

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	I
CERTIFICATION.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES PHOTOS.....	VII
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	VIII
RESUME.....	IX
ABSTRACT	XI
INTRODUCTION.....	1
1.MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	4
1.1. Présentation du milieu d'étude	4
1.2. Matériel.....	6
1.2.1. Matériel végétal	6
1.2.2. Dispositifs expérimentaux	8
1.2.3. Equipements utilisés.....	9
1.3. Méthodes.....	10
1.3.1. Conduite des cultures	10
1.3.2. Observations et mesures.....	12
1.4. Analyses statistiques des données	14
2.RESULTATS.....	15
2.1. Effet de la fertilisation en phosphore sur la hauteur des plants et le taux de recouvrement du niébé	15
2.1.1. Effets de la fertilisation en phosphore sur la production de biomasse sèche et le rendement grain de niébé	16
2.1.2. Effet du phosphore sur les teneurs en éléments minéraux (N, P, K) de la biomasse sèche et des grains de niébé	17
2.2. Effet des traitements appliqués au riz sur sa croissance et son rendement	18
2.2.1. Effet sur la hauteur et la production de talles et de biomasse de riz.....	18
2.2.2. Effet sur le rendement et les composantes de rendement du riz	19
2.2.3. Effet sur les teneurs en éléments minéraux (N, P et K) des grains et de la paille de riz	22
2.3. Arrière effet des différents traitements appliqués au riz sur la croissance et le rendement de la tomate	24

3.DISCUSSION	35
3.1. Effet du phosphore sur la croissance et le rendement du niébé	35
3.2. Effet des traitements appliqués au riz sur sa croissance et son rendement	36
3.3. Arrière effet des différents traitements appliqués au riz sur la croissance et le rendement de la tomate.	37
3.4. Impact de la rotation niébé-riz-tomate sur les propriétés physico-chimiques du sol.	38
CONCLUSION	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	41
ANNEXES.....	49

CERTIFICATION

Je certifie que le présent travail a été réalisé par **SOSSA Elvire Line**, sous ma supervision à l'Ecole Doctorale de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), Département Aménagement et Gestion de l'Environnement (DAGE) pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en sciences Agronomiques.

Le Superviseur :

Pr Dr Ir Guillaume L. AMADJI

Enseignant-chercheur en science du sol
Faculté des Sciences Agronomiques (FSA)
Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Dr Ir Joël HUAT

Chercheur en agronomie
CIRAD, UR Hortsys
AfricaRice, programme 'Sustainable Productivity Enhancement'

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis ici d'adresser ma profonde gratitude :

- Au Dr Ir Joël HUAT pour m'avoir donné l'opportunité de faire ce travail et pour l'avoir supervisé ; grand merci.
- Au projet IFAR pour m'avoir octroyé la bourse et le financement partiel pour ce travail.
- Au Pr Dr Ir Guillaume L. AMADJI pour avoir suivi ce travail de près et prodigué de riches conseils ; merci sincèrement.
- A M. Touré AMADOU pour ses directives, ses conseils et son appui tout au long de ce travail ; merci infiniment.
- A Mme Mariame MARIKO pour son appui technique, son soutien permanent et ses directives durant toute la durée de ce travail ; que Dieu vous comble de ses bienfaits.
- Au Dr Ibnou DIENG pour son appui statistique tout au long du déroulement de ce travail ; sincères remerciements.
- Au Dr Franck Mussgnug, pour ses conseils et son appui à l'amélioration de la qualité de ce travail ; infiniment merci.
- Aux responsables du laboratoire d'AfricaRice M. Abibou NIANG, M. Jean-Martial JOHNSON et à tout le personnel du laboratoire, pour leur promptitude dans l'analyse de mes échantillons ; infiniment merci.
- A tout le personnel d'AfricaRice en particulier à toute l'équipe du Pré-Fab 3 : M. Benjamin TOULOU, M. Roland BOCCO, M. Kora OROU, M. Cheik Oumar Ly, M. Bertin FONTON, M. Félix OUINSOU, Mme Germaine TOSSOU et les techniciens du laboratoire de biotechnologie, merci pour la cordialité que vous avez manifestée à mon égard.
- A tous les enseignants de la Faculté des Sciences Agronomiques qui se battent chaque jour pour nous instruire : merci à vous chers Professeurs.

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : EFFET DU PHOSPHORE SUR LE RENDEMENT DU NIÉBÉ	16
TABLEAU 2 : EFFET DU PHOSPHORE SUR LA COMPOSITION (G.KG ⁻¹) EN N, P ET K DANS LA BIOMASSE ET LES GRAINS DE RIZ.....	18
TABLEAU 3 : RENDEMENT ET COMPOSANTES DE RENDEMENT DU RIZ	20
TABLEAU 4 : EFFET DE L'INTERACTION PHOSPHORE*AZOTE SUR LE POIDS DES GRAINS DE RIZ.....	21
TABLEAU 5 : EFFET DE L'INTERACTION PHOSPHORE*RÉSIDUS SUR LE NOMBRE DE PANICULE ET LE TAUX DE GRAINS VIDES PAR PANICULE DE RIZ	21
TABLEAU 6 : EFFET DE L'INTERACTION AZOTE*RÉSIDUS SUR LE NOMBRE DE GRAINS PLEINS ET LE TAUX DE GRAINS VIDES PAR PANICULE DE RIZ	21
TABLEAU 7 : TENEURS EN N, P ET K (G.KG ⁻¹) DANS LES GRAINS ET LES PAILLES DE RIZ	23
TABLEAU 8 : EFFET DE L'INTERACTION PHOSPHORE*AZOTE SUR LA TENEUR EN P DANS LES PAILLES DE RIZ.....	23
TABLEAU 9 : EFFET DE L'INTERACTION AZOTE*RÉSIDUS SUR LA TENEUR EN P DANS LES PAILLES DE RIZ.....	23
TABLEAU 10 : PARAMÈTRES DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT DE TOMATE.....	25
TABLEAU 11 : EFFET DE L'INTERACTION P*N SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE DE TOMATE	25
TABLEAU 12 : EFFET DES TRAITEMENTS APPLIQUÉS AU NIÉBÉ ET AU RIZ SUR LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL	28
TABLEAU 13 : CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL NON FERTILISÉ AU ... PHOSPHORE APRÈS CULTURE DU NIÉBÉ.....	30
TABLEAU 14 : CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL FERTILISÉ AU PHOSPHORE APRÈS CULTURE DU NIÉBÉ.....	30
TABLEAU 15 : EFFETS DES INTERACTIONS P*N, P*R ET N*R SUR LE PH ET LES TENEURS EN N, NA, K ET MN DU SOL APRÈS LA ROTATION NIÉBÉ-RIZ.....	33
TABLEAU 16 : EFFET DE L'INTERACTION PHOSPHORE*AZOTE SUR LES TENEURS EN P, MO, MG, CA ET DE LA ECEC DU SOL APRÈS LA ROTATION NIÉBÉ-RIZ.....	34
TABLEAU 17 : EFFET DE L'INTERACTION PHOSPHORE*RÉSIDUS DE NIÉBÉ SUR LES TENEURS EN P ET EN CA DU SOL APRÈS LA ROTATION NIÉBÉ-RIZ.....	34
TABLEAU 18 : EFFET DE L'INTERACTION N*R SUR LES TENEURS EN MG, CA ET DE LA ECEC DU SOL APRÈS LA ROTATION NIÉBÉ-RIZ.....	34

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DU BENIN MONTRANT LA COMMUNE DE LOKOSSA	5
FIGURE 2 : EVOLUTION DE LA PLUVIOMÉTRIE MOYENNE AU COURS DE LA PÉRIODE D'ESSAI	6
FIGURE 3: EFFET DU PHOSPHORE SUR LA HAUTEUR MOYENNE DES PLANTS DE NIÉBÉ.....	15
FIGURE 4 : EFFET DU PHOSPHORE SUR LE TAUX DE RECOUVREMENT DU NIÉBÉ	16
FIGURE 5 : EFFET DU PHOSPHORE SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE DE NIÉBÉ	17
FIGURE 6: EFFET DE L'INTERACTION AZOTE*RÉSIDUS SUR LA PRODUCTION DE TALLES DES PLANTS DE RIZ.....	19
FIGURE 7 : EFFET DE L'INTERACTION ARRIÈRE EFFET P*ARRIÈRE EFFET N*ARRIÈRE EFFET R SUR LE POIDS MOYEN DES FRUITS DE TOMATE	25
FIGURE 8 : EFFET DE L'INTERACTION ARRIÈRE EFFET P*AZOTE*ARRIÈRE EFFET R SUR LA TENEUR EN N DU SOL.....	27
FIGURE 9 : EFFET DE L'INTERACTION ARRIÈRE EFFET P*AZOTE*ARRIÈRE EFFET R SUR LA TENEUR EN P DU SOL.....	29
FIGURE 10 : EFFET DE L'INTERACTION N*R SUR LE PH _{EAU} DU SOL.....	29
FIGURE 11 : EFFET DE LA FERTILISATION EN P SUR LA TENEUR EN P DU SOL.....	31
FIGURE 12 : EFFET DE LA FERTILISATION EN P SUR LA TENEUR EN N DU SOL.....	31
FIGURE 13 : EFFET DE LA FERTILISATION EN P SUR LE PH DU SOL FERTILISÉ AU PHOSPHORE	31

LISTE DES PHOTOS

PHOTOS 1 : PLANTS ET GRAINS DE LA VARIÉTÉ DE NIÉBÉ IT82E25.....	7
PHOTOS 2 : PLANTS ET GRAINS DE LA VARIÉTÉ DE RIZ NERICA L14	7
PHOTOS 3 : PLANTS ET FRUITS DE LA VARIÉTÉ DE TOMATE MONGAL F1	8

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ADRAO : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest

DPP : Direction de la Programmation et de la Prospective

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

IITA : Institut International d'Agriculture Tropicale

MAEP : Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche

ECEC : Capacité d'Echange Cationique Effective

RESUME

La culture des légumineuses en rotation avec le riz, combinée à l'emploi de leurs résidus de culture peut permettre d'améliorer la fertilité du sol, de réduire les doses d'engrais minéraux utilisées en riziculture, et enfin d'accroître le rendement du riz. Une expérimentation a été conduite en station à Ouédémè (6° 48 N et 1° 47 E) au Sud-Ouest du Bénin, en vue d'évaluer l'arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du niébé (*vigna unguiculata*) sur la production du riz de bas-fond, dans un système de rotation niébé-riz-tomate. Le matériel végétal était composé de la variété de niébé IT82E25, de la variété de riz Nerica L14 et de la variété de tomate Mongal F1. Le dispositif expérimental utilisé était un bloc complètement randomisé à quatre répétitions. Après la culture du niébé ayant reçu une fertilisation azotée d'appoint (20 kg.ha⁻¹ N) et deux niveaux de fertilisation au phosphore (0 ou 30 kg.ha⁻¹ P₂O₅), le riz a été installé avec différents traitements : incorporation ou non incorporation des résidus de culture de niébé (tiges, feuilles, racines) et trois niveaux de fertilisation azoté (0, 30 ou 60 kg.ha⁻¹ N). Après la récolte du riz, la culture de la tomate a succédé au riz et a reçu une fertilisation NPK de 50 kg N, 20 kg P₂O₅ et 80 kg.ha⁻¹ K₂O. Les paramètres de croissance (hauteur, recouvrement du sol, nombre de talles, biomasse) et les composantes du rendement ont été mesurés pour chaque culture. Les données ont été analysées avec le logiciel statistique Genstat Discovery Edition 4, en considérant le seuil de signification 5%. Une analyse de variance "one-way" a été effectuée sur les données de niébé. Pour les données relatives au riz et à la tomate, nous avons réalisé une analyse de variance split plot en vue d'évaluer les effets ou arrière effets de chacun des facteurs et de leurs interactions. Les résultats ont révélé une augmentation significative de la hauteur (de 7,9 à 9 cm soit de 14%) et du taux de recouvrement (de 15,5 à 19,8% soit de 27%) du niébé en phase végétative et du rendement en grains du niébé de 631 à 835 kg.ha⁻¹ (soit de 32%) sous l'effet du phosphore. Pour le riz, nous avons obtenu un accroissement significatif du rendement en grains de 3603 à 3922 kg.ha⁻¹ (soit de 9%) et de la production de paille sèche de 4287 à 4695 kg.ha⁻¹ (soit de 9%) par l'incorporation des résidus de niébé au sol. Pour la tomate, nous avons observé une augmentation significative du rendement total et du rendement des fruits sains respectivement de 531 à 598 kg.ha⁻¹ (soit de 12,6%) et de 525 à 589 kg.ha⁻¹ (soit de 12,2%) sous l'arrière effet de la fertilisation en phosphore (30 kg.ha⁻¹ P₂O₅), une baisse significative du rendement total et du rendement des fruits sains de tomate respectivement de 592 à 510 kg.ha⁻¹ (soit de 14%) et de 583 à 503 kg.ha⁻¹ (soit de 14%) sous l'arrière effet de l'application de 60 kg.ha⁻¹ N. Les caractéristiques chimiques du sol ont évolué sous l'effet de la rotation niébé-riz. Ainsi avons-nous observé une augmentation significative de 35 et 58% de la teneur en phosphore du sol, respectivement sous les interactions phosphore*azote et

phosphore*résidus. La teneur en azote du sol a connu une baisse significative de 24 à 37% sous tous les traitements. En somme, la rotation niébé-riz peut améliorer le rendement et les paramètres de croissance du riz avec un apport limité en azote et en phosphore, et peut aussi contribuer à l'accroissement de la teneur en phosphore du sol.

Mots clés : *Diversification, rotation, arrière effet, résidus, niébé, riz, tomate, bas-fond*

ABSTRACT

Legume crop in rotation with rice, combined with the use of their crop residues can improve soil fertility, reduce the doses of mineral fertilizers used in rice production, and finally can increase the performance of rice. An experiment was conducted at Ouédèmè (6°48' N and 1°47' E) in Southwestern Benin, in order to assess the residual effects of fertilizer and cowpea (*Vigna unguiculata*) residues on production of lowland rice in a cowpea-rice-tomato rotation system. The plant material consisted of cowpea variety IT82E25, rice variety Nerica L14 and tomato variety Mongal F1. The experimental design used was a randomized complete block with four repetitions. After cowpea which received starter nitrogen fertilization (20 kg.ha⁻¹ N), and two levels of phosphorus fertilization (0 or 30 kg.ha⁻¹ P₂O₅), the rice was installed with different treatments: incorporation or no incorporation of cowpea crop residues (stems, leaves, roots) and three levels of nitrogen fertilization (0, 30 or 60 kg.ha⁻¹ N). After the rice harvest, tomato crop succeeded to rice and received uniformly NPK fertilization of 50 kg N, 20 kg P₂O₅ and 80 kg.ha⁻¹ K₂O. Growth (height, groundcover, tiller number, biomass) and yield parameters were measured for each culture. The data were analyzed using the statistical software Genstat Discovery Edition 4, considering the 5% significance level. A "one-way" analysis of variance was performed on data from cowpea. For the data of rice and tomato we performed a split plot analysis of variance to assess the effects or residual effects of each factor and their interactions. The results showed a significant increase in height (from 7.9 to 9 cm or 14%) and recovery rate (from 15.5 to 19.8% or 27%) of cowpea in vegetative stage and cowpea grain yield of 631-835 kg.ha⁻¹ (or 32%) through the effect of phosphorus. For rice, we obtained a significant increase in grain yield of 3603 to 3922 kg.ha⁻¹ (or 9%) and dry straw production of 4287 to 4695 kg.ha⁻¹ (or 9%) through cowpea residues incorporation into the soil. For tomatoes, we observed a significant increase of total and marketable yield respectively from 531 to 598 kg.ha⁻¹ (or 12.6%) and 525 to 589 kg.ha⁻¹ (or 12, 2%), through the residual effect of phosphorus fertilization (30 kg.ha⁻¹ P₂O₅), a significant decrease of total and marketable yield of tomato fruits respectively from 592 to 510 kg.ha⁻¹ (or 14%) and from 583 to 503 kg.ha⁻¹ (or 14%) through the residual effect of the application of 60 kg.ha⁻¹ N. Chemical characteristics of the soil have evolved as a result of the cowpea-rice rotation. Thus, we observed a significant increase of 35 and 58% phosphorus content of soil respectively through the interactions phosphorus*nitrogen and phosphorus*residues. Nitrogen content of soil decreased significantly from 24 to 37% in all treatments. In sum, the rice-cowpea rotation can improve yield and growth parameters of rice with a limited supply of nitrogen and phosphorus, and may also contribute to increased phosphorus content of the soil.

INTRODUCTION

Le riz est une plante céréalière d'importance mondiale et représente la troisième des céréales les plus consommées mondialement après le blé et le maïs (Krishnan et al., 2011). En Afrique, la production du riz ne représente qu'environ 3% de la production mondiale estimée à 720 millions de tonnes en 2011 (FAO, 2012). De plus, les besoins en riz sont croissants en Afrique sub-saharienne, en raison de la poussée démographique qui est de 4% par an et de l'intérêt accordé au riz par les populations locales (Balasubramanian et al., 2007). La production rizicole en Afrique sub-saharienne a connu une augmentation de près de 179% entre 1970 et 2000, mais n'est jamais parvenue à satisfaire la demande des consommateurs (AfricaRice, 2007). Actuellement, environ 40% de la consommation en riz en Afrique sub-saharienne est importé, ce qui pose des problèmes de pauvreté et d'insécurité alimentaire (AfricaRice, 2008). Au Bénin, Le déficit alimentaire annuel en riz, comblé par les importations, a été estimé à environ 102000 tonnes (DPP/MAEP, 2009).

Le riz est cultivé dans différentes zones agro écologiques et agro écosystèmes : en régime pluvial sur les plateaux, en régime pluvial et irrigué dans les bas-fonds, dans les marais et les mangroves (Balasubramanian et al., 2007).

La surexploitation agricole des terres de plateaux entraîne une diminution de leur fertilité et une baisse sensible des rendements. De plus, les aléas climatiques (sécheresse, modification du régime des pluies) engendrent des perturbations dans le calendrier cultural des exploitants agricoles (Worou, 2002). L'écosystème de bas-fonds est caractérisé par la présence prolongée de l'eau à la surface ou dans le sol (Carsky et Ajayi, 1992 ; Lidon et al. 1999 ; Erenstein, 2006). Il permet ainsi d'accroître la production rizicole en Afrique de l'Ouest, à travers l'extension des superficies cultivées et l'augmentation des rendements. Les rendements obtenus actuellement par les paysans sont largement en dessous des rendements potentiels qui peuvent être atteints avec des techniques de production améliorées (Windmeijer et Andriesse, 1993 ; Becker et Johnson, 1999 ; Becker et al., 2003). En Afrique de l'Ouest, les rendements moyens du riz cultivé en régime irrigué et pluvial de bas-fonds, dans des plaines inondables et sur les plateaux sont respectivement de 3 ; 2,1 ; 1,3 et 1 t.ha⁻¹ (Okeleye, 2009). Les écarts de rendement (différence entre rendement actuel et rendement potentiel) varient entre 3,3 et 5,9 t.ha⁻¹ (Becker et al., 2003).

Les rendements et la production du riz dans les bas-fonds sont limités par plusieurs facteurs au nombre desquels on peut citer l'appauvrissement des sols dû à la monoculture du riz (Kroll,

1994 ; Haefele *et al.*, 2004), à l'érosion et à l'entretien inadéquat des cultures (ADRAO, 2008 ; Dobermann et White, 1999), à la faible utilisation des intrants par les paysans (Dobermann et White, 1999). L'azote et le phosphore sont les principaux nutriments du sol limitant le rendement du riz dans les bas-fonds (Fageria *et al.*, 2003 ; Balasubramanian *et al.*, 2007).

D'une façon générale, les légumineuses enrichissent le sol en azote à travers la fixation biologique de l'azote (Boddey *et al.*, 1997 ; Giller *et al.*, 1997). La culture des légumineuses en rotation avec les céréales, améliore la croissance et le rendement des céréales ainsi que les propriétés physico-chimiques du sol (Hasbullah *et al.*, 2011). Les légumineuses permettent d'accroître la teneur en carbone du sol (Lal et Bruce, 1999; Hao *et al.*, 2002; Desjardins *et al.*, 2001 ; Su, 2007) et la réduction des doses de fertilisation azotée requise pour la culture des céréales (Carsky *et al.*, 1999). De plus la dégradation des résidus de légumineuses permet la restauration de la teneur en carbone et en azote du sol (Abera *et al.*, 2011) de même que ses propriétés biologiques et physiques. Ils améliorent la disponibilité des nutriments dans le sol, l'infiltration et la capacité de rétention en eau du sol et limitent par conséquent l'évaporation (Palm *et al.*, 2001).

L'introduction des légumes en rotation avec le riz peut permettre aux paysans d'accroître leur revenu à travers la vente des légumes, d'améliorer leur ration alimentaire et de réduire les risques de production (Sharma *et al.*, 2005). Elle peut permettre aussi la stabilisation des flux monétaires, et des revenus, une meilleure exploitation des ressources physiques, humaines et sociales disponibles (Tollens, 1999).

Les légumineuses dont les feuilles ou les fruits entrent dans l'alimentation, sont considérés comme des cultures maraîchères. Elles sont plus facilement cultivées par les paysans que les plantes de couverture, parce qu'en plus d'enrichir le sol, elles contribuent à améliorer les revenus à cause de leur valeur marchande élevée (Giller, 2001, Snapp *et al.*, 2002 ; Oikeh *et al.*, 1998 ; Vanlauwe *et al.*, 2001). C'est le cas du niébé (Ehlers et Hall, 1997) dont les feuilles et les graines sont consommées. Le niébé offre dans toute l'Afrique de l'Ouest une gamme variée de préparations culinaires, fournit du fourrage d'excellente qualité et contribue aussi au maintien et ou à l'amélioration de la fertilité du sol (Kergna, 2011 cité par Amadji 2008). La rotation niébé - riz engendre une augmentation de 4 à 12% du rendement grain du riz (Dwivedi *et al.*, 2002). De plus l'incorporation des résidus de niébé après la récolte augmente le rendement du riz succédant de $1,6 \text{ t.ha}^{-1}$ (Okeleye, 2009). La culture maraîchère tomate est la première production légumière au monde (*Lycopersicon esculentum* P. Mill) et représente environ 15% de la production légumière totale (Chaux et Foury, 1999 cité par Huat, 2008).

Il s'avère donc opportun de tester si les quantités de fertilisants minéraux (notamment azote et phosphore) utilisées conventionnellement en riziculture peuvent être réduites par la culture des légumineuses et l'incorporation au sol de leurs résidus de récolte, avant la culture du riz. Une expérimentation a été conduite à cet effet, dans le bas-fond de Ouédémè, localisé au Sud-Ouest du Bénin, dans le but d'évaluer l'arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du précédent cultural niébé sur le rendement du riz de bas-fond et de la tomate succédant au riz dans un système de rotation niébé-riz-tomate.

Plus spécifiquement il s'agit :

d'étudier l'arrière effet de la fertilisation en phosphore, l'arrière effet de l'emploi des résidus de récolte du niébé et l'effet de la fertilisation azotée sur la croissance et le rendement du riz de bas-fond ;

d'examiner l'effet des interactions des facteurs arrière effet phosphore, arrière effet résidus et effet azote sur la croissance et le rendement du riz ;

d'évaluer l'arrière effet des différents traitements appliqués au précédent cultural riz et leurs interactions sur la croissance et le rendement de la tomate ;

de voir si la séquence culturale niébé-riz-tomate a une influence sur la teneur en azote et en phosphore du sol.

Pour atteindre les objectifs fixés, les hypothèses suivantes sont testées :

L'arrière effet du phosphore et de l'enfouissement dans le sol des résidus de récolte du niébé améliore la croissance, le rendement et les teneurs en éléments nutritifs (N, P, K) des grains et de la paille de riz.

Les interactions des facteurs arrière effet phosphore, arrière effet résidus et effet azote améliorent la croissance, le rendement et les teneurs en éléments nutritifs (N, P, K) des grains et de la paille de riz ;

L'arrière effet de la fertilisation en phosphore, l'arrière effet de l'emploi des résidus de récolte du niébé, l'arrière effet de la fertilisation azotée du riz, et leurs interactions améliorent la croissance et le rendement de la tomate ;

La séquence niébé-riz-tomate accroît les teneurs en éléments nutritifs (N, P) du sol.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Présentation du milieu d'étude

La présente étude a été conduite sur l'un des sites de recherche du Centre du Riz pour l'Afrique (AfricaRice), situé à Ouédémè au Sud-Ouest du Bénin (Figure 1), dans le département du Mono, commune de Lokossa ($6^{\circ} 48' N$ et $1^{\circ} 47' E$).

Les sols de la zone d'étude sont pour la plupart des sols hydromorphes, formés sur matériau alluvial. De texture limono-argileuse, le sol du site avait au début de l'expérimentation, un niveau général de fertilité chimique très bas, marquée par une teneur élevée en azote, et une teneur moyenne en matière organique (Dabin, 1956).

Le climat est de type subéquatorial caractérisé par l'alternance de deux saisons sèches et de deux saisons pluvieuses. Les pluies s'étendent de mars à juillet pour la grande saison et de septembre à octobre pour la petite. Cette zone est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 850 et 1160 mm, une température moyenne oscillant de $23^{\circ}C$ (en août) à $29^{\circ}C$ (en décembre), une humidité relative de l'air variant en moyenne de 55% (en décembre) à 95% (en juin), et une insolation annuelle moyenne de 2 h/an. La zone est couverte d'une formation végétale composée d'une savane herbeuse, des formations marécageuses, de quelques mangroves et de quelques îlots de forêt dense. On y retrouve également la jachère à palmiers.

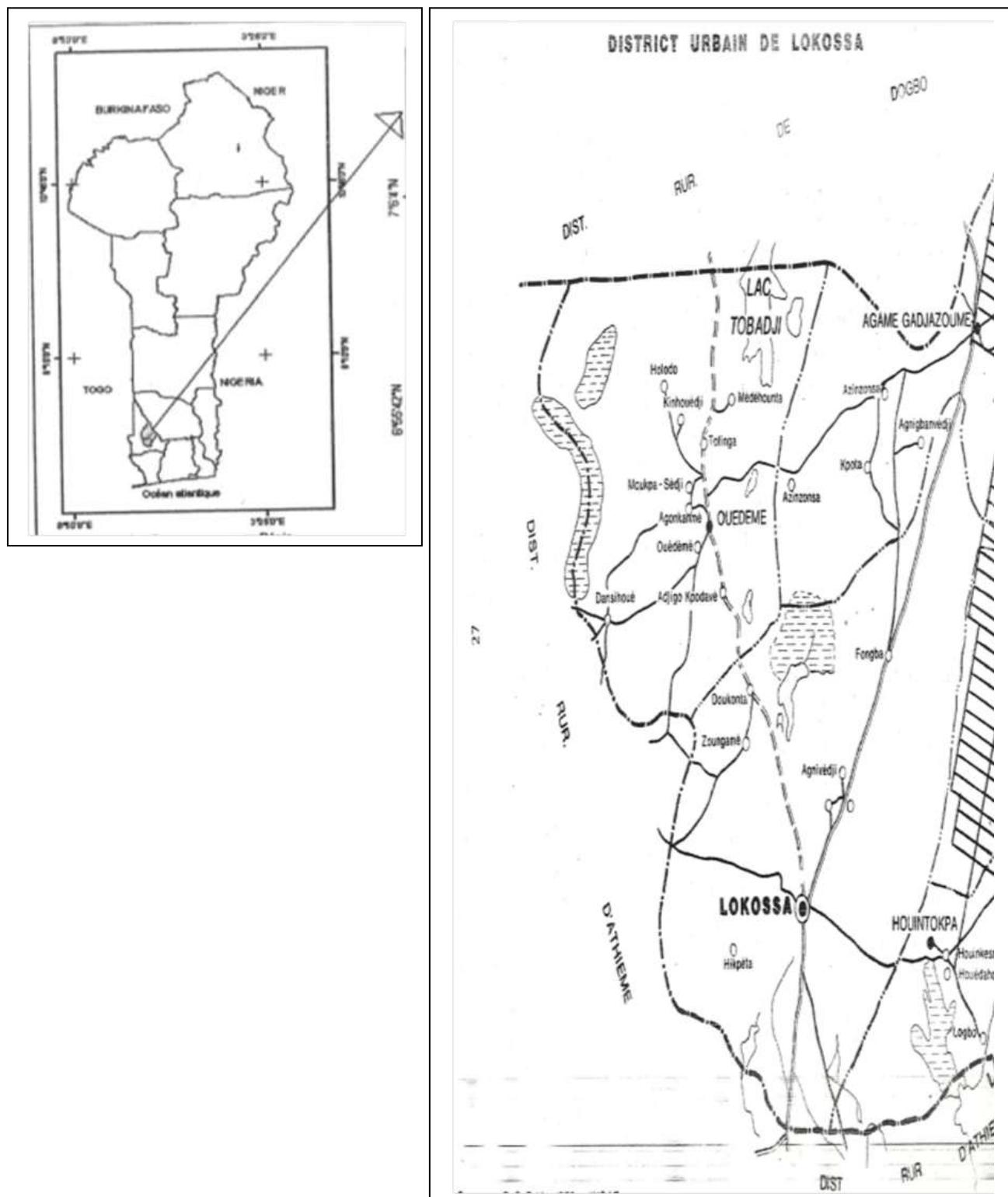


Figure 1 : Carte du Benin montrant la commune de Lokossa

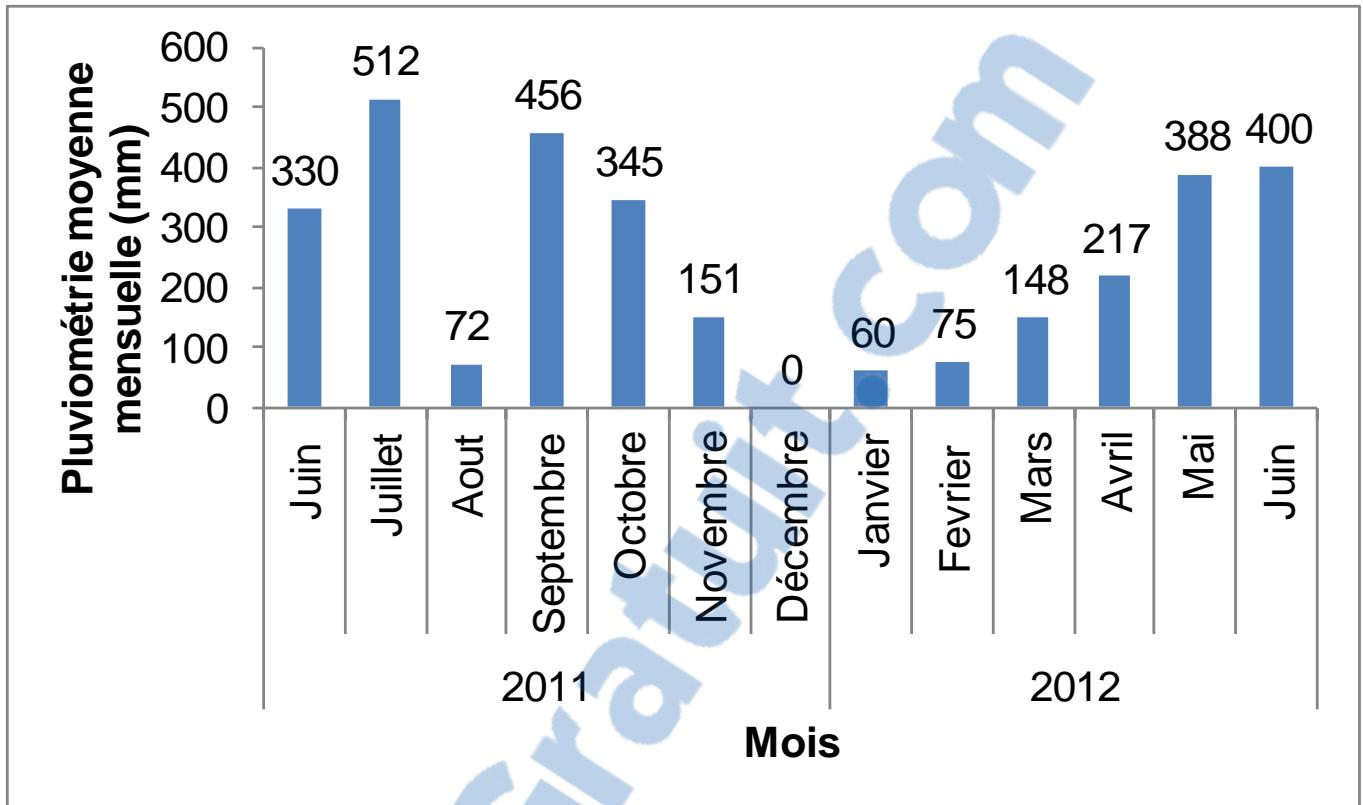


Figure 2 : Evolution de la pluviométrie moyenne au cours de la période d'essai (Juin 2011 à Juillet 2012)

1.2. Matériel

1.2.1. Matériel végétal

La variété de niébé IT82E25, celle de riz Nerica L14, et la variété de tomate Mongal F1 ont été utilisées pour les expérimentations.

La variété de niébé IT82E25 porte des fleurs pourpres avec des feuilles moyennement larges. Les graines sont brunes et présentent un tégument lisse. C'est une plante de type déterminé, à port érigé dont la maturité intervient au bout de 60 jours.

La variété de riz Nerica - L14, encore appelé WAS161- IDSA1- WAS2- WAB1- TGR6, est cultivée dans les bas-fonds en Afrique de l'Ouest. Elle a été obtenue par AfricaRice (ex ADRAO) au Burkina Faso en 1996 à travers le croisement du riz africain (*O. glaberrima* : TOG5681) et du riz asiatique (*O. Sativa* : IR 64) (AfricaRice, 2011). C'est une variété résistante aux maladies, aux insectes, à la sécheresse, à la salinité, au froid et à la toxicité ferreuse. Son cycle cultural dure 115 jours et son rendement potentiel est d'environ $5,9 \text{ t.ha}^{-1}$ (AfricaRice, 2011).

Les plants de riz ont une hauteur moyenne de 113 cm ; le nombre moyen de tiges par plant est 9,7. Les panicules sont de type lâche, semi-lâche ou compact avec une longueur moyenne de 24,7 cm. La longueur et la largeur moyenne des grains sont respectivement de 7,30 cm et 2,13 cm avec une épaisseur de 1,82 cm. Le poids moyen de mille grains est de 28,3 g (AfricaRice, 2011).

La variété de tomate Mongal F1 est une variété hybride précoce, dont la durée du cycle cultural est de 65 jours. Les plants ont une croissance déterminée, une très bonne vigueur et une excellente nouaison. Les fruits sont rouges vifs à maturité et ont une forme aplatie et légèrement côtelée. C'est une variété résistante au flétrissement bactérien et aux nématodes à galles (Technisem, 2012).



Photos 1 : Plants et grains de la variété de niébé IT82E25



Photos 2 : Plants et grains de la variété de riz Nerica L14



Photos 3 : Plants et fruits de la variété de tomate Mongal F1

1.2.2. Dispositifs expérimentaux

➤ Niébé

Le dispositif expérimental est un dispositif en bloc complètement randomisés composé de 6 parcelles élémentaires avec 4 répétitions ou blocs soit, au total 24 parcelles élémentaires de 35 m² (7 m x 5 m) chacune (Annexe 1). Chaque bloc est composé de 3 parcelles élémentaires qui n'ont reçu aucune application de phosphore (traitement P₀) et 3 recevant 30 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (traitement P₁). Les parcelles des différents blocs sont séparées par des allées de 1m dans le sens de la longueur et des allées de 0,75 m dans celui de la largeur. Les blocs sont séparés par des allées de 1 m. Chaque parcelle contient 12 billons de 30 cm de large et 5 m de long séparés par des allées de 60 cm. Des diguettes d'environ 15 cm de hauteur et de 50 cm de largueur ont été construites autour de chaque parcelle élémentaire.

Des bordures de 1,25 m de large (dans le sens des blocs) et de 1 m de long ont été réservées à la périphérie du dispositif d'expérimentation. La surface totale couverte par l'expérimentation est de 1225 m².

➤ Riz

Après la récolte du niébé, le dispositif a subi une légère modification avant l'installation du riz. Chaque parcelle élémentaire de 35 m² (7 m x 5 m) a été subdivisée en deux sous parcelles de 16 m² (3,2 m x 5 m) séparées par une allée de 60 cm, soit un effectif total de 48 parcelles, à raison de 12 parcelles par bloc. Trois modalités du facteur azote, N0 (0 kg.ha⁻¹), N1

(30 kg.ha⁻¹) et N2 (60 kg.ha⁻¹) ont été associées à deux modalités du facteur résidus, R+ (incorporation de résidus de niébé) et R- (non incorporation de résidus de niébé).

Le dispositif compte six traitements occupant chacun 8 parcelles :

- N0R+ : incorporation des résidus de récolte du niébé sans fertilisation azotée (0 kg.ha⁻¹ N).
- N1R+ : incorporation des résidus de récolte du niébé et fertilisation azotée à 30 kg.ha⁻¹ N.
- N2R+ incorporation des résidus de récolte du niébé et fertilisation azotée à 60 kg.ha⁻¹ N.
- N0R- : non incorporation des résidus de récolte du niébé sans fertilisation azotée (0 kg.ha⁻¹ N).
- N1R- : non incorporation des résidus de récolte du niébé et fertilisation azotée à 30 kg.ha⁻¹ N.
- N2R- : non incorporation des résidus de récolte du niébé et fertilisation azotée à 60 kg.ha⁻¹ N.

Les résidus de récolte du niébé (constitués de tiges et de feuilles), ont été découpés en morceaux de 5 à 10 cm environ, et enfouis sur les parcelles abritant le traitement R+, suivant le schéma du dispositif expérimental, illustré en annexe 2.

➤ Tomate

Après le riz, la tomate a été implantée sur les 48 parcelles (Annexe 3). Toutes ces parcelles ont reçu chacune une fertilisation d'appoint de 50 kg.ha⁻¹ N (soit 0,17 kg d'urée par parcelle), 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ (soit 0,07 kg de TSP par parcelle) et 80 kg.ha⁻¹ K₂O (soit 0,2 kg de K₂SO₄ par parcelle).

1.2.3. Equipements utilisés

Les différents instruments utilisés pour l'exécution des travaux sur le terrain sont :

- Mètre ruban pour le piquetage ;
- Une tarière pour effectuer les prélèvements d'échantillons de sol ;
- Des sachets et des sacs pour effectuer le transport des échantillons de sol et de végétaux ;
- Une règle graduée pour effectuer toutes les mesures de hauteur ;
- Un cadran de 0,5 m x 0,5 m pour la mesure du taux de recouvrement ;
- Un cadran de 1m x 1m pour l'évaluation de la biomasse produite ;

- Des sachets thermo hygrométriques pour le séchage à l'étuve des échantillons ;
- Une étuve pour le séchage des échantillons ;
- Un humidimètre pour mesurer le taux d'humidité des grains ;
- Une balance de terrain de portée maximale $5 \text{ kg} \pm 1 \text{ g}$ pour les pesées;
- De petits matériels agricoles tels que houes, arrosoirs, pulvérisateur, etc.

1.3. Méthodes

1.3.1. Conduite des cultures

➤ Culture du niébé

La préparation du sol a débuté une semaine avant le semis et a consisté au sarclage, à l'essouchage, au piquetage, à la délimitation des planches de 35 m^2 ($7 \text{ m} \times 5 \text{ m}$), puis à la confection des diguettes de 50 cm de largeur et des billons.

Le semis du niébé a été réalisé sur des billons à une densité de plantation de 54857 poquets par hectare, soit un écartement de 60 cm entre billons et de 30 cm entre poquets. Trois graines ont été semées dans chaque poquet, et le re-semis a eu lieu une semaine après.

Durant le cycle cultural du niébé, des désherbagages ont été effectués à la houe sur toutes les parcelles les 14^{ème}, 28^{ème} et 45^{ème} jours après le semis. Le démariage à deux plants a été effectué au bout de deux semaines après le semis, juste après le premier sarclage.

La fertilisation minérale a eu lieu 15 jours après le semis. Toutes les 24 parcelles ont reçu une fertilisation azotée de 20 kg.ha^{-1} N, soit 0,15 kg d'urée (46% N) par parcelle élémentaire. Le TSP (46% P₂O₅) a été appliqué à 30 kg.ha^{-1} (soit 0,23 kg par 35 m^2), exclusivement sur les 12 parcelles correspondant au traitement P1. Les engrains ont été épandus manuellement par enfouissement sur les lignes de plantation.

Les traitements phytosanitaires ont été réalisés les 20^{ème}, 40^{ème} et 50^{ème} jours après semis, au Décis (Deltaméthrine) 12 CE, à raison de 0,4 l de Décis dans 25 l d'eau par hectare (soit 1,4 ml de Décis mélangé à 87,5 ml d'eau par parcelle élémentaire).

➤ Culture du riz

La préparation du sol a consisté à casser les billons, nettoyer le sol, faire le piquetage, confectionner les digues inter parcellaires, enfouir les résidus de récolte du niébé et planer le sol.

La densité de plantation utilisée pour le semis du riz était de 250000 poquets par hectare, soit un écartement de 20 cm entre lignes et 20 cm entre poquets. Dans chaque poquet cinq graines ont été semées, et on a procédé au démariage à deux plants par poquet 15 jours après le semis. Une pépinière de 12 m² a été installée le jour du semis pour permettre de faire le repiquage éventuel des poquets non germés.

Des désherbages manuels ont eu lieu régulièrement durant tout le cycle cultural du riz. La fertilisation minérale a eu lieu au tallage, à l'initiation paniculaire et à la floraison. A chaque apport, 35 et 70 g d'urée ont été appliqués respectivement sur les parcelles devant recevoir les doses d'azote N1 et N2.

Le fongicide manèbe (fongicide) a été appliqué à 400 l.ha⁻¹ (mélange de 4g du produit dans 1 l d'eau) contre les attaques d'*Helminthosporium oryzae*, survenues à l'initiation paniculaire.

➤ Culture de la tomate

La préparation du sol a consisté au sarclage, au labour manuel et à la confection des billons de 20 cm de hauteur. Le semis en pépinière a été réalisé en godets 8 x 8 cm, et les plants ont été repiqués sur les billons au bout de 4 semaines. La densité de plantation était de 32500 poquets par hectare (écartements 80 cm entre lignes et 40 cm entre plants).

Le désherbage et le sarclo-buttagne ont été effectués les 2^{ème}, 4^{ème} et 6^{ème} semaines après le repiquage. La fertilisation minérale a eu lieu au repiquage (apport de 87 g d'urée, 70 g de TSP et de 107 g de K₂SO₄ par parcelle) et en fin de floraison (apport de 87 g d'urée et de 107 g de K₂SO₄ par parcelle).

Les traitements phytosanitaires ont débuté en pépinière : traitement du sol avec du Topsin M (méthyl thiophanate) à 70 g/5 l d'eau, et des plants avec du Décis (deltaméthrine) à 0,4 l/25 l d'eau, 5 jours avant le repiquage. Ils se sont poursuivis deux semaines après le repiquage : traitements insecticides par application alternée à intervalle de deux semaines, du Vertimec (abamectine) à 0,5 ml/l d'eau, du Diméthoate à 0,3 l/400 l d'eau et du Décis à 0,4 l/25 l d'eau; puis traitement fongicide par application alternée à intervalle d'une semaine avec du Topsin M à 70 g/5 l et du Mancozèbe à 40 g/15 l d'eau. Les fertilisations de fond et d'entretien ont eu lieu respectivement au repiquage et en fin de floraison.

1.3.2. Observations et mesures

✓ Caractéristiques physico-chimiques du sol

Un échantillon composite des différentes parcelles élémentaires a été prélevé au début de l'expérimentation. Ensuite, des prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués sur chaque parcelle élémentaire avant et après chaque culture à l'aide de la tarière. Ces échantillons prélevés dans la couche 0 à 20 cm de profondeur, suivant la méthode de la diagonale (Soltner, 1989; IITA et FAO, 2000), ont été analysés au laboratoire de sol d'AfricaRice. Les analyses suivantes ont été réalisées : la granulométrie (selon Day, 1965), l'azote total (par la méthode de Kjedahl), le carbone organique (selon Walkley et Black, 1934), le phosphore assimilable (selon Mehlich, 1984), les bases échangeables K, Ca, Mg, Mn (selon Helmke et Sparks, 1996); la Capacité d'Echange Cationique Effective (selon Summer et Miller, 1996) et le pH (par la méthode potentiométrique dans un rapport sol/eau de 1/2,5 selon Jackson, 1968).

✓ Estimation du taux de recouvrement des plants

Le taux de couverture des plants a été évalué, exclusivement lors de la culture du niébé, pendant les stades de végétation (27^{ième} jour après le semis), de floraison (43^{ième} jour après le semis) et de maturation (58^{ième} jour après le semis). Cette mesure a été effectuée dans chaque parcelle élémentaire, à l'aide des cadrans de 0,5 m x 0,5 m, en utilisant une grille de notation visuelle. Le recouvrement a été ainsi estimé en pourcentage par rapport à la surface totale du cadran qui était centré autour d'un poquet. Dans chaque parcelle élémentaire la mesure était répétée sur 4 poquets préalablement marquées, pour assurer une meilleure précision des résultats. La moyenne des quatre mesures a ensuite été calculée par parcelle élémentaire.

✓ Mesures de la hauteur des plants

Des mesures de hauteur ont été prises dans chaque parcelle élémentaire sur les plants de niébé, de riz et de tomate à l'aide d'une règle graduée en centimètre. La hauteur a été mesurée du collet à l'apex sur les plants de niébé et de tomate, et du collet à l'extrémité de la feuille la plus longue sur les plants de riz. Pour chaque culture, la mesure a été répétée sur dix 10 plants par parcelle élémentaire, et la valeur moyenne des dix mesures a été considérée par parcelle élémentaire.

✓ Détermination de la date de floraison

La date de floraison est la date à laquelle, 50% des plants ont au moins une fleur. Elle a été déterminée sur chaque parcelle élémentaire pour chaque culture. Ainsi, dès qu'un premier plant fleuri a été observé, le nombre total de plants et celui de plants fleuris dans chaque parcelle élémentaire ont été comptés tous les trois jours et s'est arrêté lorsqu'au moins une fleur a été observée chez 50% des plants présents dans chaque parcelle élémentaire.

✓ Mesure de la biomasse

Les quantités de biomasse produites par le niébé, le riz et la tomate ont été mesurées par parcelle élémentaire.

Durant le cycle cultural du niébé, la mesure de biomasse a été effectuée à 3 différents stades (floraison, maturation, récolte) à l'aide d'un cadran de 1 m x 1 m. Chez le riz, cette mesure a été faite au stade de floraison à l'aide d'un cadran de 0,5 m x 0,5 m. Dans chacun des cas, le cadran a été posé sur chaque parcelle en prenant soin de laisser les lignes de bordures. Tous les plants se trouvant à l'intérieur du cadran ont été ensuite découpés, mis en morceaux et pesés par parcelle. Un sous échantillon a été prélevé par parcelle, pesé et expédié au laboratoire pour le dosage des teneurs en N, P, K de biomasse sèche.

Dans le cas spécifique de la tomate, la biomasse a été mesurée à la récolte sur trois plants par parcelle élémentaire. Après coupure des plants au ras du sol, Les fruits et tiges +feuilles ont été pesés séparément sur chacun d'eux.

La teneur en matières sèches a été calculée après séchage des échantillons à l'étuve à 70°C pendant 48h.

Les échantillons de plants ont été ensuite analysés au laboratoire d'AfricaRice. Après une extraction selon la méthode Novozamsky *et al.*, (1983), la détermination des teneurs en N, P et K a été faite au spectrophotomètre d'absorption atomique (AAS).

✓ Récolte

Trois récoltes successives ont été effectuées sur les plants de niébé. Les gousses matures étaient récoltées et pesées par parcelle élémentaire. Les graines et les coques étaient pesées séparément à chaque récolte, puis un sous échantillon constitué par parcelle élémentaire pour les analyses au laboratoire.

La récolte du riz a été effectuée dans une placette de 7,2 m² par parcelle élémentaire. Le nombre de panicules et le nombre de talles de riz ont été comptés dans une sous placette de 1

m² délimitée à l'intérieur de la placette de rendement. Le rendement du riz a été calculé avec ajustement à 14% d'humidité selon la formule proposée par Yoshida *et al.*, 1976.

$$\text{Rendement en kg/ha à 14\% humidité} = \left[\left(\frac{100 - \text{humidité mesurée}}{100 - 14} \right) * \left(\frac{\text{Poids grain} * 10}{\text{Surface de récolte (m}^2\text{)}} \right) \right]$$

Huit récoltes successives ont été effectuées sur les plants de tomate. Tous les plants présents sur la parcelle élémentaire ont été récoltés à l'exception des plants de bordures.

1.4. Analyses statistiques des données

Le logiciel Excel 2007 a été utilisé pour représenter les données de croissance et de rendement sous forme de graphes.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Genstat Discovery Edition 4, en considérant le taux de signification 5%.

Une analyse de variance "one-way" a été réalisée sur les données de niébé (hauteur, recouvrement, biomasse et rendement).

Les données relatives à la culture du riz (hauteur, nombre de tiges, biomasse, poids de grains, nombre de panicules, taux de grains vides, nombre de grains pleins, production de paille et rendement) et de tomate (biomasse et rendement) ont été soumises à une analyse de variance split plot, en vue d'évaluer les effets et arrières effets de chacun des facteurs et de leurs interactions sur les différents paramètres. Les influences des interactions qui se sont révélées significatives sur des paramètres, ont été évaluées, en effectuant spécifiquement une analyse de variance "one-way" sur ces interactions.

Dans la présentation des résultats d'analyse de variance effectuée sur les données de riz et de tomate, nous avons considéré d'abord l'effet de l'interaction de troisième ordre (c'est-à-dire associant trois facteurs), ensuite l'effet des interactions de deuxième ordre (combinant deux facteurs) et enfin l'effet distinct de chacun des facteurs.

2. RESULTATS

2.1. Effet de la fertilisation en phosphore sur la hauteur des plants et le taux de recouvrement du niébé

La hauteur moyenne des plants de niébé (figure 3) a augmenté sous l'effet de la fertilisation phosphatée de 7,9 à 9 cm et de 14,9 à 15 cm respectivement au cours des stades de végétation (SV) et de floraison (SF) ; elle est de 19,7 cm au stade de maturation (SM), avec ou sans fertilisation phosphatée. Le taux de recouvrement moyen des plants de niébé exprimé en pourcentage par $0,5\text{ m}^2$, a accru sous l'effet de la fertilisation phosphatée, de 15,5 à 19,8% ; de 41,1 à 47,9% ; et de 46,2 à 51,7% respectivement au cours des stades de végétation, de floraison et de maturation (figure 4).

Les résultats de l'analyse de variance réalisée sur les données de hauteur et de recouvrement des plants de niébé, ont révélé que le phosphore a affecté significativement la hauteur ($P = 0,035$) et le taux de couverture ($P = 0,038$) des plants de niébé, exclusivement au stade végétatif.

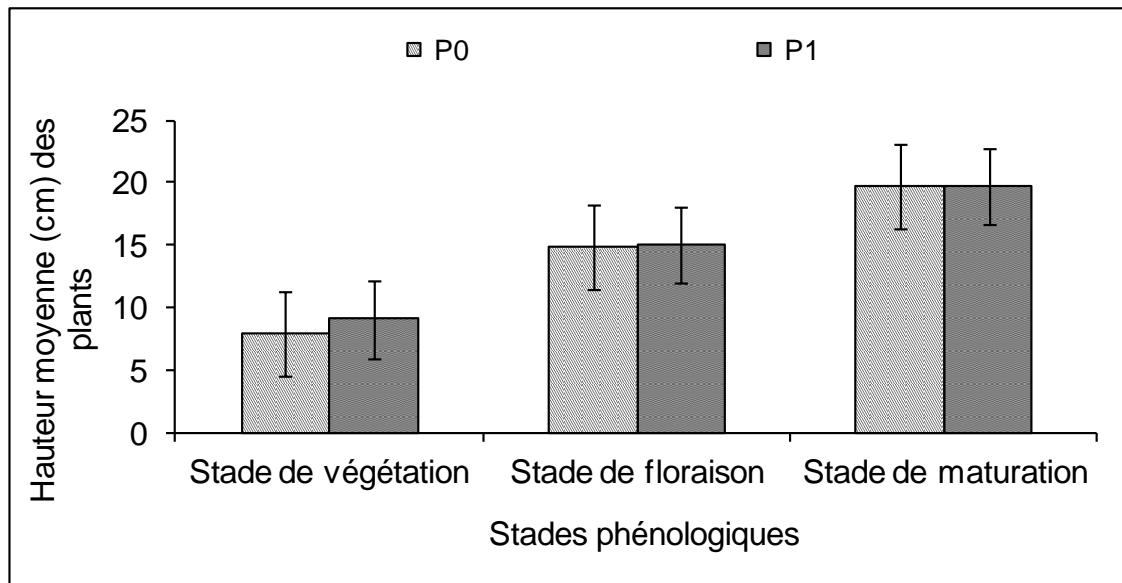


Figure 3 : Effet du phosphore sur la hauteur moyenne des plants de niébé

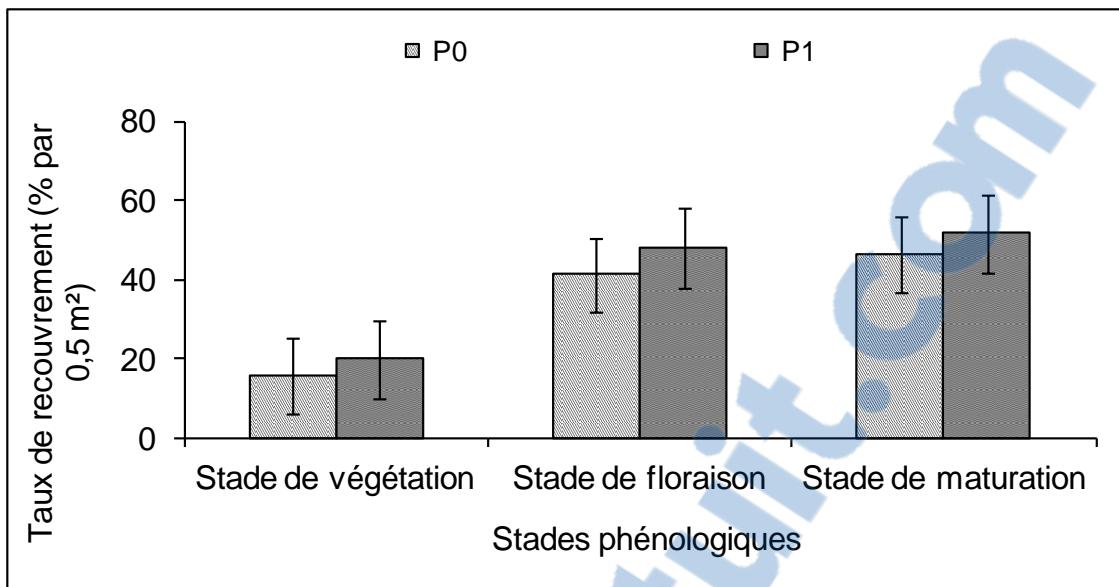


Figure 4 : Effet du phosphore sur le taux de recouvrement du niébé

2.1.1. Effets de la fertilisation en phosphore sur la production de biomasse sèche et le rendement grain de niébé

L'application du phosphore (30 kg.ha^{-1}) a induit une augmentation de la biomasse sèche produite par le niébé de 241 kg.ha^{-1} à 382 kg.ha^{-1} , de 738 kg.ha^{-1} à 1219 kg.ha^{-1} puis de 472 kg.ha^{-1} à 513 kg.ha^{-1} respectivement au cours des phases de floraison, de maturation et de récolte (figure 5). Les plus faibles productions de biomasses (241 et 382 kg.ha^{-1}) ont été observées au stade de floraison. Le stade de maturation est la période de forte production de biomasse (738 et 1219 kg.ha^{-1}). Le rendement grain de niébé a augmenté de 631 kg.ha^{-1} à 835 kg.ha^{-1} , sous l'effet de la fertilisation phosphatée (Tableau 1). L'analyse statistique des résultats de biomasse et de rendement grain de niébé a révélé une différence significative ($P = 0,045$) montrant que la fertilisation phosphatée a induit une augmentation significative de 32%, du rendement grain de niébé. Cependant, aucun effet significatif sur la production de biomasse de niébé aux stades de floraison, de maturation et de récolte n'a été observé.

Tableau 1 : Effet du phosphore sur le rendement du niébé

Rendement (kg.ha^{-1})	P0	P1	Probabilités
	631 ± 262	835 ± 232	0,045

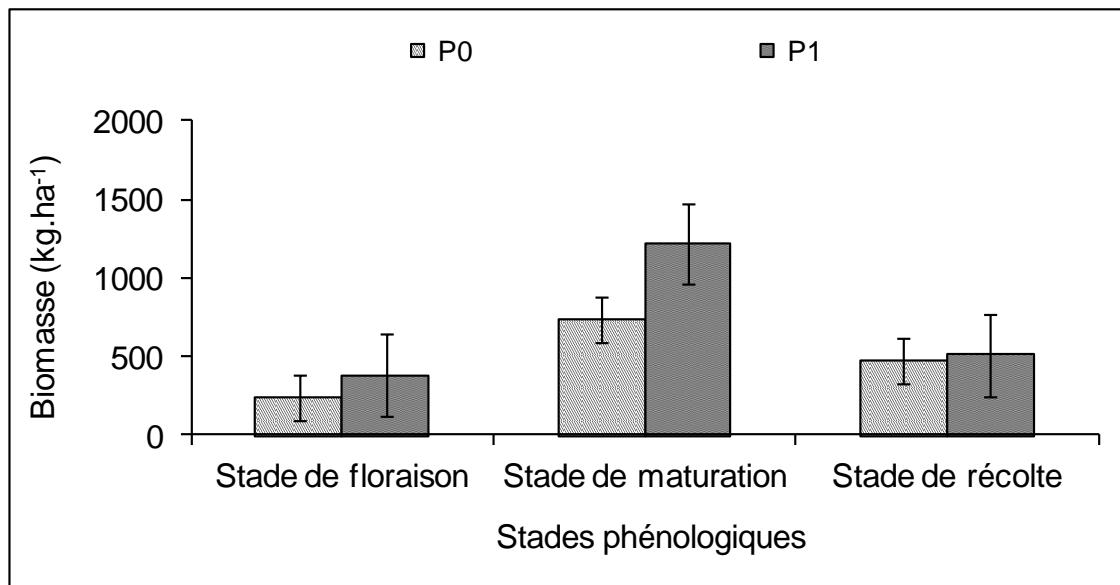


Figure 5 : Effet du phosphore sur la production de biomasse de niébé

2.1.2. Effet du phosphore sur les teneurs en éléments minéraux (N, P, K) de la biomasse sèche et des grains de niébé

La teneur en N dans la biomasse est plus importante ($41,4$ à $25,1$ g. kg^{-1}) que celle de potassium ($16,3$ à $12,1$ g. kg^{-1}) de la floraison à la récolte. Les teneurs en N, P, K dans la biomasse ont globalement diminué de la floraison à la récolte. Pour les traitements P0 et P1, on observe des teneurs relativement élevées en phosphore dans les grains ($4,7$ g. kg^{-1}) comparativement à la biomasse échantillonnée aux stades de floraison, de fructification et de récolte ($3,8$ à $2,8$ g. kg^{-1}) du niébé. Une faible variabilité des nutriments N, P, K a été observée pour les deux traitements P0 et P1.

De faibles variations des teneurs en N, P et K de la biomasse (au cours des stades de floraison, de maturation et de récolte) et des grains de niébé sous l'effet du phosphore ont été notées. L'analyse de variance n'a montré de différence significative entre les traitements P0 et P1 que pour la teneur en K dans la biomasse de niébé au stade de floraison. Ce qui signifie que ce n'est que la teneur en K dans la biomasse prélevé au stade de floraison du niébé qui a été affecté par la fertilisation phosphatée. Aucun effet significatif n'a été observé pour N et P à ce même stade, et pour les trois nutriments (N, P et K) dans la biomasse de niébé aux stades de fructification et de récolte (tableau 2).

Tableau 2 : Effet du phosphore sur la composition (g.kg⁻¹) en N, P et K dans la biomasse (feuilles +tiges) et les grains de niébé

Traitements	Teneur en N, P et K (g.kg ⁻¹) de la biomasse du niébé à différents stades de développement												Grains	
	Floraison			Fructification			récolte							
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K		
P0	41,4	3,6	14,6	30,1	3,6	16,3	25,3	2,8	13,5	35,7	4,7	13,4		
P1	40,6	3,8	12,1	28,0	3,3	15,1	25,1	2,8	13,4	35,3	4,7	13,2		
Probabilités	0,653	0,47	0,024	0,156	0,456	0,48	0,861	0,89	0,966	0,579	0,915	0,38		

2.2. Effet des traitements appliqués au riz sur sa croissance et son rendement

2.2.1. Effet sur la hauteur et la production de talles et de biomasse de riz

La hauteur des plants de riz était de 103,6 et 108,9 cm, suite à l'arrière effet du phosphore appliqué respectivement à 0 et 30 kg.ha⁻¹, de 103,3 , 110,4 et 105,1 cm avec l'application de 0, 30 et 60 kg.ha⁻¹ d'azote ; puis de 104,6 et 107,9 cm respectivement avec et sans incorporation des résidus, sous l'arrière effet des résidus de niébé. Le nombre de talles des plants de riz, était de 186 et 189 respectivement suite à l'arrière effet de l'application de 0 et 30 kg.ha⁻¹ P ; de 177, 187 et 199 sous l'effet de l'application de l'azote respectivement à 0, 30 et 60 kg.ha⁻¹ ; puis de 193 et 182 respectivement avec et sans incorporation des résidus de niébé. Enfin, la production de biomasse de riz à la floraison a été de 3218 et 3202 kg.ha⁻¹, avec l'arrière effet du phosphore qui avait été appliqué respectivement à 0 et 30 kg.ha⁻¹ ; de 2972, 3056 et 3602 kg.ha⁻¹ sous l'effet de l'application de 0, 30 et 60 kg.ha⁻¹ d'azote ; puis de 3126 et 3296 kg.ha⁻¹ respectivement avec et sans incorporation des résidus, sous l'arrière effet des résidus de niébé. L'analyse statistique a montré que l'interaction arrière effet phosphore*azote*arrière effet résidus (P*N*R) n'a pas été significative pour la hauteur moyenne, le nombre de talles et la production de biomasse des plants de riz. De plus aucune interaction du 2^{ème} ordre et aucun facteur n'ont eu d'effets significatifs sur la hauteur des plants et la production de biomasse de riz. Parmi les interactions du 2^{ème} ordre, seule l'interaction azote*résidus (N*R) a eu un effet significatif ($P = 0,042$) sur le nombre de talles de riz. Ainsi, avec l'enfouissement des résidus de niébé, le nombre de talles de riz a augmenté significativement ($P = 0,003$), pour une même dose de fertilisation azotée, sauf dans le cas du

traitement N0R+ (incorporation de résidus sans fertilisation azotée), ou le nombre de tiges de riz a diminué de 5% (figure 6), comparativement au traitement N0R- (non incorporation de résidus et pas de fertilisation azotée).

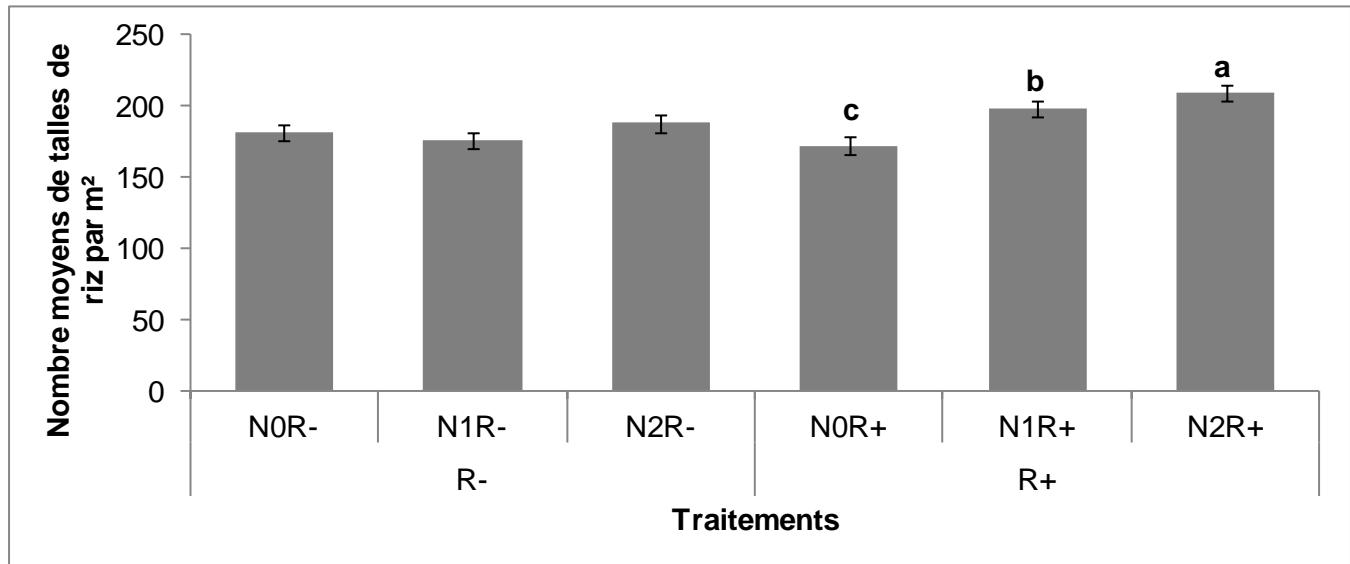


Figure 6 : Effet de l'interaction azote*résidus sur la production de tiges des plants de riz

2.2.2. Effet sur le rendement et les composantes de rendement du riz

Les effets des doses d'azote, des arrières effets du phosphore et des résidus de niébé sur le rendement et les composantes de rendement du riz (que sont le poids de grains, le nombre de panicules, le taux de grains vides, le nombre de grains pleins et la production de paille) sont présentés dans le tableau 3. Il ressort de l'analyse des résultats de ce tableau que l'interaction arrière effet P*azote*arrière effet R n'a été significatif sur aucun des paramètres étudiés.

Cependant parmi les interactions du 2^{ème} ordre, l'interaction arrière effet phosphore*azote (P*N) a significativement ($P = 0,009$) affecté le poids des grains de riz. De plus, l'interaction arrière effet phosphore*arrière effet résidus (P*R) a eu un effet significatif sur le nombre de panicules ($P = 0,039$) et le taux de grains vides ($P = 0,04$) de riz, puis l'interaction azote*arrière effet résidus (N*R) a eu un effet significatif sur le nombre de grains pleins ($P = 0,025$) et le pourcentage de grains vides ($P = 0,027$) par panicule. L'application de la dose la plus élevée d'azote (N2), a induit une augmentation significative ($P = 0,007$) de 5% du poids des grains sous l'arrière effet de P (tableau 4). Aussi, l'enfouissement des résidus de niébé a induit une augmentation significative ($P = 0,034$) de 13% du nombre de panicules de riz suite à l'arrière effet de P

(tableau 5). Sans enfouissement de résidus, le nombre de grains pleins par panicule a augmenté significativement ($P = 0,001$) de 24% avec l'effet de la dose d'azote modéré (N1), mais a baissé significativement ($P = 0,004$) de 12%, avec la dose d'azote N2 (tableau 6). Il s'ensuit que le pourcentage de grains vides a connu une baisse de 37% avec la dose d'azote N1, et a accru de 8% avec celle de N2 (tableau 6).

L'arrière effet R a eu un effet significatif sur la production de paille ($P = 0,049$) et le rendement grain ($P = 0,005$) du riz qui augmentent tous d'environ 9%.

Tableau 3 : Rendement et composantes de rendement du riz

Paramètres	Traitements											
	Arrière effet P			Azote			Arrière effet R		P*N	P*R	N* R	P*N*R
	P0	P1	N0	N1	N2	R-	R+					
Poids de 1000 grains (g)	26,1	26,4	26,4	26,4	26	26,4	26,2	-	-	-	-	
Probabilités	0,035			0,057			0,412		0,009	0,771	0,448	0,819
Nombre de panicules	148,8	157,6	145,1	150,1	164,5	148,2	158,2	-	-	-	-	
Probabilités	0,215			0,084			0,033		0,761	0,039	0,143	0,357
Taux de grains vides (%)	15,18	16,28	15,38	13,25	18,57	15,69	15,77	-	-	-	-	
Probabilités	0,466			0,03			0,949		0,774	0,04	0,027	0,092
Nombre de grains pleins	82,1	83,1	83,7	89,5	74,6	83,2	82	-	-	-	-	
Probabilités	0,837			0,066			0,793		0,436	0,463	0,025	0,897
Paille (kg.ha⁻¹)	4270	4712	4184	4485	4804	4287	4695	-	-	-	-	
Probabilités	0,153			0,258			0,049		0,286	0,899	0,081	0,555
Rendement (kg.ha⁻¹)	3654	3871	3584	3660	4044	3603	3922	-	-	-	-	
Probabilités	0,365			0,255			0,005		0,912	0,611	0,441	0,235

Tableau 4 : Effet de l'interaction phosphore*azote sur le poids des grains de riz

Paramètres	Traitements/interactions					
	N0		N1		N2	
	P0N0	P1N0	P0N1	P1N1	P0N2	P1N2
Poids de 1000 grains (g)	26,3	26,5	26,6	26,4	25,4	26,6
Probabilités	0,425		0,351		0,007	

Tableau 5 : Effet de l'interaction phosphore*résidus sur le nombre de panicule et le taux de grains vides par panicule de riz

Paramètres	Traitements/interactions			
	P0		P1	
	P0R-	P0R+	P1R-	P1R+
Nombre de panicules	148,7	149	147,8	167,4
Probabilités	0,966		0,034	
Taux de grains vides par panicule (%)	16,5	13,9	14,9	17,6
Probabilités	0,216		0,284	

Tableau 6 : Effet de l'interaction azote*résidus sur le nombre de grains pleins et le taux de grains vides par panicule de riz

Paramètres	Traitements/interactions					
	R-			R+		
	N0R-	N1R-	N2R-	N0R+	N1R+	N2R+
Nombre de grains pleins par panicule	80	99,1	70,4	87,3	79,9	78,8
Probabilités	0,001			0,533		
Taux de grains vides par panicule (%)	17,4	10,9	18,7	13,4	15, 6	18,4
Probabilités	0,004			0,211		

2.2.3. Effet sur les teneurs en éléments minéraux (N, P et K) des grains et de la paille de riz

Les teneurs en N, P, K des grains et de la paille de riz, soumis à l'effet de l'azote et les arrière effet du phosphore et des résidus de niébé sont présentées dans le tableau 7. Il ressort de l'analyse ce tableau que l'interaction arrière effet P*azote*arrière effet R n'a eu aucun effet significatif sur les teneurs en N, P et K des grains et de la paille de riz. Par contre, les traitements arrière effet P*azote et azote*arrière effet R des interactions du 2^{ème} ordre ont présenté des effets significatifs ($P = 0,037$) pour la teneur en P dans les pailles de riz. De plus l'application de la dose la plus élevée d'azote (N2), a induit une augmentation significative ($P = 0,002$) de 56% de la teneur en P dans les pailles de riz, sous l'arrière effet de P (tableau 8). Sous l'effet des résidus de niébé, la teneur en P dans les pailles de riz a augmenté de 25% avec l'application de la dose d'azote modérée (N1), mais a varié faiblement (baisse de 3%) sous l'effet de la dose d'azote la plus élevée (tableau 9).

Le facteur arrière effet P a eu un effet significatif sur les teneurs en P ($P = 0,042$) et en K ($P = 0,028$) des grains de riz, qui a augmenté respectivement de 6% et 4%. L'azote a eu un effet significatif ($P < 0,001$) sur la teneur en azote des grains de riz, qui a accru de 10% et de 12% respectivement sous l'effet des doses N1 et N2 .

Tableau 7 : Teneurs en N, P et K (g.kg⁻¹) dans les grains et les pailles de riz

Paramètres	Traitements									
	Arrière effet P		Azote		Arrière effet R		P*N	P*R	N*R	P*N*R
	P0	P1	N0	N1	N2	R-	R+			
N grains	11,7	12	11,00	12,1	12,3	11,7	12	-	-	-
Probabilités	0,221			<0,001		0,208	0,35	0,927	0,813	0,83
P grains	3,2	3,4	3,3	3,4	3,2	3,3	3,4	-	-	-
Probabilités	0,042			0,391		0,261	0,073	0,183	0,283	0,677
K grains	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	-	-	-
Probabilités	0,028			0,25		0,396	0,109	0,108	0,453	0,554
N paille	8,1	8,9	7,7	8,5	9,2	8,7	8,2	-	-	-
Probabilités	0,159			0,089		0,304	0,238	0,296	0,39	0,377
P paille	1,8	2,1	1,8	2,1	1,9	2	1,9	-	-	-
Probabilités	0,035			0,26		0,408	0,037	0,579	0,037	0,955
K paille	11	10,9	11,5	10,8	10,6	11	10,8	-	-	-
Probabilités	0,845			0,225		0,618	0,538	0,884	0,909	0,749

Tableau 8 : Effet de l'interaction phosphore*azote sur la teneur en P dans les pailles de riz

Paramètres	Traitements/interactions					
	N0		N1		N2	
	P0N0	P1N0	P0N1	P1N1	P0N2	P1N2
Teneur en P paille (g.kg⁻¹)	1,7	1,9	2,1	2	15	2,3
Probabilités	0,156		0,648		0,002	

Tableau 9 : Effet de l'interaction azote*résidus sur la teneur en P dans les pailles de riz

Paramètres	Traitements/interactions					
	R-			R+		
	N0R-	N1R-	N2R-	N0R+	N1R+	N2R+
Teneur en P paille (g.kg⁻¹)	1,8	2	2,1	1,8	2,2	1,7
Probabilités	0,628			0,059		

2.3. Arrière effet des différents traitements appliqués au riz sur la croissance et le rendement de la tomate

Les valeurs moyennes des paramètres de croissance (hauteur et biomasse) et de rendement de la tomate, sous l'arrière effet des traitements appliqués au riz sont présentées dans le tableau 10. L'analyse statistique des résultats des paramètres de croissance et de rendement de tomate n'a montré aucun effet significatif sur la hauteur des plants de tomate. Cependant, l'interaction arrière effet phosphore*azote*résidus de niébé a eu un effet significatif ($P = 0,024$) sur le poids des fruits. Aussi, l'interaction arrière effet phosphore*azote a eu un effet significatif ($P = 0,004$) sur la production de biomasse des plants de tomate. Une augmentation du poids des fruits de tomate de 6%, 61%, 41% et 4% respectivement sous les arrières effets du phosphore, des résidus, puis des doses d'azote modérée (N1) et plus élevée (N2) a été observée. Le poids des fruits est plus élevé sous l'effet de la dose d'azote N1 que sous l'effet de la dose d'azote N2 dans toutes les interactions du deuxième ordre (figure 7). Sous l'arrière effet de la dose modérée d'azote (N1), la production moyenne de biomasse de tomate, s'est accrue significativement ($P = 0,001$) de 58% par l'arrière effet du phosphore (tableau 11).

L'arrière effet P présente un effet significatif sur le rendement total ($P = 0,023$) et le rendement biologique ($P = 0,027$) de la tomate qui augmentent respectivement de 12,6% et 12,2% (figures 21 et 22). De même, l'arrière effet de l'azote a affecté significativement le rendement total ($P = 0,032$) et le rendement des fruits sains ($P = 0,034$) de la tomate, qui ont tous baissé de 14% sous la dose d'azote la plus élevée N2 .

Tableau 10 : Paramètres de croissance et de rendement de tomate

Paramètres	Traitements										
	Arrière effet P		Arrière effet N			Arrière effet R		P*N	P*R	N*R	P*N*R
	P0	P1	N0	N1	N2	R-	R+				
Hauteur (cm)	66,9	66,6	66,5	66,9	66,8	65,7	67,8	-	-	-	-
Probabilités	0,802		0,96			0,115		0,204	0,838	0,465	0,798
Biomasse (g/plant)	20,6	21,6	24,3	20	19	21,5	20,7	-	-	-	-
Probabilités	0,523		0,018			0,678		0,004	0,929	0,803	0,152
Poids fruits (g)	2,4	2,1	2,3	2,8	1,7	2,2	2,3	-	-	-	-
Probabilités	0,35		0,049			0,51		0,881	0,239	0,468	0,024
Rendement des fruits sains (kg.ha⁻¹)	525	589	583	585	503	560	553	-	-	-	-
Probabilités	0,027		0,034			0,832		0,207	0,54	0,419	0,371
Rendement total (kg.ha⁻¹)	531	598	592	592	510	566	563	-	-	-	-
Probabilités	0,023		0,032			0,908		0,203	0,546	0,42	0,349

Tableau 11 : Effet de l'interaction P*N sur la production de biomasse de tomate

Paramètres	Traitements/interactions					
	N0		N1		N2	
	P0N0	P1N0	P0N1	P1N1	P0N2	P1N2
Biomasse tomate (g/plant)	26,7	22,0	15,5	24,5	19,7	18,2
Probabilités	0,213		0,012		0,524	

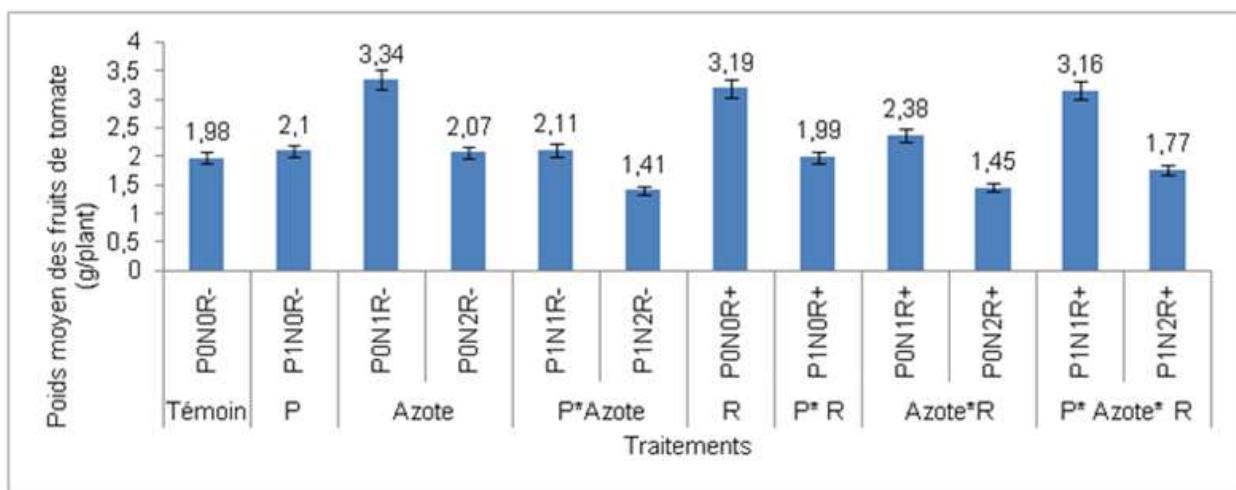


Figure 7 : Effet de l'interaction arrière effet P*arrière effet N*arrière effet R sur le poids moyen des fruits de tomate

2.4. Effets de la rotation niébé-riz-tomate sur les propriétés physico - chimiques du sol

➤ *Effet des traitements appliqués au niébé et au riz sur les propriétés du sol*

L'évaluation des résultats d'analyse de l'échantillon composite de sol prélevé avant la culture du niébé a révélé que le sol avait au début de l'expérimentation une texture limono-argileuse, et un niveau général de fertilité très bas, marqué par une teneur élevée en azote, une teneur très faible en phosphore et une teneur moyenne en matière organique (Dabin, 1956).

Les caractéristiques physico-chimiques du sol après culture du niébé et du riz sont présentées dans le tableau 12.

De l'analyse de ce tableau on constate que les sols présentent toujours le même niveau global de fertilité. Ce qui signifie que les cultures du niébé et du riz ainsi que les doses d'azote, de phosphore et les résidus de niébé n'ont pas modifié le niveau de fertilité chimique du sol.

Ces tendances sont confirmées par l'analyse statistique qui a révélé que le phosphore appliqué au niébé n'a eu aucun effet significatif sur les propriétés du sol évaluées.

On note toutefois qu'après la culture du riz, l'interaction arrière effet P*azote*arrière effet R a eu un effet significatif sur la teneur en azote ($P = 0,044$) et en phosphore ($P = 0,024$) du sol (figures 8 et 9). L'interaction azote*arrière effet R a eu un effet significatif sur le pH ($p = 0,031$) du sol. (figure 10). On observe enfin que les doses d'azote ont eu un effet significatif sur la teneur en Mg du sol ($P = 0,049$), qui baisse de 27% sous la dose N1 mais s'accroît de 7% sous la dose N2.

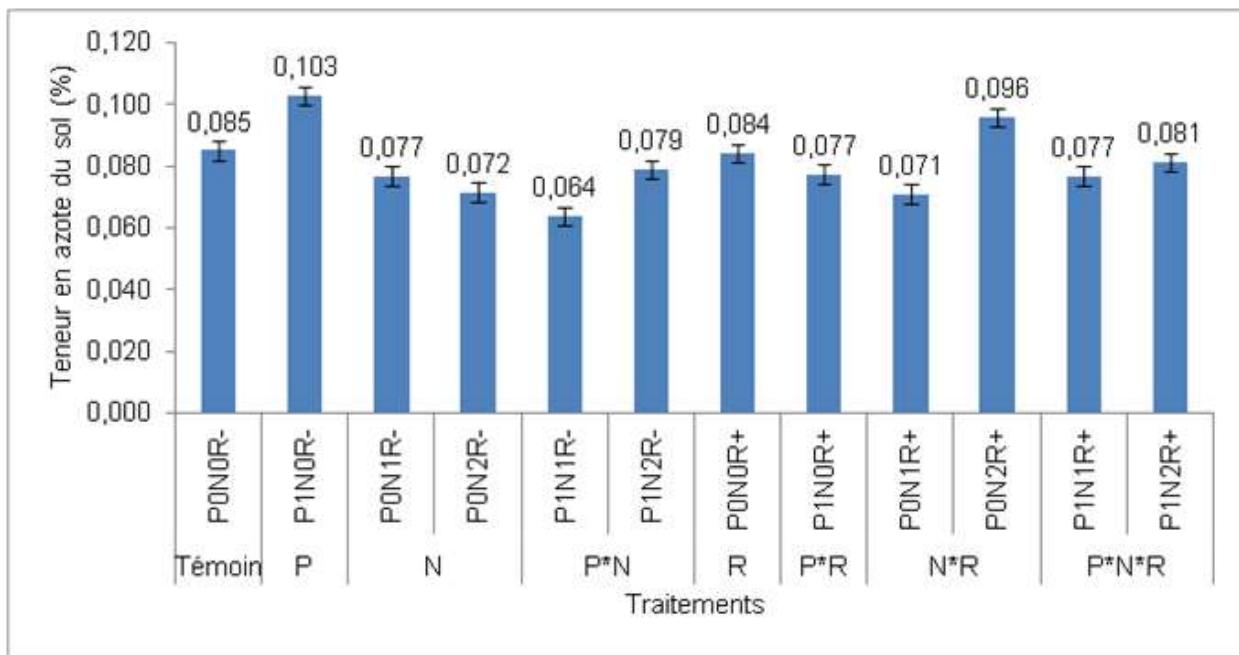


Figure 8 : Effet de l'interaction arrière effet P*azote*arrière effet R sur la teneur en N du sol

Tableau 12 : Effet des traitements appliqués au niébé et au riz sur les caractéristiques chimiques du sol

Culture/ traitement	Eléments	N %	M0	Pass	K	Na	Mg	Ca	Mn	ECEC	PH eau
Niébé	Fertilité initiale	0,114 1,77		2,50	0,11	1,65	2,13	5,1	0,67	9,61	6,3
	Traitement P0	0,086 1,81		5,6	0,11	1,93	2,77	12,96	0,79	13,30	6,1
	Traitement P1	0,086 1,84		5,1	0,11	1,55	2,10	8,22	0,69	9,30	5,8
	Probabilités	0,912 0,813		0,647 0,403	0,068	0,172	0,182	0,195	0,145		0,234
Effet P	P0	0,081 1,81		3,7	0,08	0,18	2,34	10,32	0,46	13,34	5,3
	P1	0,080 1,79		4,4	0,07	0,15	2,02	7,42	0,41	10,04	5,0
	Probabilités	0,935 0,894		0,299 0,291	0,13	0,224	0,158	0,234	0,159		0,173
Effet Azote	N0	0,087 1,88		4,7	0,08	0,16	2,33	9,45	0,46	12,44	5,3
	N1	0,072 1,76		3,2	0,07	0,15	1,70	5,69	0,40	7,96	4,8
	N2	0,082 1,76		4,3	0,08	0,19	2,50	11,47	0,45	14,66	5,3
	Probabilités	0,236 0,784		0,223 0,072	0,072	0,049	0,079	0,49	0,073		0,121
Riz	R-	0,080 1,85		4,2	0,08	0,17	2,21	9,74	0,44	12,59	5,1
	R+	0,081 1,75		3,9	0,08	0,16	2,15	8,00	0,43	10,78	5,1
	Probabilités	0,745 0,485		0,684 0,344	0,766	0,504	0,076	0,736	0,087		0,658
Interaction P*N	Probabilités	0,844 0,307		0,056 0,341	0,053	0,124	0,095	0,149	0,093		0,063
Interaction P*R	Probabilités	0,236 0,978		0,405 0,23	0,883	0,496	0,199	0,693	0,257		0,5
Interaction N*R	Probabilités	0,027 0,138		0,125 0,963	0,441	0,617	0,183	0,458	0,209		0,031
	Probabilités	0,044 0,102		0,024 0,921	0,673	0,24	0,112	0,657	0,123		0,1

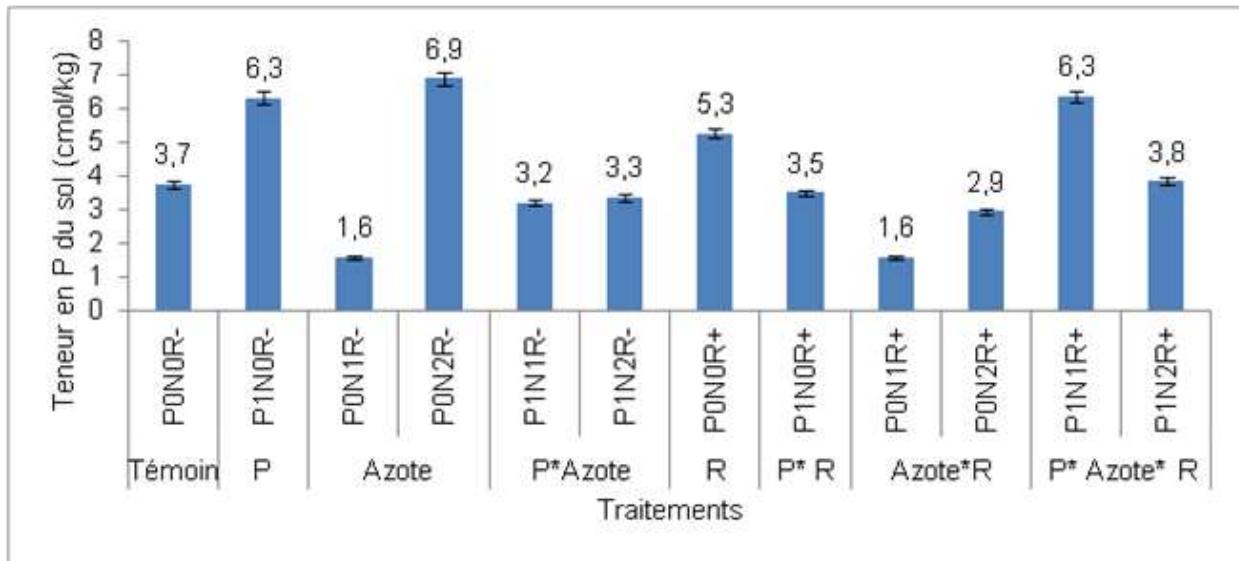


Figure 9 : Effet de l'interaction arrière effet P*azote*arrière effet R sur la teneur en P du sol

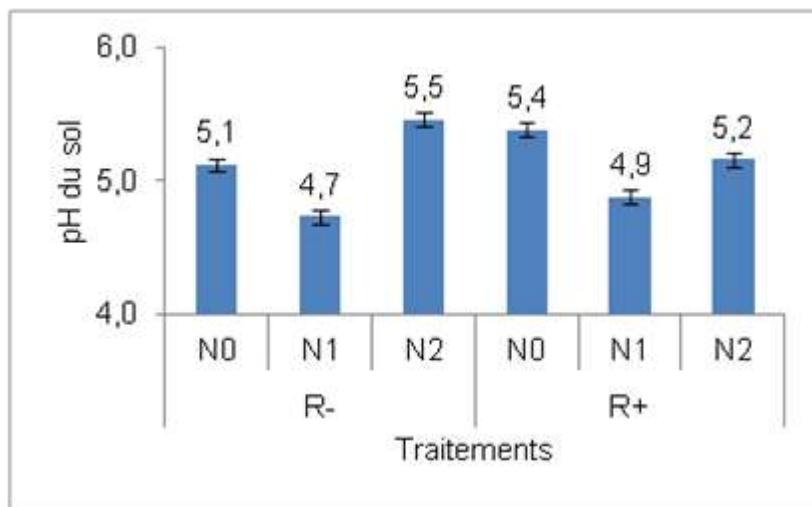


Figure 10 : Effet de l'interaction N*R sur le pH_{eau} du sol

➤ ***Etude comparative de la variation des propriétés du sol après la culture du niébé et du riz***

Les tableaux 13 et 14 présentent les caractéristiques physico-chimiques du sol à l'état initial et après culture du niébé, avec ou sans fertilisation au phosphore. Il ressort que la culture du niébé avec et sans fertilisation phosphatée a respectivement entraîné une augmentation significative de 104,8% et 125,2% de la teneur en phosphore du sol (figure 11), et une baisse

significative de 24,21% et 24,82% de la teneur en azote du sol (figure 12). Sur les sols des parcelles fertilisées au phosphore, on note une baisse significative de 8,07 du pH (figure 13).

Tableau 13 : Caractéristiques chimiques du sol non fertilisé au phosphore après culture du niébé

Variable	N	Mean	Ecartype	Coefficient de variation	Probabilités
PHeau	12	6,1	0,86	0,25	0,426
N g.kg ⁻¹	12	0,857	0,154	0,045	< 0,001
C g.kg ⁻¹	12	10,5	2,2	0,6	0,776
Meh P (mg/kg)	12	5,62	3,29	0,95	0,007
ECEC (cmol+.kg ⁻¹)	12	13,3	8,3	2,4	0,148
Na (mg.kg ⁻¹)	12	444,4	152,6	44,1	0,172
K (mg.kg ⁻¹)	12	44,3	6,86	1,98	0,28
Mg (mg.kg ⁻¹)	12	331,8	164,5	47,48	0,134
Ca (mg.kg ⁻¹)	12	1555,0	1329	383,6	0,19
Mn (mg.kg ⁻¹)	12	212,5	71,08	20,52	0,142

Tableau 14 : Caractéristiques chimiques du sol fertilisé au phosphore après culture du niébé

Variable	N	Mean	Ecartype	Coefficient de variation	Probabilités
PHeau	12	5,8	0,3	0,1	< 0,001
N g.kg ⁻¹	12	0,864	0,163	0,047	< 0,001
C g.kg ⁻¹	12	10,7	2,3	0,6	0,567
Meh P (mg/kg)	12	5,11	1,62	0,47	< 0,001
ECEC (cmol+.kg ⁻¹)	12	9,3	2,7	0,8	0,751
Na (mg.kg ⁻¹)	12	357,2	47,7	13,7	0,125
K (mg.kg ⁻¹)	12	42,0	6,2	1,8	1,000
Mg (mg.kg ⁻¹)	12	251,8	81,9	23,6	0,896
Ca (mg.kg ⁻¹)	12	985,8	411,8	118,9	0,779
Mn (mg.kg ⁻¹)	12	187,5	33,2	9,6	0,45

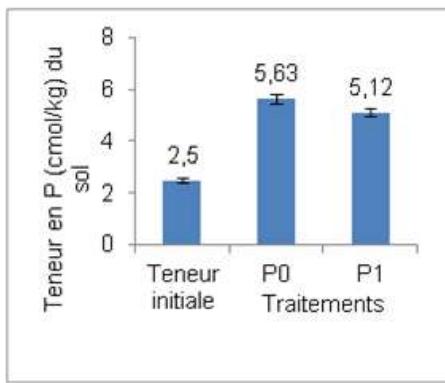


Figure 11 : Effet de la fertilisation en P sur la teneur en P du sol

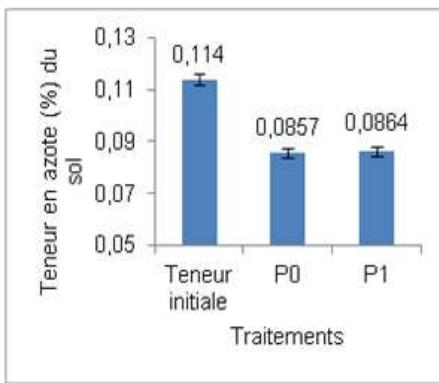


Figure 12 : Effet de la fertilisation en P sur la teneur en N du sol

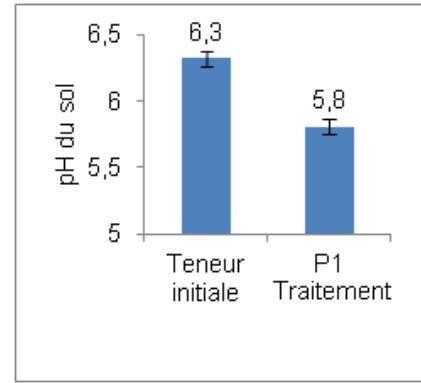


Figure 13 : Effet de la fertilisation en P sur le pH du sol fertilisé au phosphore

Les résultats de l'analyse de comparaison réalisée entre les paramètres physico-chimiques du sol à l'état initial et après culture du riz, montrent que :

L'interaction arrière effet P*azote*arrière effet R a entraîné une baisse significative du pH, et des teneurs en N, Na, K, et Mn du sol. Le pH et les teneurs initiales du sol en N, Na, K, et Mn étaient respectivement de 6,3 ; 0,114% ; 0,72 cmol.kg⁻¹ ; 0,11 cmol.kg⁻¹ ; et 0,67 cmol.kg⁻¹. Sous l'effet des interactions phosphore*azote, phosphore*résidus et azote*résidus, on note respectivement des variations du pH du sol de 4,8 à 5,3 ; 5 à 5,3 ; et 4,7 à 5,4 ; de la teneur en azote du sol de 0,071 à 0,009% ; 0,078 à 0,084% et 0,07 à 0,094% ; de la teneur en Na du sol de 0,14 à 0,23 cmol.kg⁻¹; 0,15 à 0,18 cmol.kg⁻¹ et 0,14 à 0,2 cmol.kg⁻¹ ; de la teneur en K du sol de 0,06 à 0,09 cmol.kg⁻¹ ; 0,07 à 0,08 cmol.kg⁻¹ et 0,06 à 0,08 cmol.kg⁻¹ ; puis de la teneur en Mn du sol de 0,37 à 0,53 cmol.kg⁻¹; 0,41 à 0,46 cmol.kg⁻¹ et 0,38 à 0,46 cmol.kg⁻¹ (tableau 15).

L'interaction arrière effet P*azote a augmenté significativement les teneurs du sol en P, MO, Mg, Ca ainsi que la ECEC (Capacité d'Exchange Cationique Effective). Sous l'interaction phosphore*azote, la teneur en P a varié de 3,6 à 4,9 cmol.kg⁻¹ ; la teneur en MO de 1,64 à 1,96 cmol.kg⁻¹ ; la teneur en Mg de 1,79 à 3,03 cmol.kg⁻¹ ; la teneur en Ca de 5,31 à 16,12 cmol.kg⁻¹ et la ECEC de 9,36 à 19,95 cmol.kg⁻¹ contre des teneurs initiales respectives de 2,5 ; 1,77 ; 2,3 ; 5,1 ; et 9,61. On note toutefois, une baisse des teneurs du sol, en P de 36% sous le traitement P0N1, en MO de 7,4 et 12,2% respectivement sous les traitements P0N2 et P1N1, en Mg de 15,7 et 24,7% respectivement sous les traitements P0N1 et P1N1 puis de l'ECEC du sol de 11,7 ; 22,5 et 2,6% respectivement sous les traitements P0N1, P1N1 et P1N2 (tableau 16).

L'interaction arrière effet P*arrière effet R a eu un effet significatif sur les teneurs en P et en Ca du sol qui ont varié respectivement de 3,3 à 4,6 cmol.kg⁻¹ et de 7,16 à 11,81 cmol.kg⁻¹ (tableau 17).

L'interaction azote*arrière effet R a augmenté significativement les teneurs du sol en Mg, en Ca et la ECEC qui varient respectivement de 2,3 à 2,6 ; 12,1 à 16,9 puis de 5,5 à 13,6 cmol.kg⁻¹. Sous l'effet des traitements N1R- et N1R+, la teneur en Mg, et la ECEC du sol ont baissé respectivement de 19,2 à 21,6% et de 15,7 à 18,5% (tableau 18).

Tableau 15 : Effets des interactions P*N, P*R et N*R sur le pH et les teneurs en N, Na, K et Mn du sol après la rotation niébé-riz

Paramètres/probabilités	pH	Probabilités	N (%)	Probabilités	Na (cmol.kg ⁻¹)	Probabilités	K (cmol.kg ⁻¹)	Probabilités	Mn (cmol.kg ⁻¹)	Probabilités	
P*N	Témoin (Ti)	6,3	-	0,114	-	0,72	-	0,11	-	0,67	-
	P0N0	5,2	0,002	0,085	0,001	0,15	< 0,001	0,08	0,002	0,43	< 0,001
	P0N1	4,8	< 0,001	0,074	0,001	0,15	< 0,001	0,07	< 0,001	0,43	0,005
	P0N2	5,8	0,237	0,084	0,002	0,23	< 0,001	0,09	0,007	0,53	0,001
	P1N0	5,3	< 0,001	0,090	0,023	0,16	< 0,001	0,08	0,015	0,49	0,012
	P1N1	4,9	< 0,001	0,071	< 0,001	0,14	< 0,001	0,06	< 0,001	0,37	< 0,001
	P1N2	4,8	< 0,001	0,080	< 0,001	0,15	< 0,001	0,07	0,002	0,38	< 0,001
P*R	P0R-	5,2	0,003	0,078	< 0,001	0,18	< 0,001	0,08	< 0,001	0,47	< 0,001
	P0R+	5,3	< 0,001	0,084	< 0,001	0,18	< 0,001	0,08	< 0,001	0,46	< 0,001
	P1R-	5,0	< 0,001	0,082	< 0,001	0,15	< 0,001	0,08	< 0,001	0,41	< 0,001
	P1R+	5,0	< 0,001	0,078	< 0,001	0,15	< 0,001	0,07	< 0,001	0,41	< 0,001
N*R	N0R-	5,1	< 0,001	0,094	0,025	0,16	< 0,001	0,08	0,002	0,45	0,001
	N0R+	5,4	0,003	0,080	0,001	0,15	< 0,001	0,08	0,011	0,46	0,001
	N1R-	4,7	< 0,001	0,070	< 0,001	0,14	< 0,001	0,07	0,001	0,42	< 0,001
	N1R+	4,9	< 0,001	0,074	0,002	0,15	< 0,001	0,06	< 0,001	0,38	0,002
	N2R-	5,5	0,069	0,075	< 0,001	0,20	< 0,001	0,08	0,007	0,45	0,002
	N2R+	5,2	0,002	0,088	0,002	0,18	< 0,001	0,08	0,007	0,46	< 0,001

Tableau 16 : Effet de l'interaction phosphore*azote sur les teneurs en P, Mo, Mg, Ca et de la ECEC du sol après la rotation niébé-riz

Paramètres et probabilités	Ti	N0		N1		N2	
		P0	P1	P0	P1	P0	P1
P	2,5	4,5	4,9	1,6	4,8	4,9	3,6
Probabilités		0,072	0,093	0,004	0,089	0,132	0,233
MO	1,77	1,84	1,93	1,96	1,56	1,64	1,88
Probabilités		0,614	0,433	0,615	0,047	0,29	0,459
Mg	2,13	2,19	2,48	1,79	1,60	3,03	1,97
Probabilités		0,736	0,117	0,197	0,017	0,016	0,277
Ca	5,10	8,79	10,12	6,06	5,31	16,12	6,83
Probabilités		0,013	0,007	0,425	0,791	0,021	0,047
ECEC	9,61	11,60	13,29	8,48	7,45	19,95	9,36
Probabilités		0,17	0,051	0,448	0,055	0,037	0,789

Tableau 17 : Effet de l'interaction phosphore*résidus de niébé sur les teneurs en P et en Ca du sol après la rotation niébé-riz

Paramètres	Ti	R-		R+	
		P0	P1	P0	P1
P	2,5	4,1	4,3	3,3	4,6
Probabilités		0,157	0,061	0,338	0,046
Ca	5,10	11,81	7,67	8,84	7,16
Probabilités		0,04	0,021	0,012	0,066

Tableau 18 : Effet de l'interaction N*R sur les teneurs en Mg, Ca et de la ECEC du sol après la rotation niébé-riz

Paramètres	Ti	R-			R+		
		N0	N1	N2	N0	N1	N2
Mg	2,13	2,37	1,67	2,58	2,30	1,72	2,42
Probabilités		0,268	0,04	0,212	0,406	0,123	0,299
ECEC	9,61	12,82	8,10	16,87	12,07	7,83	12,45
Probabilités		0,047	0,237	0,151	0,166	0,199	0,156
Ca	5,10	9,80	5,82	13,60	9,11	5,55	9,34
Probabilités		0,004	0,477	0,078	0,023	0,664	0,025

3. DISCUSSION

3.1. Effet du phosphore sur la croissance et le rendement du niébé

Notre étude a révélé que la hauteur et le taux de recouvrement du niébé ont augmenté respectivement de 14 et 28%, sous l'effet de la fertilisation en phosphore. Des résultats similaires ont été observés par Magani et Kuchinda, (2009) qui, évaluant la réponse de deux variétés de niébé au phosphore ont trouvé que l'application de $37,5 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ engendre une augmentation de 63,5% de la hauteur des plants de niébé.

Nos résultats indiquent aussi une augmentation significative de 32% du rendement grain de niébé, par l'application de $30 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. Ces résultats sont comparables à ceux de Singh *et al.*, (2011), qui étudiant l'influence du phosphore sur les performances du niébé en savane soudanienne au Nigéria ont noté une augmentation du rendement et de la production de biomasse du niébé respectivement de 28% et 59% avec un apport de $60 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, sur un sol dont les teneurs en azote et en phosphore sont respectivement de 43% et 28% plus faibles que le nôtre. Smyth et Cravo (1990), évaluant le niveau critique du phosphore dans le sol pour la culture du niébé ont trouvé qu'une teneur minimale de 8 mg de phosphore par kilogramme de sol était nécessaire pour une production optimale du niébé. De plus, Raemaekers, (2001), a précisé qu'il faut apporter une fertilisation phosphatée de 20 à $60 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ au niébé pour améliorer de façon significative son rendement. Oladiran *et al.* (2012) ont observé une augmentation de 39% de la biomasse de niébé par application de 40 mg de P_2O_5 par kg de sol.

Dans le cadre de notre essai, la non significativité de l'effet du phosphore sur les quantités de biomasse produites par le niébé serait liée à la réduction de l'accumulation en matière sèche des plants de niébé, engendrée par les fortes pluies qui ont suivi le semis du niébé et qui ont inondé les parcelles à plusieurs occasions. En effet, il y a eu 512 mm de pluie sur 6 jours au cours du mois de Juillet (mois de semis du niébé), donc une mauvaise répartition des pluies. Ceci n'a pas permis aux plants de se développer correctement pour exprimer toutes leur potentialité en matière sèche.

L'effet du phosphore sur la croissance des plants est plus manifeste en phase végétative. Crafts-Brandner (1992) et Elliott *et al.* (1997) ont observé une réduction persistante de la croissance du blé et du haricot suite à un déficit en phosphore intervenu en phase végétative. Ces résultats peuvent expliquer l'effet significatif du phosphore sur la hauteur et le recouvrement du niébé, que nous avons noté exclusivement en phase végétative.

Nos travaux révèlent aussi que le phosphore n'a pas eu d'effet significatif sur les teneurs en N, P et K de la biomasse aérienne et des grains de niébé. Nuruzzaman *et al.*, (2005),

trouvent que qu'un apport de $20 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ augmente de 27% l'absorption en phosphore du pois. Nos résultats peuvent s'expliquer par l'exportation d'une quantité élevée d'éléments nutritifs (notamment l'azote) à travers les grains de niébé, dont la biomasse représente 60% de la biomasse totale des plants. De plus, le rendement du niébé a augmenté significativement sous l'effet de la fertilisation en phosphore. Selon Carsky *et al.* (1999), les teneurs en nutriments des tiges et feuilles de niébé sont souvent réduites par leur exportation dans les grains et par les fortes pluies intervenant au cours du cycle végétatif.

3.2. Effet des traitements appliqués au riz sur sa croissance et son rendement

Nos travaux révèlent une augmentation significative de 9% de la production de paille et du rendement grain de riz sous l'effet de l'incorporation des résidus de niébé comme l'ont trouvé Shulz *et al.* (1999), Shah *et al.* (2003), Okeleye (2009) et Das *et al.* (2008). De plus, nos résultats montrent comme l'ont mentionné aussi Hasbullah *et al.*, (2011) que les résidus de niébé, en interaction avec le phosphore, augmentent significativement de 13% le nombre de panicules de riz.

Les résidus de légumineuses permettent de réduire la dose d'azote requise pour la culture de céréale (Shah *et al.*, 2003). Ceci s'est traduit dans nos travaux, par l'effet significatif de l'interaction azote*résidus sur les nombres de tiges et de grains pleins, ainsi que sur le taux de grains vides par panicule, et la teneur en phosphore de la paille de riz. La baisse de la production de tiges de riz sous l'effet du traitement N0R+, peut expliquer l'insuffisance de la contribution en azote des résidus de niébé, dont les effets doivent être renforcés par l'apport d'une dose minimale de fertilisation azotée.

L'augmentation de la quantité de phosphore absorbée par les céréales succédant aux légumineuses est généralement le résultat de la libération du phosphore par décomposition des résidus de légumineuses (Nuruzzaman *et al.*, 2005). L'élévation des teneurs en P et K dans les grains puis de la teneur en P de la paille de riz sous l'arrière effet de P, révélée par notre essai est plutôt liée à la disponibilité du phosphore dans le sol, après culture du niébé, étant donné que la teneur en P des résidus de niébé n'a pas variée sous l'effet de la fertilisation en phosphore. Nguluu *et al.*, (1996), ont noté une faible minéralisation de l'azote à partir des résidus de faible teneur en phosphore. Dans le cadre de notre essai, l'augmentation significative de la teneur en P de la paille de riz (avec la dose de fertilisation azotée), sous l'interaction P*azote, plutôt que sous l'interaction P*résidus comme l'ont mentionné Hasbullah *et al.*, (2011)

est certainement le résultat de la faible minéralisation de l'azote à partir des résidus de niébé qui n'avaient pas une forte teneur en P. C'est ce qui expliquerait aussi l'élévation significative de la teneur en azote des grains de riz avec la dose de fertilisation azotée.

3.3. Arrière effet des différents traitements appliqués au riz sur la croissance et le rendement de la tomate.

Nos résultats révèlent un effet significatif, de l'azote sur la production de biomasse, le poids des fruits, et le rendement de tomate, dont les valeurs sont plus élevées sous la dose d'azote modérée que sous la dose d'azote plus élevée. Ceci s'expliquerait par l'augmentation de la teneur en azote du sol, suite à sa couverture avec la paille de riz. Ce résultat est comparable à ceux de Tu *et al.*, (2006) qui ont mentionné que le paillage du sol augmente l'activité des micro-organismes et sa teneur en azote. Sainju *et al.* (2003) ont aussi trouvé que la production de tomate est réduite par l'excès de nutriment dans le sol. Une augmentation de la production de biomasse et du poids des fruits de tomate, respectivement sous les interactions phosphore*azote et phosphore*azote*résidus a été révélée par notre étude. Ces résultats sont comparables à ceux de Agele *et al.*, (2008) ; qui ont noté une augmentation de la biomasse de la tomate sous l'effet de l'application combinée d'azote, de phosphore et de fumure.

Notre étude a montré également une augmentation du rendement de tomate suite à l'arrière effet du phosphore. Ceci pourrait être dû à la disponibilité du phosphore dans le sol après culture du riz, et aussi à sa libération lors de la décomposition des pailles de riz. Notons que le rendement de tomate obtenu au cours de nos travaux est faible, en comparaison au rendement potentiel moyen de tomate au Bénin, qui varie entre 10 et 30 t.ha⁻¹ (Assogba *et al.*, 2000). Ceci s'explique par le fait qu'au cours du cycle cultural de la tomate, les plants ont été attaqués par le champignon *Fusarium oxysporum*, dont l'effet a été accentué par les inondations temporaires des parcelles, sous l'effet de fortes pluies, ce qui a réduit la production des plants de tomate.

3.4. Impact de la rotation niébé-riz-tomate sur les propriétés physico-chimiques du sol.

➤ *Effet des traitements appliqués au niébé et au riz sur les propriétés du sol*

Le phosphore n'a pas affecté significativement les caractéristiques physico-chimiques du sol, mais comparativement aux parcelles non fertilisées au phosphore, les sols des parcelles fertilisées au phosphore ont présenté une teneur moyenne en carbone plus élevée. De même ils présentent de faibles teneurs en cations échangeables et un pH_{ea} plus acide. La non significativité de ces variations peut être attribuée à la présence des nitrates dans le sol, accru par le travail excessif du sol et l'application d'azote qui auraient retardé la formation de nodules et réduit la quantité de N₂ fixé par le niébé (Jensen, 1997; Van Kessel et Hartley, 2000 ; Salvagiotti *et al.*, 2008; People *et al.*, 2009). La baisse du pH et des cations échangeables s'expliquerait par le processus de minéralisation du phosphore, à travers la libération des anions d'acides organiques (Tarañdar et Claassen, 1988; Gerke et Mayer, 1995; Pypers *et al.*, 2006), accompagné d'une forte décomposition de la matière organique (Muthoni et Kabira, 2010). Ce qui explique les rapports C/P supérieures à 300 (compris entre 900 et 4000) et C/N variant de 11 à 13, enregistrés au niveau du sol après culture du niébé (Dabin, 1956 ; Vaughan et Malcolm, 1985).

L'interaction des arrière effets de phosphore et de résidus avec l'azote, augmente significativement la teneur en phosphore du sol de 70% sous la faible dose d'azote, mais de 3% sous la dose d'azote modérée. Les mécanismes physiologiques de minéralisation du phosphore dans le sol se sont manifestés par l'effet significatif de l'interaction azote*résidus sur le pH et la teneur en azote du sol, qui baissent sous l'effet de la faible dose d'azote, mais augmentent sous l'effet de la dose d'azote modérée (Gerke et Mayer, 1995 ; Pypers *et al.*, 2006).

➤ *Etude comparative de la variation des propriétés du sol après la culture du niébé et du riz*

Une augmentation significative des teneurs en phosphore du sol, suite à la culture du niébé, avec ou sans fertilisation au phosphore a été observée, de même que des rapports C/P supérieurs à 300 qui sont des indicateurs de la minéralisation et/ou de l'immobilisation du phosphore (Vaughan et Malcolm, 1985). La culture des légumineuses permet d'accroître la disponibilité du phosphore dans le sol (Amstrong *et al.*, 1997; Asseng *et al.*, 1998; Nuruzzaman *et al.*, 2005), grâce à leur capacité à libérer les carboxylases et à mobiliser le phosphore par leurs exsudats racinaires (Subbarao *et al.*, 1997; Kamh *et al.*, 2002).

Nos travaux indiquent une baisse des teneurs en N du sol après culture du niébé avec ou sans fertilisation en P. Ces résultats sont contradictoires à ceux de Boddey *et al.*, (1997) ; Giller *et al.*, (1997) ; Carsky *et al.*, (1999) ; Lal et Bruce,(1999) ; Palm *et al.*, (2001) ; Hao *et al.*, (2002) ; Desjardins *et al.*, (2001) ; Su, (2007) ; puis Mubiru et Coyne, (2009) ; qui ont trouvé que la teneur en azote du sol est améliorée par les légumineuses, grâce à la fixation biologique de l'azote qui enrichit le sol. Nos résultats peuvent se traduire par la réduction, voire l'empêchement de la fixation du N₂, par la disponibilité de l'azote dans le sol et le travail excessif du sol qui était très dur et sec en surface (Peoples *et al.*, 1995 ; Jensen, 1997 ; Schwenke *et al.*, 1998 ; van Kessel et Hartley, 2000 ; Peoples *et al.*, 2001 ; Salvagiotti *et al.*, 2008). La perte excessive des plants de niébé (près de 50% par parcelle élémentaire) observée au cours des travaux et le ralentissement de la croissance des plants provoqué par les inondations intervenues en début de végétation (le semis du niébé ayant eu lieu en début du mois de juillet). A ceci pourrait aussi s'ajouter l'application de l'azote starter au niébé en début de végétation (Maskey *et al.*, 2001; Hiep *et al.*, 2002; Hoa *et al.*, 2002). La baisse de la teneur en N du sol peut également s'expliquer par l'absence de rhizobium dans le sol ou l'inadaptation des souches de rhizobiums présentes à la culture du niébé, du fait de la pratique antérieure sur le sol de la monoculture du riz intercalée par de courtes périodes de jachère (Herridge *et al.*, 2005).

La baisse du pH observée sur les sols fertilisés au phosphore, s'explique par les processus physiologiques d'absorption du P, qui se manifestent par la mobilisation du P à travers la libération d'exsudats tels que les anions d'acides organiques, ou des phosphatases qui minéralisent le P organique (Gerke et Mayer, 1995; Tarafdar et Claassen 1988, Pypers *et al.*, 2006). Cette baisse du pH, traduit également une forte décomposition de la matière organique du sol (Muthoni et Kabira, 2010) ; qui selon nos résultats est en augmentation dans le sol. La baisse des teneurs en sable et en argile respectivement sur les parcelles non fertilisées et fertilisées au phosphore; serait le résultat de l'hétérogénéité texturale du sol sur les parcelles élémentaires.

En comparaison à la fertilité initiale, l'augmentation de la teneur en phosphore du sol, associée à l'élévation des teneurs du sol en magnésium et en calcium, notée après la culture du riz, s'expliquerait par la solubilisation du phosphore dans le sol, à travers la libération du calcium et du magnésium, à partir des phosphates de Mg et de Ca (Holford, 1997; Hasbullah *et al.*, 2011); le phosphore étant disponible dans le sol à l'installation du riz. L'augmentation de la ECEC du sol, serait la résultante de la culture antérieure de niébé et surtout de l'incorporation des résidus de récolte (Bationo et Mokwunye, 1991; Koulibaly *et al.*, 2010). Les baisses du pH du sol et de ses teneurs en N, K et Mn ont été relativement faibles.

CONCLUSION

L'étude de l'arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du niébé (*vigna unguiculata*) sur la production du riz de bas-fond, a permis de noter que l'arrière effet du phosphore (appliqué au niébé) a induit une augmentation significative des teneurs en P et en K des grains de riz respectivement de 6% et 4%. Les résidus de récolte du niébé bien que peu riches en éléments minéraux, ont accru significativement de 9% la production de paille et le rendement grain du riz. L'arrière effet du phosphore a augmenté significativement en interaction avec l'azote (appliqué à 60 kg.ha^{-1} N), le poids des grains et la teneur en phosphore de la paille de riz de 4% et 56% respectivement. En interaction avec l'azote, les résidus de niébé ont augmenté significativement de 24% le nombre de grains pleins par panicule sous l'application de 30 kg.ha^{-1} N mais ont entraîné sa baisse significative de 12% avec l'application de 60 kg.ha^{-1} N. De plus l'interaction azote*résidus de niébé a augmenté significativement de 25% la teneur en P de la paille de riz sous l'effet de l'application de 30 kg.ha^{-1} N. L'interaction arrière effet phosphore*résidus*azote a affecté significativement le poids des fruits de tomate qui a augmenté de 60%, 7% et 20% suite à l'arrière effet de la dose d'azote 30 kg.ha^{-1} , mais a induit sa baisse significative de 11%, 29% et 27% sous l'arrière effet de la dose d'azote 60 kg.ha^{-1} , et ce respectivement dans les interactions phosphore*azote*résidus phosphore*azote et Azote*résidus. L'interaction arrière effet phosphore*azote augmente significativement de 58% la production de biomasse de la tomate sous l'effet de l'application de 30 kg.ha^{-1} N. L'arrière effet du phosphore et de l'azote (appliqué à 30 kg.ha^{-1} N) ont élevé significativement le rendement de la tomate de 12% et 14% respectivement. La rotation niébé-riz a entraîné aussi une augmentation significative de 35 et 58% de la teneur en phosphore du sol, respectivement sous les interactions phosphore*azote et phosphore*résidus. La teneur en azote du sol a connu une baisse significative de 24 à 37% sous tous les traitements.

Pour approfondir l'étude de l'arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du niébé (*vigna unguiculata*) sur la production du riz, il paraît opportun de reprendre cet essai dans le but de : (i) Choisir préférentiellement un sol appauvri en azote et en phosphore afin de mieux apprécier l'effet de la succession culturale niébé-riz-tomate sur la teneur en azote et en phosphore du sol ; (ii) utiliser une variété de niébé à fort taux de recouvrement, qui serait installé en fin de saison de pluie, pour garantir une forte production de résidus et limiter les pertes et les retards de croissance des plants provoqués par l'inondation éventuelle du sol ; (iii) faire l'étude comparative de la rentabilité économique de l'enfouissement des résidus de légumineuses à grains comme engrais vert et à la récolte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abera, G., Wolde-Meskel, E., Bakken, L. R., 2011. Carbon and nitrogen mineralization dynamics in different soils of the tropics amended with legume residues and contrasting soil moisture contents. *Biology and Fertility of Soils* 18 (1), 51 – 66.
2. ADRAO, 2008. Guide pratique de la culture des NERICA de plateau. Cotonou-Bénin, 36 p.
3. Africa Rice, 2007, Rice production trends Cotonou, Benin, 86 p.
4. Africa Rice, 2008. Rice production trends, Cotonou, Bénin, 86 p.
5. Africa Rice, 2011: Fiche descriptive de Nerica L14, Bénin, 1 p.
6. Agele, S.O., Adeniji, I.A., Alabi, E.O., Olabomi, A., 2008. Responses of growth yield and N use efficiency of selected tomato cultivars to variations in hydrothermal regimes of the cropping seasons in a tropical rainforest zone of Nigeria. *Journal of Plant Interactions* 3 (4), 273-285.
7. Amadji, G.L., Aholoukpe, H.N.S., 2008. Impact du niébé (*Vigna unguiculata*) et de la fumure minérale sur les propriétés chimiques de la terre de barre du Bénin. *Etude et Gestion des Sols* 15 (3), 147-160.
8. Armstrong, E.L., Henan, D.P., Pate, J.S., Unkovich, M.J., 1997. Nitrogen benefits of Lupins, field pea and chickpea to wheat production in south eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 48, 39-47.
9. Asseng, S., Fillery, I.R.P., Gregory, P.J., 1998. Wheat response to alternative crops on a duplex soil. *Australian Journal of Agricultural Research* 38, 481-488.
10. Assogba, K.F., Sikirou, R., Azagba, A., 2000. Comment réussir la culture de la tomate améliorée en toute saison. *Manuel technique INRAB*, Bénin 57 p.
11. Balasubramanian, V., Sie, M., Hijmans, R.J., Otsuka, K., 2007. Increasing rice production in sub-saharan Africa: Challenges and opportunities. *Advances in Agronomy* 94, 55–133.
12. Bationo, A., Mokwunye, A., 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: with special references to sahelian and soudanian zones of West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 29, 117-125.
13. Becker, M., Johnson, D. E., 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of Côte d'Ivoire. *Field Crops Research* 60, 201–208.
14. Becker, M., Johnson, D.E., Wopereis, M.C.S., Sow, A., 2003. Rice yield gaps in irrigated systems along an agro-ecological gradient in West Africa. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166, 61–67.

15. Boddey, R.M., Sa, J.C., Alves, B.J., Urquiaga, S., 1997. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agriculture systems in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 789-799.
16. Carsky, R. J., Ajayi, E.O., 1992. Fitting soil-improving Legumes into inland valley rice – based cropping systems in West Africa. *In: Mulongoy K., Gueye, M., Spencer, D.S.C., (eds.), Biological fixation and sustainability of tropical agriculture.* Wiley-Sayce, New York. pp 395 – 404.
17. Carsky, R.J., Oyewole, B., Tian, G., 1999. Integrated soil management for the savanna zone of W. Africa: legume rotation and fertilizer N. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55, 95–105.
18. Crafts-Brandner, S.J., 1992. Significance of leaf phosphorus remobilization in yield potential in soybean. *Crops Science* 32, 420–424.
19. Dabin, B., 1956. Contribution à l'étude de la fertilité des terres de barre. *Agronomie Tropicale* 11 (4), 490 - 506.
20. Das, A., Patel, D.P., Munda, G.C., Hazarika, U.K., Bordoloi, J., 2008. Nutrient recycling potential in rice–vegetable cropping sequences under in situ residue management at mid-altitude subtropical Meghalaya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82, 251–258.
21. Day, P. R., 1965. Particle fractionation and particle size analysis. *In: Black, C.A. (eds), Methods of soil analysis. Part 1.* Agronomy 9, 545-567.
22. Desjardins, R.L., Smith, W.N., Grant, B., Janzen, H., Gameda, S., Dumanski, J., 2001. Soil and crop management and the greenhouse gas budget of agrosystems in Canada. *In: Stott, D.E, Mothar, R.H., Steinhardt, G.C. (eds), Selected Papers from 10th International Soil Conservation Organization Meeting on Sustaining the Global Farm.* USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, Purdue University, May 24–29, pp. 476–480.
23. Dobermann, A., White, P.F., 1999. Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. *In: Balasubramanian, V., Ladha, J.K., Denning, G.L. (eds), Resource Management in Rice Systems: Nutrients* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp 1–26.
24. DPP/MAEP, 2009. Stratégie nationale pour le développement de la riziculture au Bénin. Rapport MAEP, Cotonou, Bénin, 30 p.
25. Dwivedi, B.S., Shukla, A. K., Singh, V.K., Yadav, R.L., 2003. Improving nitrogen and phosphorus use efficiencies through inclusion of forage cowpea in the rice–wheat systems in the Indo-Gangetic Plains of India. *Field Crops Research* 84 (3), 399-418.

26. Ehlers, J.D., Hall, A.E., 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Field Crops Research 53, 187-204.
27. Elliott, D. E., Reuter, D. J., Reddy, G. D., Abbott, R. J., 1997. Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Effect of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. Australian Journal of Agricultural Research 48, 869-881.
28. Erenstein, O., 2006. Intensification or extensification? Factors affecting technology use in peri-urban lowlands along an agro-ecological gradient in West Africa. Agricultural Systems 90, 132–158.
29. Fageria, N.K., Slaton, N.A., Baligar, V.C., 2003. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy* 80, 63-152
30. FAO, 2012. Suivi du marché du riz.
<http://www.fao.org/economic/est/publications/publications-sur-le-riz/suivi-du-marche-du-riz-smr/fr/>.
31. Gerke, J., Meyer U., 1995. Phosphate acquisition by red clover and black mustard on a humic podzol. Journal of Plant Nutrition 18, 2409-2429.
32. Giller, K.E., 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB international, Walliford, UK, 423 p.
33. Giller, K.E., Cadish, G., Ehaliotis, C., Adams, E., Sakala, W.D., Mafongoya, P.L., 1997. Building soil nitrogen capital in Africa. In: Buresh, R.J., Sanchez, P.A., Calhoun, F., (Eds), Replenishing soil fertility in Africa. Soil Science Society of America Special Publication N° 51, Madison, Wisconsin, USA, pp 81-95.
34. Haefele, S.M., Wopereis, M.C.S., Schloebohm, A.M., Wiechmann, H., 2004. Long-term fertility experiments for irrigated rice in the West African Sahel: Effect on soil characteristics. Field Crops Research 85, 61–77.
35. Hao, Y., Lal. R., Owens. L.B., Izaurrealde, R.C., Post, W.M., Hothem, D.L., 2002. Effect of cropland management and slope position on soil organic carbon pool at the Appalachian Experimental Watersheds. Soil Tillage Research 68 : 133–142.
36. Hasbullah, Petra, M., Ann, M., 2011. Effects of legumes on arbuscular mycorrhizal colonisation and phosphorus uptake by the following wheat. Biology and fertility of soils 47, 701–707.
37. Helmke, P.A., Sparks, D.L., 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: Bigham, J.M., (ed) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil science society of America / American Society of Agronomy, Madison, WI, pp 551-574.

38. Herridge, D.F., Robertson, M.J., Cocks, B., Peoples, M.B., Holland, J.F., Heuke, L., 2005. Low nodulation and nitrogen fixation of mungbean reduce biomass and grain yields. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45, 269-277.
39. Hiep, N.H., Diep, C.N., Herridge, D.F., 2002. Nitrogen fixation of soybean and groundnut in the Mekong Delta, Vietnam. In: *Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam*. Herridge, D., (eds). ACIAR Proceedings 109^e, ACIAR, Australia, pp. 10-18.
40. Hoa, N.T.L., Thao, T.Y., Lieu, P., Herridge, D.F., 2002. N₂ fixation of groundnut in the eastern region of south Vietnam. In: *Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam*. Herridge, D., ed. ACIAR Proceedings 109e, ACIAR, Australia, pp. 19-28.
41. Holford, I.C.R., 1997. Soil phosphorus: Its measurement and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research* 35, 227-229.
42. Huat, J., 2008. Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte. Thèse de doctorat 264 p.
43. IITA, FAO, 2000. Simple soil, water and plant testing techniques for soil resource management. Proceedings of a training course held in Ibadan, Nigeria, 16-27 September 1996 Edition Adepetu, J.A., Nabhan, H., Osinubi, A., 166 p.
44. Jackson, M.L., 1968. Chemical soil analysis. Prentice Hall, Inc., Inglewood Cliffs, N.J., 64 p.
45. Jensen, E.S., 1997. The role of grain legume N₂ fixation in the nitrogen cycling of temperate cropping systems. D.Sc. Thesis. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark 86 p.
46. Kamh, M., Abdou, M., Chude, V., Wiesler, F., Horst, W.J., 2002. Mobilization of phosphorus contributes to positive rotationnal effect of leguminous cover crops on maize grown on soils from northern Nigeria. *Journal of Plant nutrition and Soil Science* 165, 566 - 572.
47. Koulibaly, B., Traoré, O., Dakuo, D., Zombré, P.N., Bondé, D., 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicultura* 28 (3), 184-189.
48. Krishnan, P., Ramakrishnan, B., Reddy, K.R., Reddy, V.R., 2011. High-temperature effects on rice growth, yield, and grain quality. *Advances in Agronomy* 111, 87–206.
49. Kroll, R., 1994. Les cultures maraîchères. Ed. CTA, Paris, France 219 p.
50. Lal, R., Bruce, J.P., 1999. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science and Policy* 2 (2), 177–185.

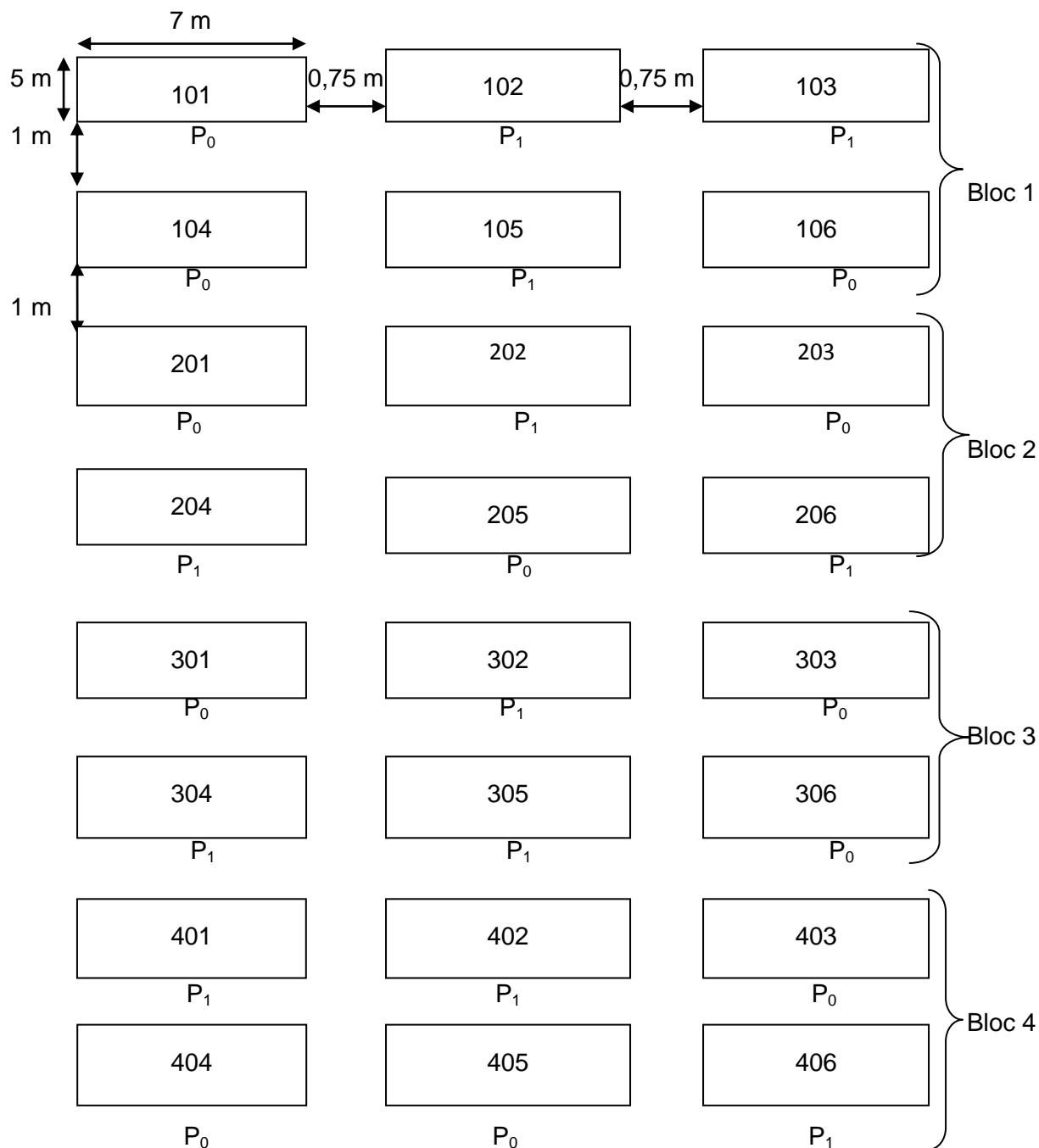
51. Lidon, B., Legoupil, J.C., Blanchet, F., 1999. Le diagnostic rapide de préaménagement (DIAPRA), un outil d'aide à l'aménagement des zones de bas-fonds. Actes de l'atelier régional pour la gestion de l'eau dans les bas-fonds en Afrique tropicale humide. Côte d'Ivoire, pp 82-104.
52. Magani, I.E., Kuchinda, C., 2009. Effect of phosphorus fertilizer on growth, yield and crude protein content of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) in Nigeria. Journal of Applied Bioscience 23, 1387–1393.
53. Maskey, S.L., Bhattacharai, S., Peoples, M.B., Herridge, D.F., 2001. On-farm measurements of nitrogen fixation by winter and summer legumes in the Hill and Terai regions of Nepal. Field Crops Research 70, 209-221.
54. Mehlich, A., 1984. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15, 1409-1416.
55. Mubiru, D.N., Coyne, M.S., 2009. Legume cover crops are more beneficial than natural fallows in minimally tilled Uganda soils. Agronomy Journal 101, 644-652.
56. Muthoni, J., Kabira, J.N., 2010. Effects of crop rotation on soil macronutrient content and pH in potato producing areas in Kenya: Case study of KARI Tigoni station. Journal of Soil Science and Environmental Management 1(9), 227-233.
57. Nguluu, S.N., Probert, M.E., Myers, R.J.K., and Waring, S.A., 1996. Effect of tissue phosphorus concentration on the mineralisation of nitrogen from stylo and cowpea residues. Plant and Soil 191, 139–146.
58. Novozamsky, J., Houba, V.J.G., Van Eck, R., Van Vark, W., 1983. A novel digestion technique for multi-element plant analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis 14, 239–249.
59. Nuruzzaman, M., Lambers, H., Bolland, M.D.A., Veneklaas, E. J., 2005. Phosphorus benefits of different legume crops to subsequent wheat grown in different soils of Western Australia. Plant and Soil 271, 175–187.
60. Oikeh, S.O., Chude, V.O., Crasky, R.S., Weber, G.K., Horst, W.J., 1998. Legume rotation in the moist tropical savanna: Managing soil N dynamics and cereal yield in farmers' field. Experimental Agriculture 34, 73-83.
61. Okeleye, K., 2009. Influence of Legume /rice Sequence and Nitrogen on NERICA rice in Rainfed Upland and Lowland Ecologies of West Africa. UC Davis: Department of Plant Sciences, UC Davis. Retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/5hf0h0f9>.
62. Oladiran, O., Olajire, F., Robert, A.C., Nnenna, I., 2012. Phosphorus Response Efficiency in Cowpea Genotypes Journal of agricultural science 4 (1), 81-91.

63. Palm, C.A., Gachengo, C.N., Derve, R.J., Cadisch, G., Giller, K.E., 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. *Agriculture Ecosystems and Environment* 83, 27– 42.
64. Peoples, M.B., Bowman, A.M., Gault, R.R., Herridge, D.F., McCallum, M.H., McCormick, K.M., Norton, R.M., Rochester, I.J., Scammell, G.J., Schwenke, G.D., 2001. Factors regulating the contributions of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and Soil* 228, 29 - 41.
65. Peoples, M.B., Gault, R.R., Lean, B., Sykes, J.D., Brockwell, J., 1995. Nitrogen fixation by soybean in commercial irrigated crops in central and southern New South Wales. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 553-561.
66. Peoples, M.B., Herridge, B.D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Dakora, F.D., Bhattarai, S., Maskey, S.L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khans, D.F., Hauggaard-Nielsen, H., Jensen, B.S., 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48, 1-17.
67. Pypers, P., Van Iloon L., Diels, J., Abaïdoo, R., Smolders, E., Merckx, R., 2006. Plant-available P for maize and cowpea in P deficient soils from the Nigerian Northern, Guinea Savanna- comparison of E and L values. *Plant and soil* 283, 251-264.
68. Raemaekers, R.H., 2001. Crop production tropical Africa. *DGIC, Belgium*, pp 334 - 337.
69. Sainju, U.M., Dris, R., Singh, B., 2003. Mineral nutrition of tomato. *Food Agriculture and Environment* 1(2), 176-183.
70. Salvagiotti, F., Cassman, K.G., Specht, J.E., Walters, D.T., Weiss, A., Dobermann, A., 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research* 108, 1-13.
71. Schulz, S., Keatinge, J.D.H., Wells, G.J., 1999. Productivity and residual effects of legumes in rice-based cropping systems in a warm-temperate environment. Legume biomass production and N fixation. *Field Crops Research* 61, 23-35.
72. Schwenke, G.D., Peoples, M.B., Turner, G.L., Herridge, D.F., 1998. Does nitrogen fixation of commercial, dryland chickpea and fababean crops in north-west New South Wales maintain or enhance soil nitrogen? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 61-70.
73. Shah, Z., Shah, S.H., Peoples, M.B., Schwenk, G.D., Herridge, D.F., 2003. Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume–cereal rotations and soil organic fertility *Field Crops Research* 83, 1–11.

74. Sharma, G., Patil, S.K., Buresh, R.J., Mishra, V.N., Das, R.O., Haefele, S.M., Srivastava, L.K., 2005. Rice establishment method affects nitrogen use and crop production of rice-legume systems in drought-prone eastern India. *Field Crops Research* 92, 17–33.
75. Singh, A., Baoule, A. L., Ahmed, H. G., Dikko, A. U., Aliyu, U., Sokoto, M. B., Alhassan, J., Musa, M., Haliru, B., 2011. Influence of phosphorus on the performance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) varieties in the Sudan savanna of Nigeria. *Agricultural Science* 2 (3), 313-317.
76. Smyth, T.J. et Cravo, M.S., 1990. Critical phosphorus levels for corn and cowpea in a Brazilian Oxisol. *Agronomy Journal* 82, 309-312.
77. Snapp, S.S., Rohrbach, D.D., Simtowe, F., Freeman, H.A., 2002. Sustainable soil management options for Malawi: Can smallholder farmers grow more legumes? *Agriculture Ecosystems and Environment* 91, 159-174.
78. Soltner, D., 1989: Les Bases de la production végétale le sol - le climat - la plante 114^{ème} Tome Ed. UR Library, Wageningen, 463 p.
79. Su, Y.Z., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa forage land in northwest China. *Soil Tillage Research* 92, 181–189.
80. Subbarao, G.V., Ae, N., Otani, T., 1997. Genotypic variation in iron and aluminium phosphate solubilizing activity of pigeonpea root exudates under P deficient conditions. *Soil Science and Plant Nutrition* 43 (2), 295-305.
81. Summer, M.E., Miller, W.P., 1996. Cation Exchange Capacity and exchange coefficients. In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods, Soil science society of America and American society of agronomy, Madison, USA, pp 1201-1229.
82. Tarafdar, J.C., Claassen, N., 1988. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. *Biology and fertility of soils* 5, 308-312.
83. Technisem, 2012. Caractérisation de la variété de Tomate Mongal F1. www. Technisen.com. consulté le 10/10/12.
84. Tollens, E., 1999. La diversification des systèmes irrigués. In : Legoupil, J.C., Actes du séminaire «pour un développement durable de l'agriculture irriguée dans la zone Soudano-Sahélienne». Projet Pôle Systèmes irrigués CORAF 30 Novembre–3 Décembre 1999, Dakar, Sénégal, 14 p.

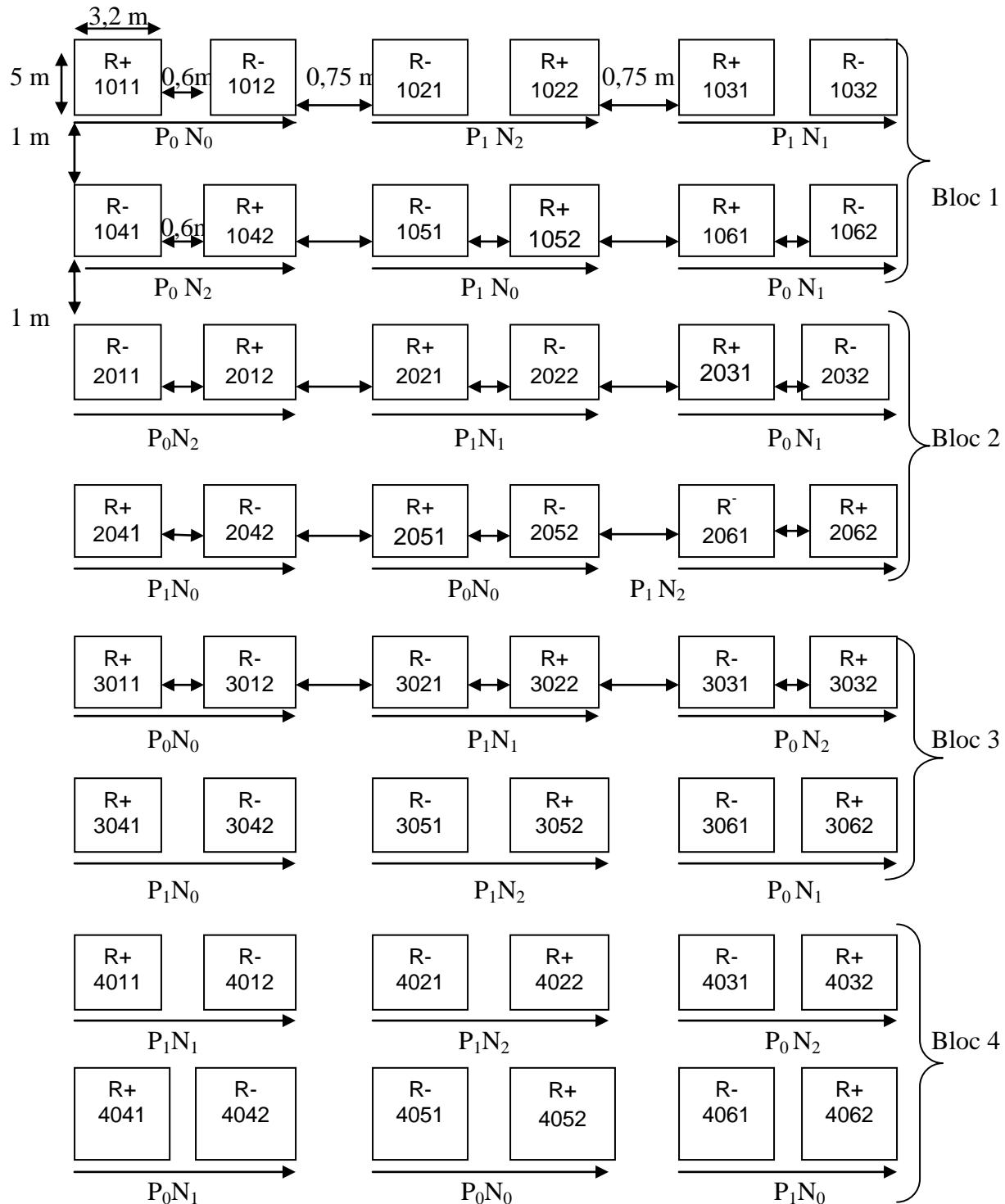
85. Tu, C., Ristaino, J. B., Hu, S., 2006. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. *Soil Biology and Biochemistry* 38 (2), 247-255.
86. Van Kessel, C., Hartley, C., 2000. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? *Field Crops Research* 65, 165-181.
87. Vanlauwe, B., Aihou, K., Aman, S., Iwuafor, E.N.O., Tossah, B.K., Diels, J., 2001. Maize yields as affected by organic inputs and urea in the West African moist savanna. *Agronomy Journal* 93, 1191-1199.
88. Vaughan, D., Malcolm, R., 1985. Soil organic matter and biological activities. Ed Kluwer Academic Publishers, 469 p.
89. Walkley, A., Black, J.A., 1934. An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromatic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-38.
90. Windmeijer, P.N., Andriesse, W., 1993. Inland valleys in West Africa. An agro-ecological characterization of rice growing environments. Publ. 52. Int. Inst. Land Reclamat. And Improvement. Wageningen, the Netherlands, 160 p.
91. Worou, S., 2002. La diversification de la mise en valeur traditionnelle des bas-fonds en zone de savane humide du Togo et les conséquences sur l'environnement. Actes du colloque, 27-31, Garoua, Cameroun, 4 p.
92. Yoshida S. 1976. Physiological aspects of grain yield. *Ann. Rev. Plant Physiology* 23, 437-464.

ANNEXES

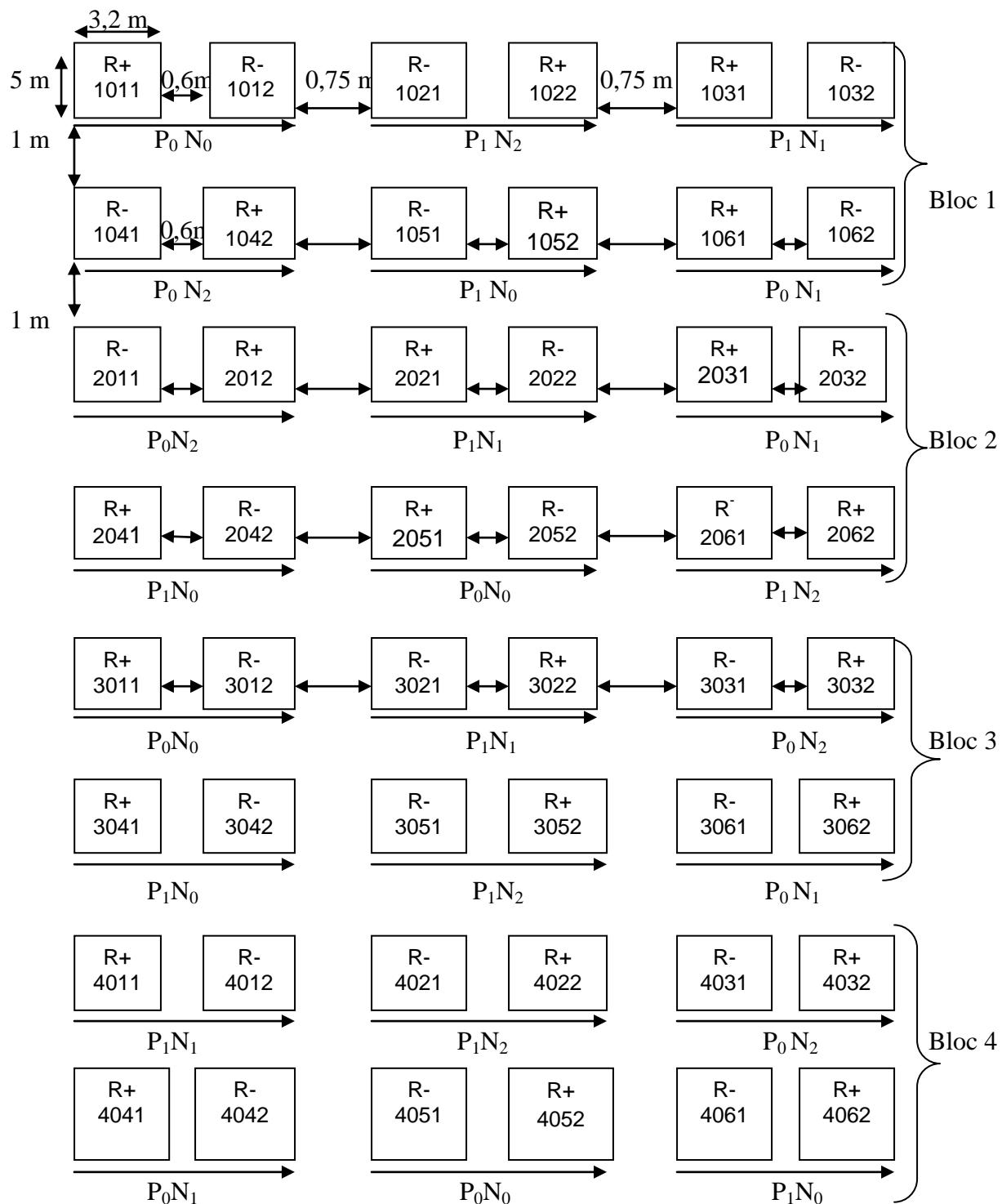


P₁ = fertilisation au phosphore **P₀** = Pas de fertilisation au phosphore

Annexe 1: Dispositif expérimental de l'essai niébé



Annexe 2: Dispositif expérimental de l'essai riz



R^+ = Incorporation des résidus de récolte du riz ;
 R^- = Non incorporation des résidus de récolte du riz

Annexe 3: Dispositif expérimental de l'essai tomate