



ISSN NO. 2320-5407

Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/12137
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/12137>



INTERNATIONAL JOURNAL OF
ADVANCED RESEARCH (IJAR)
ISSN 2320-5407
Journal Homepage: <http://www.journalijar.com>
Journal DOI:10.21474/IJAR01

RESEARCH ARTICLE

ETUDE DES REPONSES DU SORGHO A DIFFERENTES DOSES DE FERTILISANTS DANS UN CADRE DE GESTION INTEGREE DE FERTILISATION DU SOL

Boureima Seyni¹, Mamane Mamadou² and Maman Nouri²

1. Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi BP 465 Maradi.
2. Faculté des sciences et Techniques, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi BP 465 Maradi
Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN).

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 05 October 2020

Final Accepted: 10 November 2020

Published: December 2020

Key words:-

Fertilizer, Micronutrient, Integrated Management, Yield, Sorghum, Sahel

Abstract

Sorghum [*Sorghumbicolor* (L.) Moench] is an important food crop grown by subsistence farmers in Africa for its seeds and fodder with little or no fertilizer. Information is scarce for sorghum response to nutrient application for many production areas in west Africa. Research was conducted to determine macro and micronutrients response in an Integrated Soil Fertilizer Management (ISFM). The experiment was conducted both in farmers's field of Angoul Mata and at station in Tarna. Four N levels (0, 20, 40, 60 kg ha⁻¹) were combined with five P levels (0, 7.5, 15, 22.5, 30) and four K levels (0, 10, 20, 30) to constitute 15 treatments. An additional treatment of N-P-K-Kieserite-Zn-B (40-22.5-20-15-2.5-0.5) was used to test the effect of micronutrient deficiency. These 16 treatments were tested in a randomized complete-block design with three replications at each site. The number of ears, the dry weight of ears, the weight of dry stem and grain yield were measured at maturity. Added N and P, increased yield and yield component but K did not influence these parameters. The combination of NPK with Kieserite-Zn-B yielded the highest number of ears (82) and ears weight (2300 g). On the station, the highest grain yield (1334 kg ha⁻¹) was obtained with NPK with Kieserite-Zn-B. On farmers's field, the N-P-K combinations (40-30-0; 40-22.5-20; 40-22.5-30) and with Kieserite-Zn-B gave similar and highest grain yield. NPK supplementation with micronutrients such as kieserite, zinc and boron improves the number and the weight of the ears of sorghum in our studying area.

Copy Right, IJAR, 2020,. All rights reserved.

Introduction:-

Le sorgho [*Sorghumbicolor* (L.) Moench] est une culture vivrière importante couramment cultivée par des agriculteurs de subsistance avec peu ou pas d'intrants agricoles, principalement par manque de capitaux et d'informations sur les taux de recommandation appropriés (Rhodes 1995). En général, l'agriculture de subsistance en Afrique subsaharienne se caractérise par un faible apport extérieur, un faible rendement des cultures, une insécurité alimentaire, une extraction de nutriments et une dégradation de l'environnement (Stoorvogel et al., 1993; Rhodes 1995; Mafongoya et al., 2006).

Corresponding Author:-Boureima Seyni

Address:-Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi BP 465 Maradi.

Au Niger, le sorgho constitue avec le mil, l'une des céréales de base. La place du sorgho se reflète surtout par une augmentation considérable des superficies emblavées qui sont passées de 2 544 700 ha en 2009 à plus de 3 565 900 ha en 2013 (INS, 2014). La production nationale pour la même période est passée de 738 500 tonnes à 1 320 000 tonnes. Malheureusement, la productivité du sorgho demeure très faible, le rendement national tend à se plafonner à 343 kg/ha en milieu paysan (MDA, 2011 ; INS, 2014).

Le sorgho est cultivé majoritairement sur des sols "dunaires" ou sols ferrugineux tropicaux qui représentent 85 % des superficies agricoles cultivables. Ces sols sableux, d'origine éolienne pour la plupart, sont pauvres en azote, en phosphore et en matière organique. Dans le meilleur des cas, certains agriculteurs les fertilisent en apportant dans les champs proches des habitations, des déchets domestiques, des déjections d'animaux parqués dans les concessions ou en laissant ces animaux y pâturer après les récoltes. Par contre les champs éloignés des villages ne connaissent aucune fertilisation véritable, car même les tiges sont entassées ou transportées au village. Dans de telles conditions, il ne paraît point exagéré d'affirmer que ces céréales, base de l'alimentation au Niger, sont cultivées dans des conditions limites de fertilité. Il faut noter que même les sols hydromorphes, plus lourds et plus structurés n'échappent pas à la baisse de fertilité faute de fertilisation (Idrissa, 2001).

Par ailleurs, le secteur primaire fait face à des contraintes climatiques majeures caractérisées par l'irrégularité dans le temps et l'espace de la pluviométrie ainsi que par la forte concentration humaine dans les zones agricoles qui rendent très vulnérables les systèmes de production. Les systèmes de production végétales nigériens sont fondés majoritairement sur des associations culturales (cultures vivrières/cultures de rente) qui varient en fonction de la disponibilité des terres (densité humaine) et du niveau de fertilité des sols (Andres and Lebailly, 2013). La disparition de la jachère dans certaines régions et la réduction de sa durée dans d'autres conduisent à l'exploitation des sols jusqu'à ce que les paysans appellent eux-mêmes "la mort du champ".

Ainsi pour améliorer le rendement du sorgho sur différents types de sols, une connaissance des effets des doses de fertilisants dans un cadre de gestion intégrée de fertilisation est nécessaire. Cette étude réalisée en station au niveau du Centre Régional de Recherche Agronomique (CERRA) de Maradi et en milieu paysan au sud Maradi (village d'Angoual Mata) s'inscrit dans les activités du Projet OFRA (Optimisation de Recommandations des Engrais en Afrique) au Niger en collaboration avec l'INRAN et les producteurs sur le terrain.

L'objectif principal de cette étude est de réviser les recommandations des engrais pour la culture du sorgho avec des options qui prennent en compte les conditions spécifiques de production aussi bien de point de vue sol et climat que de point de vue conditions économiques des producteurs.

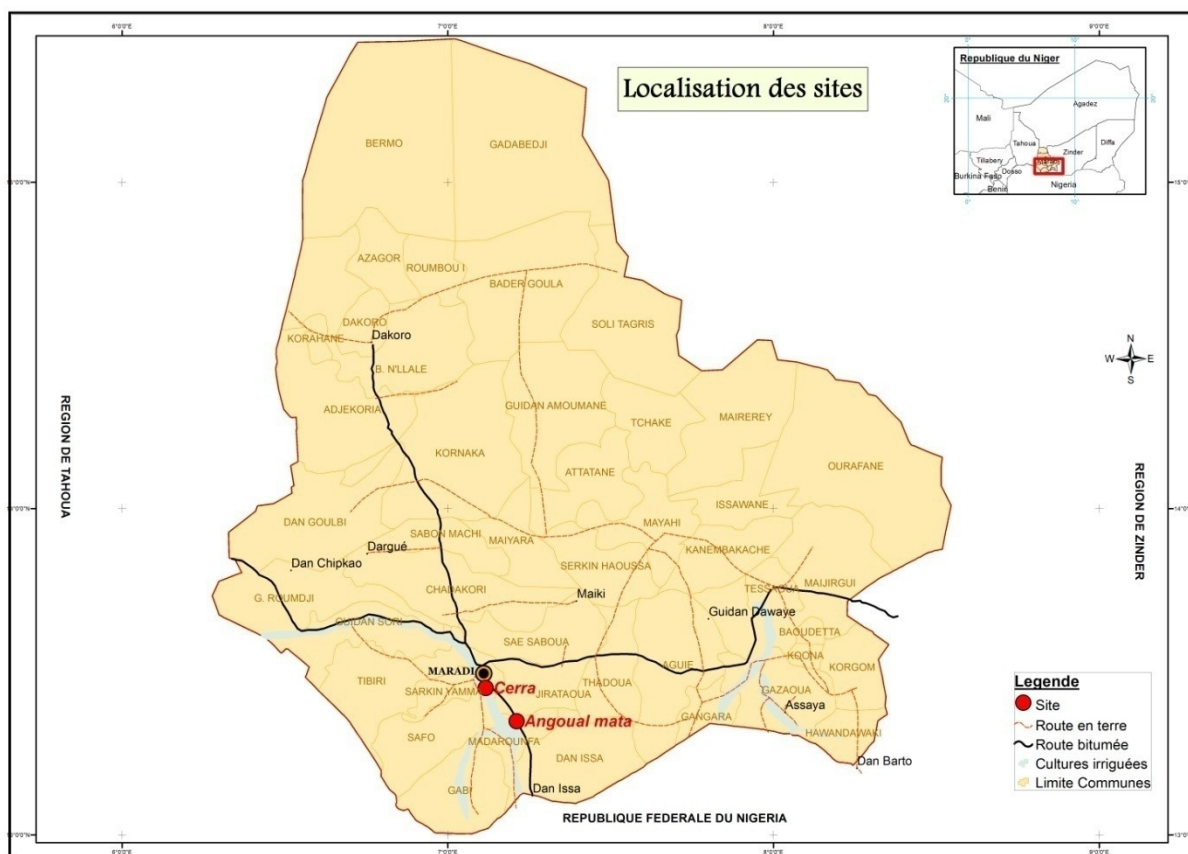
Les objectifs spécifiques sont de:

1. comparer les effets des différentes combinaisons de fertilisants sur la croissance et le rendement du sorgho dans un système de culture pure;
2. identifier le niveau de la fumure intégrée permettant d'obtenir les meilleurs rendements du sorgho.

Matériel et méthodes:-

Caractéristiques générales des sites d'étude :

Les deux sites expérimentaux (Fig. 1) sont positionnés dans la partie sud de la ville de Maradi. Ainsi, le site de la station (13°27'0''Nord, 7°7'0''Est) est situé à 7 km au Sud-ouest, celui de Angoual Mata (13°20'53''Nord, 7°12'42'' Est) est à 20 km au sud.



Source : SIG/URGP ProDAF Maradi 2016.

Figure 1:- Représentation de la zone d'étude.

Avant l'installation des essais, des échantillons de sol ont été prélevés au niveau chaque site dans les horizons de surface (0-20 cm) et (20-40 cm). Elle a consisté à prélever 3 échantillons du sol sur 3 points différents du site. Au niveau de chaque point de prélèvement, les 2 horizons de surface sont mélangés donnant ainsi 3 lots d'échantillons par site. Les échantillons de sol ont été analysés par le laboratoire de l'ICRAF- Nairobi.

Les résultats des analyses des sols (Tableau 1) révèlent qu'au niveau de ces sites la profondeur 0-20 cm est plus riche en azote (N), et potassium (K), mais globalement pauvre en phosphore.

La profondeur 20-40 cm est plus riche en potassium (K) sur tous les 2 sites.

Par ailleurs, les sols de la station de CERRA Maradi sont plus acides comparés à ceux d'Angoual Mata à pH neutre.

Tableau 1:- Caractéristiques physico-chimiques des sols des 2 sites d'étude.

Site	Profondeur (cm)	N	P	K	PH	CEC
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	UI	cmol ⁺ /kg
Station Tarna/Maradi	0-20	50,7	1,07	540,81	5,62	4,24
	20-40	38,1	0,93	596,9	5,5	4,20
Milieu Paysan Angoual Mata	0-20	86,4	5,76	739,3	7,4	7,3
	20-40	62,5	2,18	800,10	7,3	6,1

Durant la période de l'essai, le cumul pluviométrique enregistré au cours de la campagne d'hivernage 2015 au niveau de la station et du village d'Angoual Mata était de 494,8 mm en 35 jours, et 399,5 mm en 30 jours, respectivement.

Dispositif expérimental et conduite des cultures :

L'expérimentation a porté sur deux variétés de sorgho dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2:- Caractéristiques agronomiques des variétés de sorgho utilisées dans l'étude.

Variétés	Cycle (jours)	Type de panicule	Rendement (kg ha ⁻¹)	Couleur des graines	Provenance	Poids de 1000 grains (g)
SSD-35	75-85	Semi-Compact	2 à 2,5	Blanche	INRAN	12 à 20
Sepon-82	90-105	Compact	2 à 2,5	Blanc-crème	INRAN-ICRISAT	12 à 20

Deux essais ont été conduits dont un en station avec la variété SSD-35 et un autre en milieu paysan avec la variété Sepon-82. Le dispositif expérimental utilisé lors de ces deux essais est le bloc complet randomisé avec 3 répétitions. Il y a un total de seize (16) traitements au niveau de chacun des deux sites dont la structure est donnée dans le tableau 3. On a 5 niveaux de phosphore avec un incrément de 7,5 kg ha⁻¹ et 4 niveaux de potassium avec un incrément de 10 kg ha⁻¹. Un traitement pour le diagnostic d'une déficience en Zn-B et un supplément en kiésérite contient 40-22,5-20-15-2,5-0,5 (N-P-K-Kiésérite-Zn-B) est comparé au traitement N-P-K correspondant (traitement 16).

Tableau 3:- Doses des différents éléments fertilisants en kg ha⁻¹.

Numéro traitements	N	P	K	Kiésérite	Zn	B
	----- kg ha ⁻¹ -----					
T ₁	0	0	0			
T ₂	0	7,5	0			
T ₃	0	15	0			
T ₄	0	22,5	0			
T ₅	0	30	0			
T ₆	40	0	0			
T ₇	40	7,5	0			
T ₈	40	15	0			
T ₉	40	22,5	0			
T ₁₀	40	30	0			
T ₁₁	20	22,5	0			
T ₁₂	60	22,5	0			
T ₁₃	40	22,5	10			
T ₁₄	40	22,5	20			
T ₁₅	40	22,5	30			
T ₁₆	40	22,5	20	15	2,5	0,5

Une vérification préalable de la qualité des semences en conduisant un test de germination a été faite afin de rejeter toutes les semences qui ont moins de 50% de germination.

Pour avoir un bon lit de semis, un premier labour a été effectué au tracteur et un deuxième labour à la houe afin de casser les grosses mottes de terre. Un traçage au rayonneur a été effectué avant les semis selon les densités retenues par le protocole notamment 1 m entre les lignes et 0,5 m sur la ligne soit une densité de 72 poquets par parcelle.

Les semences sont traitées avec du fongicide pour éviter la fonte de semis et avoir une bonne levée avec des plants vigoureux.

Les semis ont été effectués à la station et en milieu paysan le 26 Juin et 12 Juillet, respectivement, après une pluie utile de 32 mm sur le site de la station et 65 mm à Angoual Mata, site du milieu paysan. Le premier sarclage est intervenu le plus tôt possible le 18 Juillet 2015 (trois semaines après semis) avant que les mauvaises herbes dominent les cultures. Le deuxième sarclage est intervenu 20 à 25 jours après le premier, plus précisément le 17 Aout 2015.

Un démariage à 3 pieds par poquet est réalisé lorsque la levée a été effective et avec une vigueur satisfaisante (environ 14 jours après la levée). Les macroéléments P et K sont appliqués 2 semaines après la levée et enfoui aux alentours du système racinaire. L'engrais azoté (N) est apporté sous forme d'urée en localisation et enfoui; moitié après

désherbage au stade tallage et la deuxième moitié au stade montaison. Durant toute la période des essais, l'état phytosanitaire des différentes parcelles expérimentales a été suivi. Ce suivi a consisté à effectuer des observations journalières portant sur les différents organes des plantes.

Collecte des données:

A la récolte, les mesures suivantes ont été faites:

Le nombre de panicules, effectué sur les lignes centrales de chaque parcelle élémentaire; le poids sec des tiges récoltées sur les 4 lignes centrales de chaque parcelle après 4 semaines de séchage à l'air libre; et le rendement en grains.

Méthode d'analyse statistique des données:-

Les différents paramètres suivis ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le logiciel Statistix 9.1 (Analytical Software, Tallahassee, FL) après confirmation de l'homogénéité des variances.

Résultats:-

En Station:

Au niveau de la station, les résultats de l'analyse statistique ont mis en évidence des différences hautement significatives ($P < 0,001$) entre les traitements en ce qui concerne le nombre de panicules. La figure 2 révèle que le nombre moyen de panicules le plus élevé enregistré est au niveau du T16= N- P- K -Kié- Zn -B (40 -22,5 -20 -15 -2,5 -0,5)(82 panicules). Les autres traitements ont produit un nombre de panicules statistiquement similaires.

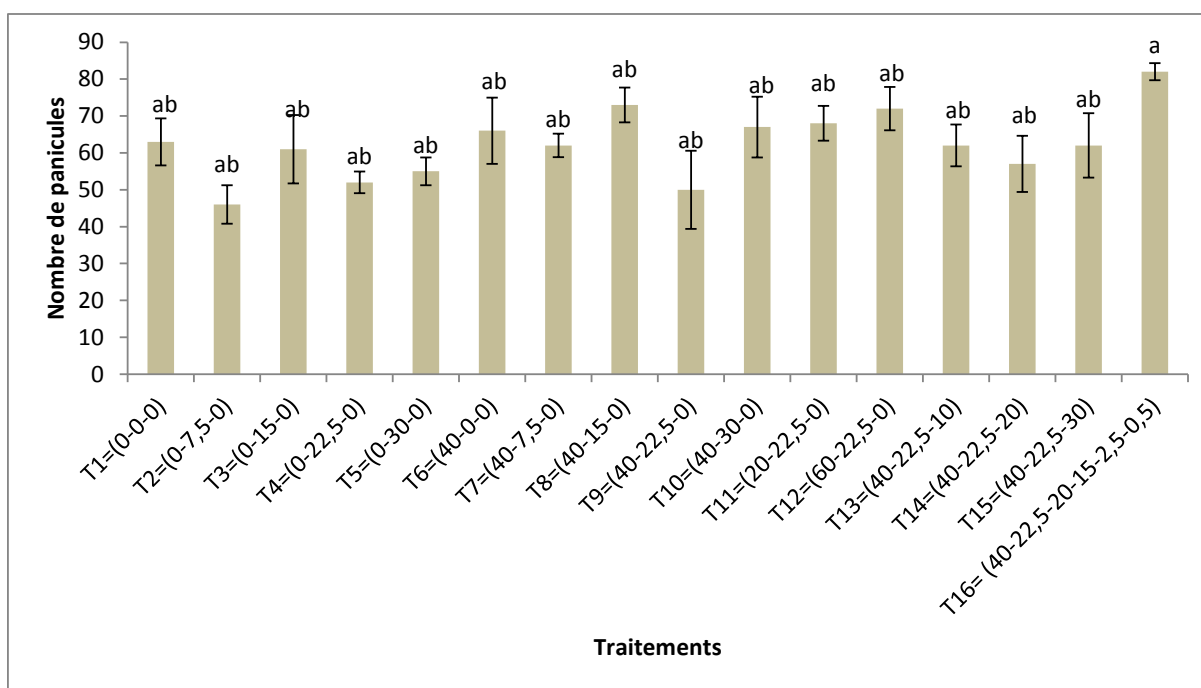


Figure 2:- Nombre de panicules en station en fonction des traitements.

** les barres sur les histogrammes représentent les erreurs standards sur la moyenne

Les différentes combinaisons de fertilisation ont une influence hautement significative sur le poids des panicules. Le poids moyen des panicules le plus élevé est donné par le T16= N- P- K - Kié- Zn -B (40 -22,5 -20 -15 -2,5 -0,5)(2300g) ; les traitements restants ont donné des valeurs statistiquement similaires (Figure 3).

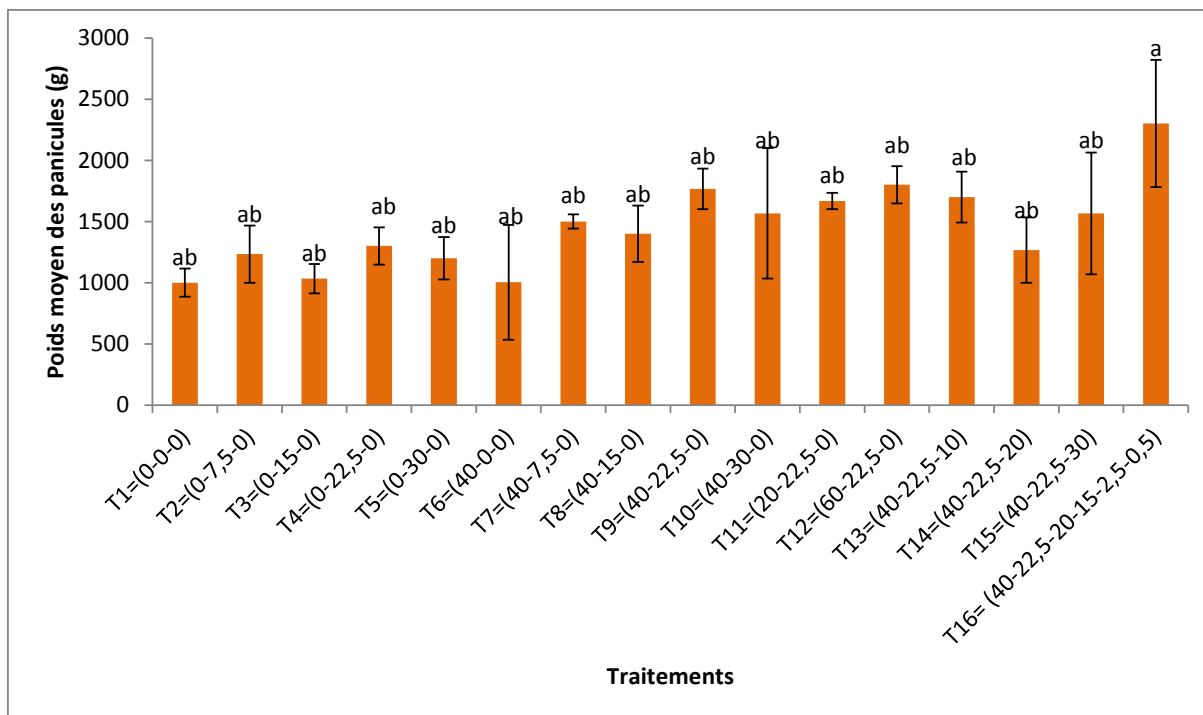


Figure 3:- Poids moyen des panicules en fonction des traitements.

** les barres sur les histogrammes représentent les erreurs standards sur la moyenne

Les différents niveaux de fertilisation ont eu une influence hautement significative ($P < 0,001$) sur le poids moyen des tiges sèches. Les résultats de la figure 4 révèlent que le poids moyen le plus élevé enregistré est au niveau du T12= N-P-K (60-22,5-0) (4173,33g) suivi de T15= NPK (40-22,5-30) (3833,33g), T16= N- P- K -Kié- Zn -B (40 -22,5 - 20 -15 -2,5 -0,5)(3726,27g) et T8 (3713,33,g) et le plus bas est au niveau du témoin T1= N-P-K (0-0 -0) (1980g).

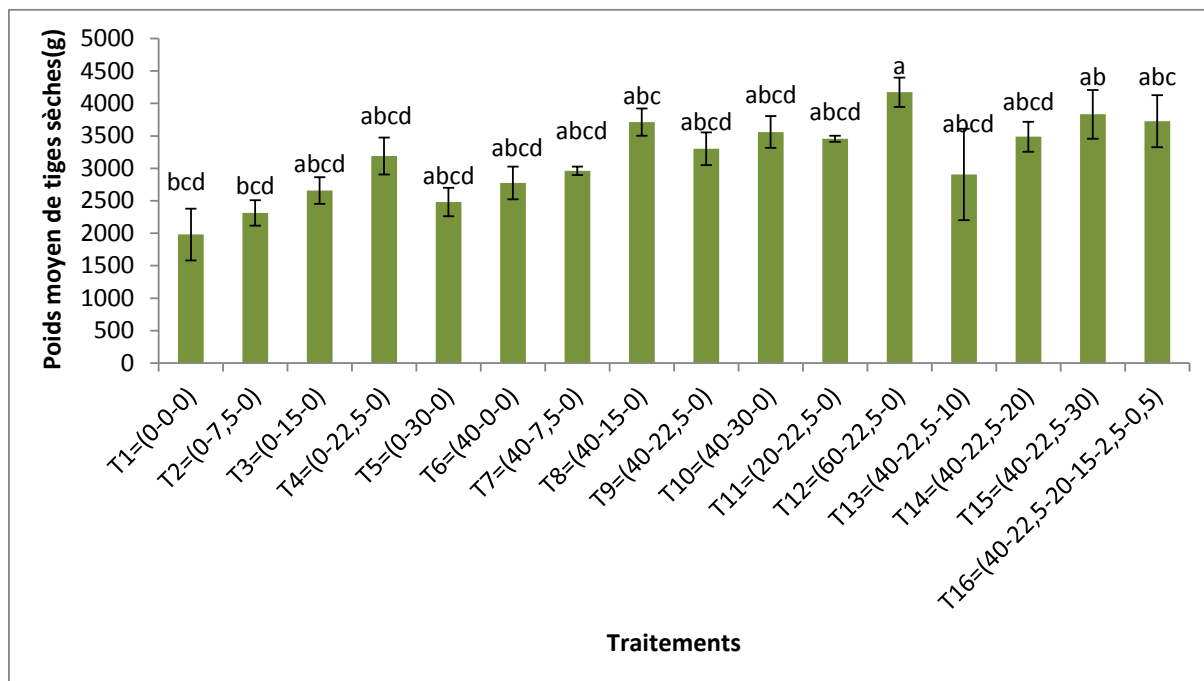


Figure 4:- Poids moyen des tiges sèches de sorgho en fonction des traitements.

Les différents niveaux de fertilisation ont eu une influence hautement significative ($P < 0,001$) sur le rendement grain. Les résultats de la Figure 5 révèlent que le rendement grain le plus élevé est enregistré au niveau du T16= N- P- K - Kié- Zn -B (40 -22,5 -20 -15 -2,5 -0,5) (1333,67 kg ha⁻¹) et T12= N-P-K (60-22,5-0) (1305,67 kg ha⁻¹) et le plus bas est au niveau du T1= N-P-K (0-0 -0) (566,67 kg ha⁻¹).

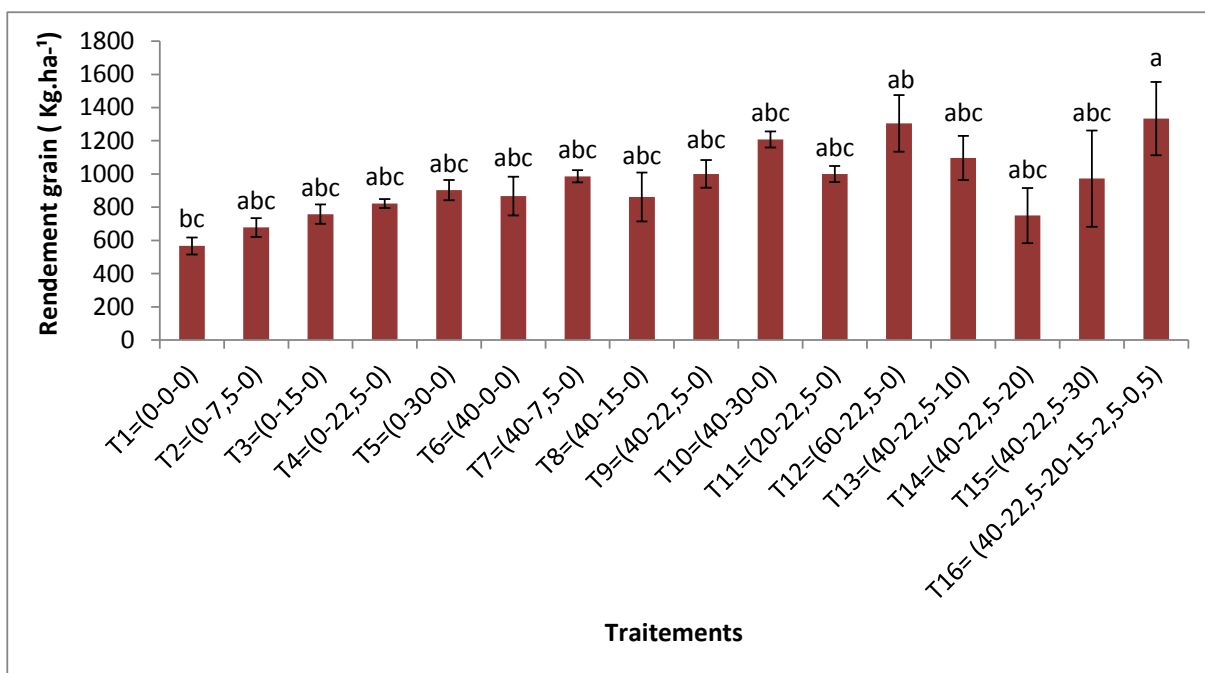


Figure 5:- Rendement grain en kg ha⁻¹ du sorgho en fonction des traitements.

** les barres sur les histogrammes représentent erreurs standards sur la moyenne.

En milieu paysan:

A Angoual Mata, il n'y a aucune différence significative entre les différents niveaux de fertilisation appliqués sur le nombre de panicules (Figure 6).

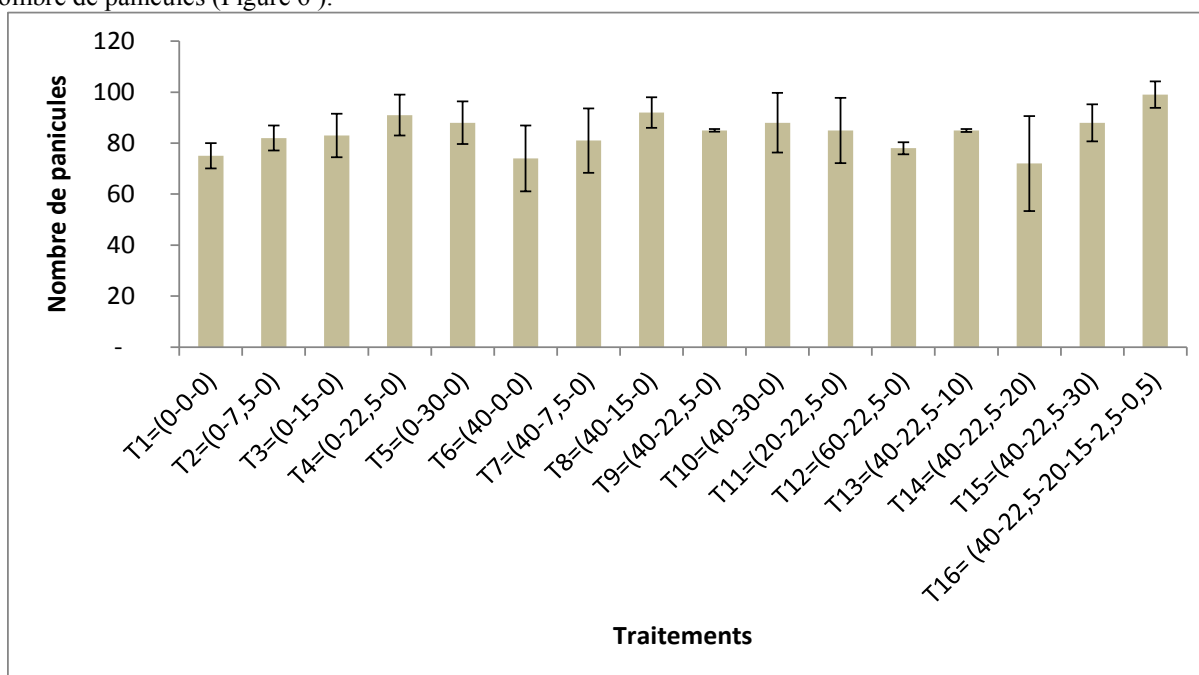


Figure 6:- Nombre de panicules de sorgho en fonction des traitements en milieu paysan.

Au niveau d'Angoual Mata également, les traitements ont eu un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur le poids des panicules. Le poids moyen des panicules le plus élevé est enregistré au niveau du T16= N- P- K - Kié- Zn -B (40 -22,5 -20 -15 -2,5 -0,5)(7400g et le plus bas au niveau du témoin T1= N-P-K (0-0 -0) (3700 g (Figure 7).

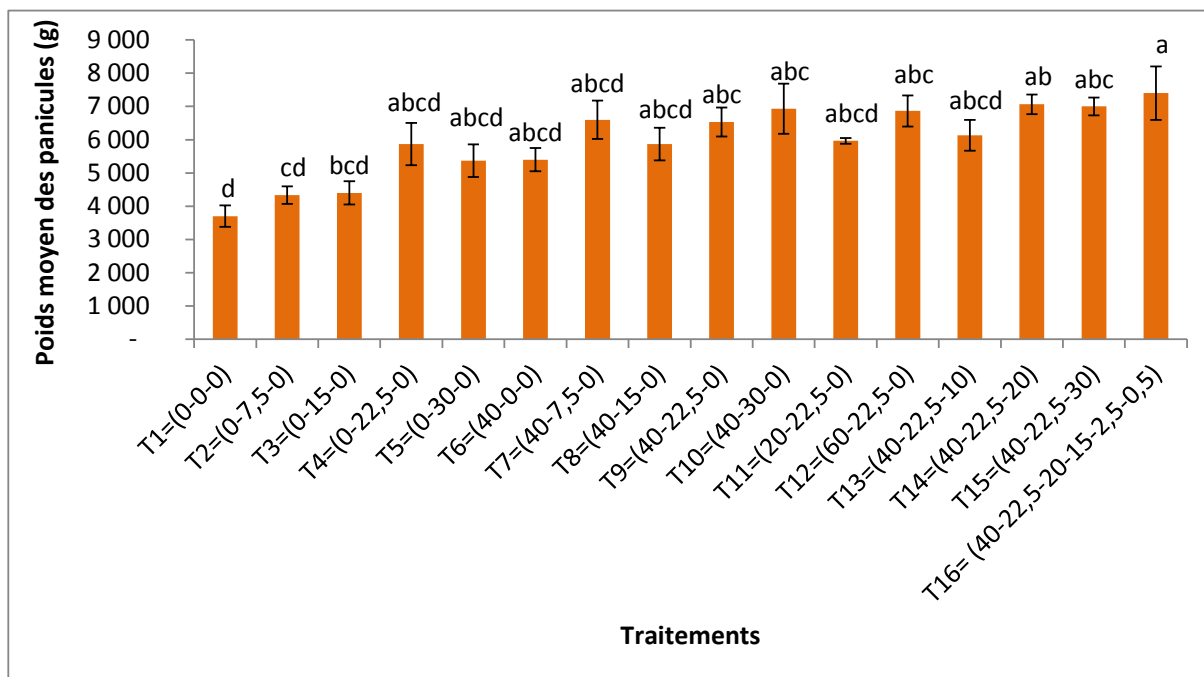


Figure 7:- Poids moyen des panicules de sorgho en fonction des traitements en milieu paysan.
 ** les barres sur les histogrammes représentent les erreurs standards sur la moyenne

Les traitements ont eu un effet hautement significatif ($P < 0,001$) sur le poids moyen des tiges sèches. Les résultats de la Figure 8 révèlent que les traitements T10, T12, T13, T14, T15 et T16 ont donné des biomasses sèches statistiquement similaires et plus élevées alors que le témoin T1 a donné la valeur la plus faible en terme de poids sec des tiges.

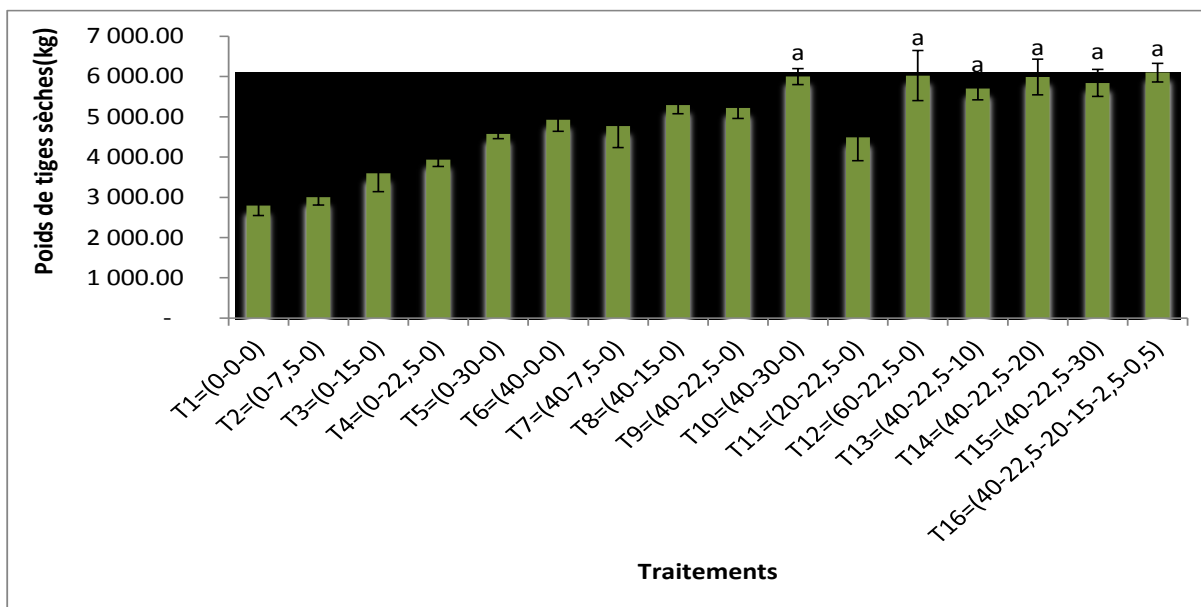


Figure 8:- Poids moyen des tiges sèches de sorgho en fonction des traitements.
 ** les barres sur les histogrammes représentent erreurs standards sur la moyenne.

En ce qui concerne le rendement en grains, les résultats de la Figure 9 révèlent que les meilleurs rendements enregistrés étaient avec T10= N-P-K (40-30-0) (3444,33 kg ha⁻¹), T14= N-P-K (40-22,5-20) (3527,67 kg ha⁻¹), T15 (40-22,5-30) (5266,67 kg ha⁻¹) et T16= N- P- K -Kié- Zn -B (40 -22,5 -20 -15 -2,5 -0,5)(3583,33 kg ha⁻¹). Le plus bas niveau de rendement est enregistré avec T1= N-P-K (0-0-0) (1805,33 kg ha⁻¹).

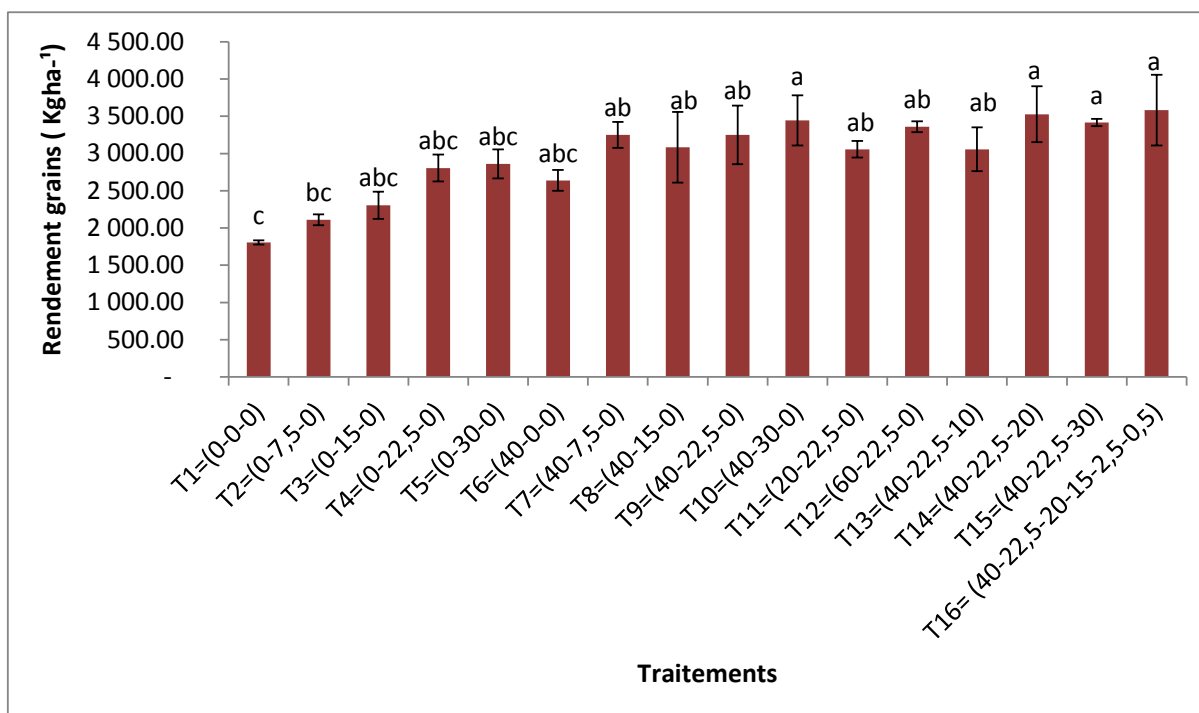


Figure 9:- Rendement grain du sorgho en kg ha⁻¹ en fonction des traitements.

** les barres sur les histogrammes représentent erreurs standards sur la moyenne

Discussion:-

Durant la période des essais, les conditions climatiques étaient favorables sur les deux sites ce qui a d'ailleurs permis aux cultures de boucler leur cycle dans des conditions normales d'humidité.

Il ressort des relevés pluviométriques de la période d'essai que le mois de Septembre était le plus arrosé au niveau des 2 sites : à la station CERRA Maradi 430 mm soit 86,90% du total enregistré, Angoual Mata 351,5 mm soit 92,90% du total enregistré.

A la station CERRA Maradi, le sorgho a bouclé son cycle avec une quantité de pluie de 494,8 mm enregistrée entre le 2 Juin et le 24 septembre 2015 soit 35 jours de pluies, et en milieu paysan, il a bouclé son cycle avec une quantité de pluie de 399,5 mm enregistrée entre le 9 Juin et le 06 Octobre 2015 avec 30 jours de pluies.

La situation phytosanitaire a été caractérisée par quelques attaques des oiseaux gros marins au niveau de la station CERRA Maradi qui a été vite contrôlée.

La productivité du sorgho reste limitée par le faible niveau en N et P des sols nigériens.

Le résultat de l'échantillonnage des sols effectués sur les deux sites expérimentaux (Angoual Mata et la station CERRA Maradi) avant l'installation des essais a mis en évidence une différence entre les teneurs en éléments nutritifs des sol, le pH et la capacité d'échange cationique (CEC). Le sol de la station CERRA Maradi est très pauvre en phosphore (1,07 mg kg⁻¹), cette pauvreté est due au type du sol qui est sableux. Le sol d'Angoual Mata est un sol argileux, on remarque une concentration en phosphore relativement élevée sur ce site (5,76 mg kg⁻¹) comparée au sol de la station. Les sols des deux sites sont représentatifs des sols ferrugineux tropicaux sahéliens qui sont très déficients en phosphore (Buerkert et al., 2000 ; Beggi et al., 2015).

Le site de la station CERRA Maradi présente une capacité d'échange cationique faible (4,2 à 4,24 $\text{cmol}^+\text{Kg}^{-1}$) et celui d'Angoul Mata, une CEC moyenne (6,1 à 7,3 $\text{cmol}^+\text{Kg}^{-1}$) qui n'est pas très loin de la gamme optimale (13 à 25 $\text{cmol}^+\text{Kg}^{-1}$) (Idrissa, 2001).

A travers ces données des sols issus des 2 sites étudiés, le sol d'Angoul Mata est le plus riche en éléments nutritifs. La gamme de pH (7,3 à 7,4) à Angoul Mata répond bien à la gamme de pH neutre pour la culture du sorgho. Le sorgho est cultivé dans les types de sols assez variés. Les sols, les plus favorables sont ceux à texture sablo-argileuse contenant plus de 20 % d'argile, peu humifères, frais, à pH neutre ou légèrement acide bien drainés mais avec une bonne capacité de rétention (House, 1987). La carence en éléments nutritifs principaux (N, P, K) a des conséquences néfastes sur la croissance et le rendement des plantes. Le phosphore étant l'élément nutritif le plus déterminant pour obtenir un bon rendement en sorgho, sa carence réduit la mobilisation de l'azote et du soufre, la croissance racinaire, la floraison et la formation des graines (Mémento de l'Agronome, 2002).

La découverte fondamentale issue de cette étude est que les quantités d'éléments N et P sont plus déterminants que l'élément K pour la production de biomasse sèche et le rendement du sorgho. L'importance de l'azote et du phosphore dans l'amélioration de la fertilité des sols agricoles et une production soutenue de la production du sorgho est démontrée clairement par un accroissement de la biomasse sèche et du rendement sur les deux sites en question qui sont pauvres en azote et en phosphore. Des résultats similaires ont été rapportés par Buah et al. (2012) sur la réponse du sorgho à la fertilisation NPK dans la savane guinéenne du Ghana.

L'effet non marqué d'une augmentation de la teneur en K pourrait s'expliquer par le fait que ces sols ont déjà un niveau de K satisfaisant pour les productions céréalières. Les dépôts de poussière par les vents de l'Harmattan, qui se produisent chaque année en Afrique de l'Ouest, peuvent jouer un rôle dans la reconstitution de K. Des études ont montré que de tels dépôts fournissent environ 18,7 kg K ha^{-1} par an (Harris 1998). Cependant, ces résultats contrastent avec ceux de Fosu et al. (2006) sur le coton et d'Ogunlela et Yusuf (1988) sur le sorgho, où l'ajout de K a occasionné une augmentation des rendements des cultures dans la zone de savane de l'Afrique de l'Ouest.

Par ailleurs, une complémentation des engrais NPK avec des micronutriments comme le zinc et la kiésérite augmente le nombre et le poids des panicules mais ne se traduit pas par une amélioration significative du rendement grains par rapport à l'application de niveaux optimum de N et P.

Conclusion:-

La présente étude qui a été conduite sur un site expérimental CERRA Maradi et en milieu paysan (Angoul Mata) pendant la campagne d'hivernage 2015, a permis de déterminer l'effet des différentes doses de fertilisants sur la croissance et la productivité du sorgho.

L'analyse globale des 16 traitements sur le site de la station de l'INRAN révèlent que le taux d'azote et de phosphore sont plus critique que celui du potassium pour la productivité du sorgho. L'utilisation de l'engrais complexe (traitement T16) = N- P- K -Kié- Zn -B (40 -22,5 -20 -15 -2,5 -0,5) augmente le nombre et le poids des panicules mais donne un niveau de rendement en grains statistiquement similaire aux traitements T14 = (40-22,5-20) et T15=(40-22,5-30) plus productifs.

Les résultats obtenus vont sans doute contribuer à améliorer la productivité du sorgho en milieu paysan à travers cette mise à jour de la dose des unités fertilisantes NPK pour sa culture.

Remerciements:

Cette étude a été conduite dans le cadre des activités du Projet OFRA (Optimisation de Recommandations des Engrais en Afrique) au Niger en collaboration avec l'INRAN. Les auteurs remercient le bailleur pour les fonds mis à leur disposition.

Références Bibliographiques:-

1. Andres, L. and Lebailly P. (2013): Le sésame dans le département d'Aguié au Niger: analyse d'une culture aux atouts non-négligeables dans une zone agricole à forte potentialité, *Tropicultura*, 31(4):238-246.

2. Beggi, F., Hamidou, F., Buerkert, A. and Vadez, V. (2015): Tolerant pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Varieties to low soil P have higher transpiration efficiency and lower flowering delay than sensitive ones. *Plant Soil*, 389: 89–108.
3. Buah, S. S. J., Kombiok, James M. and Abatania, L. N. (2012): Grain Sorghum Response to NPK Fertilizer in the Guinea Savanna of Ghana. *Journal of Crop Improvement* 26:(1) 101-115.
4. Buerkert, A., Bationo, A. and Dossa, K. (2000): Mechanisms of residue mulch-induced cereal growth increases in West Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 346–358.
5. Fosu, M., Chamba, E. B., Afuakwa J. J. and Clottey, V. A. (2006): Determining optimum fertilizer rates for cotton in northern Ghana. *Agric. Food Sci. J. Ghana* 5:353–362.
6. Harris, F. M. A (1998): Farm-level assessment of nutrient balance in north Nigeria, *Agric. Ecosyst. Environ.* 71:201–214.
7. House, L.R. (1987) : Manuel pour la sélection du sorgho (2e édition), ICRISAT Patancheru, Andhra Pradesh , Inde, 177 p.
8. Idrissa, S. (2001) : Bilan-diagnostic sur la production du mil et du sorgho : Initiative pour le développement des mils et sorghos en Afrique de l'Ouest et du Centre. Un pilotage par l'aval, cadre national de concertation Niger, 170 p.
9. INS 2014. Statistique de l'Agriculture, élevage et Pêche, Annuaire statistique du Niger 2009-2013, 245 p
10. Mafongoya, P. L., Bationo, A., Kihara, J. and Waswa. B. S. (2006): Appropriate technologies to replenish soil fertility in southern Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 76:137–151.
11. MDA (2007) : Rapport National sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture au Niger, 68 p.
12. MDA (2011) : Annuaire statistique du Niger 2006-2010, pp 185-194.
13. Mémento de l'Agronome (2002) : Caractéristiques Générales sur la diversité des modes de production. Ministère des affaires étrangères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), Groupe de recherche et d'échange technologique, Paris, France, 521 p.
14. Ogunlela, V. B. and Yusuf, Y. (1988): Yield and growth response to potassium of grain sorghum as influenced by variety in a savanna soil of Nigeria. *Fert. Res.* 16:217–226.
15. Rhodes, E. R. (1995): Nutrient depletion by food crops in Ghana and soil organic nitrogen management. *Agric. Syst.* 48:101–118.
16. Stoorvogel, J. J., Smaling, E. M. A. and Janssen, B. H. (1993): Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. *Fert. Res.* 35:227–235.