



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT AGRICULTURE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du  
Diplôme d'Ingénieur Agronome

**EFFETS DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES APPORTS DE  
PHOSPHORE SUR LA DISPONIBILITE DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE,  
LA PRODUCTION DE BIOMASSES ET LE RENDEMENT D'UNE  
ASSOCIATION RIZ-HARICOT SUR SOL FERRALLITIQUE**

Soutenu le 26 septembre 2014

Par

**RAZAFINTSALAMA Harimenja**

Promotion HINA (2009-2014)

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Harilala ANDRIAMANIRAKA

Examineur : Dr. Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA

Maître de stage : Dr. Thierry BECQUER

Tuteur : Dr. Denis RANDRIAMAMPIONONA







UNIVERSITE D'ANTANANARIVO  
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT AGRICULTURE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du  
Diplôme d'Ingénieur Agronome

**EFFETS DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES APPORTS DE  
PHOSPHORE SUR LA DISPONIBILITE DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE,  
LA PRODUCTION DE BIOMASSES ET LE RENDEMENT D'UNE  
ASSOCIATION RIZ-HARICOT SUR SOL FERRALLITIQUE**

Soutenu le 26 septembre 2014

Par

**RAZAFINTSALAMA Harimenja**

Promotion HINA (2009-2014)

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Harilala ANDRIAMANIRAKA

Examineur : Dr. Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA

Maître de stage : Dr. Thierry BECQUER

Tuteur : Dr. Denis RANDRIAMAMPIONONA



## REMERCIEMENTS

Avant tout, je rends gloire à Dieu tout puissant pour son grand amour, sa grâce et sa miséricorde, pour la santé, la foi et le courage qu'Il m'as donnés, m'ayant permis de franchir ce grand pas.

Ensuite, je tiens à adresser mes profondes reconnaissances à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à :

- Monsieur Harilala ANDRIAMANIRAKA, Docteur en Sciences Agronomiques, enseignant chercheur et Chef du Département Agriculture à l'ESSA, d'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire ;
- Madame Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA, Docteur en Sciences Agronomiques, enseignant chercheur à l'ESSA d'avoir bien voulu faire partie des membres du jury en tant qu'examineur ;
- Monsieur Thierry BECQUER, Docteur HDR, Directeur de Recherche à l'UMR Eco&Sols de l'IRD qui n'a pas ménagé ses efforts et son temps pour assurer mon encadrement et parfaire la réalisation de ce travail ;
- Monsieur Denis RANDRIAMAMPIONONA, Docteur en physiologie végétale, enseignant chercheur à l'ESSA d'avoir accepté d'être mon encadreur pédagogique pour cette étude. Ses précieux conseils et ses recommandations m'ont été d'une grande importance pour pouvoir mener à bien ce travail ;

Veillez trouver ici l'expression de mon plus profond respect et mes plus sincères remerciements ;

Je remercie également Monsieur Andry ANDRIAMANANJARA, Docteur en Sciences Agronomiques, pour ses aides précieuses et son encadrement et plus particulièrement pendant les travaux de terrain. Veuillez recevoir ici le témoignage de ma profonde gratitude et mes sincères remerciements ;

Je ne saurais oublier de remercier Monsieur Manitranirina HENINTSOA, Doctorant au LRI, pour ses aides précieuses, pour ses inestimables conseils, mais également pour les temps qu'il a consacrés depuis le début jusqu'à la réalisation finale de ce travail, et ce, même pendant ses séjours à l'étranger. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude et de mes remerciements les plus sincères ;

Mes remerciements s'adressent également à Madame Lilia RABEHARISOA, professeur titulaire et Directeur du Laboratoire des RadioIsotopes de m'avoir accueilli au sein de son établissement. Veuillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect et mes sincères remerciements ;

Je remercie également Madame Marie-Paule RAZAFIMANANTSOA responsable du laboratoire d'analyses au LRI de m'avoir offert son aide pour les travaux de laboratoire et aussi pour les travaux de terrain. Veuillez trouver ici le témoignage de ma plus profonde reconnaissance ;

Je tiens également à remercier Monsieur Adamson Tsoushima Ernest RAZAKATIANA pour les aides précieuses qu'il m'a offertes. Veuillez trouver ici le témoignage de ma plus profonde gratitude ;

Mes remerciements s'adressent également à toute l'équipe du LRI pour leur convivialité. Veuillez trouver ici mes remerciements les plus sincères ;

Je tiens aussi à remercier tous mes amis de la promotion HINA et plus particulièrement ceux du département Agriculture pour ces années et pour ces moments inoubliables que nous avons pu passer ensemble. Merci pour votre amitié, pour votre soutien et votre encouragement ;

Je remercie également tous mes amis stagiaires et doctorants au LRI pour leurs preuves de sympathie. Veuillez recevoir mes sincères remerciements ;

Mes remerciements s'adressent également à tout le personnel du département Agriculture de l'ESSA ;

J'adresse aussi mes sincères remerciements à toute ma famille ;

Le dernier mais pas des moindres de mes remerciements est attribué à mes chers parents qui m'ont toujours soutenue moralement et financièrement. Merci pour vos sacrifices et pour votre amour à travers lesquels vous nous avez toujours rappelé que notre réussite fera votre plus grand bonheur. Je ne pourrais non plus oublier de remercier ma petite sœur d'avoir toujours été là pour moi ;

Je remercie également tous ceux dont je n'ai pas pu citer ici mais qui ont participé vivement à la réalisation de ce travail. Que vous puissiez trouver dans ce mémoire l'image de votre notable contribution et ma plus profonde reconnaissance ;

*Merci à tous,*

*Menja.*

## **TABLE DES MATIERES**

LISTE DES FIGURES .....	i
LISTE DES PHOTOS.....	i
LISTE DES TABLEAUX .....	i
LISTE DES ABREVIATIONS .....	ii
LISTE DES UNITES .....	iii
RESUME .....	iv
ABSTRACT .....	v
GLOSSAIRE.....	vi
INTRODUCTION .....	1
I. MATERIEL ET METHODES .....	3
I.1. Le dispositif expérimental .....	3
I.1.1. Localisation.....	3
I.1.2. Description .....	3
I.1.3. Historique du dispositif .....	4
I.1.4. Données climatiques .....	4
I.2. Matériels végétaux et intrants utilisés.....	5
I.2.1. Les matériels végétaux.....	5
I.2.2. Les intrants utilisés .....	5
I.3. Facteurs étudiés .....	6
I.4. Conduite de culture.....	7
I.5. Prélèvements de sols et de matériels végétaux à la floraison .....	8
I.5.1. Lieu de prélèvement .....	8
I.5.2. Mode de prélèvement.....	9
I.5.3. Les manipulations après prélèvement .....	10
I.6. Récolte de haricot et de riz à maturité .....	11
I.6.1. Récolte du haricot .....	11
I.6.2. Récolte du riz.....	11
I.7. Les travaux de laboratoire.....	12
I.7.1. Dosage de l'azote minéral du sol .....	12
I.7.2. Dosage du phosphore microbien et du phosphore disponible.....	12
I.7.3. Détermination du $pH_{eau}$ et du $pH_{KCl}$ .....	12

I.8.	Analyses statistiques .....	13
II.	RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....	14
II.1.	Quantité de nodule associée au haricot .....	14
II.1.1.	Nombre de nodules par plante .....	14
II.1.2.	Poids de nodules par plante.....	15
II.2.	Biomasses et rendement.....	16
II.2.1.	Biomasse aérienne .....	16
II.2.2.	Biomasse racinaire .....	18
II.2.3.	Rendement.....	20
II.3.	Disponibilité en azote et en phosphore, P microbien, pH <sub>eau</sub> et pH <sub>KCl</sub> .....	21
II.3.1.	Azote minéral .....	21
II.3.2.	Phosphore assimilable (P résine) .....	24
II.3.3.	Phosphore immobilisé par la biomasse microbienne .....	26
II.3.4.	pH <sub>eau</sub> .....	27
II.3.5.	pH <sub>KCl</sub> .....	28
III.	DISCUSSION .....	31
III.1.	Effets des deux modes de gestion du sol .....	31
III.2.	Effets des apports de phosphore sous forme organique .....	33
III.3.	Effets des apports de phosphore minéral à dose croissante .....	35
III.4.	Points forts et limites de l'étude .....	38
	CONCLUSION .....	39
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	41
	ANNEXES .....	I

## LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1</u> : Localisation du site d'étude .....	3
<u>Figure 2</u> : Courbe ombrothermique de Gausсен P = 2T de 2006 à 2012, Ivato aéroport .....	5
<u>Figure 3</u> : Les deux sites de prélèvement de matériels végétaux et de sol (a) : cas d'une parcelle subdivisée en deux sous parcelles ; (b) : cas d'une parcelle entière de 24m <sup>2</sup> .....	9
<u>Figure 4</u> : Les deux sites de prélèvement pour la récolte pour les deux plantes (a) : cas d'une parcelle subdivisée en deux sous parcelles (b) : cas d'une parcelle entière de 24m <sup>2</sup> .....	11

## LISTE DES PHOTOS

<u>Photo 1</u> : Jeunes plants de haricot attaqués par des larves d'Heteronychus sp.....	8
<u>Photo 2</u> : Prélèvement des sols rhizosphériques de haricot et de riz .....	9
<u>Photo 3</u> : Echantillons de plants de riz et de haricot prélevés sur une parcelle .....	10
<u>Photo 4</u> : Séchage des échantillons de sols sous serre .....	11

## LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1</u> : Caractéristiques physico-chimiques du sol avant la mise en place du premier essai en 2006 ..	4
<u>Tableau 2</u> : Teneur en C, N et P du fumier et des résidus de <i>stylosanthès</i> apportés.....	6
<u>Tableau 3</u> : Les 16 traitements retenus sur le dispositif expérimental .....	7
<u>Tableau 4</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du nombre de nodules par plante .....	15
<u>Tableau 5</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du poids de nodules par plante .....	16
<u>Tableau 6</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la biomasse aérienne des deux plantes.....	18
<u>Tableau 7</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la biomasse racinaire des deux plantes.....	19
<u>Tableau 8</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du rendement des deux plantes.....	21
<u>Tableau 9</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en azote ammoniacal sur les sols rhizosphériques des deux plantes.....	22
<u>Tableau 10</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en azote nitrique sur les sols rhizosphériques des deux plantes.....	24
<u>Tableau 11</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en P résine sur les sols rhizosphériques des deux plantes .....	25
<u>Tableau 12</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en P microbien sur les sols rhizosphériques des deux plantes .....	27
<u>Tableau 13</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du pH <sub>eau</sub> sur les sols rhizosphériques des deux plantes.....	28
<u>Tableau 14</u> : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du pH <sub>KCl</sub> sur les sols rhizosphériques des deux plantes.....	30



## LISTE DES ABREVIATIONS

---

<b>Al</b>	:	Aluminium
<b>ANOVA</b>	:	Analyse de la variance
<b>C</b>	:	Carbone
<b>Co</b>	:	Control (témoin sans apport de phosphore)
<b>C/N</b>	:	Rapport carbone sur azote
<b>C/P</b>	:	Rapport carbone sur phosphore
<b>CIRAD</b>	:	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CT</b>	:	Conventional Tillage
<b>Eco&amp;Sols</b>	:	Ecologie Fonctionnelle et Biogéochimie des Sols et des Agro-écosystèmes
<b>ESSA</b>	:	Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
<b>FAO</b>	:	Food and Agricultural Organisation
<b>Fe</b>	:	Fer
<b>GM</b>	:	Green manure
<b>HCl</b>	:	Chlorure d'hydrogène
<b>IRD</b>	:	Institut de Recherche pour le Développement
<b>K</b>	:	Potassium
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	:	Sulfate de potassium
<b>KCl</b>	:	Chlorure de potassium
<b>LRI</b>	:	Laboratoire des RadioIsotopes
<b>M</b>	:	Manure
<b>MS</b>	:	Matière sèche
<b>N</b>	:	Azote
<b>NaCl</b>	:	Chlorure de sodium
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	:	Ion ammonium
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	:	Ion nitrate
<b>NT</b>	:	No tillage
<b>p</b>	:	Seuil de probabilité où l'on se trompe si on refuse une hypothèse donnée (le plus souvent H <sub>0</sub> )
<b>P</b>	:	Phosphore
<b>P résine</b>	:	Phosphore résine
<b>UMR</b>	:	Unité Mixte de Recherche
<b>pH</b>	:	Potentiel hydrogène
<b>r</b>	:	Coefficient de corrélation
<b>TSP</b>	:	Triple superphosphate

## LISTE DES UNITES

---

<b>%</b>	: Pour cent
<b>°C</b>	: Degré Celsius
<b>g kg<sup>-1</sup></b>	: Gramme par kilogramme
<b>kg ha<sup>-1</sup></b>	: Kilogramme à l'hectare
<b>kg P ha<sup>-1</sup></b>	: Kilogramme de phosphore à l'hectare
<b>m</b>	: Mètre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Mètre carré
<b>mg P kg<sup>-1</sup></b>	: Milligramme de phosphore à l'hectare
<b>mg plante<sup>-1</sup></b>	: Milligramme par plante
<b>nm</b>	: Nanomètre
<b>ppm</b>	: Partie par million
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	: Tonne à l'hectare
<b>g N kg<sup>-1</sup></b>	: Gramme d'azote par kilogramme
<b>kg K ha<sup>-1</sup></b>	: Kilogramme de potassium par hectare

## RESUME

---

L'accroissement de la productivité rizicole à Madagascar nécessite la mise en valeur des sols ferrallitiques de tanety et une bonne conduite de la fertilisation du sol. Dans l'objectif de l'amélioration de la disponibilité en nutriments dans le sol ainsi que la productivité agricole, une expérimentation agronomique étudiant l'effet d'une culture intercalaire de riz et de haricot a été réalisée sur un sol ferrallitique situé à Lazaina-Antananarivo. Trois facteurs ont été étudiés : (i) le mode de gestion du sol comparant un système avec labour du sol (CT) et un système sans labour du sol (NT), (ii) l'apport de P sous forme organique à base de fumier ou de résidus de *stylosanthès* et enfin (iii) l'apport de P minéral à doses croissantes sous forme de triple superphosphate (TSP). Des prélèvements de sols rhizosphériques et de plantes ont été effectués au stade floraison du haricot. Les sols rhizosphériques ont fait l'objet des analyses de P résine, de P microbien, d'azote minéral et de pH au laboratoire. Pour les plantes, les biomasses ont été évaluées. Les rendements des deux cultures ont aussi été évalués. Le système CT a permis d'obtenir une biomasse aérienne, racinaire et un rendement en riz et en haricot significativement plus élevés. Cependant, le P résine ainsi que la production de nodules ont été significativement plus élevés sous mode NT que sous CT. L'apport TSP+résidus de *stylosanthès* a permis d'obtenir une biomasse aérienne et racinaire ainsi qu'un rendement significativement plus élevés pour les deux plantes par rapport au traitement TSP+fumier. Les effets des apports de P minéral à dose croissante ont été constatés sur les paramètres étudiés et notamment sur la nodulation, la production de biomasse aérienne, le rendement du haricot et le P résine. En ce qui concerne la teneur en azote minéral, l'effet des apports de P à dose croissante a été seulement observé sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  sur sol rhizosphérique de haricot.

Mots clés : culture pluviale, disponibilité de nutriments, légumineuse, nodulation, rhizosphère.

## ABSTRACT

---

Increasing rice productivity in Madagascar requires the use of "tanety" ferrallitic soil and a better management of soil fertilization. To enhance also nutrients availability and agricultural productivity, an agronomic experimentation studying the effect of an intercropping system based on rice and common bean cropped have been established in a ferrallitic soil in Lazaina-Antananarivo. Three factors have been considered: (i) the soil management including conventional tillage system (CT) and no tillage system (NT), (ii) organic P inputs as manure or *stylosanthès* residues and finally (iii) mineral phosphorus inputs with increasing dose as triple superphosphate (TSP). Samples of rhizospheric soils and plants have been collected at the flowering stage of common bean. P résine, microbial P, mineral nitrogen and pH in rhizospheric soils of rice and common bean have been analyzed. For plants, biomasses have been assessed. The yields of both crops were also evaluated. The CT gave significantly higher values of root and shoot biomass and also of yields of rice and common bean. However, the P resin and the production of nodules were significantly higher in NT system than in CT system. The use of TSP + *stylosanthès* residues gave significantly higher values of shoot and root biomass and also higher yields for both rice and common bean than the use of TSP + manure. The effect of inputs of mineral P with increasing dose was also shown on the parameters studied, particularly on nodulation, biomass production, yield of common bean and P resin. With regards to the mineral nitrogen content, the effect of P inputs with increasing dose have been detected only on the value of  $\text{NH}_4^+$  on rhizospheric soil of common bean.

Keywords: legumes, nutrients availability, nodulation, rainfed agriculture, rhizosphere.

## GLOSSAIRE

---

**Adsorption** : Fixation réversible de particules, molécules ou ions sur les surfaces des constituants du complexe d'échange

**Altération** : Ensemble des phénomènes de transformation chimique ou de dissolution des minéraux primaires dans les roches et dans les sols

**Désorption** : phénomène inverse de l'adsorption

**Humus** : Ensemble des constituants organiques du sol qui n'ont plus d'organisation biologique (végétale, animale, bactérienne) identifiable et qui sont issus de l'évolution biochimique lente des diverses matières organiques des sols

**Humification** : Ensemble des processus biochimiques intervenant dans les horizons de surface, qui décomposent les matières organiques fraîches puis contribuent à la synthèse des produits humiques

**Ions orthophosphates** : phosphates dissous dans la solution du sol sous forme de  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en très faible concentration, de l'ordre de 0.08 à 2.31 mg P l<sup>-1</sup>. Pour un pH compris entre 2 et 7,2, ce sont les ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  qui sont majoritaires et pour un pH compris entre 7,2 et 12, ce sont les ions  $\text{HPO}_4^{2-}$  qui sont dominants. La vaste majorité du P prélevé par les végétaux supérieurs est sous forme d'ion orthophosphate

**Lessivage** : entraînement par l'eau de percolation (ou autres liquides) de particules fines du sol (argiles) et de substances dissoutes

**Lixiviation** : entraînement vers la profondeur des ions les plus mobiles présents dans la solution du sol

**Réorganisation** : passage d'un élément de sa forme minérale en une forme organique par l'action des microorganismes qui s'en nourrissent

**Rhizosphère** : zone du sol la plus influencée par l'activité des racines, elle est liée à la libération ou l'exsudation par les racines de composés organiques qui stimulent l'activité microbienne

**Sesquioxydes** : ensemble des oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium et de manganèse constituant une fraction importante des complexes d'altération dans les sols

## INTRODUCTION

La population mondiale, évaluée à 7 milliards de personnes, devrait atteindre environ 9 milliards en 2050. Cette croissance démographique constitue un des facteurs qui aggrave l'insécurité alimentaire dans le monde. D'ici là, il sera nécessaire de produire 1 milliard de tonnes de céréales et 200 millions de tonnes de produits animaux supplémentaires chaque année (FAO, 2011). Madagascar n'échappe pas à cette pression démographique car, avec un taux de croissance de 3%, la population malgache devrait atteindre 28 millions d'habitants en 2020 (U.S.Census, 2012). L'accroissement de la productivité agricole devrait suivre cette tendance de la croissance démographique, afin que Madagascar conserve une certaine autosuffisance alimentaire.

A Madagascar, le riz est à la fois la culture principale et l'aliment de base de la population. Cependant, la production rizicole ne parvient plus à subvenir aux besoins alimentaires de cette population qui ne cesse d'augmenter avec un rendement national moyen qui stagne autour de 2 tonnes à l'hectare (Razafimandimby *et al*, 2008). Cette productivité faible s'explique d'une part par la mauvaise maîtrise de la fertilisation, et d'autre part, c'est parce que les surfaces cultivées sont limitées pour la riziculture irriguée. En effet, à Madagascar, en matière de fertilisation, les paysans font appel à des déchets ou à du fumier de ferme en guise de fertilisant et très peu ont recours à des engrais chimiques de synthèse (Henintsoa, 2013). La dose moyenne d'utilisation d'engrais chimiques sur l'ensemble des terres cultivées à Madagascar est de l'ordre de 6 à 8 kg ha<sup>-1</sup> en rizière. Ce taux est inférieur à la moyenne des pays africains qui était de 9 kg ha<sup>-1</sup> en 1995 (Randrianarisoa, 2003). Les fonds de vallée sont déjà largement occupés et cultivés principalement en riz irrigué. Cependant il y a les versants des collines appelés « tanety » qui sont encore peu exploités alors qu'ils représentent plus de 50 % de la surface agricole utile (Ramanankasina et Rabeharisoa, 2003).

A Madagascar, 46% de la superficie totale sont occupées par les sols ferrallitiques selon la classification française (Razafimahatratra, 2011) et les sols de « tanety » malgaches sont principalement des sols ferrallitiques (Rabeharisoa, 2004). Ce sont des sols profonds, caractérisés par une altération très poussée des minéraux primaires. Ils ont une forte teneur en sesquioxydes de fer et d'aluminium. Ces sols sont caractérisés généralement par un pH acide voire très acide (variant entre 4 et 5) causés par la forte présence d'aluminium en solution. Ces sols sont aussi carencés en phosphore disponible, carence due à la forte rétention des ions phosphates sur les constituants solides du sol. En effet, la présence de sesquioxydes de Fe et d'Al à fortes teneurs dans ces sols est la principale cause de la faible disponibilité du phosphore, facteur limitant leur fertilité (Boissezon *et al.*, 1973 ; Rabeharisoa, 2004 ; Andriamananjara, 2011 ; Henintsoa, 2013). Ainsi, le P assimilable est inférieur à 10 mgP kg<sup>-1</sup> par l'extraction Olsen (Rabeharisoa, 2004).

L'immobilisation du phosphore limite alors la fertilité des sols ferrallitiques alors que cet élément constitue un composant majeur et un élément minéral essentiel pour les végétaux (Scheiner, 2005). A part le phosphore, l'azote est aussi un des éléments principaux indispensables aux plantes.

Comment peut-on alors mettre en valeur les sols ferrallitiques dans l'extension des cultures pluviales et surtout rizicole ?

Des recherches ont été réalisées sur des systèmes ou techniques culturales pouvant améliorer la productivité rizicole notamment sur les systèmes agro-écologiques intégrant une légumineuse comme culture de rotation ou d'association avec le riz et les cultures sous couverture végétale. En outre, la fixation symbiotique de l'azote est le processus le moins coûteux et le plus écologique permettant de fournir de l'azote aux cultures grâce à la capacité des légumineuses à fixer et à utiliser l'azote libre de l'air pour le rendre disponible aux plantes (Traore, 2012). Par ailleurs, ces légumineuses peuvent exploiter les ions phosphates des fractions les moins labiles (difficilement accessibles) du sol et les stocker dans leurs biomasses aériennes et sont aussi reconnues plus efficaces dans l'extraction du P du sol, efficacité liée à divers mécanismes notamment l'acidification de la rhizosphère, l'exsudation d'acide organique (Tang *et al.*, 2004 In Andriamananjara, 2011).

Ainsi, l'objectif principal de la présente étude est d'améliorer la disponibilité en nutriments ainsi que la productivité agricole sur un sol ferrallitique de tanety.

Comme objectifs spécifiques, la présente étude vise à évaluer l'efficacité de l'association riz-haricot sur la production de biomasses, le rendement de ces deux plantes et la disponibilité des nutriments (notamment le phosphore et l'azote) en considérant deux modes de gestion du sol (conventionnel avec labour du sol et le système sans labour du sol), des apports de P sous forme organique et des apports à dose croissante de P sous forme minérale.

Ainsi, trois hypothèses ont été avancées :

H1 : Le système sans labour du sol permet d'obtenir le meilleur rendement et améliore aussi les paramètres physico-chimiques et biologiques du sol par rapport au système avec labour du sol ;

H2 : Le traitement utilisant des résidus de *stylosanthes* fournit une meilleure production de biomasses (aérienne, racinaire et nodulaire);

H3: Les apports de P à dose croissante permettent d'améliorer la disponibilité de l'azote et du phosphore dans les sols rhizosphériques des deux plantes.

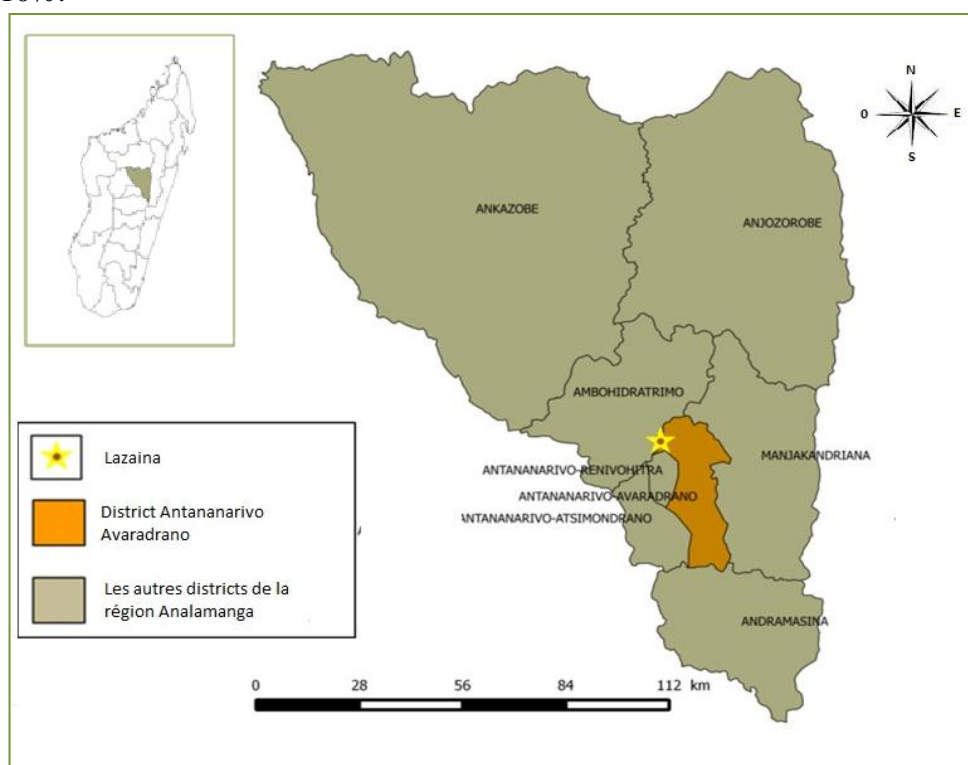
Ainsi, cette étude commencera par une présentation détaillée de la partie matériel et méthodes utilisés durant l'étude puis de la partie résultats et interprétations, suivie de la partie discussion. Une conclusion clôturera ce mémoire.

# I. MATERIEL ET METHODES

## I.1. Le dispositif expérimental

### I.1.1. Localisation

Le site expérimental se situe à Lazaina, Région Analamanga, District Antananarivo Avaradrano, Commune Rurale d'Ambohimanga Rova, à 12 km de la zone urbaine d'Antananarivo, avec une latitude de 18°46'55 59° Sud et une longitude de 47°32'46 3°Nord. Il se trouve à une altitude de 1274 m (Fanjaniaina, 2009). Les parcelles expérimentales ont été mises en place sur un terrain appartenant à la société « Vohitra Environnement » avec une pente inférieure à 10%.



**Figure 1 : Localisation du site d'étude**

Source : BD500, FTM

### I.1.2. Description

Le dispositif expérimental est constitué de quatre blocs disposant chacun 12 parcelles élémentaires de 24 m<sup>2</sup> (6 m x 4 m). Quatre des 12 parcelles élémentaires de chaque bloc ont été encore subdivisées en deux sous parcelles de superficie inégale : la partie amont a une superficie de 10 m<sup>2</sup> (2,5 m x 4 m) et la partie aval 14 m<sup>2</sup> (3,5 m x 4 m). Ces deux sous parcelles ont été mises en place pour comparer l'effet de l'apport de deux types de matière organique : des résidus de *stylosanthès* sur la partie amont et du fumier sur la partie aval. Au total, le nombre de parcelles par bloc est égal à 16. Le schéma du dispositif expérimental est présenté en annexe 1.



### I.1.3. **Historique du dispositif**

Une expérimentation agronomique a été mise en place à Lazaina durant la saison culturale 2006-2007 suite à la défriche d'un terrain en jachère depuis plus de 10 ans, composé essentiellement de *Aristida sp.* Les caractéristiques du sol avant la mise en culture sont présentées dans le Tableau 1.

**Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol avant la mise en place du premier essai en 2006**

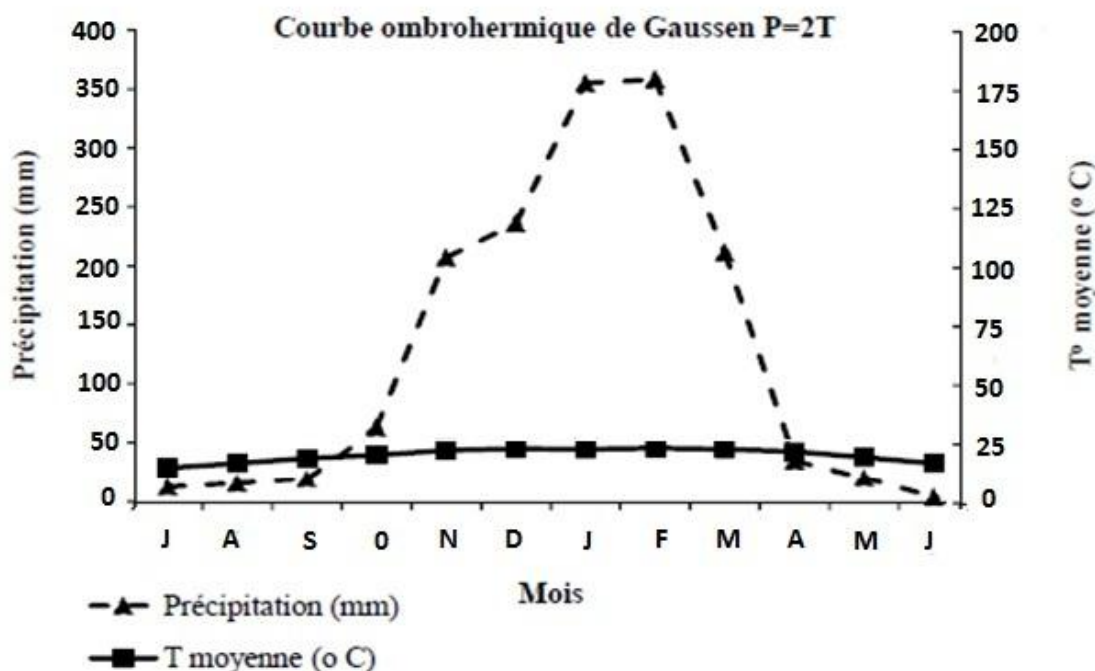
Teneur en phosphore total	Teneur en azote total	Pourcentage d'argile	pH <sub>eau</sub>
200 mg P kg <sup>-1</sup>	1 g N kg <sup>-1</sup>	26%	5,4

**Source : Rasoamaharo, 2008 et Henintsoa, 2013**

L'objectif de cet essai était de tester l'effet des doses croissantes de P sur les cultures. L'historique des cultures successives était le suivant : monoculture de maïs en 2006-2007 ; monoculture de pois de terre en 2007-2008 ; monoculture de riz pluvial en 2008-2009 ; jachère en 2009-2010. Cet essai a été repris en 2011 dans le cadre du Projet Fabatropimed avec l'installation d'une association riz-haricot pour la saison culturale 2011-2012. Les doses apportées ont été les mêmes que celles utilisées dans les saisons culturales précédentes. Le même système de culture a été répété pour les saisons culturales 2012-2013 et 2013-2014. Cette dernière saison correspond aux résultats présentés dans ce mémoire.

### I.1.4. **Données climatiques**

La courbe ombrothermique sur les pluviométries de 6 années cumulatives datant de 2006 à 2012 (Figure 1) montre que la saison pluvieuse et chaude s'étend d'octobre à avril avec une précipitation mensuelle maximale au mois de janvier et la saison sèche s'étend du mois de mai au mois de septembre. La température varie selon la saison, elle atteint son pic maximum au mois de décembre-janvier et son minimum vers les mois de juin et juillet.



**Figure 2 :** Courbe ombrothermique de Gausson P = 2T de 2006 à 2012, Ivato aéroport  
(Source : Ralaizafisolariovony, 2012)

## I.2. Matériels végétaux et intrants utilisés

### I.2.1. Les matériels végétaux

La variété de riz utilisée était la FOFIFA 154 (Ravokatra) et la variété de haricot utilisée était le Ranjonomby. Le riz et le haricot avaient été cultivés en intercalaire : une ligne de riz se succède à une ligne de haricot et ainsi de suite. L'interligne ainsi que l'espacement à l'intérieur des lignes étaient de 25 cm. Durant cette saison, l'expérimentation était menée pour sa troisième année. Le semis a été réalisé en poquet à raison de 5 à 7 grains par poquet pour le riz et 2 graines par poquet pour le haricot. Les caractéristiques de ces deux variétés sont présentées en annexe 2.

### I.2.2. Les intrants utilisés

Deux sources de matière organique ont été utilisées pour l'essai : du fumier de ferme et des résidus de *stylosanthès* préalablement découpés. Le fumier est une matière organique issue de déjections de bœufs mélangées à de la litière et de la paille de riz. Les résidus de *stylosanthès* sont des apports exogènes. Le *stylosanthès* (*Stylosanthès guianensis*) est une légumineuse de la famille des fabaceae, ses tiges ligneuses et ses grosses racines se minéralisent lentement alors que les feuilles et les petites racines riches en azote se minéralisent rapidement, permettant une alimentation continue des plantes cultivées sur couverture de *stylosanthès* (Husson *et al.*, 2008). Le fumier et les résidus de *stylosanthès* ont été apportés à raison de 20 kg P ha<sup>-1</sup>.

**Tableau 2 : Teneur en C, N et P du fumier et des résidus de *stylosanthès* apportés**

	Teneur en carbone (g kg <sup>-1</sup> )	Teneur en azote total (g kg <sup>-1</sup> )	Teneur en phosphore total (g kg <sup>-1</sup> )	Apport équivalent à 20 kg P ha <sup>-1</sup> de MS (t ha <sup>-1</sup> )	Humidité de la matière apportée (%)	Quantité réelle apportée correspondant à 20kgP ha <sup>-1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )
Fumier	161,73	12,21	2,21	9,05	59,20	22,18
Résidus de <i>stylosanthès</i>	508,25	12,72	0,56	35,71	51,80	74,09

**(Source : Auteur, dosage réalisé au LRI)**

Comme source de phosphore inorganique, le triple superphosphate (TSP) a été utilisé et apporté à raison de 0, 5, 10, 20 et 50 kg P ha<sup>-1</sup>. Le TSP utilisé contient 43 % de phosphore sous forme de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Pour satisfaire les besoins des plantes, un apport de potassium sous forme de sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a été effectué sur toutes les parcelles au moment du ressemis (13 jours après semis). Le K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a été apporté à raison de 40 kg K ha<sup>-1</sup>.

### **I.3. Facteurs étudiés**

Durant l'expérimentation, trois facteurs ont été étudiés :

- i)* mode de gestion du sol : comparant un système conventionnel avec travail du sol ou Conventional Tillage (CT) et un système sans travail du sol avec couverture végétale ou No Tillage (NT) ;
- ii)* apport de P organique soit sous forme de fumier soit sous forme de résidus de *stylosanthès*;
- iii)* apport de P minéral à dose croissante de P sous forme de Triple Superphosphate (TSP) apporté à raison de 0, 5, 10, 20, 50 kgP ha<sup>-1</sup>.

Cependant, ces trois facteurs n'ont pas été combinés de complètement. Au total, seuls 16 combinaisons ont été retenues (Tableau 3).

**Tableau 3 : Les 16 traitements retenus sur le dispositif expérimental**

Traitements	Mode de gestion du sol	Fertilisants apportés	Apport de Phosphore minéral à dose croissante	Phosphore organique
CT/Co	Avec labour (CT)	Témoin absolu	0	0
CT/TSP5/M0	Avec labour (CT)	TSP seul	5 kg P ha <sup>-1</sup>	0
CT/TS10/M0			10 kg P ha <sup>-1</sup>	0
CT/TSP20/M0			20 kg P ha <sup>-1</sup>	0
CT/TSP50/M0			50 kg P ha <sup>-1</sup>	0
CT/TSP0/M20	Avec labour (CT)	Fumier	0	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP5/M20	Avec labour (CT)	TSP+fumier	5 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP10/M20			10kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP20/M20			20 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP50/M20			50 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP5/GM20	Avec labour (CT)	TSP+résidus de <i>stylosanthès</i>	5 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP20/GM20			20 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP50/GM20			50 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
NT/TSP5/M20	Sans labour (NT)	TSP+fumier	5 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
NT/TSP20/M20			20 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
NT/TSP20/GM20	Sans labour (NT)	TSP+ résidus de <i>stylosanthès</i>	20 kg P ha <sup>-1</sup>	20 kg P ha <sup>-1</sup>

Cette combinaison incomplète a aussi conduit à une restriction du nombre de traitements utilisés pour chaque facteur étudié. Les détails sont présentés en annexe 3.

Concernant le mode d'application des intrants, pour le mode CT, le sol a été labouré à l'angady à une profondeur de labour de 20 cm et les résidus de *stylosanthès* ainsi que le fumier et le TSP ont été enfouis dans le sol, un jour avant le semis. Par contre, pour le mode NT, le sol n'a pas été labouré et les résidus de *stylosanthès* ainsi que le fumier et le TSP n'ont pas été enfouis mais épandus en surface comme « mulch ».

#### **I.4. Conduite de culture**

Pour combler les poquets manquants, un ressemis a été réalisé vers le 13<sup>ème</sup> jour après semis. Pour le riz, un démariage a été effectué vers le 37<sup>ème</sup> jour après semis. Des sarclages manuels, des binages ont aussi été effectués au cours du cycle végétatif des deux plantes. Les sarclages ont été effectués sur toutes les parcelles tandis que le binage a été effectué seulement sur les parcelles conduites sous mode CT.

Au cours du cycle cultural des deux plantes, des attaques de vers blancs et de pucerons ont été constatées. Pour le traitement contre les vers blancs, le Général 10G a été utilisé (matière

active : carbosulfan) à raison de 10 kg ha<sup>-1</sup>, ce produit a été épandu en surface sur toutes les parcelles, le traitement a été répété tous les 20 jours. Pour la lutte contre les pucerons, le deltaméthrine a été mise en solution et a été pulvérisé sur les parties végétatives attaquées. Ces deux matières actives sont dépourvues de phosphore.



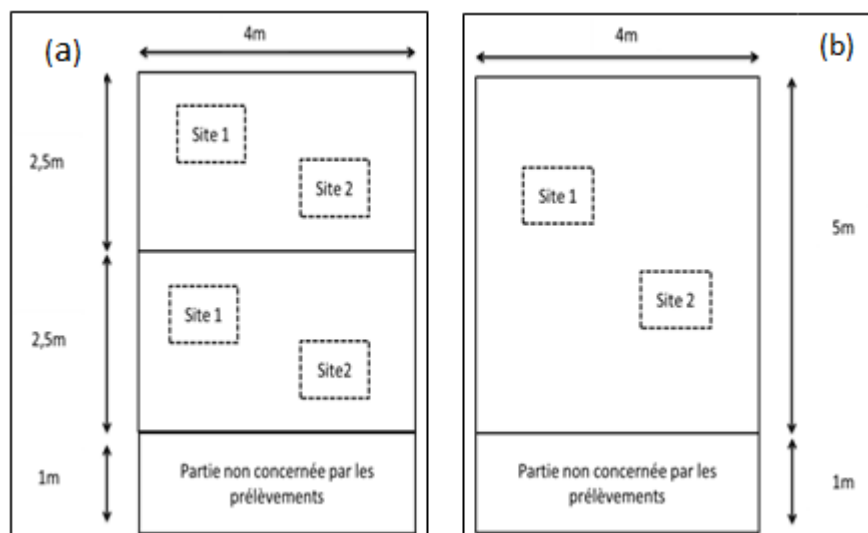
**Photo 1** : Jeunes plants de haricot attaqués par des larves d'*Heteronychus sp.*

### **I.5. Prélèvements de sols et de matériels végétaux à la floraison**

Des prélèvements ont été effectués au stade de floraison du haricot, soit 45 jours après le semis, période durant laquelle l'activité biologique au niveau du sol rhizosphérique du haricot est à son maximum et pendant laquelle la plante absorbe le plus de nutriments. Ainsi, des sols rhizosphériques de haricot et de riz ainsi que des sols non rhizosphériques, c'est-à-dire des sols non affectés par l'activité des racines (bulk soil), ont été prélevés. Des matériels végétaux (haricot et riz) ont aussi été prélevés par la même occasion.

#### **I.5.1. Lieu de prélèvement**

Deux sites par parcelle ont fait l'objet de prélèvement : l'un sur la partie amont et l'autre sur la partie aval comme la Figure 2 ci-dessous la montre. Cependant, sur chaque parcelle élémentaire de 24 m<sup>2</sup>, la partie aval d'une superficie de 4 m<sup>2</sup> n'était pas concernée par les prélèvements puisque cette partie avait eu un précédent cultural différent du reste de la parcelle.



**Figure 3 :** Les deux sites de prélèvement de matériels végétaux et de sol (a) : cas d'une parcelle subdivisée en deux sous parcelles ; (b) : cas d'une parcelle entière de 24m<sup>2</sup>

### I.5.2. **Mode de prélèvement**

Sur chaque site de prélèvement, 3 poquets de riz ainsi que 3 poquets de haricot ont été prélevés. Les plants de haricot prélevés sont ceux directement juxtaposés aux plants de riz précédemment prélevés. Les sols rhizosphériques des 6 plants de riz prélevés sur les deux sites ont été récupérés puis mélangés soigneusement pour obtenir un échantillon représentatif de chaque traitement. La même procédure a été effectuée pour les sols rhizosphériques de haricot.



**Photo 2 :** Prélèvement des sols rhizosphériques de haricot et de riz

Quant au sol non rhizosphérique (bulk soil), il a été prélevé à l'aide d'une tarière à une profondeur de 20 cm.

Pour chaque cas, c'est-à-dire le sol rhizosphérique de riz, le sol rhizosphérique de haricot et le bulk soil, deux sous échantillons de sol ont été préparés : l'un est conservé humide au frais (4°C) et l'autre est mis à sécher. Après avoir prélevé les sols rhizosphériques, les plantes prélevées sur les deux sites de prélèvement ont été placées dans deux enveloppes différentes : une pour le riz et une autre pour le haricot, chaque enveloppe étant codée.

Ainsi en tout, un échantillon de plants de riz, un échantillon de plants de haricot, deux

échantillons de sols rhizosphériques de riz, deux échantillons de sols rhizosphériques de haricot, deux échantillons de sols issus du bulk soil ont été prélevés par traitement.



**Photo 3** : Échantillons de plants de riz et de haricot prélevés sur une parcelle

### **I.5.3. Les manipulations après prélèvement**

#### *a) Préparation des échantillons de plantes*

Une fois arrivés au laboratoire, les échantillons de plante ont été mis dans un endroit ombragé et frais à l'abri de la chaleur. Pour les plants de haricot, les nodules ont été séparés des racines, puis comptés un à un et ont été mis dans des petites enveloppes. Après ceci, la partie aérienne a été séparée de la partie racinaire. Les racines ont été lavées avec de l'eau du robinet.

La partie aérienne, la partie racinaire et les nodules ont été étuvés à 35°C pour être séchés. Pour les échantillons de plant de riz, la partie racinaire a été lavée avec de l'eau du robinet puis séparée de la partie aérienne. Ensuite, comme pour le haricot, la partie racinaire ainsi que la partie aérienne du riz ont été mises dans des enveloppes pour être étuvées à 35°C pour le séchage. Après avoir mis les échantillons de plante à l'étuve pendant trois semaines, les biomasses aériennes, racinaires et nodulaires ont été pesées. La masse sèche a été déterminée (en  $\text{kg ha}^{-1}$  pour les biomasses aériennes et racinaires et en  $\text{mg plante}^{-1}$  pour les nodules).

#### *b) Préparation des échantillons de sols*

Les échantillons de sols destinés à être conservés au frais ont été placés dans un réfrigérateur à 4°C. Les échantillons de sols destinés à être séchés ont été mis sous serre, puis tamisés à 2 mm.

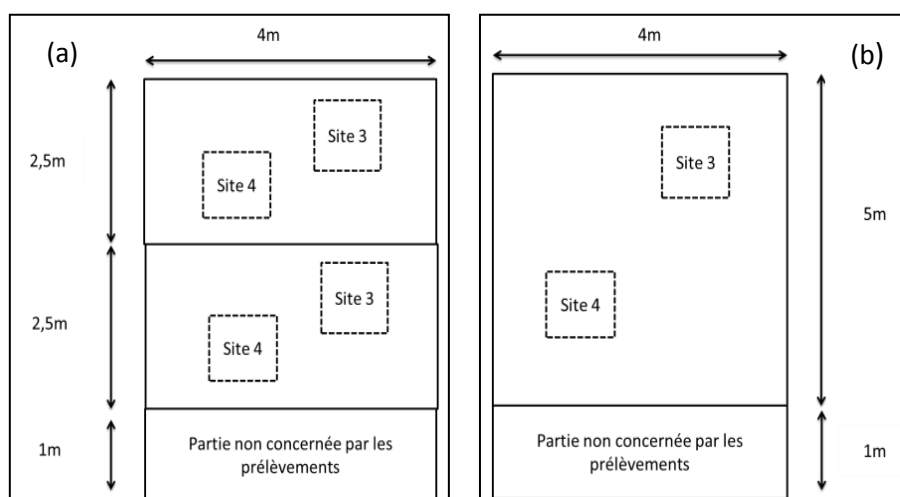


**Photo 4 : Séchage des échantillons de sols sous serre**

## I.6. Récolte de haricot et de riz à maturité

### I.6.1. Récolte du haricot

La récolte du haricot a été réalisée 83 jours après le semis. La récolte a été faite sur deux sites par parcelle : l'une sur la partie amont (site 3) et l'autre sur la partie aval (site 4) (Figure 4).



**Figure 4 : Les deux sites de prélèvement pour la récolte pour les deux plantes (a) : cas d'une parcelle subdivisée en deux sous parcelles (b) : cas d'une parcelle entière de 24m<sup>2</sup>**

Chaque site de prélèvement avait une superficie de 1 m<sup>2</sup> et contenait ainsi 8 poquets de haricot. Au cas où le nombre de poquets dans chaque site était inférieur à 8, les poquets en dehors des sites ont été considérés pour obtenir 8 poquets. Les gousses ont été récoltées, comptées puis mises à l'étuve à 35°C pendant 3 semaines. Le reste de la partie aérienne et la partie racinaire ont été laissés sur les parcelles. Les graines ont été ensuite comptées et pesées pour évaluer le rendement. Le rendement a été ramené en kg ha<sup>-1</sup>.

### I.6.2. Récolte du riz

La récolte du riz a été effectuée 133 jours après le semis. Le principe d'échantillonnage des pieds récoltés a été le même que celle du haricot. Ainsi, 8 poquets ont été récoltés sur le premier carré et 8 autres poquets sur le second carré.



Pour la récolte proprement dite, le riz a été fauché au ras du sol. La partie paniculaire a tout de suite été enveloppée dans un sachet en plastique afin de ne pas perdre les grains. L'ensemble a été introduit dans une enveloppe. Les grains ont par la suite été séparés de la paille, puis mis dans une enveloppe préalablement pesée. Avant étuvage à 60°C pendant une semaine, les grains ont été pesés. Les grains vides ont été ensuite séparés des grains pleins par vannage. Les grains pleins ont été ensuite pesés. Une aliquote de grain plein a été étuvée à 105°C pour en déterminer l'humidité et ensuite pour pouvoir calculer le rendement en ramenant l'humidité à 13%. C'est en faisant la moyenne du poids des grains pleins sur les deux carrés que le rendement du riz a pu être évalué.

## **I.7. Les travaux de laboratoire**

### **I.7.1. Dosage de l'azote minéral du sol**

L'azote minéral ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$ ) du sol a été extrait à partir du sol frais. Ainsi, 5 g de sol frais a été ajouté à 50 ml de solution de KCl 1M puis l'ensemble a été agité pendant une heure. Après centrifugation, l'extrait a été filtré et l'azote minéral dosé dans l'extrait. Le principe de dosage de l'azote minéral dans le sol sera présenté en annexe 4.

### **I.7.2. Dosage du phosphore microbien et du phosphore disponible**

Le phosphore microbien du sol, c'est-à-dire le phosphore contenu dans les microorganismes du sol, et le phosphore assimilable ont été dosés en utilisant une méthode combinant une fumigation-extraction avec l'emploi d'une résine échangeuse d'anions. La résine mime l'action des racines des plantes dans son alimentation phosphatée. En effet, les résines échangeuses d'anions agissent comme le système racinaire des plantes en absorbant le phosphore qui est directement assimilable par les plantes. Le phosphore résine et le phosphore microbien ont été déterminés en utilisant des échantillons de sols frais équivalent à 2g de sol sec. La procédure de dosage du phosphore résine et phosphore microbien est détaillée en annexe 4.

### **I.7.3. Détermination du $\text{pH}_{\text{eau}}$ et du $\text{pH}_{\text{KCl}}$**

Le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  désigne l'acidité actuelle du sol et dépend de la concentration en protons ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) dans la solution du sol et le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  désigne son acidité potentielle. Le KCl va chasser les protons fixés sur le complexe argilo-humique et permet de refléter l'acidité potentielle ou acidité d'échange du sol. Ainsi, le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  sera presque toujours plus bas que le  $\text{pH}_{\text{eau}}$ .

Pour la détermination du  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , des échantillons de sols secs tamisés à 2 mm ont été utilisés. Dans un flacon contenant 5 g de sol, 12,5 ml d'eau distillée a été versée pour la détermination du  $\text{pH}_{\text{eau}}$ . Pour le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , 12,5 ml d'une solution de KCl 1M a été mélangé avec 5 g de sol. Après une agitation de 30 min, la lecture a été faite avec un pH-mètre préalablement calibré.

### **I.8. Analyses statistiques**

L'analyse statistique des résultats a été effectuée avec le logiciel XLStat 2008. L'ANOVA a été utilisée pour déterminer l'effet des facteurs sur les paramètres étudiés en la combinant avec le test de Tukey pour séparer les groupes homogènes. Les effets des traitements sur les différents variables sont jugés significatifs pour une probabilité  $p < 0,05$ . Les différentes dépendances entre les paramètres étudiés ont été identifiées avec le test de corrélation de Pearson. Des tests de normalité et d'égalité de la variance ont précédé l'ANOVA. Les données n'ayant pas respecté ces deux conditions ont subi une transformation de variables puis soumises de nouveau à ces deux tests avant d'être traitées par ANOVA. Les données d'analyse des bulk soil n'ont pas été traitées.

## II. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les résultats présentés dans cette partie sont la biomasse aérienne, la biomasse racinaire, le rendement en grain/graine, la teneur en azote minéral, le phosphore disponible, le phosphore microbien, le  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  aussi bien pour le haricot que pour le riz. La biomasse nodulaire s'ajoute pour le cas du haricot. Par ailleurs, les résultats sur les bulk soil ne seront pas présentés. Les tableaux récapitulatifs de l'ANOVA sur les facteurs étudiés sont présentés en annexes 11,12 et 13.

### II.1. Quantité de nodule associée au haricot

#### II.1.1. Nombre de nodules par plante

La comparaison de l'ensemble des traitements a montré qu'il y a des différences significatives entre les nombres de nodules par plante des différents traitements ( $p < 0,0001$ ). En effet, ce sont les traitements NT/TSP20/GM20 et CT/TSP20/M20 qui ont donné le nombre de nodule le plus élevé avec des valeurs respectives de  $87 \pm 6$  et  $88 \pm 10$  nodules plante<sup>-1</sup>. Par contre, le traitement combinant le TSP et les résidus de *stylosanthes* mené sous mode conventionnel (CT/TSP5/GM20) a donné le nombre de nodule le plus faible avec  $13 \pm 5$  nodules plante<sup>-1</sup>. Le tableau de comparaison des moyennes pour les 16 traitements sera présenté en annexe 5.

Les doses d'apport croissant de P minéral ont aussi eu des effets significatifs sur le nombre de nodules par plante ( $p = 0,0004$ ). Le nombre de nodules par plante est proportionnel aux doses d'apport de P. Les doses 20 et 50 kg P ha<sup>-1</sup> ont donné les nombres de nodule significativement plus élevés avec des valeurs respectives de  $45 \pm 10$  et  $52 \pm 7$  nodules plante<sup>-1</sup>. Le traitement avec un apport de 5 kg P ha<sup>-1</sup> a donné la valeur la plus faible avec  $19 \pm 4$  nodules plante<sup>-1</sup> (Tableau 4).

Par ailleurs, les apports de P sous forme organique ont aussi eu des effets significatifs sur le nombre de nodules ( $p = 0,016$ ). Le traitement combinant le TSP et le fumier a donné un nombre de nodule significativement élevé avec  $55 \pm 9$  nodules plante<sup>-1</sup> par rapport au traitement combinant TSP et résidus de *stylosanthes* qui a donné le nombre de nodule le plus faible avec  $29 \pm 6$  nodules plante<sup>-1</sup>. Le traitement utilisant du TSP seul a donné un nombre de nodule égal à  $33 \pm 8$  nodules plante<sup>-1</sup> et qui ne présente aucune différence significative avec les deux formes d'apport organique (Tableau 4).

De même, le mode de gestion du sol a aussi eu des effets significatifs sur le nombre de nodules ( $p = 0,002$ ). C'est le mode NT qui a donné le meilleur résultat qui est significatif en termes de nombre de nodules avec  $67 \pm 9$  contre  $46 \pm 10$  nodules plante<sup>-1</sup> pour le mode CT (Tableau 4).

**Tableau 4** : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du nombre de nodules par plante

Facteurs étudiés	Modalités	Nombre de nodules par plante
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	19 (4) b'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	45 (10) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	52 (7) a'
<i>p</i>		<b>0,0004</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	33 (8) AB
	TSP+ fumier	55 (9) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	29 (6) B
<i>p</i>		<b>0,016</b>
Mode de gestion du sol	CT	46 (10) b
	NT	67 (9) a
<i>p</i>		<b>0,002</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### II.1.2. Poids de nodules par plante

La comparaison des 16 traitements a montré qu'il y a eu des effets significatifs sur le poids des nodules par plante ( $p < 0,0001$ ). Les traitements ayant donné des valeurs élevées en biomasse nodulaire sont les traitements NT/TSP20/GM20 ( $74,87 \pm 3,40 \text{ mg plante}^{-1}$ ) et NT/TSP20/M20 ( $70,02 \pm 16,42 \text{ mg plante}^{-1}$ ). Les traitements CT/TSP20/M0 et CT/TSP5/GM20 ont eu un poids de nodule faible avec des valeurs respectives de  $6,94 \pm 3,79$  et  $5,84 \pm 2,56 \text{ mg plante}^{-1}$  et qui sont significativement différentes de celles des deux premiers. Le tableau de comparaison des moyennes pour les 16 traitements sera présenté en annexe 5.

Les apports de P minéral à dose croissante ont aussi eu des effets significatifs sur le poids des nodules par plante ( $p = 0,001$ ). Le traitement avec un apport de  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  a donné un poids de nodule significativement élevé avec une valeur de  $37,32 \pm 6,36 \text{ mg plante}^{-1}$  par rapport au traitement  $5 \text{ kg P ha}^{-1}$  qui a obtenu  $11,07 \pm 3,32 \text{ mg plante}^{-1}$ . L'apport à  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  a obtenu une valeur de  $25,78 \pm 8,17 \text{ mg plante}^{-1}$  laquelle ne présente aucune différence significative avec les deux autres doses de P minéral (Tableau 5).

En ce qui concerne les apports de P sous forme organique, des effets significatifs sur le poids nodulaire ont aussi été constatés ( $p = 0,020$ ). En effet, l'apport de TSP + fumier a donné la valeur la plus élevée en poids de nodules par plante avec  $40,02 \pm 8,26 \text{ mg plante}^{-1}$  laquelle est significativement différente de celle du traitement TSP seul qui a obtenu un poids nodulaire égal

à  $15,67 \pm 5,13$  mg plante<sup>-1</sup>. La valeur du poids des nodules par plante pour le traitement TSP+résidus de *stylosanthès* ne présente aucune différence significative par rapport aux deux autres traitements avec  $18,49 \pm 4,78$  mg plante<sup>-1</sup> (Tableau 5).

Le mode de gestion du sol a aussi eu des effets significatifs sur la biomasse nodulaire produite ( $p = 0,025$ ). En effet, le mode NT a obtenu un poids nodulaire significativement plus élevé avec  $57,21 \pm 8,65$  mg plante<sup>-1</sup> par rapport au mode CT qui a obtenu  $30,20 \pm 7,73$  mg plante<sup>-1</sup> (Tableau 5).

**Tableau 5 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du poids de nodules par plante**

Facteurs étudiés	Modalités	Poids de nodules (mg plante <sup>-1</sup> )
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	11,07 (3,32) b'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	25,78 (8,17) a'b'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	37,32 (6,36) a'
<i>p</i>		<b>0,001</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	15,67 (5,13) B
	TSP+ fumier	40,02 (8,26) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	18,49 (4,78) AB
<i>p</i>		<b>0,02</b>
Mode de gestion du sol	CT	30,20 (7,73) b
	NT	57,21 (8,65) a
<i>p</i>		<b>0,025</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

## II.2. Biomasses et rendement

### II.2.1. Biomasse aérienne

Pour le cas du haricot, la comparaison de l'ensemble des 16 traitements a montré des effets significatifs ( $p < 0,0001$ ). La biomasse aérienne la plus élevée a été obtenue avec les traitements CT/TSP50/GM20 et CT/TSP20/GM20 avec des valeurs respectives de  $654,20 \pm 91,66$  et  $655,30 \pm 122,48$  kg ha<sup>-1</sup>. Par contre, les traitements CT/Co (témoin) et CT/TSP20/M0 ont donné une biomasse aérienne significativement plus faible par rapport aux deux premiers traitements avec des valeurs respectives de  $73,07 \pm 15,44$  et  $76,00 \pm 0,92$  kg ha<sup>-1</sup>. Chez le riz, des effets significatifs ont aussi été constatés entre ces 16 traitements ( $p = 0,004$ ). En effet, la biomasse aérienne la plus élevée a été obtenue avec les traitements CT/TSP5/GM20 ( $56,07 \pm 8,49$  kg ha<sup>-1</sup>) et CT/TSP5/M20 ( $60,2 \pm 6,73$  kg ha<sup>-1</sup>) alors que ce sont les traitements NT/TSP20/M20 et CT/TSP5/M20 qui ont donné la valeur la plus faible en biomasse aérienne avec respectivement

26,27±1,32 et 60,2±6,73 kg ha<sup>-1</sup> et qui sont significativement différentes de celle des deux premiers. Par rapport à la biomasse aérienne produite par le haricot, ces valeurs sont très faibles puisque le développement du riz est assez en retard par rapport à celui du haricot, le riz était encore à ce moment en phase de tallage. Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

Concernant les apports de P minéral à dose croissante, ils ont aussi eu des effets significatifs sur la biomasse aérienne du haricot ( $p = 0,008$ ). C'est la dose apportée à raison de 50kg P ha<sup>-1</sup> qui a donné la biomasse aérienne la plus élevée pour le haricot (375,59±75,06 kg ha<sup>-1</sup>) et la dose de 5kgP ha<sup>-1</sup> a donné la valeur la plus faible (221,24±46,55 kg ha<sup>-1</sup>). Ces deux valeurs sont significativement différentes. Par contre, la dose 20 kg P ha<sup>-1</sup> a donné une biomasse aérienne qui ne présente aucune différence significative avec les deux autres (326,21±82,36 kg ha<sup>-1</sup>). Pour le cas du riz, l'apport de P minéral à dose croissante n'a pas eu d'effets significatifs sur la biomasse aérienne ( $p = 0,076$ ) (Tableau 6).

Les apports de P organique ont aussi eu des effets significatifs sur la biomasse aérienne du haricot ( $p < 0,0001$ ). Les trois formes d'apport de P sont significativement différentes entre-elles. Le traitement avec un apport combinant le TSP et les résidus de *stylosanthès* a donné la biomasse aérienne la plus élevée (565,20±66,01 kg ha<sup>-1</sup>) précédé du traitement combinant le TSP et le fumier (258,20±32,10 kg ha<sup>-1</sup>). Enfin le traitement avec un apport de TSP seul a donné la valeur la plus faible en biomasse aérienne (99,64± 11,82 kg ha<sup>-1</sup>). Chez le riz, l'apport de P sous forme organique n'a pas eu d'effets significatifs sur la biomasse aérienne ( $p = 0,076$ ) (Tableau 6).

En tenant compte des modes de gestion du sol, la biomasse aérienne du haricot sous le mode CT a été significativement plus élevée ( $p = 0,001$ ) par rapport à celle produite sous le mode NT avec 362,93±73,27 kg ha<sup>-1</sup> pour CT et 235,59±44,60 kg ha<sup>-1</sup> pour NT. Chez le riz, les modes de gestion du sol ont aussi eu des effets significatifs sur la production de biomasse aérienne ( $p = 0,021$ ). La biomasse aérienne obtenue par le mode CT a été significativement plus élevée par rapport à celle donnée par le mode NT avec 31,59±3,43 kg ha<sup>-1</sup> pour NT et 44,66±5,53 kg ha<sup>-1</sup> pour CT (Tableau 6).

**Tableau 6 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la biomasse aérienne des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	221,24 (46,55) b'	49,62 (5,37) a'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	326,21 (82,36) a'b'	36,46 (4,83) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	375,59 (75,06) a'	45,68 (4,62) a'
<i>p</i>		<b>0,008</b>	<b>0,076</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	99,64 (11,82) C	38,32 (4,57) A
	TSP+ fumier	258,20 (32,10) B	46,12 (4,56) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	565,20 (66,01) A	47,31 (5,98) A
<i>p</i>		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,244</b>
Mode de gestion du sol	CT	362,93(73,27) a	44,66 (5,53) a
	NT	253,59 (44,60) b	31,59 (3,43) b
<i>p</i>		<b>0,001</b>	<b>0,021</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### II.2.2. **Biomasse racinaire**

La comparaison de l'ensemble des traitements a montré des effets significatifs sur la biomasse racinaire du haricot ( $p < 0,0001$ ). La biomasse racinaire la plus élevée a été obtenue par le traitement CT/TSP50/GM20 ( $105,33 \pm 12,57$  kg ha<sup>-1</sup>). Le traitement ayant obtenu la biomasse racinaire la plus faible était le NT/TSP5/M20 avec une valeur de  $30,17 \pm 1,74$  kg ha<sup>-1</sup>. Chez le riz, la comparaison de l'ensemble des traitements n'a pas eu d'effets significatifs sur la biomasse racinaire ( $p = 0,005$ ). Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

Pour l'apport de P minéral à dose croissante, il n'a pas donné d'effets significatifs ni sur la biomasse racinaire du haricot ( $p = 0,2$ ) ni sur celle du riz ( $p = 0,657$ ) (Tableau 7).

L'apport de P sous forme organique a eu des effets significatifs sur la biomasse racinaire du haricot ( $p < 0,0001$ ). Le traitement avec un apport de TSP seul a donné le plus faible rendement en biomasse racinaire avec  $39,87 \pm 2,07 \text{ kg ha}^{-1}$  suivi du traitement TSP+fumier qui a donné une valeur en biomasse racinaire de haricot égale à  $59,27 \pm 3,87 \text{ kg ha}^{-1}$ . Enfin, le traitement TSP+résidus de *stylosanthès* avait obtenu la biomasse racinaire la plus élevée avec  $94,58 \pm 8,83 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ces trois valeurs sont significativement différentes entre-elles. Chez le riz, les apports de P organique ont eu des effets significatifs sur la biomasse racinaire produite ( $p = 0,015$ ). En effet, le traitement combinant le TSP et les résidus de *stylosanthès* a donné la biomasse racinaire significativement la plus élevée avec une valeur de  $44,99 \pm 4,63 \text{ kg ha}^{-1}$  tandis que les traitements TSP seul et TSP combiné avec du fumier ont été classés dans le même groupe et ont donné des valeurs significativement plus faibles en biomasse racinaire avec des valeurs respectives de  $33,69 \pm 3,95$  et  $34,54 \pm 2,66 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tableau 7).

Le mode de gestion du sol a eu des effets significatifs sur la biomasse racinaire produite par le haricot ( $p < 0,0001$ ). En effet, le mode CT a donné une biomasse racinaire significativement plus élevée avec  $70,77 \pm 8,96 \text{ kg ha}^{-1}$  contre  $43,11 \pm 3,37 \text{ kg ha}^{-1}$  pour le système NT. Chez le riz, le mode de gestion du sol a aussi eu des effets significatifs sur la production de la biomasse racinaire ( $p = 0,003$ ). En effet, c'est le mode CT qui a obtenu la valeur la plus élevée en biomasse racinaire du riz avec  $37,80 \pm 3,95 \text{ kg ha}^{-1}$  contre  $24,67 \pm 2,70 \text{ kg ha}^{-1}$  pour le mode NT. Ces deux valeurs sont significativement différentes entre-elles (Tableau 7).

**Tableau 7 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la biomasse racinaire des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	Biomasse racinaire ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	$5 \text{ kgP ha}^{-1}$	59,80 (6,34) a'	38,49 (3,31) a'
	$20 \text{ kgP ha}^{-1}$	62,76 (10,27) a'	35,64 (4,93) a'
	$50 \text{ kgP ha}^{-1}$	71,16 (9,23) a'	39,09 (3,93) a'
<i>p</i>		0,2	0,657
Apport de P sous forme organique	TSP seul	39,87 (2,07) C	33,69 (3,95) B
	TSP+ fumier	59,27 (3,87) B	34,54 (2,66) B
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	94,58 (8,83) A	44,99 (4,63) A
<i>p</i>		< 0,0001	0,015
Mode de gestion du sol	CT	70,77 (8,96) a	37,80 (3,95) a
	NT	43,11 (3,37) b	24,67 (2,70) b
<i>p</i>		< 0,0001	0,003

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*



### II.2.3. Rendement

Pour le cas du haricot, la comparaison de l'ensemble des traitements a montré des effets significatifs sur le rendement en graine ( $p < 0,0001$ ). Les traitements NT/TSP20/GM20, CT/TSP20/GM20 et CT/TSP50/GM20 ont eu des rendements plus élevés avec des valeurs respectives de  $1119 \pm 229$  ;  $1263 \pm 230$  et  $1384 \pm 210 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ce sont les traitements CT/TSP10/M0 et CT/Co (témoin) qui ont donné les rendements les plus faibles avec les valeurs respectives de  $44 \pm 17$  et  $56 \pm 14 \text{ kg ha}^{-1}$ . Chez le riz, la comparaison de l'ensemble des 16 traitements a aussi eu des effets significatifs sur le rendement en grain ( $p = 0,003$ ). C'est le traitement CT/TSP10/M20 qui a eu le rendement le plus élevé avec  $1008 \pm 266 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ce sont les traitements NT/TSP20/GM20, NT/TSP20/M20 et CT/Co (témoin) qui ont obtenu le rendement en grain de riz le plus faible avec les valeurs respectives de  $236 \pm 82$ ,  $307 \pm 91$  et  $353 \pm 39 \text{ kg ha}^{-1}$  lesquels sont significativement différents de celui du traitement CT/TSP10/M20. Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

D'autre part, les apports de P à dose croissante ont eu des effets significatifs sur le rendement en graine du haricot ( $p = 0,012$ ). Le traitement à  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  a donné le rendement le plus élevé avec  $655 \pm 174 \text{ kg ha}^{-1}$  lequel est significativement différent de celui du traitement  $5 \text{ kg P ha}^{-1}$  qui a donné le rendement le plus faible avec  $383 \pm 127 \text{ kg ha}^{-1}$ . Mais ce traitement à  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  ne présente aucune différence significative avec celui du traitement  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  avec  $604 \pm 168 \text{ kg ha}^{-1}$ . Chez le riz, les apports de P minéral à dose croissante n'ont pas eu d'effets significatifs sur le rendement en grain ( $p = 0,569$ ) (Tableau 8).

Par ailleurs, les apports de P sous forme organique ont eu des effets significatifs sur le rendement en graine du haricot ( $p < 0,0001$ ). Le traitement TSP+résidus de *stylosanthes* a donné le rendement le plus élevé en obtenant  $1164 \pm 139 \text{ kg ha}^{-1}$  et le rendement le plus faible a été obtenu pour le traitement TSP seul avec  $85 \pm 20 \text{ kg ha}^{-1}$ . Le rendement issu du traitement TSP + fumier était de  $394 \pm 50 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ces trois valeurs sont significativement différentes entre-elles. Chez le riz, les apports de P sous forme organique n'ont pas eu d'effets significatifs sur le rendement ( $p = 0,080$ ) (Tableau 8).

Le mode de gestion du sol a, quant à lui, eu des effets significatifs sur le rendement en graine du haricot ( $p = 0,012$ ). Le rendement sous CT a été significativement supérieur à celui sous NT avec des valeurs respectives de  $665 \pm 152 \text{ kg ha}^{-1}$  et  $498 \pm 150 \text{ kg ha}^{-1}$ . Chez le riz, des effets significatifs du mode de gestion du sol ont aussi été constatés sur le rendement en grain ( $p = 0,001$ ). En effet, le mode CT a donné un rendement significativement plus élevé avec  $720 \pm 81 \text{ kg ha}^{-1}$  contre  $354 \pm 76 \text{ kg ha}^{-1}$  pour le mode NT (Tableau 8).

**Tableau 8 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du rendement des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	383 (127) b'	631 (87) a'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	605 (168) a'b'	654 (74) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	655 (174) a'	549 (67) a'
<i>p</i>		<b>0,012</b>	<b>0,569</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	85 (20) C	531 (61) A
	TSP+ fumier	394 (49) B	751 (78) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthes</i>	1164 (139) A	552 (75) A
<i>p</i>		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,08</b>
Mode de gestion du sol	CT	665 (152) a	720 (81) a
	NT	499 (150) b	354 (76) b
<i>p</i>		<b>0,012</b>	<b>0,001</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### **II.3. Disponibilité en azote et en phosphore, P microbien, pH<sub>eau</sub> et pH<sub>KCl</sub>**

#### **II.3.1. Azote minéral**

##### **a) Azote ammoniacal**

La comparaison de l'ensemble des traitements a montré des effets significatifs sur la teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des sols rhizosphériques de haricot (p = 0,001). Le traitement CT/TSP50/GM20 a obtenu une valeur de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> significativement plus élevée sur sol rhizosphérique de haricot avec 14,92±3,87 mg kg<sup>-1</sup> par rapport aux traitements CT/Co, CT/TSP5/M0, CT/TSP10/M0 qui ont obtenu les valeurs de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> les plus faibles avec respectivement 1,75±0,63, 1,3±0,21 et 1,67±0,36 mg kg<sup>-1</sup>. Par contre, chez le riz, la comparaison des différents traitements n'a montré aucun effet significatif sur la teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des sols rhizosphériques (p = 0,780). Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

L'apport de P minéral à dose croissante a eu des effets significatifs sur la teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des sols rhizosphériques de haricot (p = 0,017). En effet, l'apport à 50kg P ha<sup>-1</sup> a donné une valeur significativement plus élevée (10,89±3,09 mg kg<sup>-1</sup>) et différente de celle de la dose 5 kg P ha<sup>-1</sup> (4,69±2,15mg kg<sup>-1</sup>) qui est la valeur la plus faible. Enfin, l'apport à 20 kgP ha<sup>-1</sup> a donné la valeur intermédiaire de 6,76±1,45 mg kg<sup>-1</sup> laquelle ne présente aucune différence significative avec les

deux autres doses. Chez le riz, les apports de P minéral à dose croissante de P n'ont pas eu d'effets significatifs sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  des sols rhizosphériques ( $p = 0,574$ ) (Tableau 9).

Les apports de P organique ont eu des effets significatifs sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p < 0,0001$ ). En effet, les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des trois formes de P organique sont significativement différentes. Le traitement combinant le TSP et résidus de *stylosanthès* a donné la valeur la plus élevée avec  $12,42 \pm 2,23 \text{ mg kg}^{-1}$ . La valeur la plus faible a été obtenue avec le traitement ayant reçu seulement du TSP seul avec  $2,61 \pm 0,64 \text{ mg kg}^{-1}$ , suivi du traitement combinant le TSP et le fumier qui avait obtenu  $7,31 \pm 2,89 \text{ mg kg}^{-1}$ . Chez le riz, l'apport de P sous forme organique n'a eu aucun effet significatif sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  des sols rhizosphériques (Tableau 9).

Le mode de gestion du sol a eu des effets significatifs sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,024$ ). Le mode NT a eu une valeur significativement élevée en  $\text{NH}_4^+$  avec  $9,52 \pm 1,54 \text{ mg kg}^{-1}$  alors que le mode CT obtenu une valeur plus faible en  $\text{NH}_4^+$  avec  $6,24 \pm 1,54 \text{ mg kg}^{-1}$ . Par contre, chez le riz, les deux modes de gestion du sol n'ont pas eu d'effets significatifs sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  du sol rhizosphérique ( $p = 0,872$ ) (Tableau 9).

**Tableau 9** : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en azote ammoniacal sur les sols rhizosphériques des deux plantes

Facteurs étudiés	Modalités	N- $\text{NH}_4^+$ sur sol rhizosphérique ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	4,69 (2,15) b'	3,62 (1,05) a'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	6,76 (1,45) a'b'	6,50 (2,01) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	10,89 (3,09) a'	3,89 (1,05) a'
<i>p</i>		<b>0,017</b>	<b>0,574</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	2,61 (0,64) C	4,23 (1,39) A
	TSP+ fumier	7,31 (2,89) B	3,65 (1,10) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	12,42 (2,23) A	6,14 (1,80) A
<i>p</i>		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,248</b>
Mode de gestion du sol	CT	6,24 (1,54) b	5,93 (1,95) a
	NT	9,52 (1,54) a	3,94 (0,79) a
<i>p</i>		<b>0,024</b>	<b>0,872</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

**b) Azote nitrique**

La comparaison des 16 traitements a montré qu'il y a eu des effets significatifs sur l'azote nitrique des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,0003$ ). C'est le traitement CT/TSP50/GM20 qui a donné la valeur la plus élevée avec  $5,55 \pm 1,15 \text{ mg kg}^{-1}$ . Les traitements CT/TSP5/M0 et CT/TSP20/M20 ont eu des teneurs faibles en  $\text{NO}_3^-$  avec des valeurs respectives de  $0,97 \pm 0,44$  et  $1,2 \pm 0,16 \text{ mg kg}^{-1}$  et qui sont significativement différentes de la valeur de  $\text{NO}_3^-$  issu du traitement CT/TSP50/GM20. Chez le riz, la comparaison des 16 traitements a aussi eu des effets significatifs sur la teneur en  $\text{NO}_3^-$  des sols rhizosphériques ( $p = 0,0002$ ). C'est le traitement NT/TSP20/GM20 qui a eu la teneur la plus élevée en  $\text{NO}_3^-$  sur sol rhizosphérique de riz avec  $10,45 \pm 5,35 \text{ mg kg}^{-1}$  laquelle est significativement différente de celle des traitements CT/TSP10/M0, CT/TSP20/M0 et CT/TSP50/M0. Les traitements CT/TSP10/M0, CT/TSP20/M0 et CT/TSP50/M0 ont eu des teneurs faibles en  $\text{NO}_3^-$  avec des valeurs respectives de  $0,86 \pm 0,22$  ;  $1,17 \pm 0,53$  et  $0,87 \pm 0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ . Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

Les doses d'apport de P n'ont pas eu d'effets significatifs sur la teneur en  $\text{NO}_3^-$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,788$ ). Il en était de même pour les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  des sols rhizosphériques de riz ( $p = 0,288$ ) (Tableau 10).

L'apport de P sous forme organique a eu des effets significatifs sur la teneur en nitrate des sols rhizosphériques de haricot ( $p < 0,0001$ ). En effet, le traitement combinant le TSP et le *stylosanthès* a obtenu la teneur la plus élevée en  $\text{NO}_3^-$  avec une valeur de  $5,38 \pm 0,68 \text{ mg kg}^{-1}$ . Cette valeur est significativement plus élevée par rapport à celle des traitements TSP seul et TSP+fumier qui ont obtenu respectivement  $1,63 \pm 0,33$  et  $2,36 \pm 0,35 \text{ mg kg}^{-1}$ . Chez le riz, les apports de P organique ont aussi eu des effets significatifs sur la teneur en  $\text{NO}_3^-$  des sols rhizosphériques ( $p = 0,0003$ ). En effet, les traitements TSP+fumier et TSP+résidus de *stylosanthès* ont obtenu des teneurs significativement plus élevées en nitrate avec respectivement  $2,83 \pm 0,6$  et  $4,71 \pm 1,06 \text{ mg kg}^{-1}$  par rapport au traitement TSP seul qui n'a obtenu que  $1,22 \pm 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$  (Tableau 10).

Le mode de gestion du sol, quant à lui, n'a eu aucun effet significatif sur la teneur en nitrate des sols rhizosphériques aussi bien sous haricot ( $p = 0,644$ ) que sous riz ( $p = 0,395$ ) (Tableau 10).

**Tableau 10 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en azote nitrique sur les sols rhizosphériques des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> sur sol rhizosphérique (mg kg <sup>-1</sup> )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	3,39 (0,65) a'	2,97 (0,69) a'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	2,91 (0,66) a'	2,36 (0,65) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	3,07 (0,74) a'	3,44 (1,06) a'
<i>p</i>		<b>0,788</b>	<b>0,288</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	1,63 (0,33) B	1,22 (0,20) B
	TSP+ fumier	2,36 (0,35) B	2,83 (0,60) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthes</i>	5,38 (0,68) A	4,71 (1,06) A
<i>p</i>		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,0003</b>
Mode de gestion du sol	CT	3,11 (0,62) a	3,29 (0,79) a
	NT	2,85 (0,51) a	4,28 (2,09) a
<i>p</i>		<b>0,644</b>	<b>0,395</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### II.3.2. Phosphore assimilable (P résine)

La comparaison de l'ensemble des traitements a montré des effets significatifs sur le phosphore disponible (P résine) des sols rhizosphériques de haricot ( $p < 0,0001$ ). C'est le traitement CT/TSP50/M20 qui a donné la valeur la plus élevée avec  $34,20 \pm 8,77$  mg kg<sup>-1</sup> alors que la valeur la plus faible a été obtenue avec le traitement CT/Co ( $2,73 \pm 1,22$  mg kg<sup>-1</sup>). Ces deux valeurs sont significativement différentes. L'effet significatif des traitements a aussi été constaté sur la teneur en P résine des sols rhizosphériques de riz ( $p < 0,0001$ ). En effet, c'est le traitement CT/TSP50/M20 qui a eu la valeur la plus élevée avec  $42,08 \pm 6,39$  mg kg<sup>-1</sup> alors que le traitement CT/Co (témoin) a donné la valeur la plus faible en P résine avec seulement  $2,35 \pm 0,88$  mg kg<sup>-1</sup>. Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

Les apports de P minéral à dose croissante ont donné des valeurs de P résine significativement différentes pour le cas des sols rhizosphériques de haricot ( $p < 0,0001$ ). La valeur du P résine augmente avec les doses d'apport de phosphore :  $5,07 \pm 0,76$  mg kg<sup>-1</sup> pour le traitement avec un apport de TSP de 5kgP ha<sup>-1</sup>,  $8,91 \pm 0,87$  mg kg<sup>-1</sup> pour un apport de TSP de 20kgP ha<sup>-1</sup> et  $24,20 \pm 3,81$  mg kg<sup>-1</sup> pour un apport de TSP de 50 kgP ha<sup>-1</sup>. Chez le riz, les apports de P minéral à dose croissante ont aussi eu des effets significatifs sur la teneur en P résine des sols rhizosphériques ( $p < 0,0001$ ). Le P résine a aussi augmenté significativement avec les doses croissantes de P apporté sous forme de TSP avec  $6,32 \pm 1,18$  ;  $11,03 \pm 1,26$  et  $30,52 \pm 4,37$  mg kg<sup>-1</sup> respectivement pour les doses 5,20 et 50 kgP ha<sup>-1</sup> (Tableau 11).

Les apports de P sous forme organique ont eu des effets significatifs sur la teneur en P résine des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,0001$ ). Le traitement combinant le TSP et le fumier a donné une valeur significativement plus élevée en P résine avec  $17,8 \pm 4,43 \text{ mg kg}^{-1}$ . Ce sont les traitements avec un apport de TSP seul et celui combinant le TSP et le *stylosanthès* qui ont fourni les teneurs les plus faibles en P résine sur les sols rhizosphériques de haricot avec des valeurs respectives de  $8,71 \pm 1,38$  et  $11,65 \pm 3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Chez le riz, les apports de P sous forme organique ont aussi eu des effets significatifs sur la teneur en P résine des sols rhizosphériques ( $p < 0,0001$ ). C'est le traitement TSP combiné avec du résidu de *stylosanthès* qui a donné la valeur la plus faible avec  $8,82 \pm 1,91 \text{ mg kg}^{-1}$  suivi du traitement TSP seul obtenant  $16,8 \pm 4,16 \text{ mg kg}^{-1}$  et enfin c'était le traitement combinant le TSP et le fumier qui a donné la teneur en P résine la plus élevée avec  $22,25 \pm 4,76 \text{ mg kg}^{-1}$ . Ces trois valeurs sont significativement différentes entre-elles (Tableau 11).

Pour le mode de gestion du sol, les valeurs du P résine des sols rhizosphériques de haricot sont significativement différentes entre elles ( $p = 0,043$ ). Le mode NT a donné la teneur en P résine la plus élevée et significative avec  $12,15 \pm 1,33 \text{ mg kg}^{-1}$ . C'est le mode CT qui a donné la valeur plus faible en P résine sur sol rhizosphérique pour une valeur de  $8,95 \pm 0,87 \text{ mg kg}^{-1}$ . Par contre, le mode de gestion du sol n'a eu aucun effet significatif sur les valeurs du P résine des sols rhizosphériques de riz ( $p = 0,077$ ) (Tableau 11).

**Tableau 11 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en P résine sur les sols rhizosphériques des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	P résine sur sol rhizosphérique ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	$5 \text{ kgP ha}^{-1}$	5,07 (0,76) c'	6,32 (1,18) c'
	$20 \text{ kgP ha}^{-1}$	8,91 (0,87) b'	11,03 (1,26) b'
	$50 \text{ kgP ha}^{-1}$	24,20 (3,81) a'	30,52 (4,37) a'
$p$		<b>&lt; 0,0001</b>	
Apport de P sous forme organique	TSP seul	11,65 (3,00) B	16,8 (4,16) B
	TSP+ fumier	17,80 (4,43) A	22,25 (4,76) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	8,71 (1,38) B	8,82 (1,91) C
$p$		<b>0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Mode de gestion du sol	CT	8,95 (0,87) b	10,65 (1,33) a
	NT	12,15 (1,33) a	16,56 (3,35) a
$p$		<b>0,043</b>	<b>0,077</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### II.3.3. **Phosphore immobilisé par la biomasse microbienne**

La comparaison de l'ensemble des traitements a montré des effets significatifs sur la valeur du P microbien des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,0004$ ). La valeur la plus élevée a été observée sous le traitement CT/TSP50/M20 avec  $6,71 \pm 2,32 \text{ mg kg}^{-1}$ . C'est le traitement CT/Co (témoin) qui a donné la valeur la plus faible en P microbien avec  $1,39 \pm 0,31 \text{ mg kg}^{-1}$ . Ces deux valeurs sont significativement différentes entre elles. Par contre, pour le cas du riz, les différents traitements n'ont pas eu d'effets significatifs sur le P microbien des sols rhizosphériques ( $p = 0,395$ ). Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz..

Les apports de P à dose croissante n'ont pas eu d'effets significatifs sur les valeurs du P microbien aussi bien pour le haricot ( $p = 0,869$ ) que pour le riz ( $p = 0,82$ ) (Tableau 12).

Les apports de P sous forme organique ont eu des effets significatifs sur la valeur du P microbien des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,0001$ ). En effet, les apports de TSP+fumier et TSP+ résidus de *stylosanthès* ont obtenu des teneurs plus élevées et significatives en P microbien avec respectivement  $4,84 \pm 0,9 \text{ mg kg}^{-1}$  et  $4,4 \pm 0,34 \text{ mg kg}^{-1}$  tandis que le traitement TSP seul a donné la plus faible teneur avec une valeur de  $1,9 \pm 0,42 \text{ mg kg}^{-1}$  qui est significativement différente des deux autres. Chez le riz, les apports de P organique n'ont pas eu d'effets significatifs sur la valeur du P microbien des sols rhizosphériques de riz ( $p = 0,067$ ) (Tableau 12).

Le mode de gestion du sol n'a pas eu d'effets significatifs sur les valeurs du phosphore microbien des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,452$ ). Il en était de même pour les sols rhizosphériques de riz ( $p = 0,669$ ) (Tableau 12).

**Tableau 12 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas de la teneur en P microbien sur les sols rhizosphériques des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	P microbien sur sol rhizosphérique (mg kg <sup>-1</sup> )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	3,24 (0,39) a'	2,96 (0,53) a'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	3,7 (0,6) a'	3,09 (0,32) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	4,20 (1,00) a'	3,81 (0,77) a'
<i>p</i>		<b>0,869</b>	<b>0,82</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	1,90 (0,42) B	2,43 (0,47) A
	TSP+ fumier	4,84 (0,90) A	3,21 (0,68) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	4,40 (0,34) A	4,22 (0,42) A
<i>p</i>		<b>0,0001</b>	<b>0,067</b>
Mode de gestion du sol	CT	4,18 (0,47) a	3,25 (0,45) a
	NT	4,55 (0,4) a	4,46 (0,80) a
<i>p</i>		<b>0,452</b>	<b>0,669</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

#### II.3.4. **pH<sub>eau</sub>**

La comparaison des 16 traitements a montré qu'il y a des effets significatifs sur le pH<sub>eau</sub> des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,005$ ). Le traitement CT/TSP50/GM20 a donné la valeur du pH<sub>eau</sub> la plus élevée ( $5,86 \pm 0,15$ ) et le traitement CT/TSP50/M0 le pH<sub>eau</sub> le plus faible ( $5,25 \pm 0,23$ ). Sur sol rhizosphérique de riz, les valeurs du pH<sub>eau</sub> présentent aussi des différences significatives pour l'ensemble des 16 traitements ( $p = 0,002$ ). Le traitement ayant donné la valeur élevée en pH<sub>eau</sub> était le CT/TSP20/M20 avec  $5,92 \pm 0,15$ . C'est le traitement CT/TSP5/M0 qui a donné la valeur la plus faible en pH<sub>eau</sub> avec  $5,25 \pm 0,05$ . Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

Les apports de P minéral à dose croissante n'ont pas eu d'effets significatifs sur la valeur du pH<sub>eau</sub> des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,452$ ). Chez le riz, les valeurs du pH<sub>eau</sub> sont significativement différentes suivant les doses d'apports de P sous forme minéral ( $p = 0,016$ ). Les doses 20 kg P ha<sup>-1</sup> et 50 kg P ha<sup>-1</sup> ont obtenu des valeurs élevées et significatives par rapport à la dose 5 kg P ha<sup>-1</sup> avec respectivement  $5,7 \pm 0,09$  et  $5,71 \pm 0,08$ . C'est le traitement à 5 kg P ha<sup>-1</sup> qui a donné la valeur la plus faible en pH<sub>eau</sub> avec  $5,46 \pm 0,05$  (Tableau 13).

Les apports de P sous forme organique ont eu des effets significatifs sur la valeur du pH<sub>eau</sub> des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,001$ ). Les traitements TSP+fumier et TSP+résidus de *stylosanthès* ont obtenu des pH<sub>eau</sub> significativement plus élevés par rapport au



TSP seul avec respectivement  $5,68 \pm 0,08$  pour le traitement combinant TSP et le fumier et  $5,74 \pm 0,07$  pour celui combinant le TSP et le résidu de *stylosanthès*. Le traitement avec un apport de TSP seul a donné la plus faible valeur de  $pH_{\text{eau}}$  sur sol rhizosphérique de haricot ( $5,35 \pm 0,10$ ). Chez le riz, les apports de P sous forme organique ont aussi eu des effets significatifs sur le  $pH_{\text{eau}}$  des sols rhizosphériques ( $p = 0,002$ ). Les traitements TSP+ fumier et TSP+ résidus de *stylosanthès* ont obtenu des valeurs de  $pH_{\text{eau}}$  significativement plus élevées avec  $5,73 \pm 0,07$ . Le traitement TSP seul a donné la valeur la plus faible en  $pH_{\text{eau}}$  ( $5,41 \pm 0,07$ ) (Tableau 13).

Le mode de gestion du sol par contre n'a pas eu d'effets significatifs sur la valeur du  $pH_{\text{eau}}$  sur sol rhizosphérique de haricot ( $p = 0,390$ ). C'était aussi le cas pour le  $pH_{\text{eau}}$  sur sol rhizosphérique de riz ( $p = 0,763$ ) (Tableau 13).

**Tableau 13** : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du  $pH_{\text{eau}}$  sur les sols rhizosphériques des deux plantes

Facteurs étudiés	Modalités	$pH_{\text{eau}}$ sur sol rhizosphérique ( $mg\ kg^{-1}$ )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	5,66 (0,07) a'	5,46 (0,05) b'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	5,59 (0,1) a'	5,71 (0,08) a'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	5,53 (0,12) a'	5,70 (0,09) a'
<i>p</i>		<b>0,452</b>	<b>0,016</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	5,35 (0,10) B	5,41 (0,07) B
	TSP+ fumier	5,68 (0,08) A	5,73 (0,07) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthès</i>	5,74 (0,07) A	5,73 (0,07) A
<i>p</i>		<b>0,001</b>	<b>0,002</b>
Mode de gestion du sol	CT	5,77 (0,07) a	5,73 (0,07) a
	NT	5,69 (0,06) a	5,75 (0,05) a
<i>p</i>		<b>0,39</b>	<b>0,763</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### II.3.5. $pH_{\text{KCl}}$

La comparaison des 16 traitements a montré qu'il y a eu des différences significatives sur le  $pH_{\text{KCl}}$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p < 0,0001$ ). Ce sont les traitements CT/TSP20/GM20, NT/TSP20/GM20 et CT/TSP50/GM20 qui ont donné les valeurs les plus élevées de  $pH_{\text{KCl}}$  sur sol rhizosphérique de haricot avec respectivement  $4,99 \pm 0,09$  ;  $4,96 \pm 0,11$  et  $4,93 \pm 0,02$ . Par contre, les traitements CT/TSP5/M0, CT/TSP10/M0 et CT/TSP20/M0 ont donné des valeurs faibles du  $pH_{\text{KCl}}$  avec respectivement  $4,47 \pm 0,06$  ;  $4,45 \pm 0,07$  et  $4,4 \pm 0,07$ . Les valeurs du  $pH_{\text{KCl}}$  sur sol rhizosphérique de riz sont aussi significativement différentes pour tous les

traitements ( $p < 0,0001$ ). C'est le traitement CT/TSP20/M20 qui a donné la valeur du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  le plus élevée avec  $5,14 \pm 0,09$ . Les traitements ayant donné des  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  faibles sont CT/Co avec  $4,4 \pm 0,1$ , CT/TSP20/M0 et CT/TSP5/M0 avec  $4,44 \pm 0,08$ . Les tableaux de comparaison des moyennes pour les 16 traitements seront présentés en annexes 5 et 6 respectivement pour le haricot et le riz.

Par ailleurs, les apports de P sous forme minérale à dose croissante n'ont pas eu d'effets significatifs sur le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,269$ ). Chez le riz, les apports de P sous forme minérale à dose croissante ont eu des effets significatifs sur la valeur du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  des sols rhizosphériques ( $p = 0,027$ ). C'est le traitement à  $5 \text{ kg P ha}^{-1}$  qui a donné la valeur la plus faible en  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  avec  $4,65 \pm 0,05$  laquelle est significativement différente de celle de la dose  $50 \text{ kg P ha}^{-1}$  qui a obtenu  $4,83 \pm 0,06$ . Le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  pour la dose  $20 \text{ kg P ha}^{-1}$  est intermédiaire entre les deux premières doses avec une valeur de  $4,77 \pm 0,08$  (Tableau 14).

Les apports de P sous forme organique ont eu des effets significatifs sur le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p < 0,0001$ ). Les valeurs du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  pour les traitements TSP+ fumier et TSP+ résidus de *stylosanthès* sont significativement plus élevées par rapport à celle du traitement TSP seul. Ces deux traitements ont été classés dans le même groupe avec des valeurs moyennes en  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  de  $4,81 \pm 0,04$  pour les traitements combinant le TSP avec le fumier et  $4,93 \pm 0,03$  pour les traitements combinant le TSP et résidus de *stylosanthès*. Le traitement TSP seul a donné un  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  de  $4,47 \pm 0,05$ . Chez le riz, les apports de P sous forme organique ont aussi eu des effets significatifs sur la valeur du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  des sols rhizosphériques ( $p < 0,0001$ ). Les traitements TSP+résidus de *stylosanthès* et TSP+fumier ont donné les valeurs de  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  significativement élevées. Ces deux traitements ont été classés dans le même groupe et ont obtenu des valeurs de  $4,86 \pm 0,04$  pour le traitement combinant le TSP et résidus de *stylosanthès* et  $4,89 \pm 0,04$  pour le traitement combinant TSP et fumier. C'est le traitement TSP seul qui a donné la valeur la plus faible en  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  avec  $4,5 \pm 0,05$  (Tableau 14).

Le mode de gestion du sol n'a pas eu d'effets significatifs sur la valeur du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  des sols rhizosphériques de haricot ( $p = 0,282$ ). Par contre, sur sol rhizosphérique de riz, les valeurs du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  sont significativement différentes ( $p = 0,032$ ). En effet, le mode NT a donné la valeur de  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  la plus élevée et significative avec  $5,02 \pm 0,05$  alors que le mode CT a donné une valeur du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  égale à  $4,88 \pm 0,04$  (Tableau 14).

**Tableau 14 : Comparaison des moyennes pour les trois facteurs étudiés : cas du pH<sub>KCl</sub> sur les sols rhizosphériques des deux plantes**

Facteurs étudiés	Modalités	pH <sub>KCl</sub> sur sol rhizosphérique (mg kg <sup>-1</sup> )	
		Haricot	Riz
Apport de P minéral à dose croissante	5kgP ha <sup>-1</sup>	4,68 (0,05) a'	4,65 (0,05) b'
	20kgP ha <sup>-1</sup>	4,74 (0,09) a'	4,77 (0,08) a'b'
	50kgP ha <sup>-1</sup>	4,78 (0,06) a'	4,83 (0,06) a'
<i>p</i>		<b>0,269</b>	<b>0,027</b>
Apport de P sous forme organique	TSP seul	4,47 (0,05) B	4,50 (0,05) B
	TSP+ fumier	4,81 (0,04) A	4,89 (0,04) A
	TSP + résidus de <i>stylosanthes</i>	4,93 (0,03) A	4,86 (0,04) A
<i>p</i>		<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>
Mode de gestion du sol	CT	4,85 (0,05) a	4,88 (0,04) b
	NT	4,91 (0,04) a	5,02 (0,05) a
<i>p</i>		<b>0,282</b>	<b>0,032</b>

*Pour chaque facteur étudié et sur une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

### III. DISCUSSION

#### III.1. Effets des deux modes de gestion du sol

La disponibilité des éléments minéraux dans le sol et notamment de l'azote dépend en partie du processus de minéralisation de la matière organique. Suivant les deux modes de gestion du sol, les processus de minéralisation de la matière organique sont différents. D'un côté le labour est considéré comme stimulant la minéralisation de l'azote organique du sol par un effet direct sur la minéralisation et par un effet indirect sur la diminution de la stabilité des agrégats (Maltas, 2007). D'un autre côté, le travail minimum du sol, comme dans le cas du non labour, permet de conserver la matière organique du sol car celle-ci ainsi que les résidus organiques se minéralisent plus lentement, notamment en début de cycle (N'Dayegamiye, 2007 ; Seguy *et al*, 2009).

Certaines propriétés des sols ont été modifiées par le mode de gestion sur le sol rhizosphérique de haricot. La teneur en azote ammoniacal sous mode NT est significativement supérieure à celle sous mode CT. Il en est de même pour la teneur en P résine. Les teneurs élevées en azote ammoniacal et P résine sur sol rhizosphérique de haricot sous le mode NT peuvent s'expliquer par le fait que la minéralisation de la matière organique est plus rapide sous ce mode de gestion du sol par rapport au système conventionnel avec labour du sol ce qui lui permet de libérer ces nutriments en continue dans le sol. Par ailleurs, il y a aussi la capacité des légumineuses à extraire le phosphore adsorbé par les constituants solides du sol grâce à la compétition des acides organiques avec les P adsorbés au niveau des sites d'adsorption. Ces acides organiques proviennent notamment des exsudats racinaires. Sur sol rhizosphérique de riz, il n'y a pas d'effet significatif du mode de gestion du sol sur les propriétés des sols, hormis un léger effet sur le  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ .

Sur la production de nodules, le mode NT a des effets positifs significatifs sur le nombre et la masse de nodules par rapport au mode CT. La disponibilité des nutriments, notamment de l'azote et du phosphore, peut avoir un effet majeur sur la capacité des légumineuses à noduler. La réussite de la fixation symbiotique de l'azote dépend de la forme et de la teneur de l'azote dans le sol. En présence d'une forte teneur en azote combiné, les bactéries seront dans l'impossibilité de pénétrer dans la plante et il ne se formera pas de nodosités (Whyte, 1955 ; Espinosa, 2005 ; Latati *et al*, 2013), d'où une absence de la fixation symbiotique. Malgré une teneur élevée en  $\text{NH}_4^+$  sous le mode NT, la nodulation a toutefois été plus importante, ce qui semble indiquer que les teneurs en azote minéral restent suffisamment faibles pour ne pas inhiber la nodulation. Les résultats obtenus coïncident avec ceux trouvés par Latati *et al* (2013) sur une étude effectuée sur une culture intercalaire de maïs et de haricot démontrant que l'efficacité de la symbiose rhizobium légumineuse dépend de la teneur en azote total initial du sol et que l'azote diminue le processus de nodulation. Le phosphore contribue aussi vivement à la réussite de la nodulation. Il intervient dès les premiers stades d'infection du processus de nodulation. En effet, pour que les

rhizobia puissent émigrer à travers le sol et se diriger vers le système racinaire, il faut que les cellules soient douées de motilité et pourvues de cils ou flagelles, ce qui nécessite de l'énergie (Whyte, 1955). La production d'ATP, qui joue un rôle majeur dans le transport de l'énergie au sein des cellules, est donc très dépendante de la disponibilité du P du sol. De même, le P est aussi indispensable au niveau de l'association symbiotique entre le haricot et le rhizobium pour assurer les transferts d'énergie. La meilleure disponibilité du P sous le mode NT explique donc la valeur élevée et significative de la biomasse nodulaire par rapport au mode CT. Les résultats trouvés par Kouas (2005) renforcent ce résultat selon laquelle la déficience du phosphore affecte la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique en limitant la croissance et la survie des rhizobia, la formation des nodules et leur fonctionnement.

La biomasse aérienne, la biomasse racinaire et le rendement issus des deux plantes sont significativement plus élevés sous le mode CT par rapport au mode NT. Or concernant spécialement le haricot, la teneur en P résine ainsi qu'en azote ammoniacal sous le mode NT est significativement plus élevée que sous mode CT. Dans la logique des choses, le système NT devrait devancer le système CT en termes de production de biomasse et en termes de rendement. Toutefois, une baisse de rendement dans les systèmes NT par rapport aux systèmes CT a souvent été observé tant en conditions tempérées (Scopel *et al.*, 2013), qu'en conditions tropicales comme à Madagascar (Mathilde Sester, CIRAD, communication personnelle). Une des raisons invoquées est le retard de maturité des plantes sous NT, du fait d'une minéralisation tardive des résidus de culture laissés en surface du sol par rapport à ceux incorporés dans le sol en système CT.

En comparant les rendements obtenus pour cette troisième année de l'expérimentation à ceux obtenus lors de la première année, les résultats sont différents. En effet, en première année, le mode de gestion du sol n'a pas eu d'effets significatifs sur le rendement en haricot (Henintsoa, 2013). En effet, le rendement était de 185 kg ha<sup>-1</sup> en mode CT et 169 kg ha<sup>-1</sup> en mode NT. Le rendement a donc augmenté d'environ 3,5 fois pour le système CT et d'environ 3 fois pour le système NT puisque les rendements actuels sont de 499 kg ha<sup>-1</sup> pour le mode NT et 665 kg ha<sup>-1</sup> pour le mode CT. Pour le haricot, la disponibilité de l'azote n'est pas un facteur limitant pour sa croissance et pour son développement puisque l'approvisionnement en azote lui est facilité par la fixation symbiotique. Cependant, sous mode NT, on assiste à une faible minéralisation de la matière organique et une abondance de la population microbienne du sol (Seguy *et al.*, 2009). Par conséquent, quand la fourniture d'azote est limitante, les microorganismes du sol et la plante entrent en compétition par rapport à cette ressource (Espinosa *et al.*, 2005) ; c'est pour cela que le rendement, la biomasse aérienne et racinaire sont plus élevés sous mode CT que sous mode NT. Pour le riz par contre, une baisse du rendement par rapport à celui de la première année d'expérimentation a été constaté tant pour le mode NT que pour le mode CT. En effet, les rendements obtenus pour la première année étaient de 1280 kg ha<sup>-1</sup> pour le mode CT et 870 kg ha<sup>-1</sup> pour le mode NT alors que pour cette troisième année d'étude, le rendement en grain n'était

que de 720 kg ha<sup>-1</sup> pour le mode CT et 350 kg ha<sup>-1</sup> pour le mode NT. Les causes de cette baisse notable du rendement peuvent être dues à des facteurs abiotiques (climat) et biotiques (attaque des ravageurs). Pour cette saison culturale, l'expérimentation a été menée pour sa troisième année. Le cycle des ravageurs n'est pas rompu contrairement à ce qui se passe pour le cas de l'adoption d'une rotation culturale. Des attaques de vers blancs et de pucerons ont notamment été constatées. En ce qui concerne les facteurs climatiques, les précipitations ont été très irrégulières puisque la pluie est arrivée bien avant la période de floraison du riz alors que c'est durant cette période que les besoins en eau de la plante sont élevés.

La première hypothèse émise était que le système sans labour du sol permet d'obtenir le meilleur rendement et améliore aussi les paramètres physico-chimiques et biologiques du sol. Les résultats des rendements des deux plantes n'ont pas validé cette hypothèse puisque les rendements issus du mode CT sont significativement supérieurs à ceux issus du mode NT. Mais l'effet bénéfique du système de culture sans labour du sol a été constaté sur certains paramètres physico-chimiques du sol, notamment la disponibilité de N et P, confirmant l'importance des systèmes à travail minimum du sol dans la gestion durable des agro écosystèmes. **Ainsi la première hypothèse est partiellement validée.**

### **III.2. Effets des apports de phosphore sous forme organique**

Chez les végétaux, le phosphore constitue un composant majeur et un élément minéral essentiel parmi les constituants responsables du transfert d'énergie laquelle est liée aux réactions du métabolisme de la plante. Il joue notamment un rôle important lors de la formation de la graine et lors de la croissance racinaire. Il se présente dans le sol sous forme minérale et sous forme organique mais les plantes prélèvent le phosphore sous forme d'ions orthophosphates Pi (Rabeharisoa, 2004). Le P organique contenu dans la matière organique ne peut être disponible pour les plantes qu'après décomposition et minéralisation à travers les microorganismes (Smith *et al.*, 2003 ; Pereda Campos, 2008). La désorption et/ou la solubilisation du P retenu par les constituants solides du sol constituent aussi une source non négligeable de P minéral pour les plantes (Richardson *et al.*, 2009).

Pour ce qui concerne le phosphore, ce sont les traitements avec fumier qui ont donné les teneurs les plus élevées en P résine pour le haricot comme pour le riz. Selon Boyer (1982), plus un sol s'appauvrit en matière organique, plus il y a une rétrogradation énergétique du phosphore. D'après Stroia (2007), la matière organique peut augmenter la disponibilité du P du sol *via* la libération d'acides organiques. Ces effets de la matière organique peuvent expliquer les effets d'apports de fumier. L'apport de matière organique a aussi contribué à l'augmentation du pH<sub>eau</sub> et du pH<sub>KCl</sub> du sol rhizosphérique de riz. La disponibilité du phosphore dans le sol dépend aussi du pH du sol. La plus forte solubilité du phosphore dans les sols est observée pour un pH compris entre 6 et 7 (Hyland *et al.*, 2007), du fait d'une moins forte sorption du phosphore sur les

hydroxydes de fer et d'aluminium. Un effet positif de l'apport de matière organique a aussi été observé sur le P microbien sur sol rhizosphérique de haricot.

Le traitement TSP+résidus de *stylosanthès* présente la teneur la plus faible de P résine et le traitement TSP seul a donné une valeur de P résine intermédiaire. Le rapport C/P des résidus de *stylosanthès* est très élevé par rapport à celui du fumier (respectivement de 903 et 73). Pour un rapport C/P>300, les microorganismes entrent en concurrence avec les plantes pour l'utilisation du phosphore (Davet, 1996). Ceci pourrait expliquer le fait que la valeur du P résine sur sol rhizosphérique de haricot et de riz sous fumier est significativement supérieure à celle sous résidus de *stylosanthès*, où le P disponible libéré par la minéralisation des résidus de *stylosanthès* est rapidement immobilisé par les microorganismes du sol.

En ce qui concerne l'azote, il ne semble pas y avoir d'effets marqués sur riz. Sur le haricot, par contre, les teneurs en azote minéral sont généralement plus élevés sous *stylosanthès*. La minéralisation des résidus de *stylosanthès*, alors que le haricot utilise principalement l'azote issu de la fixation symbiotique pourrait expliquer ce résultat.

Le nombre et le poids de nodules sont significativement plus élevés pour l'apport TSP+fumier par rapport à celui de l'apport TSP+résidus de *stylosanthès*. L'activité des microorganismes dans le sol dépend du taux de matière organique dans le sol et les rhizobia en font partie. C'est pour cela que l'apport de TSP seul qui est un apport strictement minéral a conduit à une assez faible nodulation. La réussite de la nodulation avec le traitement TSP+fumier par rapport au traitement TSP+résidus de *stylosanthès* peut s'expliquer par le processus de minéralisation/immobilisation et en particulier par la disponibilité du P. Le P résine élevé sous le traitement TSP+fumier par rapport à celui du traitement TSP+ résidus de *stylosanthès* a favorisé la nodulation.

La biomasse aérienne, la biomasse racinaire et le rendement du haricot ont augmenté significativement suivant les traitements TSP seul, TSP+fumier et TSP+résidus de *stylosanthès*. Ainsi, avec un apport strictement minéral, l'effet sur la croissance, le développement de la plante et le rendement n'est pas satisfaisant. Ceci sous-entend que le phosphore n'est pas l'unique élément indispensable à la croissance et au développement de la plante et démontre aussi l'importance de l'apport de matière organique qui est bénéfique à la fois pour la plante et pour le sol. Sur le rendement du haricot, le traitement combinant le TSP+résidus de *stylosanthès* a donné un rendement significativement plus élevé avec une valeur de 1164 kg ha<sup>-1</sup>, ce qui n'était pas le cas pour la première année de l'expérimentation durant laquelle le rendement était seulement de 88 kg ha<sup>-1</sup> (Henintsoa, 2013). Cette augmentation du rendement peut s'expliquer par l'effet à long terme de l'application de la matière organique. En effet, les rapports C/N et C/P des résidus de *stylosanthès* sont très élevés (C/N=40 et C/P = 903). Par ailleurs, des produits à C/N élevé (notamment >25) se transforment et se minéralisent peu et sont rapidement stabilisés sous forme d'humus qui est sujet à une minéralisation plus lente libérant ainsi progressivement des éléments minéraux indispensables pour la croissance et le développement de la plante (Ancelin *et*

al.,2007). Ainsi, les cultures n'ont pas bénéficié de la minéralisation des matières organiques apportées en troisième année mais ont utilisé les éléments minéraux issus de la décomposition des apports antérieurs de matières organiques et notamment des apports en première et en deuxième année. En d'autres termes, le résultat obtenu pour cette année est le résultat cumulatif des trois années consécutives. En fait, la minéralisation lente des résidus de *stylosanthes* a permis une fourniture progressive d'azote aux plantes cultivées au fur et à mesure de leur croissance et au fur et à mesure des années. Par contre, pour le fumier, du fait de sa minéralisation rapide (C/N=13), l'azote obtenu pourrait être perdu soit par volatilisation ( $\text{NH}_4^+$ ) soit par lixiviation ( $\text{NO}_3^-$ ) sans que les plantes puissent en profiter complètement. Les résultats de la biomasse aérienne et racinaire peuvent aussi être expliqués de la même manière, c'est-à-dire que les résultats proviennent de l'effet cumulatif des apports annuels de matière organique. Pour le cas du riz, l'effet des apports de P sous forme organique a été constaté pour le cas de la production de la biomasse racinaire avec une valeur significativement plus élevée pour le traitement TSP+résidus de *stylosanthes* et qui diffère significativement des biomasses racinaires issues des deux autres apports. En comparant les résultats obtenus à ceux de la première année, une baisse de rendement a aussi été constatée pour le riz. En effet, les valeurs sont respectivement de 630, 650 et 550  $\text{kg ha}^{-1}$  pour les traitements TSP seul, TSP+fumier et TSP+résidus de *stylosanthes* en troisième année contre 1200, 1630 et 540 $\text{kg ha}^{-1}$  en première année.

La deuxième hypothèse émise était que le traitement avec le *stylosanthes* fournira une meilleure production de biomasses. En effet, le *stylosanthes*, en tant qu'engrais vert, pourrait fournir des apports supplémentaires surtout des apports azotés aux cultures. Les résultats sur le haricot ont montré que pour les biomasses aériennes et racinaires, la production utilisant des résidus de *stylosanthes* était meilleure par rapport à celle utilisant du fumier. Mais pour la production de la biomasse nodulaire, c'était le traitement avec fumier qui avait fourni le meilleur rendement par rapport au traitement avec résidus de *stylosanthes*. Au moment des prélèvements, le riz était encore en pleine phase de tallage ce qui pourrait expliquer le fait que les effets significatifs des apports de P sous forme organique n'ont pas encore été décelés. **Ainsi, la deuxième hypothèse qui stipule que le traitement avec le *stylosanthes* fournira une meilleure production de biomasses est partiellement vérifiée.**

### **III.3. Effets des apports de phosphore minéral à dose croissante**

Dans les sols ferrallitiques dans le monde, le phosphore est présent dans les terres cultivées avec des teneurs très variées comprises entre 20 et 3000  $\text{mg kg}^{-1}$  (Rabeharisoa, 2004). Les sols ferrallitiques de Madagascar contiennent en moyenne 300 à 1200  $\text{mg P kg}^{-1}$  (Rabeharisoa, 2004). Cependant, seule une très petite proportion (généralement < 1%) est immédiatement accessible aux plantes (Richardson *et al.*, 2009). Seulement une faible proportion (2%) serait directement interceptée par les racines et le reste, c'est-à-dire 98%, serait transporté



par diffusion. Ce processus est très lent ce qui explique que la quantité de P en solution est faible (Smith *et al.*, 2003).

L'effet majeur de l'apport de TSP concerne l'augmentation des teneurs en P résine, tant pour le haricot que pour le riz, suivant les doses d'apport de P minéral. En effet, les apports minéraux sont importants dans la mise à disponibilité du P car la libération du phosphore issue de la matière organique est plus lente d'où l'importance des apports minéraux pour compenser les besoins de la plante en attendant la décomposition de la matière organique (Henintsoa, 2013). Henintsoa (2013) a obtenu des résultats similaires lors de la première année de cet essai. Andrianambinina (2013) a aussi trouvé des résultats similaires sur la valeur du P résine sur sols rhizosphériques de riz et de haricot cultivés en association sous serre. Hormis une légère augmentation des teneurs en  $\text{NH}_4^+$  avec les apports de P sur sol rhizosphérique de haricot, il n'a pas été observé d'effet marqué de l'apport de P sur les caractéristiques du sol ou la biomasse microbienne.

La nodulation a aussi augmenté avec les doses croissantes de P. Ces résultats démontrent encore l'importance du phosphore dans la fixation symbiotique puisque la teneur en phosphore disponible sur sol rhizosphérique de haricot a augmenté avec les doses d'apport de P. Pour le haricot, les doses 20 et 50 kg P ha<sup>-1</sup> ont donné des nombres de nodule significativement plus élevés que le traitement avec un apport de 5 kg P ha<sup>-1</sup>. En ce qui concerne le poids nodulaire, le traitement avec un apport de 50 kg P ha<sup>-1</sup> a donné un poids de nodule significativement élevé que le traitement 5 kg P ha<sup>-1</sup>. L'apport à 20 kg P ha<sup>-1</sup> a obtenu une valeur qui ne présente aucune différence significative avec les deux autres doses de P minéral. Ces résultats semblent indiquer qu'un apport de P compris entre 20 et 50 kg P ha<sup>-1</sup> serait suffisant pour assurer un niveau de nodulation correct.

Avec les doses élevées de P disponible dans la rhizosphère, les rhizobia absorbent plus d'azote atmosphérique ( $\text{N}_2$ ) que d'ammonium d'où une augmentation de la teneur en  $\text{NH}_4^+$  sur sol rhizosphérique de haricot au fur et à mesure que les doses de P apportées augmentent. Andrianambinina (2013) a aussi trouvé des résultats similaires sur un essai en pot sur une association riz-haricot durant lequel les doses croissantes de P apportées avaient des effets significatifs sur la teneur en  $\text{NH}_4^+$  des sols rhizosphériques de haricot. Le même essai a montré que les apports croissants de P n'avaient pas d'effets sur la teneur en nitrate des sols rhizosphériques de haricot. C'est aussi le cas pour la teneur en  $\text{NO}_3^-$  issue de la présente étude. Et selon Jemo *et al* (2006), l'application de la dose élevée de P pourra stimuler la fixation symbiotique chez les légumineuses et ainsi peut favoriser l'acquisition en  $\text{N}_2$  par rapport à l'ammonium du sol. La biomasse aérienne et le rendement ont présenté les mêmes tendances que le poids nodulaire. Ceci pourrait encore être expliqué selon que le phosphore participe activement dans la réussite de la fixation symbiotique de l'azote ainsi qu'au bon développement de la plante. Cependant, les doses croissantes de P sous forme minéral n'ont pas eu d'effets significatifs sur la biomasse racinaire. En effet, en conditions de P déficient, la plante réagit en

modifiant la part de la biomasse allouée aux racines (Mollier *et al.*, 1999) ce qui se traduit par une réduction de la croissance foliaire et une stimulation temporaire du développement du système racinaire (Pellerin *et al.*, 2000). En d'autres termes, lorsque le phosphore est moins disponible, la plante développe son système racinaire pour puiser le phosphore dans des zones difficilement accessibles. Pour le cas de la biomasse aérienne du haricot, le P disponible augmentait avec les doses croissantes de phosphore, le rendement suivait aussi cette tendance.

Pour le cas du riz, les doses d'apport de P minéral n'ont pas eu d'effets significatifs sur la biomasse aérienne, la biomasse racinaire ainsi que le rendement. En effet, au moment du prélèvement, les plants de riz étaient encore en phase de tallage et c'est peut-être pour cela que la différence n'a pas encore été observée. En ce qui concerne le rendement, ceci montre que le phosphore n'est pas le seul élément limitant dans les sols ferrallitiques de « tanety » et surtout que la disponibilité du phosphore évaluée au stade floraison du haricot ne permet pas d'expliquer le rendement des deux cultures (Henintsoa, 2013) même si cet élément participe à un certain nombre de réactions et processus biologiques notamment en jouant un rôle de source d'énergie (Stroia, 2007) ou encore en catalysant la synthèse des glucides à partir du CO<sub>2</sub> et de l'eau (Johnston et Steén, 2000).

Les teneurs en P résine sur les sols rhizosphériques des deux plantes cultivées ont répondu positivement à l'hypothèse émise. Ce qui n'est pas le cas pour la disponibilité en N minéral ou seul la teneur en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sur sol rhizosphérique de haricot augmentait avec les doses croissantes de phosphore.

**Ainsi, la troisième hypothèse qui stipulait que les apports de P à dose croissante permettent d'améliorer la disponibilité de l'azote et du phosphore dans les sols rhizosphériques des deux plantes n'est que partiellement vérifiée.**

#### **III.4. Points forts et limites de l'étude**

La présente étude a permis de déterminer et de mettre en évidence l'importance de l'azote et du phosphore, le rôle des légumineuses dans la fixation de l'azote atmosphérique et dans la mise à disposition des nutriments dans le sol ainsi que l'effet des modes de gestion du sol et l'importance de l'apport de matière organique dans le sol. Un des points forts de l'étude a aussi été le fait que l'étude a été menée pour sa troisième année permettant d'évaluer les effets des apports des intrants à long terme sur les paramètres étudiés et notamment sur le rendement.

En dépit de ses qualités, l'étude a présenté des limites. La première concerne le fait que les modalités des facteurs étudiés n'ont pas été combinés complètement entre-elles et que seuls 16 traitements ont été retenus. Compte tenu de la taille de la parcelle expérimentale et du nombre de parcelles disponibles, ce choix a dû être fait lors de la mise en place de l'essai au champ. De plus, étant donné que l'azote et le phosphore sont parmi les éléments indispensables pour la croissance et le développement des plantes, l'analyse des teneurs en N et P des plantes et le calcul de l'exportation de ces éléments par les plantes afin d'évaluer la dynamique de ces éléments dans le système sol-plante aurait été intéressante. Néanmoins, elle n'a pas pu être réalisée dans le cadre de ce mémoire car ces analyses nécessitent beaucoup de temps. Enfin, connaissant l'avantage offert par les légumineuses dans la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, la quantité d'azote fixée *via* ce processus n'a pas été évaluée. En effet, les méthodes isotopiques utilisant l'isotope  $^{15}\text{N}$  de l'azote, bien que plus précises, sont extrêmement coûteuses.

## CONCLUSION

Les objectifs de l'étude ont été d'évaluer la production de biomasses et la disponibilité de nutriments, notamment l'azote et le phosphore, sur les sols rhizosphériques de riz et de haricot prélevés au stade de floraison du haricot et aussi de déterminer le rendement de ces deux cultures associées. Ces paramètres ont été étudiés en considérant deux modes de gestion du sol, deux formes d'apport de P organique et des apports de P sous forme minérale à dose croissante.

La production de nodules, la teneur en P résine et en  $\text{NH}_4^+$  sur sol rhizosphérique de haricot ainsi que la valeur du  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  sur sol rhizosphérique de riz sont significativement plus élevés pour le système sans labour du sol. Le système conventionnel, pour sa part, a favorisé la production de biomasse aérienne et racinaire, et aussi le rendement des deux plantes. Cependant, pour le riz une baisse notable du rendement par rapport à celui de la première année a été constatée, une baisse engendrée par les facteurs abiotiques comme le climat et les facteurs biotiques tels que les attaques de maladies et d'insectes. Ainsi, seule une partie de la première hypothèse émise selon laquelle le système sans labour du sol permet à la fois d'obtenir le meilleur rendement et d'améliorer les paramètres physico-chimiques et biologiques du sol par rapport au système conventionnel a été partiellement validée.

Pour les traitements ayant reçu des apports de P sous forme organique à base de fumier ou de résidus de *stylosanthès*, la teneur en P résine sur sols rhizosphériques de riz et de haricot ainsi que la production de nodules sont plus élevées pour le traitement combinant le TSP et le fumier par rapport au traitement combinant le TSP et les résidus de *stylosanthès*. Cependant, en ce qui concerne la production de biomasse aérienne et racinaire du haricot, le rendement en graine du haricot et les teneurs en N minéral sur sol rhizosphérique de haricot, c'était le traitement combinant le TSP et les résidus de *stylosanthès* qui a donné les meilleurs résultats. Pour le riz, l'effet du traitement TSP+résidus de *stylosanthès* a été constaté uniquement sur la biomasse racinaire. L'effet des apports de matière organique combiné avec le TSP a aussi été considérable sur la valeur du P microbien et le pH du sol par rapport au traitement apportant du TSP seul. Ces résultats permettent alors de déduire que la deuxième hypothèse selon laquelle le traitement avec les résidus de *stylosanthès* fournira une meilleure production de biomasses a été partiellement validée.

Suivant les apports de P à dose croissante sous forme de TSP, des effets ont été constatés sur la production de nodules par le haricot, la production de biomasse aérienne, le rendement du haricot, la teneur en azote ammoniacal et en P résine sur sol rhizosphérique de haricot. L'effet n'a pas été constaté sur la biomasse racinaire. Pour le riz, les apports de P minéral à dose croissante n'ont pas été décelés sauf pour la valeur du P résine. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les apports de P à dose croissante permettent d'améliorer la disponibilité de l'azote et du phosphore dans les sols rhizosphériques des deux plantes n'a été que partiellement validée.

Toutefois, l'apport de matière organique combiné avec l'apport de P minéral a contribué considérablement à l'augmentation des valeurs des paramètres étudiés et notamment de la teneur en phosphore disponible, qui est un facteur limitant la productivité des sols ferrallitiques. Ces apports ont donné un niveau de nodulation significativement élevé, démontrant que l'augmentation de la teneur en P disponible est un facteur indispensable à la nodulation. Par contre, la productivité du haricot a été particulièrement importante suite à l'apport de TSP et de *stylosanthes*, ce dernier favorisant probablement une meilleure nutrition azotée. Il est à noter que l'effet des apports continus de matière organique ne se manifeste pas en première année de culture mais plutôt durant les années qui suivent.

Cette étude a donc permis de déterminer, outre les effets de l'association riz-haricot, l'effet bénéfique à long terme de l'apport de la matière organique sur les teneurs en éléments minéraux indispensables aux plantes et aussi sur l'accroissement du rendement agricole et plus particulièrement l'importance de la fourniture de ces éléments aux plantes face à la difficulté des sols ferrallitiques à offrir aux plantes les éléments indispensables à leurs croissances et à leur développement. A l'avenir, l'évaluation de la quantité d'azote fixée réellement par la fixation symbiotique, la quantification de l'azote et du phosphore absorbés par les deux plantes seraient des perspectives intéressantes pour bien connaître la dynamique de ces éléments indispensables pour la plante dans le sol.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Abdelaal S., Hassabn M., 2010. Inhibition of nitrogenase enzyme and completely suppression of nodulation in common bean *Phaseolus vulgaris* L. at high levels of available nitrogen. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*,7 (1):75-79.
- Ancelin O., Duranel J., Duparque A., Dersigny C., Fleutry L., 2007. Memento sols et matières organiques Agro transfert R&T et Chambres d'agriculture de Picardie. 52p.
- Andriamananjara A., 2011. Système de culture a rotation voandzou – riz pluvial (*Oryza sativa*) sur les Hautes Terres de Madagascar : Rôle du voandzou (*Vigna subterranea* ) sur la biodisponibilité du phosphore dans les ferralsols. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. 162 p.
- Andrianambinina F.V., 2013. Dynamique et disponibilité de l'azote et du phosphore sous association riz-haricot soumise à différentes doses croissantes de fertilisation minérale azotée et phosphatée. Mémoire de fin d'études en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur agronome. 42p.
- Andriamaniraka H., 2009. Etude et modélisation de la biodisponibilité du phosphore dans un sol cultivé de Madagascar en fonction des pratiques culturales. Thèse de doctorat en Sciences agronomiques.146 p.
- Andriamaniraka H.,Rabeharisoa L.,Michellon R.,Moussa N.,Morel C., 2010. Influence de différents systèmes de culture sur la productivité de sols cultivés des Hautes Terres de Madagascar et conséquences pour le bilan de phosphore.Etude et Gestion des Sols, 17:119-130.
- Baize D ., 2004. Petit lexique de pédologie. Quae. 271 p.
- Boissezon.,Moureaux C.,Boquel G.,Bachelier G., 1973. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. ORSTOM. 98 p.
- Bourgeat F., Aubert G., 1971. Les sols ferrallitiques à Madagascar. ORSTOM. 35 p.
- Chabalier P.F., 2005, La culture. Chapitre 1. 10p.
- Clément M ., 2009. Les principaux sols du monde. Lavoisier. 260 p.
- Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA paris. Quae. 383 p.
- Drénou C., 2006.Les racines: face cachée des arbres. Forêt privée française. 335p.
- Dzido J.L., 2001. Fiche variétale CIRAD 394/FOFIFA 154.
- Espinosa L., Norman R., Slaton N., Daniels M., 2005. The nitrogen and phosphorus cycles in soils. University of Arkansas. Division of Agriculture. Cooperative Extension Service. 4 p.
- Fanjaniaina M.L., 2009. Effet du guano et du triple superphosphate sur le rendement du riz pluvial et sur la phytodisponibilité du phosphore du sol. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. 36p.
- FAO, 2011. Rapport de synthèse sur l'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. 52 p.

- Frossard E., Julien P., Neyroud J.A., Sinaj S., 2004. Le phosphore dans les sols, les engrais, les cultures et l'environnement. Cahier de l'environnement n° 368. 180p.
- Henintsoa M., 2013. Disponibilité et dynamique du carbone, de l'azote et du phosphore sous association culturale riz-haricot soumise à différents types de fertilisation phosphatée apportée à dose croissante cas de l'expérimentation agronomique de Lazaina sur sol ferrallitique de « tanety ». Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'études approfondies. 58p.
- Hubert P., 1978. Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale à l'usage des lycées agricoles à Madagascar. Antananarivo, BDPA, 1978.
- Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana, Seguy L., 2008. Fiches techniques plantes de couverture : Légumineuses pérennes : *Stylosanthes guianensis*. 13 p.
- Hyland C., Ketterings Q., Dewing D., Stockin K., Czymmek K., Albrecht G., Geohring L., 2005. Phosphorus Basics – The Phosphorus Cycle., Agronomy Fact Sheet Series n°12., Fact Sheet 12. 2p.
- Jemo M., Abaidoo R.C., Nolte C., Tchienkoua M., Sangina N., Horst W.J., 2006. Phosphorus benefits from grain-legume crops to subsequent maize grown on acid soils of southern Cameroon. *Plant Soil*, 284 : 385-397.
- Johnston A.E., Steén I., 2000. Understanding phosphorus and its use in Agriculture. European Fertilizer Manufacturers Association. 38 p.
- Kouas S., 2005. Effect of P on nodule formation and N fixation in bean. *Agron. Sustain. Dev* 25 : 389–393.
- Latati M., Pansu M., Drevon JJ., Ounane S.M., 2013. Advantage of intercropping maize (*Zea mays* L.) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and nitrogen uptake in Northeast Algeria. *International Journal of Research in Applied Sciences*, 01: 1-7.
- MAEP, GSDM, SDMad, 2007. Mise en place de collection généalogique et de collections testées. Rapport final, Catalogue des variétés. 111 p.
- Maltas A., 2007. Analyse par expérimentation et modélisation de la dynamique de l'azote dans les systèmes sous semis direct avec couverture végétale de Cerrados brésiliens. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de Sup Agro Montpellier. 182p.
- Ministère de l'agriculture, FOFIFA, FIFAMANOR, JICA. 2010. Catalogue national espèces et variétés cultivées. Press attitude Edition1.
- Mollier A. and S. Pellerin., 1999. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Experimental Botany* 50: 487-497.
- N'Dayegamiye , 2007. La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la matière organique : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation de l'azote. 28 p.
- Pereda Campos M.V., 2008. Contribution à l'étude des transporteurs de phosphate de la famille PHT1 chez le Peuplier (*Populus trichocarpa* Torr. & Gray) et le champignon

ectomycorhizien *Laccaria bicolor* (Maire) P. D. Orton. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I. Spécialité : Biologie Végétale et Forestière. 140 p.

- Pellerin S., Dorioz J.M., Morel C., 2005. Bilan environmental du Phosphore. In *Sols et Environnement*, Dunod, Paris, France.
- Rabeharisoa, 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de doctorat d'Etat es Sciences Naturelles. 176 p.
- Raboin L.M., Ramanantsoanirina A., Dzido J.L., Frouin J., Radanielina T., Tharreau D., Dusserre J., Ahmadi N., 2013. Création variétale pour la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. *Cah Agric* 22: 450-458.
- Ramanankasina E. et Rabeharisoa L., 2003 - La terre, un héritage à bien gérer. Actes du Colloque scientifique international « Sol, environnement et développement » organisé dans le cadre de la célébration du centenaire de l'AcNALS. *Mém. Acad. Nat. Art Lett. Sc.*, 49 : 43-50.
- Ralaizafisoloarivony N.A., 2012. Effets de la fertilisation organique sur la biodisponibilité de phosphore: cas des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar (Lazaina). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome. 47 p.
- Randrianarisoa, 2003. Intrants et technologies agricoles, utilisation et accessibilité des engrais chimiques. 12p.
- Rasoamaharo L.A., 2008. Effet du guano et du triple superphosphate sur la culture de maïs. Cas d'un ferralsol de Lazaina - Antananarivo. Mémoire d'Ingénieur. Spécialisation Agriculture. École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo. 54 p.
- Razafimahatratra H.M., 2011. Sols malgaches et spectroscopie dans le moyen infrarouge : classification, caractérisation et sensibilité au climat. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Spécialisation Agriculture. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. 214 p.
- Razafimandimby S., Dabat M.H., Ratsisetraïna Z., Ramanantsoanirina A., 2008. Pratiques paysannes en riziculture aquatique sur les hautes terres malgaches : Quelle logique de gestion des risques face à la contrainte de maîtrise de l'eau? Document de travail BV lac n° 8.18p.
- Reboul. C., 1989, *Monsieur le Capital et Madame la Terre: fertilité agronomique et fertilité économique*. Editions de l'Atelier. 253 p.
- Richardson A.E., Hocking P.J., Simpson R.J., George T.S., 2009. Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. *CSIRO Publishing. Crop and Pasture Science*, 60: 124-143.
- Scheiner, 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 de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse. 188 p.
- Scopel E, Triomphe B, Affholder F, Da Silva FAM, Corbeels M, Xavier JHV, Lahmar R, Recous S, Bernoux M, Blanchart E, Mendes IC, de Tourdonnet S. 2013. Conservation



agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for sustainable development* 33: 113-130.

➤ Seguy L., Husson O., Charpentier H., Bouzinac S., Michellon R., Chabanne A., Boulakia S., Naudin K., Enjalric F., Ramaroson I., Rakotondramanana, 2009. Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente, Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume I. Chapitre 1.32 p.

➤ Smith F.W., Mudge S.R., Rae A.L., Glassop D., 2003. Phosphate transport in plants. *Plant and Soil*, 248: 71-83.

➤ Stroia C., 2007. Etude de fonctionnement de l'écosystème prairial en conditions de nutrition N et P sub limitantes. Application au diagnostic de nutrition, These présentée pour obtenir le titre de docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse et de l'Université de Sciences Agricoles et médecine vétérinaire de Banat Timișoara. 183p.

➤ Traore, 2012. Etude de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) avec la méthode de l'abondance naturelle en <sup>15</sup>N sous diverses pratiques culturales dans le Centre-Ouest du Burkina Faso. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles. 48 p.

➤ U.S. Census Bureau, 2012. *Statistical Abstract of the United States*. 836-838.

➤ Zarrin F., Muhammad Z., Mfayyaz C., 2006. Effect of rhizobium strains and phosphorus on growth of soybean (*Glycine max*) and survival of rhizobium and p solubilizing bacteria. *Pak. J. Bot.* 38(2): 459-46.

# **ANNEXES**

## LISTE DES ANNEXES

---

<u>Annexe 1</u> : Schéma du dispositif expérimental.....	I
<u>Annexe 2</u> : Les caractéristiques des variétés de riz et de haricot utilisées lors de l'expérimentation.....	II
<u>Annexe 3</u> : Les facteurs étudiés avec leurs modalités respectives .....	III
<u>Annexe 4</u> : Les analyses des sols au laboratoire .....	IV
<u>Annexe 5</u> : Comparaison des 16 traitements par rapport aux paramètres étudiés : cas du haricot.....	V
<u>Annexe 6</u> : Comparaison des 16 traitements par rapport aux paramètres étudiés : cas du riz .....	VI
<u>Annexe 7</u> : Effets des doses croissantes de P minéral et des formes d'apport de P sur les paramètres étudiés: cas du haricot .....	VII
<u>Annexe 8</u> : Effets des doses croissantes de P minéral et des formes d'apport de P sur les paramètres étudiés: cas du riz.....	VIII
<u>Annexe 9</u> : Effets du mode de gestion du sol sur les paramètres étudiés : cas du haricot.....	IX
<u>Annexe 10</u> : Effets du mode de gestion du sol sur les paramètres étudiés : cas du riz .....	X
<u>Annexe 11</u> : Tableaux de l'ANOVA pour les 16 traitements .....	XI
<u>Annexe 12</u> : Tableaux de l'ANOVA pour le mode de gestion du sol .....	XXI
<u>Annexe 13</u> : Tableaux de l'ANOVA pour les apports de P sous forme organique et les apports de P minéral à dose croissante .....	XXXI
<u>Annexe 14</u> : Matrice de corrélation de Pearson pour les différents paramètres étudiés : cas du haricot	XLI
<u>Annexe 15</u> : Matrice de corrélation de Pearson pour les différents paramètres étudiés : cas du riz .....	XLII

**Annexe 1 : Schéma du dispositif expérimental**



**Annexe 2 : Les caractéristiques des variétés de riz et de haricot utilisées lors de l'expérimentation**

## ✓ La variété FOFIFA 154

C'est une variété de riz pluvial adaptée dans des zones de haute et de moyenne altitude (500 à 1600 m). Son cycle végétatif est de 130 jours (MAEP, 2007). C'est une variété sensible, voire très sensible à la pyriculariose (Dzido, 2001 ; Raboin *et al.*, 2013) et moyennement résistante à la verse avec un rendement moyen de 3,3 t ha<sup>-1</sup> (Dzido, 2001).

## ✓ La variété Ranjonomby

Cette variété s'adapte dans des zones de 400 à 1200 m d'altitude. Son cycle végétatif est de 80 à 85 jours (Ministère de l'Agriculture, 2010). La température nécessaire pour sa germination se situe entre 10 et 40°C mais l'optimum se situe entre 15 et 30°C. La croissance s'arrête vers 5°C. Le haricot demande 300 à 400 mm d'eau pendant la durée de sa végétation. Les pluies doivent être régulières, non violentes et bien réparties (Hubert, 1978). Une pluie abondante au stade maturation peut nuire à la qualité de la graine. La variété « Ranjonomby » est une variété moyennement exigeante et sensible aux maladies. Le rendement peut varier de 1000 à 1200 kg ha<sup>-1</sup> (Ministère de l'agriculture, 2010).

**Annexe 3 : Les facteurs étudiés avec leurs modalités respectives**

## a) Les deux modes de gestion du sol et les traitements correspondants

Traitement	Mode de gestion du sol
CT/TSP5/M20	CT
CT/TSP20/M20	CT
CT/TSP20/GM20	CT
NT/TSP5/M20	NT
NT/TSP20/M20	NT
NT/TSP20/GM20	NT

CT : Conventional tillage (système conventionnel avec labour du sol)

NT : No tillage (système sans labour du sol)

TSPx : apport de TSP à raison de x kg P ha<sup>-1</sup>

M20 : apport de fumier à raison de 20 kg P ha<sup>-1</sup>

GM20 : apport de *stylosanthès* à raison de 20 kgP ha<sup>-1</sup> (GM : green manure ou engrais vert ; résidus de *stylosanthès* pour notre cas)

## b) Les traitements correspondants aux apports de P sous forme organique et aux apports de P minéral à dose croissante sous forme de TSP

Traitements	Apport de P organique	Dose de P minéral apporté par le TSP
CT/TSP5/M0	aucun	5kgP ha <sup>-1</sup>
CT/TSP20/M0	aucun	20kgP ha <sup>-1</sup>
CT/TSP50/M0	aucun	50kgP ha <sup>-1</sup>
CT/TSP5/M20	fumier	5kgP ha <sup>-1</sup>
CT/TSP20/M20	fumier	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP50/M20	fumier	50 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP5/GM20	résidus de <i>stylosanthès</i>	5 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP20/GM20	résidus de <i>stylosanthès</i>	20 kg P ha <sup>-1</sup>
CT/TSP50/GM20	résidus de <i>stylosanthès</i>	50 kgP ha <sup>-1</sup>

CT : Conventional tillage (système conventionnel avec labour du sol)

TSPx : apport de TSP à raison de x kg P ha<sup>-1</sup>

M20 : apport de fumier à raison de 20 kg P ha<sup>-1</sup> (M : manure ou fumier)

GM20 : apport de *stylosanthès* à raison de 20 kg P ha<sup>-1</sup> (GM : green manure ou engrais vert ; *stylosanthès* pour notre cas)

M0 : sans apport de matière organique

---

**Annexe 4 : Les analyses des sols au laboratoire**a) Dosage de l'azote minéral

La détermination de l'ammonium utilise la réaction de Berthelot modifiée : l'ammonium est chloré en monochloramine; celle-ci réagit avec le salicylate pour former le 5-aminosalicylate. Après oxydation et couplage oxydant, il se forme un complexe coloré vert. L'intensité de sa coloration, mesurée à 660 nm, est en relation avec la concentration initiale en ammonium.

Pour le dosage du nitrate, l'échantillon est dilué dans un tampon puis passe sur une colonne de grains de cadmium recouverts de noir de cuivre, pour réduire les nitrates en nitrites. Les nitrites résultants donnent une réaction de diazotation avec la sulfanilamide, puis un couplage avec le chlorhydrate d'  $\alpha$ -naphthyl-éthylènediamine, pour former un complexe rose, dont l'intensité de la coloration, mesurée à 540 nm, est proportionnelle à la concentration initiale en nitrate dans l'échantillon.

b) Les principes de dosage du phosphore résine et du phosphore microbien dans le sol en utilisant la méthode de fumigation extraction

Trois sous échantillons de sol frais équivalents à 2 g de sol sec, dans lesquels on a mis des membranes de résines échangeuses d'anions, ont été agités avec 30 ml d'eau ultra pure durant 16 heures :

- (i) 1 ml d'hexanol a été ajouté dans le premier sous échantillon (donc ajout de 29ml d'eau ultra pure et 1 ml d'hexanol). L'hexanol sert à tuer les microbes, ce qui entraîne la libération des P contenus dans les cellules microbiennes,
- (ii) 1 ml de solution de P à 20 ppm a été ajouté au second sous échantillon (donc ajout de 29ml d'eau ultra pure et 1 ml de solution de P à 20 ppm) afin de corriger la sorption du sol et enfin,
- (iii) le dernier sous échantillon a été traité comme pour une analyse de P résine classique (donc ajout de 30ml d'eau ultra pure).

Après les 16 heures d'agitation, le P adsorbé par les résines a été désorbé dans 30 ml de solution de NaCl/HCl à 0,1 M pendant 2 heures d'agitation. Le P contenu dans l'extrait de NaCl/HCl a été dosé par colorimétrie au vert de malachite.

Le P microbien a été obtenu par la différence entre les valeurs obtenues de l'extrait de sol fumigé avec de l'hexanol et celui non fumigé. La valeur obtenue a été corrigée en utilisant la valeur de l'extrait auquel on a ajouté 1 ml de solution de P à 20ppm, c'est la correction de la sorption du P. Par ailleurs, en faisant des analyses de P microbien, on obtient aussi du P résine.

**Annexe 5 : Comparaison des 16 traitements par rapport aux paramètres étudiés : cas du haricot**

Traitements	Nombre nodules par plante	Poids nodules (mg plante <sup>-1</sup> )	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasse racinaire (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P résine (mgP kg <sup>-1</sup> )	P microbien (mgP kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>KCl</sub>
CT/Co	30 (5) abcd	8,24 (3,00) bc	73,07 (15,44) i	38,17 (1,19) defg	56 (14) g	1,75 (0,63) b	1,26 (0,62) cd	2,73 (1,22) e	1,39 (0,31) c	5,3(0,07) ab	4,49 (0,08) cd
CT/TSP5/M0	21 (7) bcd	7,18 (2,67) bc	91,47 (12,27) ghi	39,37 (4,06) defg	63 (18) fg	1,3 (0,21) b	0,97 (0,44) d	2,87 (0,97) de	2,25 (0,44) abc	5,54 (0,12) ab	4,47 (0,06) d
CT/TSP10/M0	29 (8) abcd	7,59 (3,21) bc	80,73 (23,41) i	33(1,84) fg	44 (17) fg	1,67 (0,36) b	1,47 (0,26) bcd	6,91 (2,49) cde	1,8 (0,46) abc	5,51 (0,18) ab	4,45 (0,07) d
CT/TSP20/M0	20 (7) cd	6,94 (3,79) c	76(0,92) hi	36,67 (3,51) efg	60 (12) fg	3,26(1,1) ab	2,29 (0,71) abcd	7,55 (0,77) bcd	1,54 (0,38) ab	5,27 (0,18) ab	4,4 (0,07) d
CT/TSP50/M0	57 (17) abc	32,89 (10,96) abc	131,47(28,96) efghi	43,57 (3,22) defg	133 (53) efg	3,29 (1,53) ab	1,64 (0,42) abcd	24,54 (3,27) ab	1,89 (1,22) abc	5,25 (0,23) b	4,54 (0,1) bcd
CT/TSP0/M20	34 (8) abcd	15,1(4,14) abc	142,57(18,63) defghi	46,03 (4,07) defg	178 (25) cdef	7,39 (2,62) ab	1,97 (0,62) abcd	5,43 (0,64) cde	2,84 (0,79) abc	5,68 (0,17) ab	4,67 (0,06) abcd
CT/TSP5/M20	23 (7) bcd	20,19 (8,08) abc	186,17 (10,85 ) bcdefg	60,67 (5,04) bcde	241 (53) cde	1,70 (0,23) ab	2,89 (0,34) abcd	7,69 (0,75) bcd	2,98 (0,44) abc	5,8 (0,12) ab	4,71 (0,04) abcd
CT/TSP10/M20	61(10) abc	31,81 (5,87) abc	236,3(47,59) bcdef	55,97 (6,48) cdef	262 (51) bcde	6,34 (2,88) ab	2,96 (1,07 ) abcd	8,29 (0,43) bc	3,01 (0,67) abc	5,73 (0,1) ab	4,86 (0,1) abc
CT/TSP20/M20	88 (10) a	55,67(15,64) ab	247,33 (23,77) bcde	52,57 (1,78) cdef	491 (94) abc	5,77 (2,13) ab	1,2 (0,16) d	11,51 (1,44) abc	4,84 (1,06) ab	5,75 (0,11) ab	4,85 (0,08) abc
CT/TSP50/M20	53 (11) abc	44,19(14,9) ab	341,10(81,19) abcd	64,57(10,53) abcd	449 (54) abcd	14,45 (7,69) ab	2,97 (0,71) abcd	34,2 (8,77) a	6,71 (2,32) a	5,47 (0,18) ab	4,86 (0,06) abc
CT/TSP5/GM20	13 (5) d	5,84 (2,56) c	386,1(92,12) abc	79,37 (11,55) abc	844 (251) ab	11,07 (5,53) ab	5,35 (1,58) ab	4,63 (0,92) cde	4,49 (0,68) ab	5,63 (0,09) ab	4,87 (0,03) ab
CT/TSP20/GM20	26 (8) abcd	14,73 (4,31) abc	655,30 (122,48) a	99,03(21,07) ab	1263(230) a	11,26 (2,48) ab	5,24 (1,14) abc	7,66 (1,54) cd	4,71 (0,61) ab	5,75 (0,14) ab	4,99 (0,09) a
CT/TSP50/GM20	47 (11) abcd	34,89 (8,89 ) abc	654,2(91,66) a	105,33 (12,57) a	1384(210) a	14,92 (3,87) a	5,55 (1,15) a	13,85 (1,72) abc	3,99 (0,57) ab	5,86 (0,15) a	4,93 (0,02) a
NT/TSP5/M20	35 (7) abcd	26,75(8,61) abc	99,23(7,95) fghi	30,17 (1,74) g	150 (34) defg	8,32 (2,25) ab	2,47 (0,8) abcd	14,56 (3,26) abc	4,11 (0,79) ab	5,64 (0,08) ab	4,9 (0,04) ab
NT/TSP20/M20	81 (18) ab	70,02 (16,42) a	177,47(19,72) cdefgh	49,50 (3,18) cdefg	227 (43) cde	9,71 (3,09) ab	1,41 (0,38) bcd	12,77 (1,07) abc	4,28 (0,25) ab	5,66 (0,15) ab	4,88 (0,06) ab
NT/TSP20/GM20	87 (6) a	74,87 (3,40) a	430,07(38,73) ab	49,67 (5,30) cdefg	1119(229) a	10,53(3,25) ab	4,67 (0,51) abcd	9,12 (1,63) bc	5,26 (0,91) ab	5,78 (0,07) ab	4,96 (0,11) a
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001	0,0003	< 0,0001	0,0004	0,005	< 0,0001

*Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*



**Annexe 6 : Comparaison des 16 traitements par rapport aux paramètres étudiés : cas du riz**

Traitements	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasse racinaire (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P résine (mgP kg <sup>-1</sup> )	P microbien (mg kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>KCl</sub>
CT/Co	35,37 (2,36) ab	37,67 (11,47) ab	353 (39) b	2,83 (1,47) a	1,59 (0,37) abc	2,35 (0,88) f	1,35 (0,30) a	5,38 ( 0,10 ) bd	4,40 (0,10) e
CT/TSP5/M0	32,60 (7,23) ab	27 (5,18) ab	409 (54) ab	1,12 (0,29) a	1,61 (0,23) abc	4,41 (1,46) efc	1,67 (0,44) a	5,25 ( 0,05 ) c	4,44 (0,08) e
CT/TSP10/M0	34,17 (7,27) ab	30,93 (9,11) ab	480 (78) ab	3,43 (1,33) a	0,86 ( 0,22 ) c	6,69 (2,39) def	3,03 (1,29) a	5,53 (0,13) abc	4,51 (0,08) de
CT/TSP20/M0	35,6 (9,28) ab	37,00 (10,33) ab	643 (154) ab	5,55 (2,85) a	1,17 (0,53) c	11,53 (1,17) abcde	2,79 (0,75) a	5,49 (0,14) abc	4,44 (0,08) e
CT/TSP50/M0	46,77 (7,38) ab	37,07 (3,96) ab	541 (70) ab	6,03 (2,85) a	0,87 (0,11) c	34,44 (4,77) ab	2,83 (1,2) a	5,5 (0,13) abc	4,61(0,11) cde
CT/TSP0/M20	54,70 (7,44) ab	36,50 (5,48) ab	809 (57) ab	5,21 (3,73) a	2,76 (0,74) abc	5,27 (1,7) def	4,49 (1,93) a	5,67 (0,06) abc	4,66 (0,07) bcde
CT/TSP5/M20	60,20 (6,73) a	41,30 (1,64) ab	841 (168) ab	3,85 (1,98) a	3,98 (1,69) abc	10,39 (1,86) bcde	3,27 (1,32) a	5,55 (0,02) abc	4,79 ( 0,03 ) abcde
CT/TSP10/M20	39,53 (5,33) ab	30,33 (6,7) ab	1008 (266) a	5,15 (1,7) a	2,16 (0,8) abc	10,13 (1,23) bcde	3,37 (1,02) a	5,67 (0,1) abc	4,85 (0,08) abcd
CT/TSP20/M20	33,37 (4,42) ab	28,53 (4,45) ab	702 (154) ab	4,78 (2,69) a	1,72 (0,31) abc	14,3 (2,52) abcd	2,53 (0,22) a	5,92 (0,15) a	4,95 (0,1) abc
CT/TSP50/M20	44,8 (6,58) ab	33,80 (5,28) ab	710 (108) ab	2,31 (1,01) a	2,8 (0,4) abc	42,08 (6,39) a	3,83 (1,74) a	5,73 (0,11) abc	4,93 (0,04) abc
CT/TSP5/GM20	56,07 (8,49) a	47,17 (4,39) a	642 (145) ab	5,9 (2,04) a	3,3 (1,14) abc	4,17 (1,15) def	3,93 (0,5) a	5,58(0,07) abc	4,72 (0,05) bcde
CT/TSP20/GM20	40,4 (11,92) ab	41,40 (10,6) ab	616 (108) ab	9,17 (5,04) a	4,17 (1,62) abc	7,25 (1,16) cdef	3,95 (0,39) a	5,72 (0,07) abc	4,90 (0,01) abcd
CT/TSP50/GM20	45,47 (11,70) ab	46,40 (9,90) a	397 (129) ab	3,35 (0,79) a	6,66 (2,53) bc	15,04 (4,06) abcd	4,77 (1,17) a	5,88 (0,18) ab	4,94 (0,08) abc
NT/TSP5/M20	37,27 (7,99) ab	26,43 (5,71) ab	520 (183) ab	4,12 (1,31) a	1,13 (0,27) bc	12,94 (2,33) abcde	3,18 (1,26) a	5,71 (0,13) abc	4,90(0,04) abcd
NT/TSP20/M20	26,27 (1,32) b	22,53 (1,75) b	307 (91) b	2,49 (0,58) a	1,27 (0,43) bc	27,93 (6,70) def	4,37 (2,04) a	5,81 (0,05) ab	5,14 (0,09) a
NT/TSP20/GM20	31,23 (6,62) ab	25,03 (6,47) ab	236 (82) b	5,21 (1,89) a	10,45 (5,35) a	8,81 (2,36) cde	5,84 ( 0,19 ) a	5,75 (0,11) abc	5,03 (0,10) ab
p-value	<b>0,004</b>	<b>0,005</b>	<b>0,003</b>	0,78	<b>0,0002</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	0,395	<b>0,002</b>	<b>&lt; 0,0001</b>

*Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

**Annexe 7 : Effets des doses croissantes de P minéral et des formes d'apport de P sur les paramètres étudiés: cas du haricot**

Traitements	Nombre nodules par plante	Poids nodules (mg plante <sup>-1</sup> )	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasse racinaire (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P résine (mgP kg <sup>-1</sup> )	P microbien (mg kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>KCl</sub>
CT/TSP5/M0	21 (7) bc	7,18 (2,67) ab	91,47 (12,27) de	39,37 (4,06) c	63 (18) d	1,30 (0,21) d	0,97 (0,44) a	2,87 (0,97) e	2,25 (0,44) ab	5,54 (0,12) ab	4,47 (0,06) c
CT/TSP20/M0	20 (7) bc	6,94 (3,79) b	76 (0,92) e	36,67 (3,51) c	60 (12) d	3,26 (1,1) cd	2,29 (0,71) abc	7,55 (0,77) cd	1,54 (0,38) b	5,27 (0,18) b	4,4 (0,07) c
CT/TSP50/M0	57 (17) bc	32,89 (10,96) ab	131,47 (28,96) cde	43,57 (3,22) c	133 (53) cd	3,29 (1,53) bc	1,64 (0,42) abc	24,54 (3,27) ab	1,89 (1,22) ab	5,25 (0,23) b	4,54 (0,1) bc
CT/TSP5/M20	23 (7) bc	20,19 (8,08) ab	186,17 (10,85) bcd	60,67 (5,04) abc	241 (53) bc	1,7 (0,23) d	2,89 (0,34) abc	7,69(0,75) cd	2,98 (0,44) ab	5,8 (0,12) ab	4,71 (0,04) abc
CT/TSP20/M20	88 (10) a	55,67 (15,64) ab	247,33 (23,77) bc	52,57 (1,78) bc	491 (94) ab	5,77 (2,13) b	1,2 (0,16) bc	11,51 (1,44) bc	4,84 (1,06) a	5,75 (0,11) ab	4,85 (0,08) ab
CT/TSP50/M20	53 (11) bc	44,19 (14,9) ab	341,10 (81,19) ab	64,57 (10,53) abc	449 (54) ab	14,45 (7,69) a	2,97 (0,71) abc	34,2 (8,77) a	6,71 (2,32) a	5,47 (0,18) ab	4,86 (0,06) ab
CT/TSP5/GM20	13 (5) c	5,84 (2,56) b	386,10 (92,12) ab	79,37 (11,55) ab	844 (251) a	11,07 (5,53) ab	5,35 (1,58) a	4,63 (0,92) de	4,49 (0,68) a	5,63 (0,09) ab	4,87 (0,03) ab
CT/TSP20/GM20	26 (8) abc	14,73 (4,31) ab	655,3 (122,48) a	99,03 (21,07) a	1263 (230) a	11,26 (2,48) cd	5,24 (1,14) ab	7,66 (1,54) cd	4,71 (0,61) a	5,75 (0,14) ab	4,99 (0,09) a
CT/TSP50/GM20	47 (11) abc	34,89 (8,89) ab	654,2 (91,66) a	105,33 (12,57) a	1384 (210) a	14,92 (3,87) a	5,55 (1,15) a	13,85 (1,72) bc	3,99 (0,57) ab	5,86 (0,15) a	4,93 (0,02) a
p- value	<b>0,048</b>	0,198	0,356	0,666	0,588	0,617	0,494	<b>0,025</b>	0,212	0,133	0,451
P minéral à 5kgP ha <sup>-1</sup>	19 (4) b'	11,07 (3,32) b'	221,24 (46,55) b'	59,80 (6,34) a'	383 (127) b'	4,69 (2,15) b'	3,39 (0,65) a'	5,07 (0,76) c'	3,24 (0,39) a'	5,66 (0,07) a'	4,68 (0,05) a'
P minéral à 20kgP ha <sup>-1</sup>	45 (10) a'	25,78 (8,17) a'b'	326,21 (82,36) a'b'	62,76 (10,27) a'	605 (168) a'b'	6,76 (1,45) a'b'	2,91 (0,66) a'	8,91 (0,87) b'	3,7 (0,6) a'	5,59 (0,1) a'	4,74 (0,09) a'
P minéral à 50kgP ha <sup>-1</sup>	52 (7) a'	37,32 (6,36) a'	375,59 (75,06) a'	71,16 (9,23) a'	655 (174) a'	10,89 (3,09) a'	3,07 (0,74) a'	24,20 (3,81) a'	4,20 (1,00) a'	5,53 (0,12) a'	4,78 (0,06) a'
p-value	<b>0,0004</b>	<b>0,001</b>	<b>0,008</b>	0,2	<b>0,012</b>	<b>0,017</b>	0,788	<b>&lt; 0,0001</b>	0,869	0,452	0,269
TSP seul	33 (8) AB	15,67 (5,13) B	99,64 (11,82) C	39,87 (2,07) C	85(20) C	2,61 (0,64) C	1,63 (0,33) B	11,65 (3,00) B	1,90 (0,42) B	5,35 (0,10) B	4,47 (0,05) B
TSP avec fumier	55 (9) A	40,02 (8,26) A	258,20 (32,10) B	59,27 (3,87) B	394 (49) B	7,31 (2,89) B	2,36 (0,35) B	17,80 (4,43) A	4,84 (0,9) A	5,68 (0,08) A	4,81 (0,04) A
TSP et résidus de stylosanthès	29 (6) B	18,49 (4,78) AB	565,20 (66,01) A	94,58 (8,83) A	1164 (139) A	12,42 (2,23) A	5,38 (0,68) A	8,71 (1,38) B	4,40 (0,34) A	5,74 (0,07) A	4,93 (0,03) A
p-value	<b>0,016</b>	<b>0,02</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>

*Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

**Annexe 8 : Effets des doses croissantes de P minéral et des formes d'apport de P sur les paramètres étudiés: cas du riz**

Traitements	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasse racinaire (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P résine (mgP kg <sup>-1</sup> )	P microbien (mg kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>KCl</sub>
CT/TSP5/M0	32,60 (7,23) a	27 (5,18) a	409 (54) a	1,12 (0,29) a	1,61 (0,23) ab	4,41(1,46) d	1,67 (0,44) a	5,25 (0,05) b	4,44 (0,08) b
CT/TSP20/M0	35,60 (9,28) a	37 (10,33) a	643 (154) a	5,55 (2,85) a	1,17 (0,53) b	11,53(1,17) c	2,79 (0,75) a	5,49 (0,14) ab	4,44 (0,08) b
CT/TSP50/M0	46,77 (7,38) a	37,07 (3,96) a	541 (70) a	6,03 (2,85) a	0,87 (0,11) b	34,44 (4,77) ab	2,83 (1,2) a	5,5 (0,13) ab	4,61 (0,11) ab
CT/TSP5/M20	60,20 (6,73) a	41,3 (1,64) a	841 (168) a	3,85 (1,98) a	3,98 (1,69) ab	10,39 (1,86) c	3,27 (1,32) a	5,55 (0,02) ab	4,79 (0,03) ab
CT/TSP20/M20	33,37 (4,42) a	28,53 (4,45) a	702 (154) a	4,78 (2,69) a	1,72 (0,31) ab	14,3 (2,52) bc	2,53 (0,22) a	5,92 (0,15) a	4,95 (0,10) a
CT/TSP50/M20	44,8 (6,58) a	33,8 (5,28) a	710 (108) a	2,31 (1,01) a	2,8 (0,4) ab	42,08 (6,39) a	3,83 (1,74) a	5,73 (0,11) ab	4,93 (0,04) a
CT/TSP5/GM20	56,07 (8,49) a	47,17 (4,39) a	642 (145) a	5,9 (2,04) a	3,3(1,14) ab	4,17 (1,15) d	3,93 (0,5) a	5,58 (0,07) ab	4,72 (0,05) ab
CT/TSP20/GM20	40,4 (11,92) a	41,4 (10,60) a	616 (108) a	9,17 (5,04) a	4,17 (1,62) ab	7,25 (1,16) cd	3,95 (0,39) a	5,72 (0,07) ab	4,9 (0,01) a
CT/TSP50/GM20	45,47 (11,7) a	46,4 (9,90) a	397 (129) a	3,35 (0,79) a	6,66 (2,53) a	15,04 (4,06) bc	4,77 (1,17) a	5,88 (0,18) a	4,94 (0,08) a
p- value	0,179	0,216	0,469	0,648	0,444	0,093	0,951	0,634	0,665
P minéral à 5kgP ha <sup>-1</sup>	49,62 (5,37) a'	38,49 (3,31) a'	631 (87) a'	3,62 (1,05) a'	2,97 (0,69) a'	6,32 (1,18) c'	2,96 (0,53) a'	5,46 (0,05) b'	4,65 (0,05) b'
P minéral à 20kgP ha <sup>-1</sup>	36,46 (4,83) a'	35,64 (4,93) a'	654 (74) a'	6,50 (2,01) a'	2,36 (0,65) a'	11,03 (1,26) b'	3,09 (0,32) a'	5,71 (0,08) a'	4,77 (0,08) a'b'
P minéral à 50kgP ha <sup>-1</sup>	45,68 (4,62) a'	39,09 (3,93) a'	549 (67) a'	3,89 (1,05) a'	3,44 (1,06) a'	30,52 (4,37) a'	3,81 (0,77) a'	5,70 (0,09) a'	4,83 (0,06) a'
p -value	0,076	0,657	0,569	0,574	0,288	< 0,0001	0,82	0,016	0,027
TSP seul	38,32 (4,57) A	33,69 (3,95) B	531 (61) A	4,23 (1,39) A	1,22 (0,20) B	16,8 (4,16) B	2,43 (0,47) A	5,41 (0,07) B	4,50 (0,05) B
TSP+ fumier	46,12 (4,56) A	34,54 (2,66) B	751 (78) A	3,65 (1,10) A	2,83 (0,60) A	22,25 (4,76) A	3,21 (0,68) A	5,73 (0,07) A	4,89 (0,04) A
TSP et résidus de stylosanthès	47,31 (5,98) A	44,99 (4,63) A	552 (75) A	6,14 (1,80) A	4,71 (1,06) A	8,82 (1,91) C	4,22 (0,42) A	5,73 (0,07) A	4,86 (0,04) A
p -value	0,244	0,015	0,08	0,248	0,0003	< 0,0001	0,067	0,002	< 0,0001

*Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

**Annexe 9 : Effets du mode de gestion du sol sur les paramètres étudiés : cas du haricot**

Traitements	Nombre nodules par plante	Poids nodules (mg plante <sup>-1</sup> )	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasse racinaire (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P résine (mgP kg <sup>-1</sup> )	P microbien (mg kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>KCl</sub>
CT/TSP5/M20	23(7) C	20,19 (8,08) A	186,17 (10,85) C	60,67 (5,04) AB	241 (53) CD	1,7 (0,23) B	2,89 (0,34) AB	7,69 (0,75) A	2,98 (0,44) A	5,80 (0,12) A	4,71 (0,04) A
CT/TSP20/M20	88 (10) A	55,67 (15,64) A	247,33 (23,77) BC	52,57 (1,78) B	491 (94) BC	5,77 (2,13) AB	1,2 (0,16) B	11,51 (1,44) A	4,84 (1,06) A	5,75 (0,11) A	4,85 (0,08) A
CT/TSP20/GM20	26 (8) C	14,73 (4,31) A	655,3 (122,48) A	99,03 (21,07) A	1263 (230) A	11,26 (2,48) A	5,24 (1,14) A	7,66 (1,54) A	4,71 (0,61) A	5,75 (0,14) A	4,99 (0,09) A
NT/TSP5/M20	35 (7) BC	26,75 (8,61) A	99,23 (7,95) D	30,17 (1,74) C	150 (34) D	8,32 (2,25) AB	2,47 (0,8) AB	14,56 (3,26) A	4,11 (0,79) A	5,64 (0,08) A	4,9 (0,04) A
NT/TSP20/M20	81 (18) AB	70,02 (16,42) A	177,47 (19,72) CD	49,5 (3,18) B	227 (43) CD	9,71 (3,09) A	1,41 (0,38) B	12,77 (1,07) A	4,28 (0,25) A	5,66 (0,15) A	4,88 (0,06) A
NT/TSP20/GM20	87 (6) A	74,87 (3,4) A	430,07 (38,73) AB	49,67 (5,3) B	1119 (229) AB	10,53 (3,25) A	4,67 (0,51) A	9,12 (1,63) A	5,26 (0,91) A	5,78 (0,07) A	4,96 (0,11) A
p -value	<b>0,005</b>	0,294	0,458	<b>0,009</b>	0,285	0,114	0,836	0,333	0,536	0,67	0,289
CT	46 (10) b	30,20 (7,73) b	362,93 (73,27) a	70,77 (8,96) a	665 (152) a	6,24 (1,54) b	3,11 (0,62) a	8,95 (0,87) b	4,18 (0,47) a	5,77 (0,07) a	4,85 (0,05) a
NT	67 (9) a	57,21 (8,65) a	253,59 (44,60) b	43,11 (3,37) b	499 (150) b	9,52 (1,54) a	2,85 (0,51) a	12,15 (1,33) a	4,55 (0,4) a	5,69 (0,06) a	4,91 (0,04) a
p- value	<b>0,002</b>	<b>0,025</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,012</b>	<b>0,024</b>	0,644	<b>0,043</b>	0,452	0,39	0,282

*Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

**Annexe 10 : Effets du mode de gestion du sol sur les paramètres étudiés : cas du riz**

Traitements	Biomasse aérienne (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasse racinaire (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendement (kg ha <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P résine (mgP kg <sup>-1</sup> )	P microbien (mg kg <sup>-1</sup> )	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>KCl</sub>
CT/TSP5/M20	60,20 (6,73) A	41,30 (1,64) A	841 (168) A	3,85 (1,98) A	3,98 (1,69) AB	10,39 (1,86) AB	3,27 (1,32) A	5,55 (0,02) A	4,79 (0,03) B
CT/TSP20/M20	33,37 (4,42) AB	28,53 (4,45) A	702 (154) AB	4,78 (2,69) A	1,72 (0,31) AB	14,3 (2,52) AB	2,53 (0,22) A	5,92 (0,15) A	4,95 (0,10) AB
CT/TSP20/GM20	40,40 (11,92) AB	41,40 (10,60) A	616 (108) AB	9,17 (5,04) A	4,17 (1,62) AB	7,25 (1,16) A	3,95 (0,39) A	5,72 (0,07) A	4,90 (0,01) AB
NT/TSP5/M20	37,27 (7,99) AB	26,43 (5,71) A	520 (183) AB	4,12 (1,31) A	1,12 (0,27) B	12,94 (2,33) AB	3,18 (1,26) A	5,71 (0,13) A	4,90 (0,04) AB
NT/TSP20/M20	26,27 (1,32) B	22,53 (1,75) A	307 (91) B	2,49 (0,58) A	1,27 (0,43) B	27,93 (6,70) A	4,37 (2,04) A	5,81 (0,05) A	5,14 (0,09) A
NT/TSP20/GM20	31,23 (6,62) B	25,03 (6,47) A	236 (82) B	5,21 (1,89) A	10,45 (5,35) A	8,81 (2,36) B	5,84 (0,19) A	5,75 (0,11) A	5,03 (0,10) AB
p -value	0,402	0,444	0,941	0,664	0,079	0,501	0,843	0,42	0,843
CT	44,66 (5,53) a	37,80 (3,95) a	720 (81) a	5,93 (1,95) a	3,29 (0,79) a	10,65 (1,33) a	3,25 (0,45) a	5,73 (0,07) a	4,88 (0,04) b
NT	31,59 (3,43) b	24,67 (2,70) b	354 (76) b	3,94 (0,79) a	4,28 (2,09) a	16,56 (3,35) a	4,46 (0,80) a	5,75 (0,05) a	5,02 (0,05) a
p- value	<b>0,021</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>	0,872	0,395	0,077	0,669	0,763	<b>0,032</b>

*Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5%. Les valeurs mises entre parenthèses représentent les écarts types des moyennes.*

**Annexe 11 : Tableaux de l'ANOVA pour les 16 traitements***Nombre des nodules /plante*

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,635

Analyse de la variance:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	5,128	0,285	4,345	< 0,0001
Erreur	45	2,950	0,066		
Total corrigé	63	8,078			

Analyse Type I Sum of Squares:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	4,764	0,318	4,845	< 0,0001
Bloc	3	0,363	0,121	1,847	0,152

*Poids des nodules /plante*

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,648

Analyse de la variance:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	11,266	0,626	4,593	< 0,0001
Erreur	45	6,133	0,136		
Total corrigé	63	17,398			

Analyse Type I Sum of Squares:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	10,741	0,716	5,255	< 0,0001
Bloc	3	0,524	0,175	1,282	0,292

Biomasse aérienne➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,863

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	6,291	0,350	15,705	< 0,0001
Erreur	45	1,002	0,022		
Total corrigé	63	7,293			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	6,276	0,418	18,800	< 0,0001
Bloc	3	0,015	0,005	0,231	0,874

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,633

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	10447,940	580,441	4,314	< 0,0001
Erreur	45	6054,637	134,547		
Total corrigé	63	16502,577			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	5664,008	377,601	2,806	0,004
Bloc	3	4783,932	1594,644	11,852	< 0,0001

Biomasse racinaire

## ➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,816

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	1,515	0,084	11,062	< 0,0001
Erreur	45	0,342	0,008		
Total corrigé	63	1,857			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	1,418	0,095	12,421	< 0,0001
Bloc	3	0,097	0,032	4,269	0,010

## ➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,709

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	9161,636	508,980	6,085	< 0,0001
Erreur	45	3763,790	83,640		
Total corrigé	63	12925,426			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	3370,231	224,682	2,686	0,005
Bloc	3	5791,405	1930,468	23,081	< 0,0001



Rendement➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,894

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	15,294	0,850	21,110	< 0,0001
Erreur	45	1,811	0,040		
Total corrigé	63	17,105			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	15,050	1,003	24,928	< 0,0001
Bloc	3	0,244	0,081	2,021	0,124

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,540

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	3,220	0,179	2,936	0,002
Erreur	45	2,742	0,061		
Total corrigé	63	5,962			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	2,666	0,178	2,917	0,003
Bloc	3	0,555	0,185	3,034	0,039

Azote ammoniacal➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,547

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	7,079	0,393	3,019	0,001
Erreur	45	5,863	0,130		
Total corrigé	63	12,942			

## Analyse Type I sum of square

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	6,869	0,458	3,515	0,001
Bloc	3	0,210	0,070	0,538	0,658

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,228

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	2,485	0,138	0,739	0,753
Erreur	45	8,401	0,187		
Total corrigé	63	10,886			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	1,934	0,129	0,690	0,780
Bloc	3	0,551	0,184	0,984	0,409

Azote nitrique➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,586

## Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	157,025	8,724	3,537	0,0003
Erreur	45	110,972	2,466		
Total corrigé	63	267,997			

## Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	151,928	10,129	4,107	0,0001
Bloc	3	5,097	1,699	0,689	0,564

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,573

## Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	4,997	0,278	3,353	0,001
Erreur	45	3,726	0,083		
Total corrigé	63	8,723			

## Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	4,740	0,316	3,816	0,0002
Bloc	3	0,257	0,086	1,035	0,386

Phosphore assimilable (P résine)➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,766

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	5,863	0,326	8,204	< 0,0001
Erreur	45	1,787	0,040		
Total corrigé	63	7,650			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	5,829	0,389	9,787	< 0,0001
Bloc	3	0,034	0,011	0,287	0,835

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,775

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	7,948	0,442	8,625	< 0,0001
Erreur	45	2,304	0,051		
Total corrigé	63	10,252			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	7,921	0,528	10,315	< 0,0001
Bloc	3	0,027	0,009	0,176	0,912

*Phosphore immobilisé dans la biomasse microbienne ( P microbien)*➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,581

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	3,596	0,200	3,470	0,0004
Erreur	45	2,591	0,058		
Total corrigé	63	6,187			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	3,439	0,229	3,982	0,0002
Bloc	3	0,157	0,052	0,909	0,444

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,353

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	2,648	0,147	1,361	0,198
Erreur	45	4,863	0,108		
Total corrigé	63	7,511			

Analyse Type I Sum of Squares

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	1,760	0,117	1,086	0,395
Bloc	3	0,888	0,296	2,738	0,054

$pH_{eau}$ ➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,593

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	3,614	0,201	3,646	0,0002
Erreur	45	2,478	0,055		
Total corrigé	63	6,092			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	2,244	0,150	2,717	0,005
Bloc	3	1,370	0,457	8,293	0,0002

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,536

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	2,234	0,124	2,884	0,002
Erreur	45	1,936	0,043		
Total corrigé	63	4,170			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	1,931	0,129	2,992	0,002
Bloc	3	0,303	0,101	2,348	0,085

$pH_{KCl}$ ➤ Haricot

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,727

Analyse de la variance:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	2,554	0,142	6,671	< 0,0001
Erreur	45	0,957	0,021		
Total corrigé	63	3,512			

Analyse Type I Sum of Squares:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	2,517	0,168	7,888	< 0,0001
Bloc	3	0,037	0,012	0,585	0,628

➤ Riz

Observations	64
Somme des poids	64
DDL	45
R <sup>2</sup>	0,746

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	18	3,235	0,180	7,324	< 0,0001
Erreur	45	1,104	0,025		
Total corrigé	63	4,339			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	15	3,197	0,213	8,685	< 0,0001
Bloc	3	0,038	0,013	0,514	0,675

**Annexe 12 : Tableaux de l'ANOVA pour le mode de gestion du sol***Nombre des nodules /plante*

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,847

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	2,367	0,296	10,420	< 0,0001
Erreur	15	0,426	0,028		
Total corrigé	23	2,792			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,398	0,398	14,006	0,002
Apport	2	1,047	0,524	18,442	< 0,0001
Bloc	3	0,487	0,162	5,721	0,008
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,434	0,217	7,652	0,005

*Poids des nodules /plante*➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,573

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	3,221	0,403	2,518	0,059
Erreur	15	2,398	0,160		
Total corrigé	23	5,619			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,996	0,996	6,229	0,025
Apport	2	1,305	0,653	4,083	0,038
Bloc	3	0,494	0,165	1,030	0,407
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,425	0,213	1,329	0,294



Biomasse aérienne➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,903

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	1,663	0,208	17,396	< 0,0001
Erreur	15	0,179	0,012		
Total corrigé	23	1,842			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,227	0,227	18,985	0,001
Apport	2	1,399	0,699	58,519	< 0,0001
Bloc	3	0,018	0,006	0,499	0,689
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,020	0,010	0,823	0,458

➤ Riz

Analyse de la variance:

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,653

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	4317,799	539,725	3,531	0,017
Erreur	15	2292,936	152,862		
Total corrigé	23	6610,735			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	1024,427	1024,427	6,702	0,021
Apport	2	1495,148	747,574	4,891	0,023
Bloc	3	1501,899	500,633	3,275	0,051
Mode de gestion du sol*Apport	2	296,324	148,162	0,969	0,402

Biomasse racinaire➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,845

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,570	0,071	10,250	< 0,0001
Erreur	15	0,104	0,007		
Total corrigé	23	0,674			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,243	0,243	34,982	< 0,0001
Apport	2	0,159	0,080	11,468	0,001
Bloc	3	0,077	0,026	3,677	0,036
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,091	0,045	6,527	0,009

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,722

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	2844,341	355,543	4,861	0,004
Erreur	15	1097,241	73,149		
Total corrigé	23	3941,581			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	924,214	924,214	12,635	0,003
Apport	2	343,735	171,867	2,350	0,130
Bloc	3	1450,835	483,612	6,611	0,005
Mode de gestion du sol*Apport	2	125,557	62,779	0,858	0,444

Rendement➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,879

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	3,084	0,385	13,564	< 0,0001
Erreur	15	0,426	0,028		
Total corrigé	23	3,510			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,234	0,234	8,227	0,012
Apport	2	2,692	1,346	47,357	< 0,0001
Bloc	3	0,081	0,027	0,947	0,443
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,078	0,039	1,365	0,285

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,687

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	1,666	0,208	4,121	0,009
Erreur	15	0,758	0,051		
Total corrigé	23	2,424			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,801	0,801	15,849	0,001
Apport	2	0,272	0,136	2,691	0,100
Bloc	3	0,587	0,196	3,873	0,031
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,006	0,003	0,061	0,941

Azote ammoniacal➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,572

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	1,906	0,238	2,508	0,059
Erreur	15	1,425	0,095		
Total corrigé	23	3,331			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,603	0,603	6,347	0,024
Apport	2	0,783	0,392	4,121	0,037
Bloc	3	0,041	0,014	0,144	0,932
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,479	0,240	2,521	0,114

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,248

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,858	0,107	0,618	0,751
Erreur	15	2,605	0,174		
Total corrigé	23	3,463			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,005	0,005	0,027	0,872
Apport	2	0,273	0,137	0,786	0,473
Bloc	3	0,434	0,145	0,833	0,496
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,146	0,073	0,420	0,664

Azote nitrique➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,678

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	57,964	7,245	3,957	0,011
Erreur	15	27,469	1,831		
Total corrigé	23	85,433			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,408	0,408	0,223	0,644
Apport	2	54,438	27,219	14,864	0,0003
Bloc	3	2,453	0,818	0,447	0,723
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,665	0,332	0,181	0,836

➤ Riz

Analyse de la variance

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,604

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	2,358	0,295	2,856	0,038
Erreur	15	1,548	0,103		
Total corrigé	23	3,905			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,079	0,079	0,766	0,395
Apport	2	1,167	0,583	5,655	0,015
Bloc	3	0,490	0,163	1,582	0,235
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,622	0,311	3,015	0,079

Phosphore assimilable (P résine)➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,544

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,343	0,043	2,235	0,085
Erreur	15	0,288	0,019		
Total corrigé	23	0,632			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,094	0,094	4,881	0,043
Apport	2	0,126	0,063	3,269	0,066
Bloc	3	0,079	0,026	1,363	0,292
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,045	0,023	1,184	0,333

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,620

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,842	0,105	3,054	0,030
Erreur	15	0,517	0,034		
Total corrigé	23	1,359			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,124	0,124	3,595	0,077
Apport	2	0,625	0,312	9,059	0,003
Bloc	3	0,044	0,015	0,423	0,739
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,050	0,025	0,724	0,501

*Phosphore immobilisé dans la biomasse microbienne( P microbien)*➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,438

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,226	0,028	1,462	0,250
Erreur	15	0,290	0,019		
Total corrigé	23	0,517			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,012	0,012	0,597	0,452
Apport	2	0,102	0,051	2,624	0,105
Bloc	3	0,088	0,029	1,518	0,250
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,025	0,013	0,650	0,536

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,331

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,869	0,109	0,927	0,522
Erreur	15	1,758	0,117		
Total corrigé	23	2,628			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,022	0,022	0,190	0,669
Apport	2	0,430	0,215	1,835	0,194
Bloc	3	0,376	0,125	1,070	0,391
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,040	0,020	0,172	0,843

$pH_{eau}$ ➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,362

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,383	0,048	1,062	0,437
Erreur	15	0,676	0,045		
Total corrigé	23	1,059			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,035	0,035	0,782	0,390
Apport	2	0,014	0,007	0,153	0,860
Bloc	3	0,297	0,099	2,196	0,131
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,037	0,019	0,412	0,670

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	24,000
Somme des poids	24,000
DDL	15,000
R <sup>2</sup>	0,411

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,415	0,052	1,310	0,310
Erreur	15	0,595	0,040		
Total corrigé	23	1,010			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,004	0,004	0,095	0,763
Apport	2	0,217	0,109	2,738	0,097
Bloc	3	0,122	0,041	1,023	0,410
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,073	0,036	0,921	0,420



pH<sub>KCl</sub>➤ Haricot

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,288	0,036	1,769	0,162
Erreur	15	0,305	0,020		
Total corrigé	23	0,593			

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,485

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,025	0,025	1,246	0,282
Apport	2	0,114	0,057	2,796	0,093
Bloc	3	0,094	0,031	1,539	0,245
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,055	0,027	1,350	0,289

➤ Riz

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	8	0,369	0,046	2,186	0,091
Erreur	15	0,316	0,021		
Total corrigé	23	0,685			

Observations	24
Somme des poids	24
DDL	15
R <sup>2</sup>	0,538

Analyse Type I Sum of Squares ) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mode de gestion du sol	1	0,118	0,118	5,578	0,032
Apport	2	0,169	0,084	3,999	0,041
Bloc	3	0,075	0,025	1,190	0,347
Mode de gestion du sol*Apport	2	0,007	0,004	0,173	0,843

**Annexe 13 : Tableaux de l'ANOVA pour les apports de P sous forme organique et les apports de P minéral à dose croissante**

*Nombre de nodules par plante*

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,694

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	3,883	0,353	4,949	0,001
Erreur	24	1,712	0,071		
Total corrigé	35	5,595			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,707	0,353	4,952	0,016
Dose de P apporté par le TSP	2	1,529	0,764	10,717	0,0004
Bloc	3	0,846	0,282	3,952	0,020
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,802	0,200	2,810	0,048

*Poids de nodule par plante*

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,631

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	6,604	0,600	3,725	0,003
Erreur	24	3,868	0,161		
Total corrigé	35	10,471			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	1,493	0,746	4,632	0,020
Dose de P apporté par le TSP	2	2,971	1,485	9,218	0,001
Bloc	3	1,085	0,362	2,244	0,109
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	1,055	0,264	1,637	0,198

Biomasse aérienne➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,879

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	3,692	0,336	15,912	< 0,0001
Erreur	24	0,506	0,021		
Total corrigé	35	4,198			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	3,304	1,652	78,313	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,249	0,125	5,905	0,008
Bloc	3	0,042	0,014	0,663	0,583
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,097	0,024	1,152	0,356

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,576

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	6219,993	565,454	2,962	0,013
Erreur	24	4581,475	190,895		
Total corrigé	35	10801,468			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	572,214	286,107	1,499	0,244
Dose de P apporté par le TSP	2	1095,877	547,938	2,870	0,076
Bloc	3	3240,081	1080,027	5,658	0,004
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	1311,821	327,955	1,718	0,179

Biomasse racinaire➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,802

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	0,938	0,085	8,864	< 0,0001
Erreur	24	0,231	0,010		
Total corrigé	35	1,169			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,780	0,390	40,537	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,033	0,017	1,724	0,200
Bloc	3	0,102	0,034	3,526	0,030
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,023	0,006	0,600	0,666

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,663

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	4491,292	408,299	4,289	0,001
Erreur	24	2284,600	95,192		
Total corrigé	35	6775,891			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	950,034	475,017	4,990	0,015
Dose de P apporté par le TSP	2	81,260	40,630	0,427	0,657
Bloc	3	2865,045	955,015	10,033	0,0001
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	594,953	148,738	1,563	0,216

Rendement➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,908

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	9,828	0,893	21,540	< 0,0001
Erreur	24	0,995	0,041		
Total corrigé	35	10,823			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	8,828	4,414	106,414	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,444	0,222	5,349	0,012
Bloc	3	0,437	0,146	3,513	0,031
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,119	0,030	0,718	0,588

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,368

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	0,880	0,080	1,269	0,299
Erreur	24	1,512	0,063		
Total corrigé	35	2,392			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,354	0,177	2,811	0,080
Dose de P apporté par le TSP	2	0,073	0,036	0,578	0,569
Bloc	3	0,221	0,074	1,169	0,342
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,232	0,058	0,919	0,469

Azote ammoniacal➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,902

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	0,046	0,004	20,059	< 0,0001
Erreur	24	0,005	0,000		
Total corrigé	35	0,051			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,041	0,021	98,900	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,002	0,001	4,835	0,017
Bloc	3	0,002	0,001	3,495	0,031
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,001	0,000	0,674	0,617

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,235

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	1,744	0,159	0,671	0,752
Erreur	24	5,674	0,236		
Total corrigé	35	7,418			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,700	0,350	1,480	0,248
Dose de P apporté par le TSP	2	0,269	0,134	0,569	0,574
Bloc	3	0,183	0,061	0,259	0,854
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,592	0,148	0,626	0,648

Azote nitrique➤ Haricot

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	115,973	10,543	3,602	0,004
Erreur	24	70,248	2,927		
Total corrigé	35	186,221			

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,623

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	94,851	47,426	16,203	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	1,412	0,706	0,241	0,788
Bloc	3	9,470	3,157	1,078	0,377
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	10,240	2,560	0,875	0,494

➤ Riz

Analyse de la variance (Variable N-NO3 Riz (mg/kg)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	2,545	0,231	2,780	0,018
Erreur	24	1,998	0,083		
Total corrigé	35	4,543			

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,560

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	1,882	0,941	11,303	0,000
Dose de P apporté par le TSP	2	0,218	0,109	1,312	0,288
Bloc	3	0,123	0,041	0,493	0,690
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,322	0,080	0,966	0,444

Phosphore assimilable (P résine)➤ Haricot

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	3,940	0,358	17,04 5	< 0,0001
Erreur	24	0,504	0,021		
Total corrigé	35	4,444			

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,887

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,537	0,269	12,77 9	0,0002
Dose de P apporté par le TSP	2	2,902	1,451	69,05 3	< 0,0001
Bloc	3	0,217	0,072	3,441	0,033
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,284	0,071	3,376	0,025

➤ Riz

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	4,683	0,426	14,618	< 0,0001
Erreur	24	0,699	0,029		
Total corrigé	35	5,382			

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,870

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,929	0,465	15,955	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	3,116	1,558	53,487	< 0,0001
Bloc	3	0,375	0,125	4,297	0,015
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,263	0,066	2,256	0,093



Phosphore immobilisé par la biomasse microbienne(P microbien)➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,618

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	2,637	0,240	3,533	0,005
Erreur	24	1,629	0,068		
Total corrigé	35	4,266			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	1,824	0,912	13,436	0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,019	0,010	0,141	0,869
Bloc	3	0,366	0,122	1,796	0,175
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,429	0,107	1,579	0,212

➤ Riz

Analyse de la variance:

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,328

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	1,315	0,120	1,064	0,427
Erreur	24	2,698	0,112		
Total corrigé	35	4,013			

Analyse Type I Sum of Squares:

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,681	0,341	3,029	0,067
Dose de P apporté par le TSP	2	0,044	0,022	0,197	0,823
Bloc	3	0,513	0,171	1,522	0,234
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,077	0,019	0,171	0,951

$pH_{eau}$ ➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,648

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	2,659	0,242	4,017	0,002
Erreur	24	1,444	0,060		
Total corrigé	35	4,103			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	1,046	0,523	8,690	0,001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,099	0,049	0,821	0,452
Bloc	3	1,043	0,348	5,776	0,004
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,471	0,118	1,959	0,133

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,572

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	1,608	0,146	2,922	0,014
Erreur	24	1,201	0,050		
Total corrigé	35	2,809			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	0,798	0,399	7,976	0,002
Dose de P apporté par le TSP	2	0,494	0,247	4,931	0,016
Bloc	3	0,187	0,062	1,244	0,316
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,130	0,032	0,648	0,634

$pH_{KCl}$ ➤ Haricot

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,764

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	1,508	0,137	7,048	< 0,0001
Erreur	24	0,467	0,019		
Total corrigé	35	1,975			

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	1,353	0,676	34,769	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,054	0,027	1,390	0,269
Bloc	3	0,027	0,009	0,466	0,709
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,074	0,019	0,953	0,451

➤ Riz

Analyse de la variance :

Observations	36
Somme des poids	36
DDL	24
R <sup>2</sup>	0,719

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	1,405	0,128	5,584	0,0002
Erreur	24	0,549	0,023		
Total corrigé	35	1,954			

Analyse Type I Sum of Squares (Variable pH KCl) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Forme d'apport	2	1,138	0,569	24,882	< 0,0001
Dose de P apporté par le TSP	2	0,193	0,096	4,219	0,027
Bloc	3	0,019	0,006	0,272	0,845
Forme d'apport*Dose de P apporté par le TSP	4	0,055	0,014	0,601	0,665

**Annexe 14: Matrice de corrélation de Pearson pour les différents paramètres étudiés : cas du haricot**

Variables	Nombre nodule	Poids nodule	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Rendemen t	N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P résine	P microbien	pH eau	pH KCl
Nombre nodule	<b>1</b>										
Poids nodule/plante	<b>0,864</b>	<b>1</b>									
Biomasse aérienne	0,195	<b>0,264</b>	<b>1</b>								
Biomasse racinaire	0,074	0,121	<b>0,909</b>	<b>1</b>							
Rendement	0,192	0,239	<b>0,877</b>	<b>0,774</b>	<b>1</b>						
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,146	0,232	<b>0,440</b>	<b>0,363</b>	<b>0,531</b>	<b>1</b>					
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,031	0,095	<b>0,638</b>	<b>0,610</b>	<b>0,643</b>	<b>0,375</b>	<b>1</b>				
P résine	<b>0,360</b>	<b>0,411</b>	0,210	0,171	0,046	0,103	0,043	<b>1</b>			
P microbien	<b>0,267</b>	<b>0,409</b>	<b>0,494</b>	<b>0,432</b>	<b>0,475</b>	<b>0,519</b>	<b>0,326</b>	<b>0,388</b>	<b>1</b>		
pH <sub>eau</sub>	0,222	<b>0,357</b>	<b>0,339</b>	<b>0,251</b>	<b>0,325</b>	0,096	<b>0,277</b>	-0,020	0,182	<b>1</b>	
pH <sub>KCl</sub>	<b>0,375</b>	<b>0,492</b>	<b>0,630</b>	<b>0,502</b>	<b>0,602</b>	<b>0,439</b>	<b>0,466</b>	<b>0,257</b>	<b>0,528</b>	<b>0,609</b>	<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$*

**Annexe 15: Matrice de corrélation de Pearson pour les différents paramètres étudiés : cas du riz**

Variables	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Rendement	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P résine	P microbien	pH eau	pH KCl
Biomasse aérienne	<b>1</b>								
Biomasse racinaire	<b>0,483</b>	<b>1</b>							
Rendement	<b>0,244</b>	<b>0,076</b>	<b>1</b>						
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,005	0,003	0,000	<b>1</b>					
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,034	0,041	0,001	<b>0,064</b>	<b>1</b>				
P résine	0,003	0,005	0,000	0,006	0,000	<b>1</b>			
P microbien	0,005	0,000	0,001	0,000	<b>0,091</b>	0,002	<b>1</b>		
pH <sub>eau</sub>	0,039	0,027	0,000	0,056	<b>0,131</b>	<b>0,091</b>	0,026	<b>1</b>	
pH <sub>KCl</sub>	0,014	0,009	0,005	0,014	<b>0,127</b>	<b>0,136</b>	<b>0,070</b>	<b>0,485</b>	<b>1</b>

*Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha=0,05$*