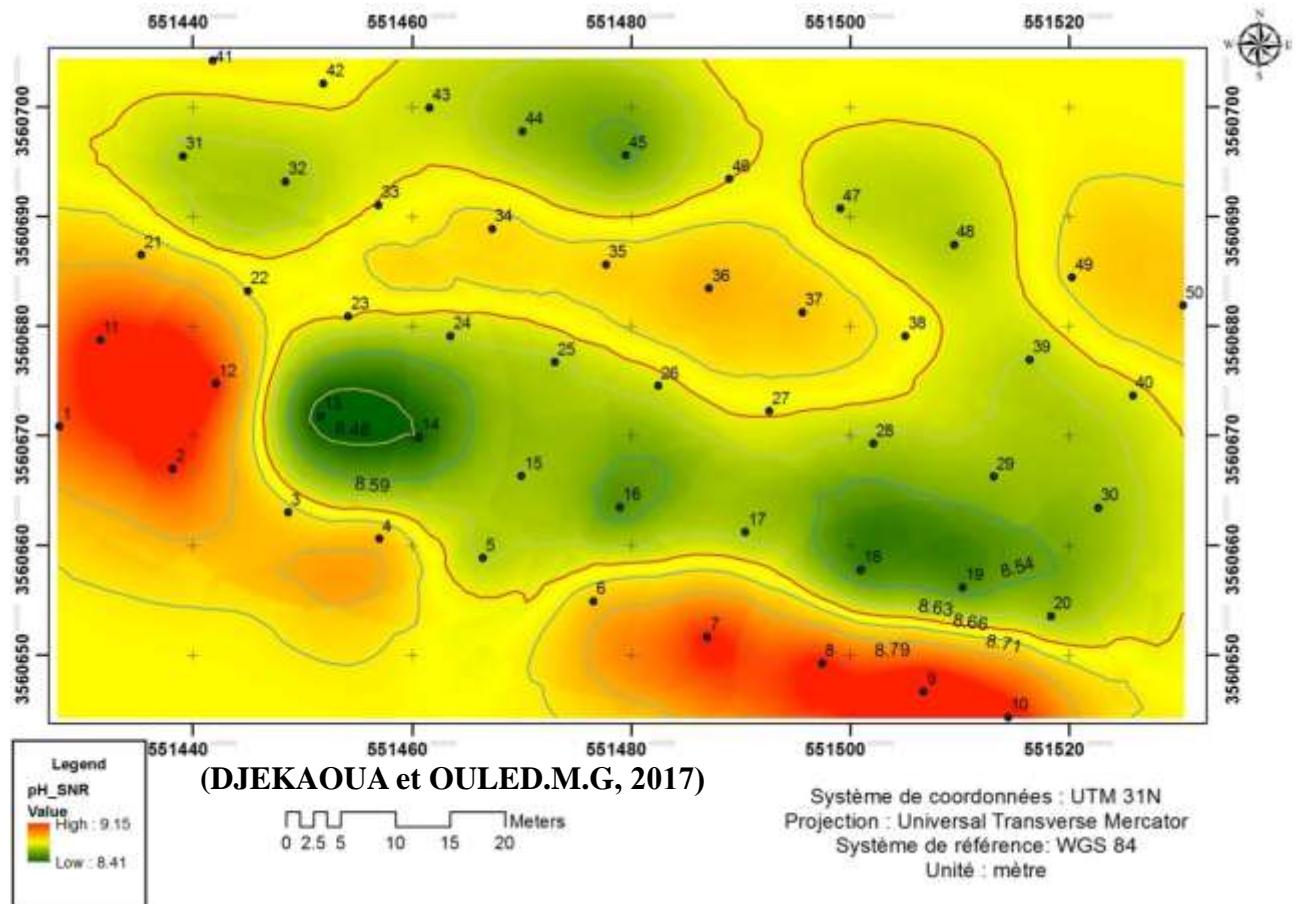


Figure 20. Carte de répartition spatiale de pH de sol non rhizosphérique.

2.2. Phosphore assimilable

- Le sol rhizosphérique

Le semi-variogramme expérimental du P est ajusté à un modèle sphérique qui explique les variations spatiales du P du sol rhizosphérique. Il ressort que cette variation à un effet peptique nulle qui indique que l'échantillonnage est régulier et un palier de 1,006 et une portée 19,023 m, à partir de quel les points sont considérés comme indépendants (Fig. 21).

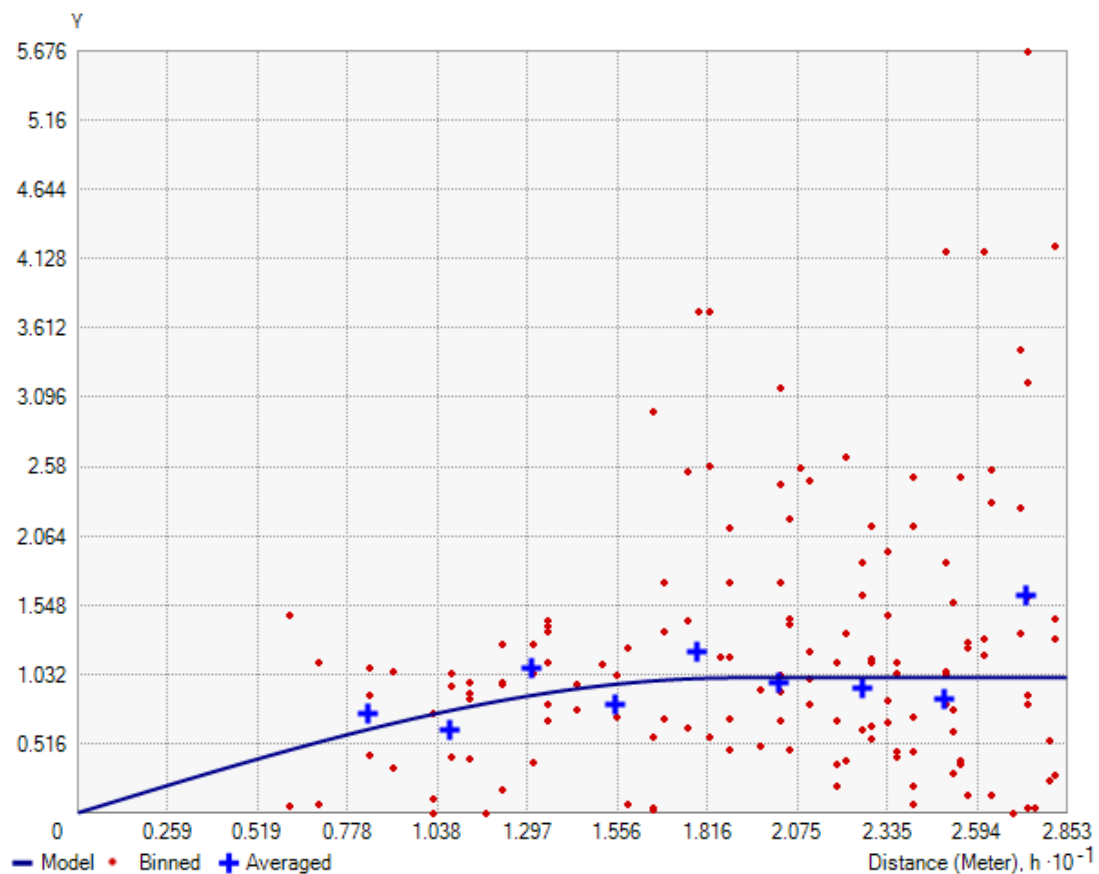


Figure 21. Analyse variographique du P du sol rhizosphérique.

L'équation du modèle peut être donc donnée comme suit :

$$Y(h) = 1,006 \left(\frac{3h}{2(19,023)} - \frac{h^3}{2(19,023)^3} \right)$$

La figure (22) issue de données de terrain est beaucoup plus constatée et semble mieux refléter la variation spatiale de disponibilité de phosphore assimilable du sol rhizosphérique. Nous avons noté que la disponibilité est importante dans le Sud-Est de valeur de 4,38 µg/g vers le Sud-Ouest avec une distribution vers le Centre-Ouest de disponibilité de 5,21 à 6,44 µg/. Tandis que, nous notons également la disponibilité dans la zone Est avec une valeur moyenne de 3,46µg/g jusqu'au Nord-Ouest. Cependant, une disponibilité moins importante est marquée la bande entre le Nord-Ouest de moyenne 2,84 µg/g et du côté Sud-Est de moyenne 2,29 µg/g et 1,46 µg/g tout au long du centre de la parcelle. La variation spatiale de phosphore assimilable de sol rhizosphérique est considérée, cette fois-ci, comme élevée avec un CV de 46,98 %.

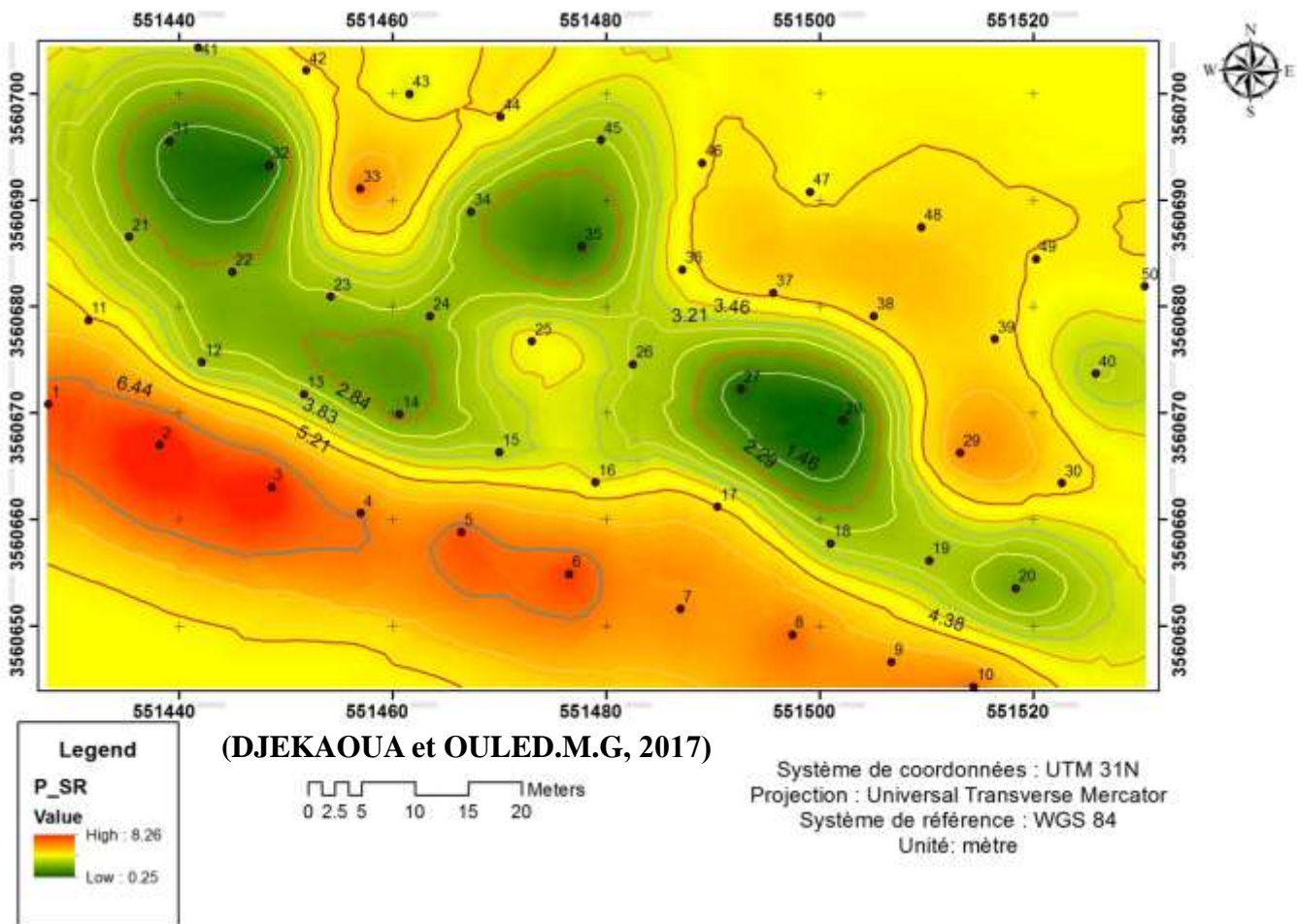


Figure 22. Carte de répartition spatiale de P de sol rhizosphérique.

- Le sol non rhizosphérique

En ce qui concerne le sol non rhizosphérique (Fig. 23), nous avons noté un effet de pépite nulle, ce qui traduirait un caractère continu et régulier d'échantillonnage, un palier de 0,997 et une portée de 17,613 m à partir de laquelle, les points ne présentent aucune corrélation.

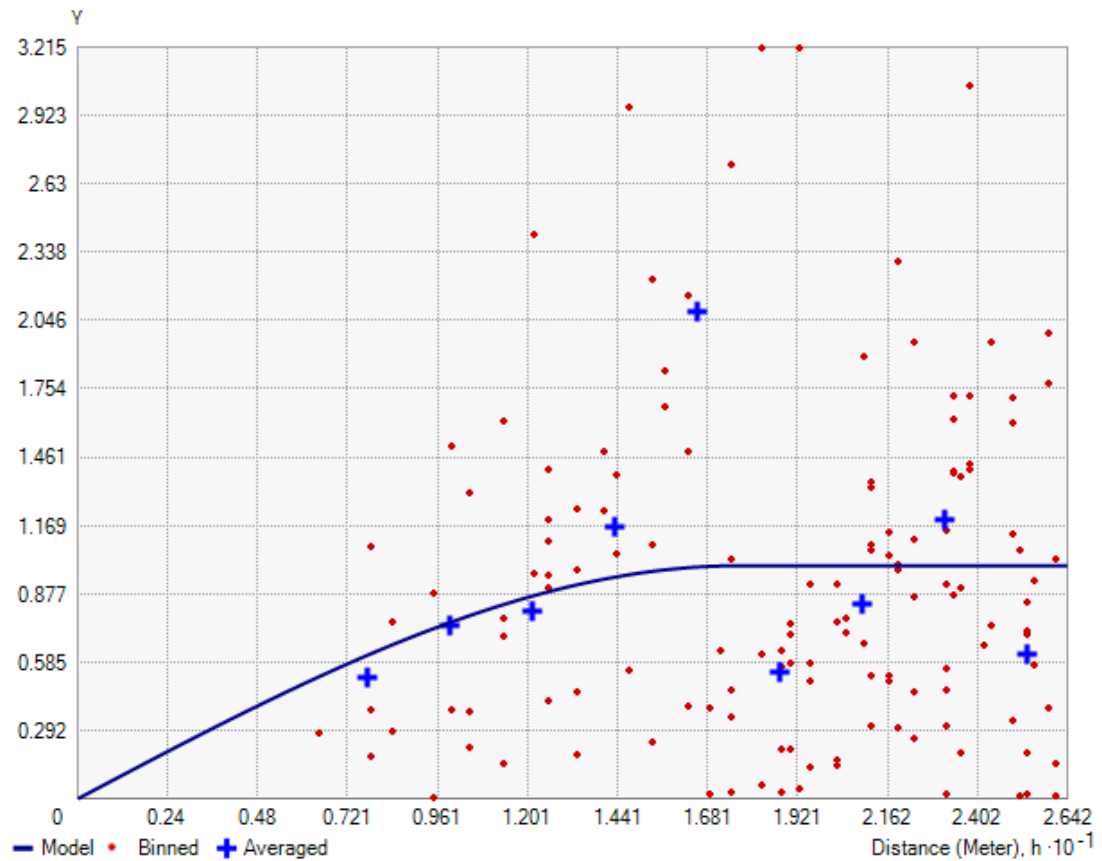


Figure 23. Analyse variographique du P du sol non rhizosphérique.

On peut exprimer l'équation du modèle comme suit :

$$Y(h) = 0,997 \left(\frac{3h}{2(17,613)} - \frac{h^3}{2(17,613)^3} \right)$$

La carte de variabilité (Fig. 24) révèle que la disponibilité de phosphore de sol non rhizosphérique varie entre 0,49 µg/g et 6,43µg/g. Les valeurs maximales se concentrent dans la partie de Sud de la parcelle avec une moyenne de 5,06 µg/g ainsi dans la partie de l'Ouest une moyenne de 3,99µg/g. Cependant, de une faible disponible en phosphore est distribuée dans une grande surface de la parcelle allant la zone Nord-Est et Nord dont on note des valeurs moyennes de 0,87µg/g jusqu'au Centre avec une valeurs 1,16µg/g ; 1,39µg/g, le Nord-Ouest (1,68 µg/g) et le Sud dont une disponibilité de de 2,05 µg/g a été enregistrée. Le coefficient de variation montre une variabilité spatiale très élevée du phosphore assimilable de sol non rhizosphérique avec un CV de 65,64 %.

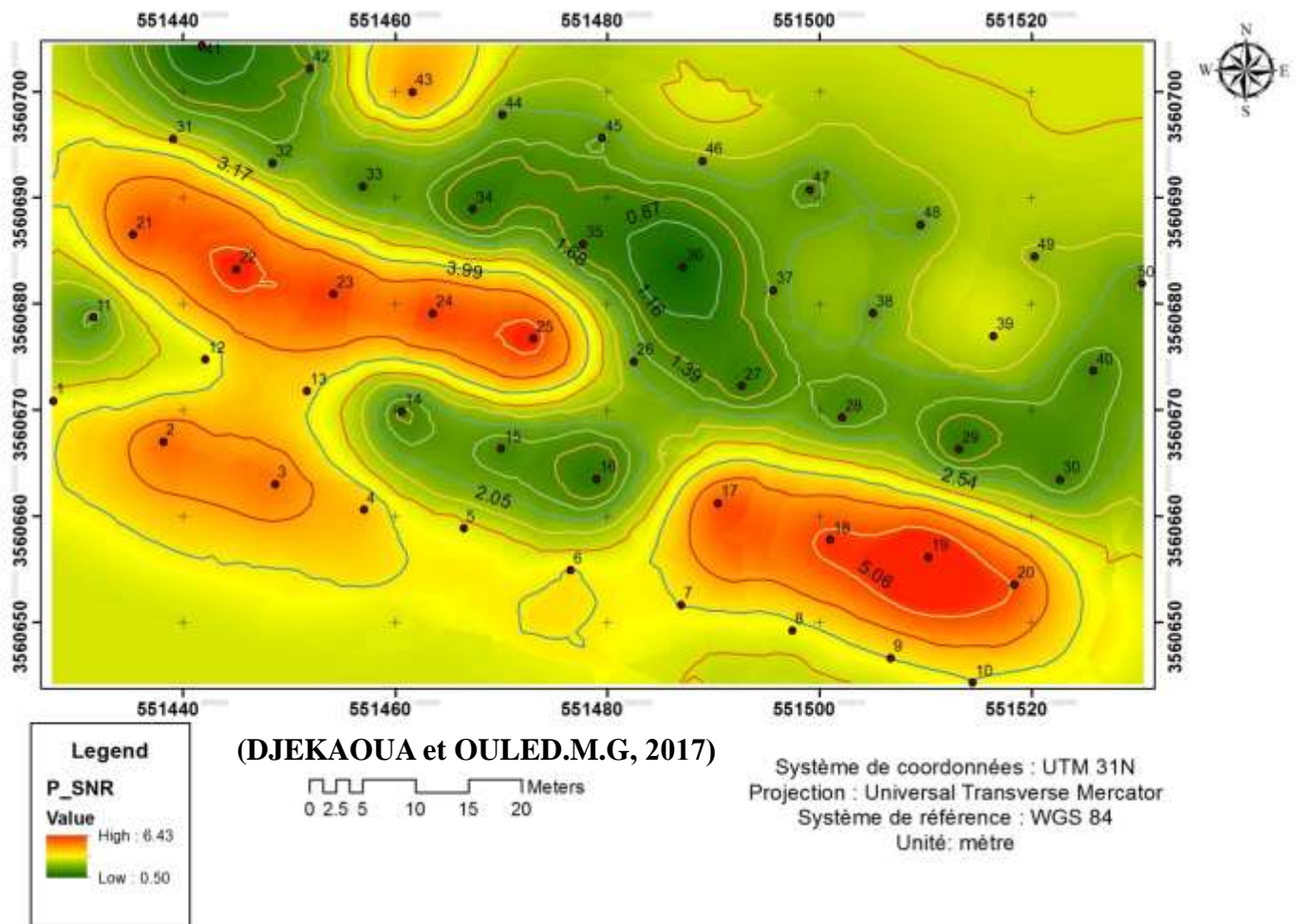


Figure 24. Carte de répartition spatiale de P de sol non rhizosphérique.

2.3. Calcium échangeable

- Le sol rhizosphérique

A partir de la figure (25), on s'aperçoit que les caractéristiques du modèle sphérique ajusté obtenus est récapitulé dans un effet de pépite égale à 0,942, un palier de 1,039 et une distance d'indépendance entre les points atteint les 18,784 m.

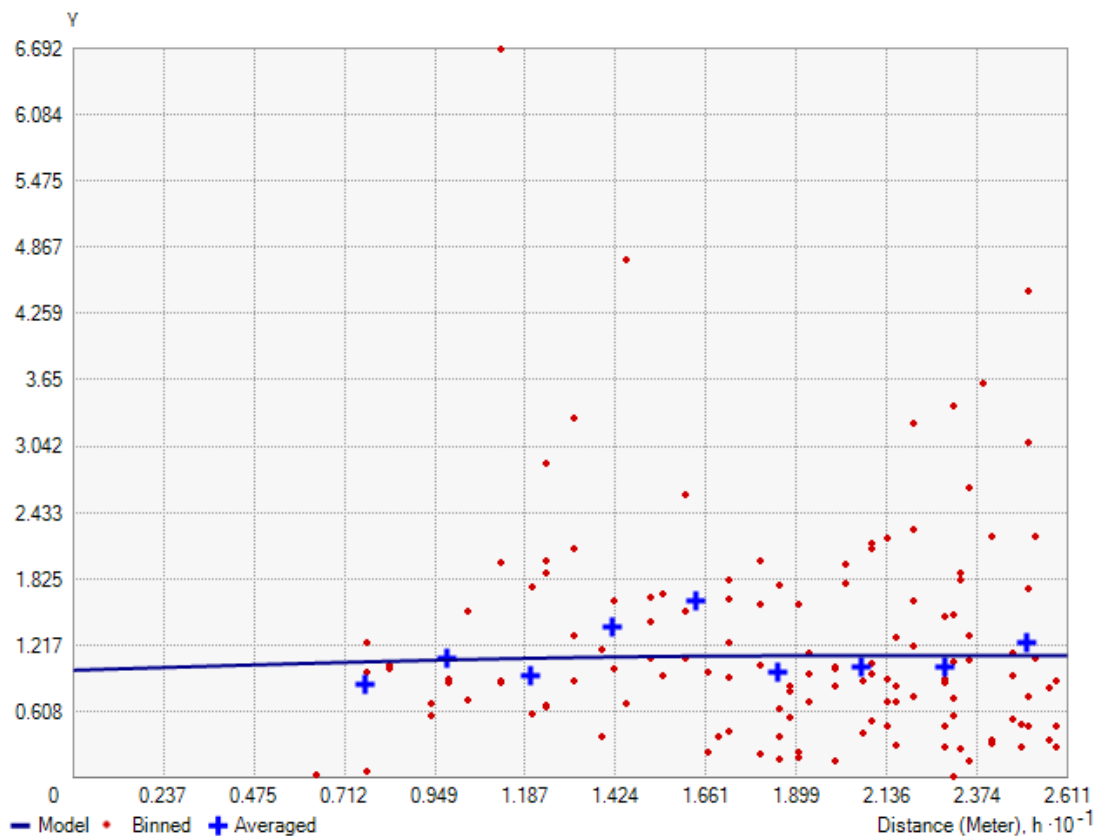


Figure 25. Analyse variographique du Ca du sol rhizosphérique.

L'équation du modèle peut être donc donnée comme suit :

$$Y(h) = 0,942 + 1,039 \left(\frac{3h}{2(18,784)} - \frac{h^3}{2(18,784)^3} \right)$$

La figure (26) illustre la distribution spatiale calcium de sol rhizosphérique. On note que les valeurs de Ca compris entre 1,22 (méq.100g⁻¹) et 2,45 (méq.100g⁻¹) et 3,43 (méq.100g⁻¹) dans la zone Ouest de la parcelle, comme on le voit aussi dans la même zone des tâches représenter des valeurs élevée varient entre 17,64 (méq.100g⁻¹) et 12,77 (méq.100g⁻¹) située de Nord-ouest et Sud-Ouest de la parcelle. Chez la zone Est on peut observer une diminution dans les cations Ca.

Cependant, certaines zones enregistrent quand même des teneurs élevées et qui se sont distribué dans la zone Sud-Est et Nord-Est bien que la diminution de teneurs de Ca est représentée dans cette zone. La variation spatiale de calcium de sol rhizosphérique est considérée extrêmement élevée avec un CV de 102,57 %.

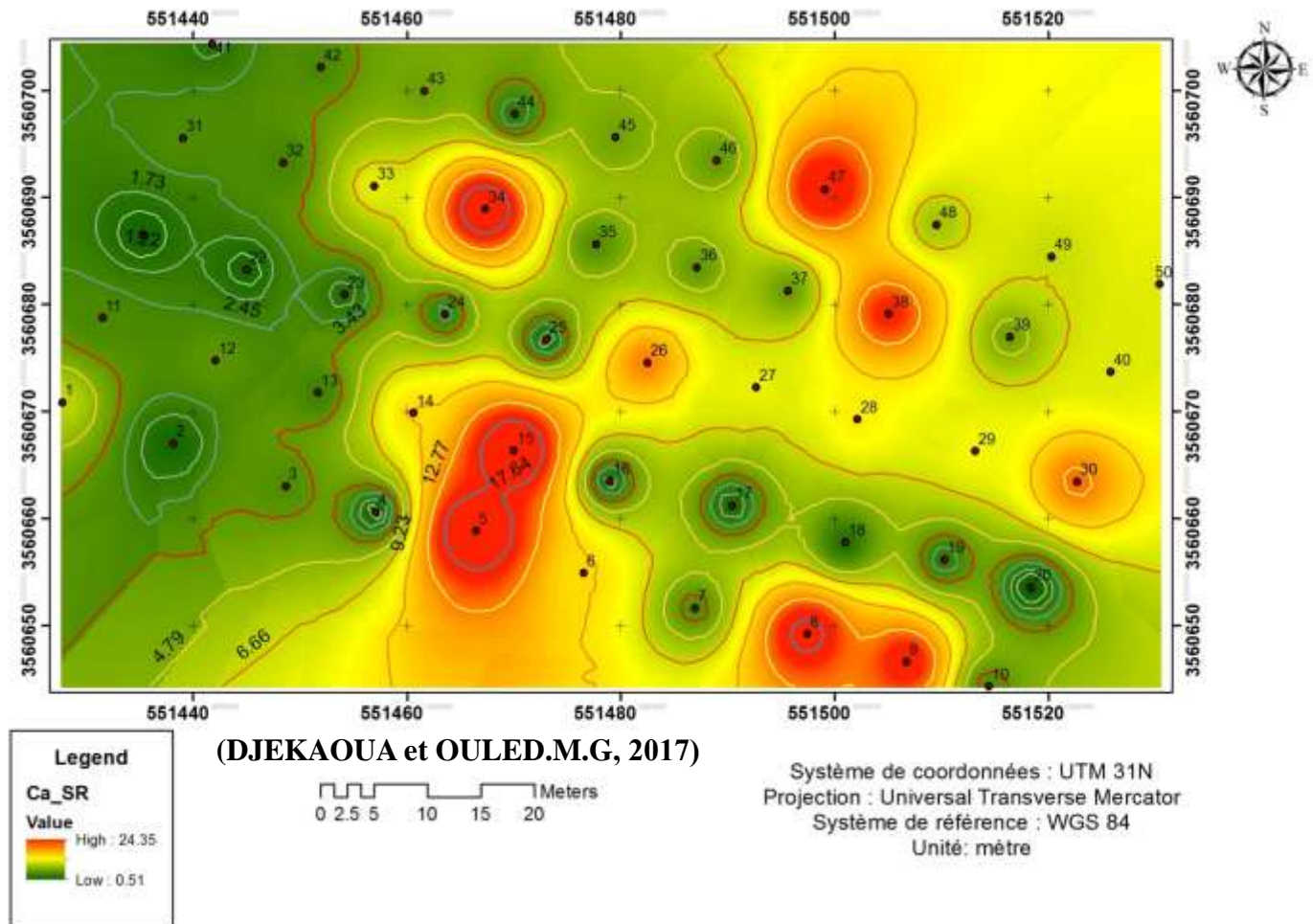


Figure 26. Carte de répartition spatiale de Ca de sol rhizosphérique.

- Le sol non rhizosphérique

La figure 27 présente un variogramme du Ca du sol non rhizosphérique, dans lequel un semi-variogramme expérimental s'ajuste à un modèle sphérique avec un effet de pépité égale à 0,782, un palier de 0,894 et une portée de 18,896 m, à partir de quel les points sont considérés comme indépendants.

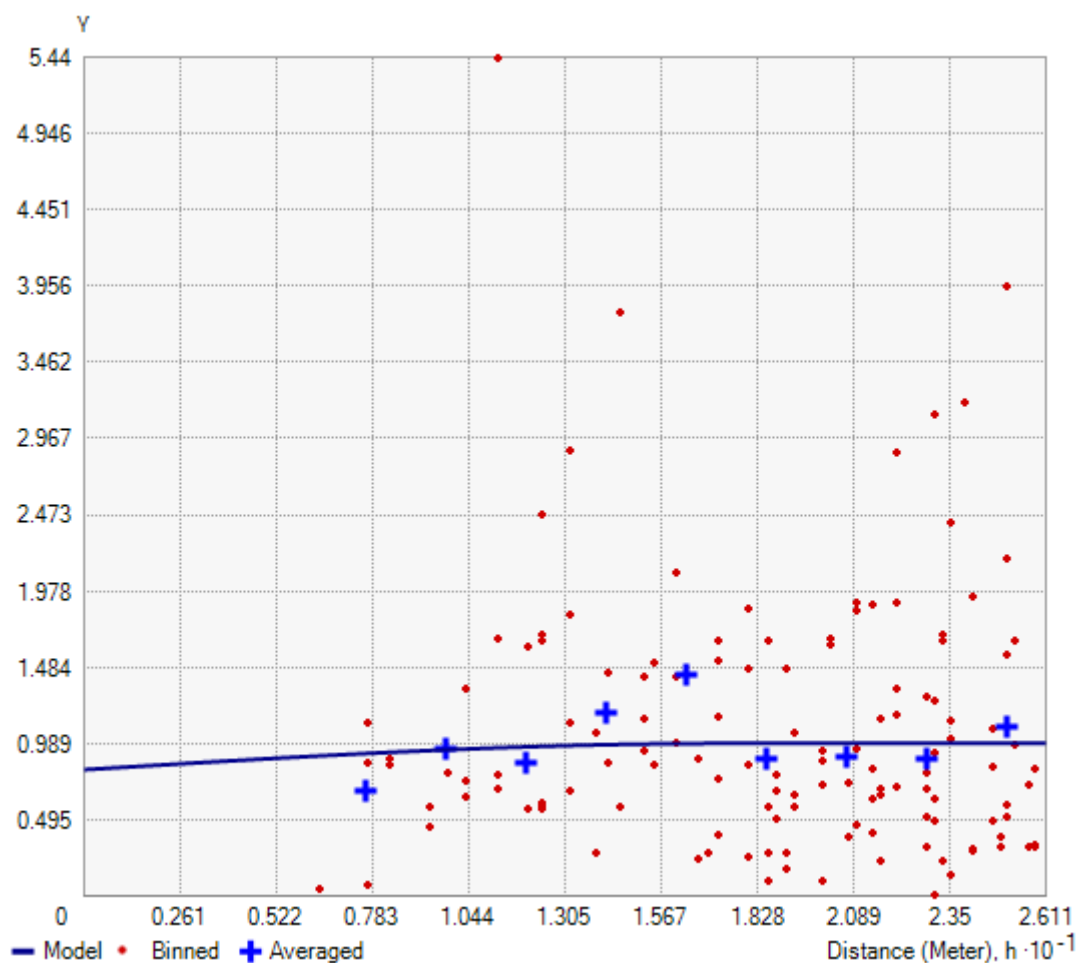


Figure 27. Analyse variographique du Ca du sol non rhizosphérique.

L'équation peut être exprimé dans ce cas-là par :

$$Y = 0,782 + 0,894 \left(\frac{3h}{2(18,896)} - \frac{h^3}{2(18,896)^3} \right)$$

Selon la carte (Fig. 28), le Ca présente une variation dans le sol non rhizosphérique variant entre 1,15 (méq.100g⁻¹) et 18,85 (méq.100g⁻¹), les résultats obtenus révèlent que la parcelle représente une valeur moyennes de 5,66 (méq.100g⁻¹) à 7 (méq.100g⁻¹) avec des taches valeur minimale entre 2,49 (méq.100g⁻¹) ,3,61 (méq.100g⁻¹) jusqu'à 4,54 (méq.100g⁻¹) dans le sud-est et maximale de 10,52 (méq.100g⁻¹), 12,81 (méq.100g⁻¹) à 15,56 (méq.100g⁻¹) dans le milieu de parcelle. Ces observations attestent que la variation spatiale de Ca de sol non rhizosphérique est considérée très élevée avec un CV de 58,71%.

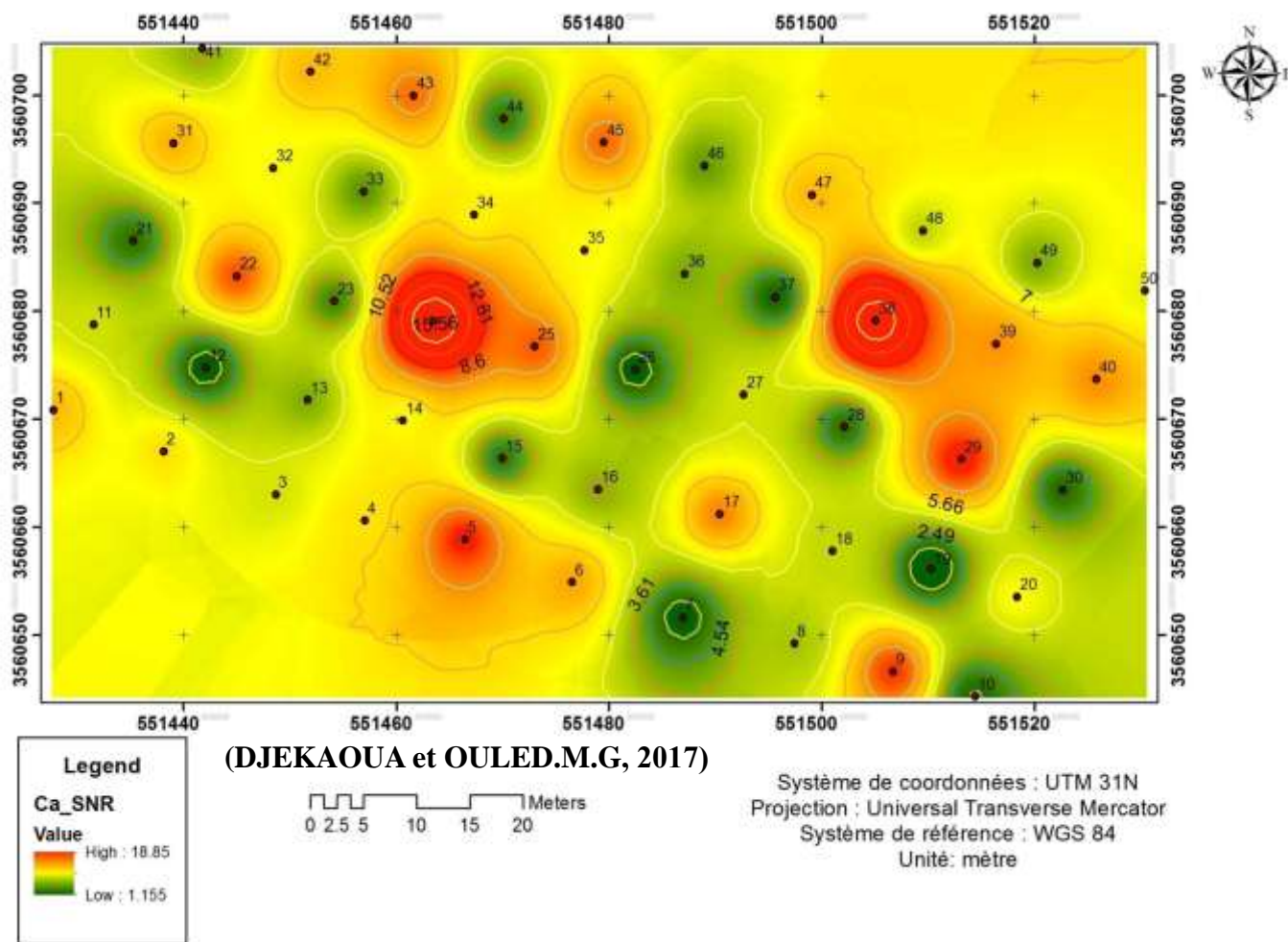


Figure 28. Carte de répartition spatiale de Ca de sol non rhizosphérique.

3. Discussion générale

Le pH est l'une des propriétés les plus instructives du sol et exerce une profonde influence sur la croissance des plantes, notamment sur la solubilité des éléments nutritifs essentiels et leur disponibilité pour les plantes. Dans notre parcelle cultivée d'arachide les résultats laissent apparaître que les valeurs de pH oscillent entre 7,22 à 8,98 à moyenne de $8,406 \pm 0,465$ faiblement à modérément alcalin chez le sol rhizosphérique, tandis que le sol non rhizosphérique a des valeurs de 8,1 à 9,15 d'une moyenne de $8,652 \pm 0,21$ modérément à fortement alcalin. En effet, nous avons constaté une diminution de pH à faible alcalinité jusqu'à la neutralité qui se produit au du sol rhizosphérique par rapport celui sol non rhizosphérique. Cela peut être relié aux modifications physico-chimiques qui se manifestent au tour des racines des plantes.

En effet, le pH indique le degré d'acidité ou d'alcalinité qui joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante, il a une influence sur trois composants

importantes de la fertilité d'un sol: la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale. La variation de pH dépend des variations saisonniers et du nombre des ions en réserve sur le complexe argilo-humique, l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active (PAUL THOREZ et DEJEAN, 2012). L'origine des modifications de pH dans la rhizosphère est principalement attribuée à l'excrétion de H^+ ou de OH^- par les racines pour contrebalancer le prélèvement excédentaire de cations ou d'anions et ainsi maintenir l'électro-neutralité dans le milieu intracellulaire (HAYNES 1990 ; MARSCHNER 1995 ; HINSINGER et al. 2003). Ces modifications de pH sont donc contrôlées par l'absorption des cations (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ et NH_4^+) et anions (Cl^- , $H_2PO_4^-$, NO_3^- , SO_4^{2-}) majoritaires (HAYNES, 1990). Le pH de la rhizosphère peut également varier en fonction du statut nutritionnel particulier de la plante en certains éléments minéraux (HAYNES, 1990 ; MARSCHNER, 1995 ; HINSINGER et al., 2003 ; MENGEL et KIRKBY, 2001). Sous déficience en Fe et P, de nombreuses espèces végétales exsudent plus d'anions organiques et de protons et tendent donc à acidifier leur rhizosphère. Au-delà de leur statut nutritionnel, les plantes sont capables de modifier le pH de leur rhizosphère en fonction de leur physiologie propre et du pH initial du sol (YOUSSEF et CHINO, 1989).

La diminution du pH et la production d'acides organiques entraîne 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 céto-gluconiques (BOUDANGA, 2011).

Les légumineuses, en s'appuyant sur la fixation de 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 H^+ par les racines nodulées, des acides organiques ou des phosphatases (LATATI, 2015).

Dans le sol les réactions générant des protons sont nombreuses et dans une très large mesure, tributaire de réactions biologiques. Elles sont particulièrement actives dans les couches superficielles où se concentrent les matières organiques, sources d'énergie et de carbone utilisées pour leur développement par la plupart des microorganismes. Les principales sources des protons comme la respiration microbienne et racinaire, provoquent une augmentation importante de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère du sol et par voie de conséquence d'acide carbonique dans la solution du sol. Ce qui engendre par la suite une excrétion de protons par les racines. Lorsque la plante prélève globalement plus d'éléments nutritifs cationiques (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , ...)

qu'anioniques (NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ,), elle excrète des protons pour équilibrer ce déficit de charges (**DECROUX et al ., 2005**).

L'analyse combinée des teneurs en phosphore assimilable en fonction de type de sol ont montré une variation observée chez les sols rhizosphériques avec une quantité plus importante en phosphore, estimé de $4,082 \pm 1,918 \mu\text{g/g}$. Rien que pour les sols non rhizosphériques, ces teneurs sont faibles ($2,583 \pm 1,695 \mu\text{g/g}$). En ce qui concerne le phosphore phytodisponible, il désigne la fraction du P du sol susceptible d'être prélevée par les végétaux. Ce transfert sol-plante est une des étapes clés qui conditionne la circulation du P au sein de l'écosystème cultivé. La nutrition des plantes en P suppose un mécanisme de prélèvement actif par la racine. Il y a par conséquent, un gradient de diffusion depuis les zones non rhizosphériques vers les racines constituant un flux diffusif de P pouvant assurer l'essentiel des besoins de la plante (**MOREL, 2002**). En effet, l'activité rhizosphérique entraîne une meilleure assimilation des éléments minéraux par les plantes. Ainsi que, la matière organique est une source de phosphore, sa minéralisation donne le phosphate assimilable par la plante. Une grande quantité de composés organiques est libérée par les racines dans le sol environnant, l'enrichissement du sol en composés organiques par des exsudats racinaires (**MAOUGAL, 2014**).

L'effet bénéfique sur le phosphore peut être lié spécifiquement aux résidus exsudats racinaires des légumineuses. Conformément à nos résultats, de nombreux chercheurs ont été observés les effets des légumineuses sur la disponibilité du P et le rôle des exsudats racinaires des légumineuses a été très souvent utilisés pour justifier leurs capacités à augmenter la disponibilité de P dans les sols (**NAGARAJAH et al., 1970 ; GARDENER et al., 1981 ; SUBBARAO et al., 1997**).

En effet, de nombreuses plantes légumineuses ont montré des aptitudes particulières à extraire et à utiliser le P dans les sols pauvres (**GARDENER et al., 1981**). Les exsudats racinaires de certaines légumineuses seraient capables de solubiliser les phosphates de calcium et le phosphore occlus, en augmentant ainsi le phosphore assimilable (**GARDENER et al., 1981 ; SUBBARAO et al., 1997**). **Ae et al. (2001)** ont pu démontrer que les exsudats racinaires de l'arachide étaient à l'origine de sa capacité à solubiliser le phosphore, ils ont mis en évidence la capacité de deux acides organiques des exsudats racinaires de l'arachide (l'acide malique et l'acide 2-hydroxyméthyl-2-4-dihydroxypentanedioïque), capables de relâcher les ions Fe^{3+} et Ca^{2+} responsables de la rétention du P.

Pour les résultats du Ca dans la présente étude, il est à noter qu'une différence n'est pas significative est enregistrée entre les deux types de sols avec des valeurs moyennes $6,435 \pm 6,600$ ($\text{m}\text{éq.}100\text{g}^{-1}$) et $6,259 \pm 3,674$ ($\text{m}\text{éq.}100\text{g}^{-1}$) pour chacun des sols rhizosphériques et non rhizosphériques des moyens respectivement.

Cependant, les cations Ca^{2+} se trouvent en quantité importante dans les sols calcaires d'où il y a un effet antagoniste entre le phosphore et le calcium par la formation des composés insolubles P-Ca (**RAZI, 2006**).

Parmi les effets défavorables d'un excès de calcium, on citera : l'insolubilisation des composés phosphates apportés au sol, le blocage éventuel d'oligo-éléments. Par ailleurs, des précipitations de calcite peuvent parfois se traduire, par effet d'enrobage, pouvant perturber le fonctionnement des racines et réduire la vitesse de minéralisation de la matière organique (**DECROUX et al., 2005**). En revanche, le phosphore qui forme des précipités très stables avec le fer, l'aluminium ou le calcium est difficilement mobile, et sa concentration dans la solution du sol au voisinage des racines est très faible (**GIRAD et al., 2011**).

En sol calcaire, les phosphates calciques évoluent vers des formes apatitiques de moins en moins solubles. En effet, le phosphore existe dans les roches et dans les sols, le plus souvent sous forme de composés de types apatites : $\text{Ca}_4(\text{CaX})(\text{PO}_4)_3$ où X peut être Cl^- , F^- , OH^- , CO_3^{2-} . Sous l'action des racines, des champignons mycorhiziens et de matière organique du sol, ces minéraux peu solubles, peuvent libérer en faible quantité des ions HPO_4^{2-} et H_2PO_4^- . C'est à partir de ce « pool » que se fait le prélèvement de phosphore par les végétaux. Les phosphates apportés par la fertilisation (phosphates mono, di-et tricalcique, phosphates d'ammonium) évoluent tous dans le sol vers des formes de moins en moins solubles dont le terme ultime est l'apatite dans les sols riches en calcium ou des phosphates de fer ou aluminium dans les sols acides. C'est le processus de « rétrogradation » des phosphates (**DECROUX et al., 2005**).

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 variogrammes expérimentaux des différents niveaux d'étude ont été tous ajustés à des modèles sphériques qui sont des modèles types de la structure spatiale, et qui sont en pratique les plus couramment utilisés (exponentiel et sphérique) (**GASCUEL et al., 1993**). D'après **KONESHLOO (2007)** on évite d'ajuster un modèle ayant un effet de pépite important, et cette partie du modèle sera considérée comme un modèle sphérique de courte portée. En plus, la continuité du variogramme vertical, aux petites distances, justifie ce choix.

L'étude de la variation spatiale de pH montre l'existence d'une variabilité faible dans le sol rhizosphérique et non rhizosphérique avec un CV de 5,4 % et 2,43 % respectivement avec une

diminution du pH de 2,84% dans le sol rhizosphérique. Cela montre une tendance de l'homogénéisation de la distribution spatiale du pH dans les deux types du sol (sol rhizosphérique et non rhizosphérique).

L'analyse de la variation spatiale du P montre un coefficient de variation élevée (CV) dans le sol rhizosphérique 46,98 % et très élevée dans le sol non rhizosphérique (65,64 %). Cependant, nous avons pu constater qu'une augmentation, de l'ordre de 58,04 %, a été notée chez les rhizosphères des plants d'arachide, comparées aux sols non rhizosphériques. De plus, les variations élevées marquées dans les deux sols nous laissent supposer qu'il y a une hétérogénéité importante dans la disponibilité du P.

L'étude de la répartition spatiale de Ca montre que le coefficient de variation est extrêmement élevé dans le sol rhizosphérique (102,57 %) et très élevée dans le sol non rhizosphérique (58,71 %) avec une légère augmentation en cations Ca (2,81%) qui a été enregistrée dans le sol rhizosphérique. Cela montre une tendance de l'hétérogénéité du sol rhizosphérique et non rhizosphérique) vis-à-vis la distribution spatiale du Ca.

Conclusion

Le développement de nouveaux systèmes de production agricole qui renforcent l'utilisation des ressources naturelles écologiquement non polluantes et qui permettent de réduire l'usage d'engrais notamment riches en azote, a permis de concentrer l'attention sur le rôle potentiel de la fixation biologique de l'azote. En effet, la reconnaissance de l'importance de la symbiose légumineuse- *Rhizobia* a joué un rôle considérable dans l'accroissement du rendement des légumineuses cultivées, dans l'amélioration de la fertilité du sol et dans la réhabilitation des sols appauvris.

Dans ce contexte, le diagnostic de la variabilité intra-parcellaire du phosphore dans la rhizosphère d'un sol cultivé d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la région de Sebseb (Ghardaïa). A été entamé dans ce présent travail. Pour ce faire, nous avons mis en place un protocole expérimental pour permettre d'évaluer la variation spatiale du pH, phosphore, calcium de la parcelle étudiée en fonction deux types de sol : sol rhizosphérique et sol non rhizosphérique.

Par ailleurs, l'analyse du sol de l'ensemble de paramètre étudiée permet de tirer les conclusions suivantes :

Nous avons observé une différence hautement significative de valeur de pH entre les deux types de sol que nous avons remarqué une faible alcalinité de sol rhizosphérique par rapport celui sol non rhizosphérique qui présente de forte alcalinité.

Les résultats concernant le phosphore assimilable montrent une disponibilité plus importante dans le sol rhizosphérique en comparaison avec le sol non rhizosphérique. Pour le calcium échangeable montrent une différence n'est pas significative entre les deux types du sol presque les sols sahariennes est calcaires.

La forte variabilité spatiale des sols est l'une des raisons avancées pour l'utilisation des techniques d'agriculture de précision. Toutefois, un obstacle majeur à l'adoption par les agriculteurs de ces techniques est le manque de données détaillées sur les sols et sur les cultures.

L'analyse des cartes de résultats obtenus et l'initialisation de modèles de culture d'aide à la décision pour une optimisation locale des interventions, impliquent les connaissances précises et exhaustives du milieu.

A partir de tous les résultats obtenus, des recommandations peuvent être proposés pour continuer ce travail :

- Approfondir l'étude des mécanismes de tolérance de la symbiose légumineuse-*rhizobia* au déficit en P.
- Application des résultats obtenus dans les cultures en association et en rotation.
- Exploitation de ces résultats dans des autres régions avec d'autres variétés d'arachide.
- La généralisation de cette alternative semble très bénéfique pour le développement de l'agriculture et pour cela il faut donc multiplier les études dans ce sujet intéressant. –
- Favoriser le développement des cultures stratégiques comme l'arachide et d'assurer une agriculture durable dans les conditions environnementales sahariennes difficile.
- Continuité de l'étude de ce sujet dans d'autres aspects tel que : la microbiologie, la biochimie, l'agronomie.
- Pour une variabilité bien précise nous avons proposé un pas d'échantillonnage moins de 10 m pour des autres thèmes.
- L'utilisation d'outils cartographique dans d'autres études pour enrichir les bases de données cartographiques en milieux arides.

Références Bibliographiques

1. **ABDOUL HABOU Z., 2003** - Effets de la qualité de semences sur la production de l'arachide au Sénégal. Mémoire d'Ingénieur Agronome. Sénégal. ENSA, 59 p.
2. **Ae N., KATO Y., SHEN R. F., MAGNO B., HORST W. J., SCHENK M. K.; BURKERT A., CLAASSEN N., FLESSA H., FROMME W. B., GOLDBACH H., OLFS H.W and V. Romheld., 2001-** Identification of phosphorus solubilizing active components (PSAC) from root cell wall or groundnut having better growth on an infertile soil among several legume crops. In: Plant nutrition: food security and sustainability of agro ecosystem through basic and applied research. Fourteenth-Int 2001: 532-533, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
3. **AGUIEB Z., MESSAI BELGACEM M., 2015** -Valorisation des arachides (*Arachis hypogaea L.*) cultivées à la Wilaya d'El-Oued. Mémoire de Master .Spécialité: Biologie et valorisation des plantes. Université EchahidHamma Lakhdar d'el-Oued, 120 p.
4. **AMRI-TILIOUINE W., 2008** -Etude de la symbiose à Rhizobium chez l'arachide (*Arachis hypogaea L.*) aspects microbiologiques, physiologiques, et agronomiques. Mémoire de Magister .Spécialité : Sciences et techniques de production végétale .ENSA El-Harrach Alger ,102 p.
5. **BARGAZ A., 2012** -Caractérisation Agro-physiologique Et Biochimique De Symbioses Haricot (*Phaseolus vulgaris*)-Rhizobia Performantes Pour La Fixation Symbiotique De L'Azote Sous Déficit En Phosphore .Thèse de Doctorat Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech Université CADI AYYAD ,146 p.
6. **BEAUDIN I., MICHAUD A., BEAUDET P., ET GIROUX M., 2008** - La mobilité du phosphore du sol au cours d'eau fiche technique N° 1.Quebec, Centre de référence en agriculture et en agroalimentaire du Québec, P8.
7. **BENAGGAB A -R., 2011**-Nutrition azotée sous déficience an phosphore chez le niébé (*Vigna unguiculata*Sub. *Spunguiculata L. Walp*) Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques : phytopathologie : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (E.N.S.A) El Harrach-Alger, 78 p.

8. **BENMOHAMMED A., OUNANE S.M., GHALMI N., DJEBARA M. , BENAMARA A.2004**-Etude de la diversité génétique de l'arachide local(*Arachis hypogaea* L).2^{ème} conférence méditerranéenne Rhizobiologie .Oran 23-25 mai 2004.
9. **BENSAHA A., 2013** – Inventaire des ravageurs du palmier dattier (*phoenixdactylifer*L.) dans la région de Metlili, Sebseb, Mansourah (W.de Ghardaïa). Mémoire Master .Option sciences agronomiques .Université de Ghardaïa. 30p.
10. **BENSELAMA A., 2015** -Réhabilitation de la culture du *lablabpurpureus*L. exSweet et études de son partenaire symbiotique. Thèse de 3^{ème} cycle de Spécialité : Interaction Plantes – Microorganismes. Université d'Oran, 105 p.
11. **BOUDANGA L., 2011**-Etude de la performance de la symbiose fève (*Vicia faba*)-*rhizobia* cultivée sous différents niveau du phosphore du sol et sélection des souches locales à haut potentiel de solubilisation du phosphore. Mémoire de Master en Sciences et Techniques. CADI AYYAD ,62 p.
12. **BOUHANIA R., ZEHRI S., 2005** -Etude comparative de deux types d'engrais phosphatés sur céréales à pailles (orge) dans la région d'Oued Righ (Station El-Arfiane).Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie Saharienne. Production végétale. Université Ouargla, 73p.
13. **BOUNAAMA S., 2011**-Evaluation de l'amélioration de la fertilité des sols emblavés par une légumineuse fourragère en relation avec la symbiose *rhizobium* dans la région d'El Goléa. Université Ouargla, 78 p.
14. **CALLOT, PIOMBO G., BARE D., FLLAVIER P., CAZEVIELLE P., ARVI J.C., 1978** -Desert varnish: évidence for cyclic déposition of manganèse. Nature, 267, N° 5687, 489-491p.
15. **CALVET R., 2003** - Le sol : propriétés et fonctions. France Agricole Editions.455p.
16. **CAUNNEILLE A., 1968** - Les Chaâmba, leur nomadisme. Edition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris France. 317 p.

17. **CHABOT R., ANTOUN H., BEAUCHAMP C.J., KLOEPPER J. W., CESCAS M. P., 1998** - Introduction du *Rhizobium* dissolvant le phosphore dans la rhizosphère de non-légumineuses pour en stimuler la croissance.
18. **CHAIGNON V, SANCHEZ-NEIRA I, HERRMANN P, JAILLARD B and HINSINGER P., 2003-** Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. *Environmental Pollution*, p123.
19. **CHARRIER A., JACQUOT M., HAMON S., DOMINIQUE N., 1997** - L'amélioration des plantes tropicales -CIRAD et ORSTOM, pp 63- 64.
20. **CREGUT M., 2009** - Caractérisation de la communauté bactérienne impliquée dans la minéralisation du soufre organique dans les rhizosphères de colza et d'orge. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques P15.
21. **D.S.A .2017** - Direction du service agricole de Ghardaïa.
22. **DAOUI K., 2007-** Recherche de stratégies d'amélioration de l'efficience d'utilisation du phosphore chez la fève (*Vicia faba L.*) dans les conditions d'agriculture pluviale au Maroc / Research of strategies for improving phosphorus use efficiency in *Vicia faba L.* conducted in pluvial conditions in Morocco. Prom. : Ledent, Jean-François.
23. **DECROUX J. MULLER J.C. SCHVARTZ C., 2005** -Guide de la fertilisation raisonnée « grandes cultures et prairies ».éditions France agricole , pp : 69-42, 126-127-145.
24. **DEMERS 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), 92 p.
25. **DIEHL J.A, 1975-** Agriculture générale, pp 205-211.
26. **DIF K., et MESSAAD S. 2015** - Effet du phosphore sur l'évolution de quelques biomarqueurs de jeunes plantes de blé dur (*Triticum durum Desf.*). Mémoire de MASTER .Spécialité. Biotechnologie végétale. Université Ouargla ,75 p.
27. **DJEKAOUA., 2006** - Monographie de la commune de Sebseb. 37 p.

28. **DOIKH N. L., 2001** - Evaluation agronomique de variétés d'arachide de bouche à Nioro Du Rip (Centre Sud du Bassin Arachidier). Mémoire d'Ingénieur des travaux agricoles. Sénégal, 32 p.
29. **DROUET TH., 2010** -Pédologie, BING-F-302. Ed. Lagev, 140 p.
30. **DUTHIL J., 1967**-La production fourragère .ED.JB. PARIS. 320p.
31. **ELFERIHA S., 2010** -Influence de la salinité sur la formation des nodosités chez la fève (*Vicia Faba* L.).Mémoire de Magister .Spécialité : Ecophysiologie Végétale. Université d'Oran, 73 p.
32. **ÉLIARD JEAN-LOUIS, 1979** -*manuel d'agriculture générale* ; base de la production végétale .Ed J-B BAILIER. pp 99-388.
33. **FARDEAU J.C et FROSSARD M; 1991**-Processus de transformation du phosphore dans les sols de Afrique de l'Ouest semi – aride: Application au phosphore assimilable. In Phosphorus cycles in tersional and aquatic ecosystems. Regional work shop4, Univ .Saskatchewan, pp: 1-15.
34. **FARDEAU J.C., 1993** - Le devenir du phosphore dans le sol et dans les systèmes sol-plante. Perspectives agricoles n°181-juin, pp : 17-22.
35. **FARDEAU J.C., CONESA, A.P. 1994**- Le phosphore. Dans: Bonneau et Souchier, Pédologie vol 2. Constituants et propriétés du sol. Masson. pp 557 – 568.
36. **FARES S., 2008** -Valorisation de la fixation de l'azote par des souches de *rhizobiums* autochtones et introduites associées à *Medicago sativa*en zone semi-aride. Mémoire de magister .Spécialité : exploitation des interactions plant microorganismes. Université d'Oran, 74 p.
37. **FIHA KHIR H., 2012** -Problèmes agro-hydrauliques posés par la mise en valeur des sols des zones de SEBSEB. Mémoire d'ingénieur. Spécialité : agronomie saharienne. Université d'Ouargla 121 p.

38. **FONCEKA D., 2010** -Elargissement de la base génétique de l'arachide cultivée (*Arachis hypogaea*):Applications pour la construction de populations, l'identification de QTL et l'amélioration de l'espèce cultivée. Thèse de doctorat. Université Montpellier Sup Agro, 121 p.
39. **GANGBAZO G., 2011**-Guide pour l'élaboration d'un plan directeur de l'eau : un manuel pour assister les organismes de bassin versant du Québec dans la planification de la gestion intégrée des ressources en eau. Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
40. **GARDENER W.K., PARBERY D.G., BARBER D.A. 1981**-Proteoid root morphology and function in *Lapinus albus* .Plant and soil 60.143-147.
41. **GASCUEL-ODOUX C., WALTER C., VOLTZ M., 1993** - Intérêt du couplage des méthodes géostatistiques et de cartographie des sols pour l'estimation spatiale. Science du sol, vol. 31, pp 193-213.
42. **GAUGLIARDI I., CICHELLA D., DE ROSA R., 2012** -A Geo-statistical Approach to Assess Concentration and Spatial Distribution of Heavy Metals in Urban Soils. Water Air Soil Pollut. Vol. 223, pp 5983–5998.
43. **GERVY R ,1970** - Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris.
44. **GHALEM M ., 2010** - Contribution à l'étude du développement de la culture du soja ; effets du sol et de l'incolition , rendement et caractérisation des bactéries associées .Mémoire de Magister .Spécialité :Exploitation des Interactions Plantes – Microorganismes. Université d'Oran, 113 p.
45. **GHANIMI R ., 2014** - Analyse agro-physiologique de la réaction de la symbiose fève-rhizobia sous déficit en phosphore. Mémoire Master Sciences et Techniques. Université KADI AYYAD,42 p.
46. **GILLIER P., 1969** -L'arachide, Maisonneuve et Larose. Agroalimentaires, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne, Paris, 2000.Journal of Clinical Nutrition 9, pp 28 –32.

47. **GIRAD M.C., SCHVARTZ C., JABIOL B., 2011-** Etude des sols description, cartographie, utilisation Ed. Dunod.
48. **GOBAT J-M., ARAGNO M. et MATTEHEY W., 2010** - Le sol vivant. Bases de pédologie- Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 609 p.
49. **GOUNOT M., 1969** - Méthode d'étude quantitative de la végétation. Ed. BOULEVARD Paris, 305 p.
50. **GRAMA B. S., 2008-** Utilisation des techniques d'électrophorèse pour l'identification et l'étude de la diversité des *Rhizobiums* de quelques légumineuses. Mémoire de Magistère .Spécialité : Génomique et Technologies Avancées des végétaux. Université Mentouri Constantine ,93 p.
51. **HAYNES R J., 1990** - Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: A critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. *Plant and Soil* 126, 247-264.
52. **HINSINGER P., PLASSARD C., TANG C., JAILLARD B., 2003-** Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review. *Plant and Soil* 248, 43-59.
53. **HOUICHITI, 2009-** Caractérisation d'un agro système saharien dans une perspective de développement durable: Cas d'oasis de Sebseb (Wilaya de Ghardaïa), Mémoire de Magister. Université Ouargla. 90 p.
54. **ILLMER, P., SCHINNER F., 1995** - Solubilisation des phosphates inorganiques par des micro-organismes isolé du sol forestier. *Soil Biol. Biochem* , pp 24-389-395.
55. **KHADRAOUI A., 2010-** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes caractérisation – contraintes et propositions d'aménagements. ©office de la publication universitaire Ed : 2.02.5125, pp 25.
56. **KONESHLOO M., 2007** - Caractérisation, estimation et valorisation de gisements d'argiles kaoliniques du bassin des CHARENTES. Sciences de l'ingénieur [physiques]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 334 p.

57. **LAMBERT J.C, 1979** - « La fertilisation phosphatée» revue Cultivar. N °115, pp 96-97.
58. **LATATI M., 2012**- Adaptation de la symbiose légumineuse haricot-*rhizobium* à la déficience en phosphore (incidence de la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère).Mémoire de Magister. Spécialités : Biotechnologie Végétale. ENSA El-Harrach Alger ,104p.
59. **LATATI M., 2015** - Modélisation de la dynamique du carbone et de l'azote dans le système d'association légumineuses-céréales: Rôle fonctionnel de la symbiose rhizobienne dans le contrôle de la biodisponibilité du phosphore dans la rhizosphère. Thèse de Doctorat. Option : Biotechnologies végétales. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach – Alger, 185p.
60. **LAZALI M., 2009**- Etude de la symbiose à *rhizobium* chez l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée sous contrainte hydrique: aspects morpho-physiologiques et agronomiques. Mémoire Magister. Biotechnologies végétales .Institut National Agronomique - El Harrach – Alger, 136p.
61. **LE HOUEROU, 1979**- Climate, flora and fauna changes in the Sahara over the past 500 million years. Ed Academic Press Limited, Montpellier, 647p.
62. **LEBBIDA F., 2009**- Caractérisation des rhizobia de quelques acacias d'Algérie en vue de la production d'inoculum pour la bactérisation des acacias en pépinières. Mémoire de Magister .Spécialité : Biotechnologies végétale .ENSA El-Harrach Alger ,101p.
63. **LI X., YANG J., LIU M., LIU G., YU M., 2012** -Spatio-Temporal Changes of Soil Salinity in Arid Areas of South Xinjiang Using Electromagnetic Induction. Journal of Integrative Agriculture, vol. 8, pp 1365-1376.
64. **LIMAM A- M -F ., 2015** - Isolement et pré-identification des mycorhizes à arbuscules provenant de quelques palmeraies de Ouargla .Mémoire en vue de l'obtention de diplôme Master en Microbiologie appliquée : Biologie : Université Ouargla, 73p.
65. **M.A.D. R, 2010** – Ministère de l'agriculture et Développement Rurale (direction générale de forêt).

66. **MAOUGAL R T., 2014** - Contribution des phytases bactériennes à l'adaptation de *Phaseolus vulgaris* à la faible disponibilité de phosphore en sols méditerranée .Thèse de Doctorat en Sciences. Université Constantine ,114p.
67. **MARSCHNER H., 1995** - Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. 889 p.
68. **MARSCHNER H., 1995**- Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. 889 p.
69. **MATHIEU C., PIELTHAIN F., 2003**- Analyse chimique des sols. 2ème édition. LAVOISIER, 385p.
70. **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, Quèbec, 234p.
71. **MENGEL K ., KIRKBY E. A., 2001**- Principles of plant nutrition. Kluwer academic publishers, Dordrecht. 849 p.
72. **MIHINDOU F., 2000**- Comparaison de deux techniques d'hybridation chez l'arachide (*Arachis hypogaea* L.).Mémoire d'Ingénieur des travaux agricoles. Sénégal, 47p.
73. **MIHOUB A., 2009** - Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*triticumdurum* L. Var. Carioca) dans la région d'el Goléa. Mémoire Magister .Spécialité : Agronomie Saharienne. Université Ouargla, 91p.
74. **MOLLIER A., 2016** - La modélisation du transfert sol-plante du phosphore dans les agroécosystèmes. Mémoire de HDR- INRA Bordeaux-Aquitaine – Université de Bordeaux, 133p.
75. **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. Thèse d'habilitation INRA Bordeaux, 80 p.

76. **MOUAFEK A., 2010** - La symbiose à rhizobia chez la fève (*Vicia faba* L.) et La luzerne (*Medicago sativa*L.) dans la région de Biskra .Mémoire de Magister. Spécialité : Agriculture et environnement dans les régions arides .Université Mohamed Khider Biskra, 114p.
77. **MOULIAS D., 1927-** L'organisation hydraulique des oasis sahariennes. Edition Jules Carbonel, Ancienne maison Bastide – Jourdan. 305 p.
78. **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, 72p.
79. **MOUREAUX C., 1973-** Microbiologie du sol. O.R.S.T.O.M., 164p.
80. **NAGRAGAH, S., A., POSNER M., and J.P.Quirk 1970** - Competitive adsorption of phosphate with polygalacturonate and others organic anions on kaolinite and oxide surface. Nature Vol .228: 83-84.
81. **NEHILA A., 2016** - Symbiose telluriques : rôle et mécanisme de tolérance aux stress abiotiques. Thèse en vue pour l'obtention du diplôme de doctorat. Spécialité : Interaction Plantes-Microorganismes. Université Oran, 198 p.
82. **O.N.M. 2016** - Données climatiques de la région de Ghardaïa. Ed. Office National de la Météorologie, Ghardaïa.
83. **OUSLIM S., 2016** - BNL associées aux légumineuses alimentaires (*vicia faba* L) dans l'ouest Algérien caractérisation et importance .Thèse de doctorat , option : Exploitation des interaction plantes Microorganismes . Université d'Oran.131p.
84. **PASSAGER P., 1958** - Metlili des Chaâmba, Sahara Algérois. Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie. pp 508-574.
85. **PAUL THOREZ J, DEJEAN B., 2012-** Le guide du jardin bio Livre éco-conçu 414p.

86. **PELMONT J., 1995-** Bactérie et environnement. Vol 2. Office des Publication Universitaire. Grenobl.
87. **PEREDA CAMPOS M.V., 2008** - Contribution à l'étude des transporteurs de phosphate de la famille PHT1 chez le Peuplier (*Populustrichocarpa* Torr. & Gray) et le champignon ectomycorhizien *Laccaria bicolor* (Maire) P. D. Orton. Thèse de doctorat. Biologie Végétale et Forestière. Nancy (France), 141p.
88. **PERRY J.J., STALEY J.T., LORY S., 2004-** Microbiologie. Edition Dunod, Paris.
89. **PINTON R., VARANINI Z. AND NANNIPIERI P., 2001-**The rhizosphere, New York.
90. **POLLET ., 1995** - Insectes ravageurs et parasites des légumineuses a graines en Afrique de l'ouest (cultures et stocks). Laboratoire d'Entomologie Agricole. Côte d'Ivoire.
91. **RAMDANE I., BOUKARANA I. K., 2016** - Sélection des souches rhizobiennes efficaces, autochtones de la région de Ghardaïa, nodulant la luzerne (*Medicagosativa* L.). Mémoire de Master. Spécialité : Biotechnologie Végétale. Université Ouargla, 95p.
92. **RAZI S., 2006** - Etude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique du phosphore dans le sol et sa cinétique d'absorption par le Ray-grass. Magister. Agronomie. Université Batna : 194 p.
93. **SAOUDI M., 2008** - Les bactéries nodulant les légumineuses (B.N.L) : caractérisation des bactéries associées aux nodules de la légumineuse *Astragalus armatus*. Mémoire de Magister .Spécialité : Génomique et Techniques Avancées des Végétaux. Université Mentouri de Constantine, 99 p.
94. **SCHIENER J-D., 2005** - Spéciation du Carbone, de l'Azote et du Phosphore de différentes boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol. Thèse Doctorat. Spécialité Agronomie. De L'institut National Polytechnique de Toulouse, 218p.
95. **SCHILLING R., DIMANCHE P., CRAMBADE P., GAUTREAU J., 1996-** L'arachide en Afrique tropicale. Maison- neuve & Larose, CTA, pp 31-35.

96. **SCHNEIDER A., HUYGHE C., 2015-** Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaire durable @ Éditions Quæ, ISBN : 978-2-7592-2335-0 (c.a.d. l'eISBN).
97. **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, 121p.
98. **SOMASEGARAN P., HOBEN H.J., 1994** - Handbook for Rhizobia. Sringerverlage New York.
99. **SOUSSOU S., 2013** - Adaptation de la symbiose Fabacées-rhizobium aux sites miniers : Absorption du zinc par *Anthyllis vulneraria* et analyse de la diversité des bactéries symbiotiques d'*Hedysarumcoronarium*. Thèse Doctorat de Montpellier Sup agro de Chott-Meriam, 190p. Spécialité : Développement Agricole Et Rural .Université Athénée Saint Joseph Antsirabe, 104 p.
100. **SUBBARAO G. V., Ae N., and OTANI T., 1997-** Genotypic variation in iron and aluminum- phosphate solubilizing activity of pigeonpea root exudates under P deficient conditions .Soil science and plante nutrition, 43(2), pp 295-305.
101. **THIAW C., 2008** - Bioactivite des extraits de *calotropisprocera*AIT. et de *senna occidentalis* L. sur *caryedon serratus* (OL.), ravageur des stocks et semences d'arachide au Sénégal. Thèse de 3^{ème} cycle de chimie et biochimie des produits naturels. Université Cheikh Anta Diop de DAKAR, 196p.
102. **TOMBOZARA N., 2014** - Relation entre la disponibilité de l'azote (N) et du phosphore (P) des sols, la minéral masse (N et P) de la plante et la nodulation du haricot : cas d'essai multilocal dans les parcelles paysannes du moyen ouest de Madagascar. Mémoire d'ingénieur, 67 p.
103. **URBATIA, 1996** - Plan Directeur de l'Aménagement Urbain (PDAU) de la commune de Sebseb, Rapport d'orientation, Phase finale. Bureau d'Etudes pour l'Urbanisme et le Bâtiment URBATIA. Agence de Ghardaïa, 75 p.
104. **VOLKER P. et RENE F. 2005** : *Le phosphore dans l'agriculture*; Ed UNIFA ; P6.

105. **WANI S. P., RUPELA O. P., LEE K. K., 1995** - Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil* 174, 29-49.
106. **YOUCEF, 2003** - Mise au point d'une étude climatique du Sahara Septentrionale Algérien (Ouargla, Touggourt, Ghardaïa). Mémoire d'ingénieur. Option Ecosystèmes Steppique et sahariens. Université Ouargla, 88p.
107. **YOUSSEF R A., CHINO M. 1989** - Root-induced changes in the rhizosphere of plants. I. pH changes in relation to the bulk soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, pp 35-461-468.

Annexes

Annexe 1 : Méthodologie de travail sur le terrain.



(DJEKAOUA et OULED.M.G, 2017)

Photo 01 : Prélèvement de plant d'arachide.



(DJEKAOUA et OULED.M.G, 2017)

Photo 02 : Présence de nodule (fixation symbiotique chez l'arachide).



(DJEKAOUA et OULED.M.G, 2017)

Photo 03 : Prélèvement de sol rhizosphérique.



(DJEKAOUA et OULED.M.G, 2017)

Photo 04 : Prélèvement de sol non rhizosphérique.



(DJEKAOUA et OULED.M.G, 2017)

Photo 05 : Conservation le sol en sachets plastiques.

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

1. Mesure du pH

La méthode proposée par MATHIEU et PIELTHAIN (2003) est de :

- Peser 10g de terre dans un bécher.
- Ajouter 50ml de solution d'eau déminéralisée.
- Agiter durant quelques minutes.
- laissé à reposer de 24 h .
- 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

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

Avec:

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

V: volume d'extraction en ml (100 ml).

S: poids de la prise de terre en g (4 g).

3. Dosage de calcium échangeable (MATHIEU et PIELTAIN, 2003).

3.1. Saturation

- Peser 20 g de sol séché dans un bécher de 250 ml.
- Ajouter 50 ml de la solution d'acétate d'ammonium
- Agiter immédiatement avec une baguette et laisser reposer toute une nuit (en ayant soin de la couvrir).
- Filtrer la solution dans des fioles jaugées de 100 ml.
- Ajouter 25 ml de la solution d'acétate d'ammonium au reste du sol.
- Filtrer à nouveau et ajuster au volume de 100 ml.

3.2. Dosage par complexométrie

- Verser 10 ml de la solution à analyser dans des fioles coniques de 100 ml.
- Ajouter 1 ml de solution triéthanolamine et 6 ml de solution tampon NaOH.
- Ajuster le pH à 12.
- Juste avant le dosage, ajouter 6 gouttes d'indicateur Patton et Reeder.
- Doser (titrer) avec la solution EDTA- Na_2 sur un agitateur magnétique jusqu'au virage de la couleur rouge (rose) à bleu franc.
- Faire un témoin avec la solution d'acétate d'ammonium dans les mêmes conditions qu'avec la prise d'essai d'échantillon.

3.3. Calcul (Ca en $\text{mé} \cdot 100\text{g}^{-1}$)

$$\text{Ca} = \frac{(M - B)N \times V \times 100}{AG}$$

M : Volume d'EDTA consommé pour doser l'échantillon en ml.

B : Volume d'EDTA consommé pour doser le témoin en ml.

A : Aliquote prise pour le dosage (10 m).

G : Poids de la prise d'essai (g).

N : Concentration de l'EDTA (0.01).

V : Volume de l'extrait (100 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)

Intensité de la variabilité	Coefficient de variabilité (%)
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.

Variable	T-test for Dependent Samples (Résultats finaux) Marked differences are significant at $p < ,05000$									
	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%	Confidence +95,000%
pH SR	8,4064	0,465840								
pH SNR	8,6520	0,210180	50	-0,245600	0,521294	-3,33143	49	0,001649	-0,393750	-0,097450

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

Variable	T-test for Dependent Samples (Résultats finaux) Marked differences are significant at $p < ,05000$									
	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%	Confidence +95,000%
P SR	4,082741	1,918474								
P SNR	2,583295	1,69572	50	1,499446	2,35425	4,503636	49	0,000041	0,830376	2,168516

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

Variable	T-test for Dependent Samples (Résultats finaux) Marked differences are significant at $p < ,05000$									
	Mean	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p	Confidence -95,000%	Confidence +95,000%
Ca SR	6,435	6,600783								
Ca SNR	6,259	3,674758	50	0,176	7,07521	0,175897	49	0,8611	-1,834752	2,186752

Annexe 5 : Analyse Statistique

Tableau 1 : Statistique descriptive du pH.

	SR	SNR
Nombre	50	50
Moyenne	8,4064	8,652
Minimum	7,22	8,1
Maximum	8,98	9,15
Std.Dev	0,46584	0,21018
CV%	5,541496	2,429262

Tableau 2: Statistique descriptive du P.

	SR	SNR
Nombre	50	50
Moyenne	4,082741	2,583295
Minimum	0,233025	0,495625
Maximum	8,27515	6,43695
Std.Dev	1,918474	1,69572
CV%	46,98986	65,641744

Tableau 3 : Statistique descriptive du Ca.

	SR	SNR
Nombre	50	50
Moyenne	6,435	6,259
Minimum	0,5	1,15
Maximum	24,35	18,85
Std.Dev	6,600783	3,674758
CV%	102,57627	58,711582

Variabilité intra-parcellaire du phosphore dans la rhizosphère d'un sol cultivé d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la région de Ghardaïa (Cas de Sebseb)

Résumé

Ce travail a pour objet la mise en évidence des avantages d'outils cartographiques dans l'étude des variations intra-parcellaires dans une parcelle cultivée d'arachide dans la région Sebseb à travers l'étude des quelques propriétés du sol décrivant les disponibilités des éléments nutritifs notamment le phosphore qui rentre dans la gestion des ressources naturelles et l'utilisation rationnelle des intrants chimiques pour une agriculture de précision.

Les principaux résultats obtenus attestent globalement que l'association *Arachis-Rhizobia* va augmenter la disponibilité du P dans la rhizosphère accompagnant d'une diminution de pH à faible alcalinité jusqu'à la neutralité dans la rhizosphère. Rien que le Ca échangeable les différences n'était pas modifié que ce soit le type du sol analysé (sol rhizosphérique ou non rhizosphérique).

De plus, la présente étude a permis de mettre au point la variabilité spatiale dans la parcelle étudiée. Les cartes thématiques de la répartition de pH, P et Ca, établies ont montré qu'il existe un lien dans leur distribution spatiale. L'étude statistique a confirmé cette tendance, en démontrant une liaison spatiale entre les éléments dosés.

Mots clés: Phosphore, arachide, rhizosphère, cartographiques, Sebseb.

Intra-plot variability of phosphorus in the rhizosphere of a peanut cultivated soil (*Arachis hypogaea* L.) in the region of Ghardaïa (case of Sebseb)

Abstract

This work aims to put in evidence the advantages of mapping tools in the study of intra-plot variations in a cultivated peanut plot in the Sebseb region across the study of the some properties of the soil which describes a availability of nutritional elements especially phosphorus who is go back in the management of natural resources and in the rational use of chemical inputs for precision agriculture.

The principal results obtained attest that the association *Arachis-Rhizobia* will rise the availability of P in the rhizosphere with an acidification in the last one ,where it was noted a low pH alkalinity .But for the exchangeable Ca the differences were not changed in any type of soil analyzed (rhizosphere or no-rhizosphere soil).

In addition, the present study it possible to put point of spatial variability in the our plot. The thematic maps of the pH distribution, P and Ca, established showed that there is a link in their spatial distribution. The statistical study confirmed this trend, demonstrating a spatial link between the dosed elements.

Keywords: Phosphorus, peanut, rhizosphere, mapping, Sebseb.

التغيرات الجزئية للفسفور في محيط الجذور لتربة مزروعة بالفاول السوداني في منطقة غارداية (سبب)

المخلص

يهدف هذا العمل إلى إبراز مزايا رسم الخرائط لدراسة الاختلافات الجزئية لمساحة تمت زراعتها بالفاول السوداني في منطقة سبب من خلال دراسة بعض خصائص التربة التي تصف توفر العناصر الغذائية وخاصة الفوسفور الذي يدخل في إدارة الموارد الطبيعية وفي الاستخدام الرشيد للمدخلات الكيميائية من أجل زراعة دقيقة.

النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها تدل على ان الرابطة *Arachis-Rhizobia* زادت من وفرة الفسفور في محيط الجذور مع انخفاض درجة حموضة هذا الاخير نوعا ما قاعدية الى معتدلة. بينما في الكالسيوم المتبادل لم نلاحظ اختلاف أو تغير في كلا النوعين من التربة التي تم تحليلها سواء (في التربة ذات محيط الجذور أو التربة غير المحيطة بالجذور) .

بالإضافة الى ذلك، هذه الدراسة سمحت بوضع نقاط التباين المكاني، فقد اظهرت الخرائط المواضيعية لتوزيع كل من درجة الحموضة، الفسفور والكالسيوم وجود صلة في توزيعها المكاني كما أكدت الدراسة الإحصائية وجود هذه الصلة المكاني بين العناصر التي تم تحليلها.

الكلمات الدالة: الفسفور، الفول السوداني، محيط الجذور، رسم الخرائط، سبب.

Variabilité intra-parcellaire du phosphore dans la rhizosphère d'un sol cultivé d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la région de Ghardaïa (Cas de Sebseb)

Résumé

Ce travail a pour objet la mise en évidence des avantages d'outils cartographiques dans l'étude des variations intra-parcellaires dans une parcelle cultivée d'arachide dans la région Sebseb à travers l'étude de quelques propriétés du sol décrivant les disponibilités des éléments nutritifs notamment le phosphore qui rentre dans la gestion des ressources naturelles et l'utilisation rationnelle des intrants chimiques pour une agriculture de précision. Les principaux résultats obtenus attestent globalement que l'association *Arachis-Rhizobia* va augmenter la disponibilité du P dans la rhizosphère accompagnant d'une diminution de pH à faible alcalinité jusqu'à la neutralité dans la rhizosphère. Rien que le Ca échangeable les différences n'étaient pas modifiées que ce soit le type du sol analysé (sol rhizosphérique ou non rhizosphérique). De plus, la présente étude a permis de mettre au point la variabilité spatiale dans la parcelle étudiée. Les cartes thématiques de la répartition de pH, P et Ca, établies ont montré qu'il existe un lien dans leur distribution spatiale. L'étude statistique a confirmé cette tendance, en démontrant une liaison spatiale entre les éléments dosés.

Mots clés: Phosphore, arachide, rhizosphère, cartographiques, Sebseb.

Intra-plot variability of phosphorus in the rhizosphere of in peanut cultivated soil (*Arachis hypogaea* L.) in the region of Ghardaïa (case of Sebseb)

Abstract

This work aims to put in evidence the advantages of mapping tools in the study of intra-plot variations in a cultivated peanut plot in the Sebseb region across the study of the some properties of the soil which describes a availability of nutritional elements especially phosphorus who is go back in the management of natural resources and in the rational use of chemical inputs for precision agriculture. The principal results obtained attest that the association *Arachis-Rhizobia* will rise the availability of P in the rhizosphere with an acidification in the last one, where it was noted a low pH alkalinity. But for the exchangeable Ca the differences were not changed in any type of soil analyzed (rhizosphere or no-rhizosphere soil). In addition, the present study it possible to put point of spatial variability in the our plot. The thematic maps of the pH distribution, P and Ca, established showed that there is a link in their spatial distribution. The statistical study confirmed this trend, demonstrating a spatial link between the dosed elements.

Keywords: Phosphorus, peanut, rhizosphère, mapping, Sebseb.

التغيرات الجزئية للفسفور في محيط الجذور لتربة مزروعة بالفاول السوداني في منطقة غارداية (سبب)

الملخص

يهدف هذا العمل إلى إبراز مزايا رسم الخرائط لدراسة الاختلافات الجزئية لمساحة تمت زراعتها بالفاول السوداني في منطقة سبب من خلال دراسة بعض خصائص التربة التي تصف توفر العناصر الغذائية وخاصة الفسفور الذي يدخل في إدارة الموارد الطبيعية وفي الاستخدام الرشيد للمدخلات الكيميائية من أجل زراعة دقيقة. النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها تدل على أن الرابطة *Arachis-Rhizobia* زادت من وفرة الفسفور في محيط الجذور مع انخفاض درجة حموضة هذا الأخير نوعاً ما قاعدية إلى معتدلة. بينما في الكالسيوم المتبادل لم نلاحظ اختلاف أو تغير في كلا النوعين من التربة التي تم تحليلها سواء (في التربة ذات محيط الجذور أو التربة غير المحيطة بالجذور). بالإضافة إلى ذلك، هذه الدراسة سمحت بوضع نقاط التباين المكاني، فقد أظهرت الخرائط المواضيعية لتوزيع كل من درجة الحموضة، الفسفور والكالسيوم وجود صلة في توزيعها المكاني كما أكدت الدراسة الإحصائية وجود هذه الصلة المكانية بين العناصر التي تم تحليلها.

الكلمات الدالة: الفسفور، الفول السوداني، محيط الجذور، رسم الخرائط، سبب.