

Détermination Des Formules D'engrais Minéraux Et Organiques Sur Deux Types De Sols Pour Une Meilleure Productivité De Maïs (*Zea mays* L.) Dans La Commune De Banikoara (Nord-Est Du Bénin)

Mouïnou A. Igue

Amour C. Oga

Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

Ibouraïman Balogoun

Aliou Saidou

Unité de Recherche Gestion Intégrée des Sols et des Cultures,
Laboratoire des Sciences du Sols, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université d'Abomey- Calavi

Guillaume Ezui

Sansan Youl

International Fertiliser Development Center (Lomé- Togo)

Gustave Kpagbin

Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

Abdoulaye Mando

Jean M. Sogbedji

International Fertiliser Development Center (Lomé- Togo)

doi: 10.19044/esj.2016.v12n30p362 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n30p362](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n30p362)

Abstract

The land degradation in Benin becomes a major concern for the durability of the production systems. For a better maize productivity in the North of the country, the experimentation was carried out during the production season 2012-2013, on two soil types: concretionned ferruginous tropical soil and hydromorphic ferruginous tropical soil. The objective was to validate in farmer's condition, the different mineral and organo-mineral formulas simulated by DSSAT model in order to improve EVDT-ETR- 97 maize grain yield in northern Benin. The experimental design for this experiment was a complete randomized bloc design with four replications. The ten treatments of experiment were essentially the N-P-K formula (115-30-75; 88-30-35; 88-30-35-manure; 42-30-35-manure; 74-20-23; 74-20-23-manure; 51-20-23; 51-20-23-manure; 0-0-0; 0-0-0-manure). Maize grain

yields were subjected to two-way analysis of variance (soil type and fertilizer formula). The results show that compared to hydromorphic tropical ferruginous soils, the concreted tropical ferruginous soils have increased yield grain harvest by 16.50%. In addition, the simulated doses of N, P and K (88-30-35 and 42-30-35-dung-manure) have induced the high yields respectively 5353.67 ± 844.39 and 3391 ± 533.65 kg / ha. The contribution of organo-mineral fertilizers through cow dung was positive on the improvement of the maize yield. The formula N88P30K35-manure induced an increase of 10.51% compared to the N88P30K35 combination. On the other hand, the N42P30K35F treatment increased the yield of 13.06% compared to N42P30K35. Also, the results indicated that the yield of maize grain varied significantly depending on the soil type and applied treatments. In conclusion, the contribution of organic manure improved the fertility level of soils studied and the maize productivity.

Keywords: DSSAT model, soil fertility, optimum dose, mineral fertilizer, manure, Benin.

Résumé

La dégradation des terres agricole au Bénin devient un souci majeur pour la durabilité des systèmes de production. Pour une meilleure productivité de maïs dans la partie Septentrionale du pays, une expérimentation a été conduite au cours de la campagne agricole 2012-2013, sur les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés et ferrugineux tropicaux hydromorphes. L'objectif était de valider en milieu réel les différentes formules d'engrais minéraux et organo-minérales simulés par le modèle DSSAT pour l'amélioration du rendement moyen en grain du maïs EVDT ETR-97. L'essai comportant dix traitements a été installé suivant un dispositif de bloc aléatoire complet avec quatre répétitions. Les dix traitements concernés par l'étude sont essentiellement les différentes formules d'engrais N, P et K (115-30-75 ; 88-30-35 ; 88-30-35-Fumier ; 42-30-35-Fumier ; 74-20-23; 74-20-23-Fumier ; 51-20-23 ; 51-20-23-Fumier ; 0-0-0 ; 0-0-0-Fumier). Les rendements grains ont été soumis à une analyse de variance à deux facteurs (type de sols et doses d'engrais). Les résultats indiquent que comparativement aux sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés ont augmenté le rendement grain à la récolte de 16,50%. De plus, les doses simulées de N, P et K (88-30-35-Fumier et 42-30-35-Fumier) ont permis d'obtenir des rendements élevés respectifs de $5353,67 \pm 844,39$ et $3391 \pm 533,65$ kg/ha. L'effet de l'apport de la fumure organo-minérale à travers la bouse de vache s'est avéré positif sur l'amélioration du rendement moyen. Ainsi, la formule N88P30K35-Fumier a induit une augmentation de 10,51% par rapport à la combinaison

N88P30K35. Par contre, le traitement N42P30K35F a accru le rendement de 13,06% comparé à N42P30K35. Aussi, les résultats ont-ils indiqué que le rendement en grain de maïs a varié significativement ($P < 0,005$) selon le type de sol et les traitements appliqués. En définitive, l'apport de la fumure organique a amélioré le niveau de fertilité des sols étudiés ainsi que la production du maïs.

Mots clés : Modèle DSSAT, fertilité des sols, dose optimale, engrais minéraux, engrais organique, Bénin.

INTRODUCTION

L'agriculture des pays d'Afrique Subsaharienne est caractérisée par une faible productivité due à la baisse constante de la fertilité des sols (Worou, 1998 ; Saïdou *et al.*, 2012). Au Bénin, les faibles rendements des cultures sont souvent expliqués par les conditions pluviométriques défavorables, la pauvreté naturelle des sols en éléments nutritifs et la faible utilisation des intrants extérieurs (Saïdou *et al.*, 2003). Elle représente l'un des secteurs importants pour le pays en terme de croissance économique (environ 37% du Produit Intérieur Brut). Une diversité de culture y est pratiquée avec pour céréale prépondérante le maïs. Malgré son fort potentiel de rendement, la culture du maïs est caractérisée par une faible productivité, liée à la baisse de la fertilité des sols et à une mauvaise répartition des pluies au cours des campagnes agricoles (Lal, 2002).

En effet, l'utilisation abusive et inappropriée de matériels de travail du sol dans les exploitations agricoles, l'exportation des résidus de récolte et des chaumes ont contribué à des conditions favorables à la baisse du taux de la matière organique des sols, à la dégradation de leur structure (Balogoun, *et al.*, 2013) et par conséquent au déclin de leur fertilité (Mrabet *et al.*, 2001 ; Mrabet, et Moussadek, 2012). En d'autres termes, l'agriculture traditionnelle basée sur le labour intense et le travail du sol a montré son inadaptation aux nouvelles données climatiques et économiques et son incapacité de répondre aux principales questions relatives à la conservation des sols et de l'eau (Saïdou *et al.*, 2003). Il faut en effet noter que la plus part des terres du Bénin sont dominées par les sols ferrugineux tropicaux, couvrant ainsi 60% de la surface totale du pays (Agossou, 1983). Ces sols sont reconnus être pauvres en azote et en phosphore (Sanchez et Jama, 2002).

Une stratégie palliative à cette situation inquiétante passe forcément par une gestion rationnelle des terres agricoles. Elle se traduit par la promotion et l'application des fumures minérales et organiques. En matière de la qualité des sols, la matière organique représente l'indicateur principal et déterminant dans l'activité biologique (Mrabet et Moussadek, 2012). Elle a une influence majeure sur les propriétés physiques et chimique des sols

(Sanchez et Jama, 2002). Au Bénin, l'application des doses d'engrais en vulgarisation depuis quelques décennies continue d'être adoptée dans les différentes zones agroécologiques du pays sans compter sur la dégradation des sols et l'exigence des cultures en éléments nutritifs (Balogoun, 2012 ; Igué *et al.*, 2013). La culture de maïs étant exigeante en nutriments, requiert de ce fait la mise au point d'une formule adéquate d'engrais N-P-K pour une meilleure productivité. Pour y parvenir, le modèle de simulation DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) a généré plusieurs options d'engrais pour la fertilisation du maïs sur deux types de sol au Nord-Est du Bénin (Ezui *et al.*, 2011 ; Ezui *et al.*, 2012). Le but de la présente étude est de valider en condition paysanne ces différentes formules d'engrais.

La présente étude vise à : (1) caractériser l'état de fertilité naturel des sols ferrugineux tropicaux concrétionnés et celui des sols ferrugineux hydromorphes, (2) déterminer en milieu paysan les niveaux de rendement maïs grain selon les différentes formules d'engrais générées par le modèle DSSAT, (3) évaluer la valeur ajoutée d'une application combinée d'engrais minéraux et organique sur les deux types de sol étudiés.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude

L'essai a été conduit au Nord-Est du Bénin, dans le village d'Arbonga, Commune de Banikoara, localisé entre 10°50' et 11°30' latitude Nord et entre 2° et 2°40' longitude Est (Figure 1). La zone d'étude est caractérisée par un climat de type soudano-guinéen avec une longue période sèche et une seule saison des pluies. Les moyennes mensuelles varient entre 2 mm (Mars) et 280 mm (Août) de pluie. La pluviométrie varie beaucoup dans la zone d'étude d'une année à une autre et durant la période végétative. La température moyenne au cours de l'année est de 27,4°C. L'humidité relative varie dans le même sens que les températures maxima (33,9°C). Cette zone d'étude est dominée par les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes et les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés (Figure 2) (Igué, 2012)

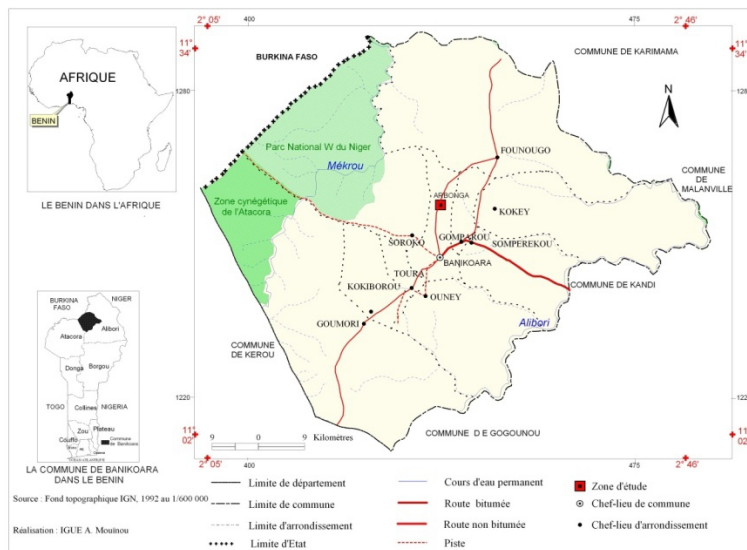


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

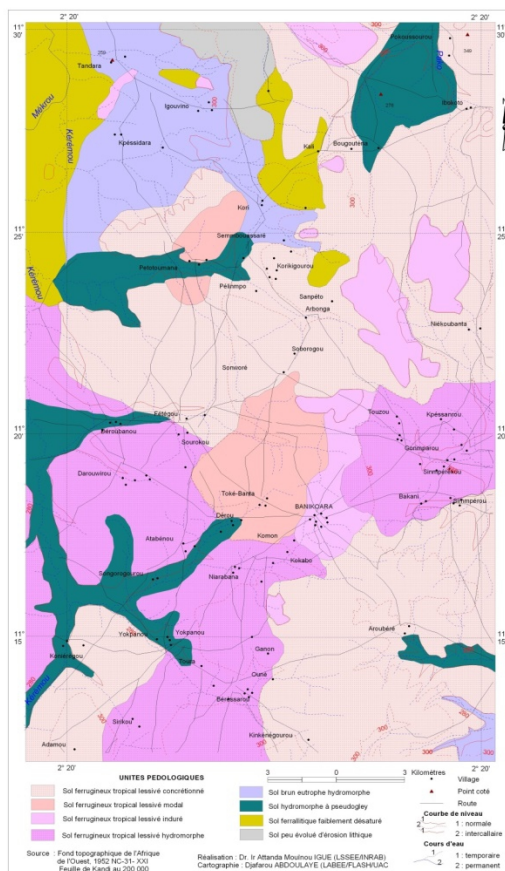


Figure 2: Carte des sols de l'arrondissement de Banikoara

Démarche de simulation

Le modèle CERES-Maize de DSSAT couplé aux systèmes d'information géographique (SIG) à travers le logiciel IDSS/GSSAT a été utilisé pour les simulations. CERES-maize est un modèle dynamique qui permet de simuler la croissance et le développement du maïs. Le modèle a été calibré pour les variétés de culture à utiliser. Ensuite, la simulation a été exécutée et une analyse saisonnière par l'application « Seasonal analysis » du modèle a permis de ressortir les meilleures options (meilleurs rendements, date de semis et doses optimales d'engrais) en comparant les résultats émanant de 30 années de données météorologiques (Ezui *et al.*, 2012).

Concernant les doses optimales d'engrais, nous nous sommes limités à l'estimation des besoins en nutriments au-delà desquels les rendements ne sont plus proportionnels aux applications d'engrais supplémentaires. Ceci a permis d'identifier les besoins réels en nutriments pour la production du maïs. Puis, à l'aide des SIG, les résultats de simulation ont été spatialisés sous forme de carte de recommandations par site spécifique.

Conduite de l'essai

L'essai a été réalisé en milieu réel dans le but de valider les options d'engrais minéraux et organo-minéraux simulées par le modèle DSSAT. Le choix des parcelles a été fait sur la base d'une enquête participative avec les producteurs à la base. Les essais ont été installés sur les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes et les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés. Le dispositif expérimental est un bloc aléatoire complet à quatre répétitions. La dimension des parcelles élémentaires est de 5,6 m de large et de 8 m de long. Les traitements étudiés sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes combinaisons d'engrais appliquées

Traitements	Dose de nutriments (kg/ha)				Quantité d'engrais pesée (kg) par parcelle élémentaire			
	N	P	K	F	Urée	TSP	KCl	Fumier
Dose simulée 1	115	30	75	0	1,120	0,292	0,560	0
Dose simulée 2	88	30	35	0	0,860	0,292	0,261	0
Dose simulée 2 + fumier	88	30	35	22,4	0,860	0,292	0,261	0,100
Dose simulée 3 + fumier	42	30	35	22,4	0,409	0,292	0,261	0,100
Dose simulée 4–	74	20	23	0	0,720	0,194	0,171	0
Dose simulée 4 + fumier	74	20	23	22,4	0,720	0,194	0,171	0,100
Dose simulée 5	51	20	23	0	0,496	0,194	0,171	0
Dose simulée 5 + Fumier	51	20	23	22,4	0,496	0,194	0,171	0,100
Témoin absolu	0	0	0	0	0	0	0	0
Témoin absolu + fumier	0	0	0	22,4	0	0	0	0,100

La technique de travail du sol a été un labour en billon suivi des opérations de semis et de sarclage. Le maïs de variété EVDT-ETR- 97 de cycle de 90 jours a été semé. Le rendement moyen de cette variété varie

entre 2 – 4 t/ha et un potentiel productif de 6 t/ha. Le semis a été fait sur des micros parcelles suivant un schéma cultural de 80 cm entre les lignes et de 40 cm entre deux poquets de plants (soit une densité de 62500 plants / ha avec deux plants par poquet).

La totalité de TSP et de KCL a été appliquée deux semaines après le semis (15 JAS). Ainsi, le P a été apporté sous forme de triple superphosphate (46 % de P_2O_5) tandis que le K sous de forme de chloure de potassium (60 % de K_2O) suivant les doses appropriées. La dose totale d'urée apportée par parcelle élémentaire a été appliquée selon deux fractions identiques respectivement les 15 et 45 JAS.

La récolte de maïs a été faite à la maturité physiologique suite à l'apparition des tâches noires au bout des grains et l'assèchement de toute la tige. Des échantillons d'épis ont été prélevés au champ puis étuvés au laboratoire à 70°C durant 72 heures. Le rendement gras a été caculé suivant la formule développée par Saïdou (1992) et qui se résume comme suit : $Rg = \frac{10.000 \times P \times MS \times n}{SI}$

Avec **SI** : Rendement en grains (kg MS/ha)
P : Poids total des épis pesés au champ (kg)
MS : Taux de matière sèche des épis
SI : Surface Interprétable (m^2)

Des échantillons de sol ont été prélevés à 0 – 20 cm de profondeur au niveau de chaque profil pédologique et ceci avant l'installation des essais. Les analyses chimiques des paramètres étudiés ont été effectuées au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Institut National de Recherche Agronomique du Bénin (INRAB). La détermination de la matière organique a été faite selon la méthode de Walkey & Black (1934), l'azote total par la méthode de Kjeldahl, le pH (eau) par électrode de verre dans un rapport sol/eau 1/2,5, les cations échangeables par spectrophotomètre, la capacité d'échange cationique par extraction au KCl et le phosphore assimilable par la méthode de Bary 1.

La procédure GML (Modèle linéaire général) du logiciel SAS version 9.2, a été utilisée pour l'analyse statistique du rendement de maïs. L'analyse statistique a consisté en une analyse de variance à deux facteurs (type de sols et doses d'engrais) en vue d'évaluer l'effet des différents traitements sur le rendement grain de maïs. Les différentes moyennes ont été comparées entre elles à l'aide du test de Student Newman Keuls au seuil de 5%.

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques chimiques des sols

Les résultats des paramètres chimiques des différents types de sol avant la mise en place de l'essai sont indiqués dans le tableau 2. Il ressort de

l'analyse de ce tableau que la teneur en matière organique a été plus élevée dans les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés que dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes sur l'horizon arable (0 – 20 cm de profondeur). Le faible taux de la matière organique ainsi que celui de l'azote total observés dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes traduisent un usage fréquent de celui-ci, entériné par des pratiques cultures inappropriées. Ce faible taux de la matière organique ainsi que celui de l'azote total observés dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes traduit une utilisation répétée de celui-ci, sans une restriction aucune ou moindre des éléments nutritifs, soit par enfouissement des résidus de récolte, soit directement par la fertilisation minérale (Igué, 2012). Ce résultat corrobore celui de Igué (2009) et de Yallou *et al.* (2010), qui ont montré que, non seulement la mise en culture des terres décroît la teneur en matière organique, mais également la durée du travail du sol. Igué *et al.* (2008) ont montré que la teneur en matière organique des sols cultivés décroît selon les systèmes de culture. Ainsi, dans le système déséquilibré (paysan pauvre), la matière organique constitue une limitation très sévère par rapport aux autres systèmes (moyen et équilibré) ou la limitation est moyenne. Igué (2009) a également indiqué que la matière organique dans la couche arabe (0-20 cm) décroît de 0,05 à 0,08% par an selon le type de sol. Le phosphore assimilable est moyennement élevé dans les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés que dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes. Par contre, les rapports Ca/Mg et Mg/K dans les deux types de sols ont montré un bon équilibre cationique et le pH reste faiblement acide dans les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés et mais fortement acide dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes. Selon Viennot (1969), les sols acides ont un impact négatif sur le rendement du maïs et sont jugés moyennement aptes pour cette culture. Ces sols ferrugineux tropicaux hydromorphes ont subi une forte pression caractérisée par un usage répété et associé à des pratiques agricoles inappropriées. La faible productivité de ces types de sols est également liée à leur position topographie de bas de pente dans le paysage, ce qui occasionne la lixiviation des éléments nutritifs de la surface du sol par ruissellement et par ricochet contribue à la dégradation chimique du sol (Igué *et al.*, 2014). La teneur en matière organique est trois fois plus faible comparativement à celle des sols ferrugineux tropicaux concrétionnés, ce qui est préjudiciable à leur productivité. Ce résultat entérine celui de Fikri *et al.* (2004) qui ont affirmé que la matière organique a une influence majeure sur les propriétés physiques et chimiques des sols et par ricochet le rendement des cultures.

Tableau 2 : Propriétés chimiques des sols avant l'installation de l'essai

Types de sol	Horizons 0 – 20 cm							
	MO (%)	Azote (%)	Saturation en base (%)	pH	CEC (méq/100g de sol)	P ass (ppm)	Ca/Mg	Mg/K
Ferrugineux concrétionnés	3,55	0,087	95	6,2	8,68	11,5	3	5
Ferrugineux hydromorphes	1,30	0,040	69,5	5,2	-	7	3,5	4,5

Effet des différents types du sol sur le rendement grain du maïs

La différence dans les rendements moyens a varié significativement avec les sols de production de la culture de maïs (Tableau 3). Le rendement en grains des terres concrétionnées a été plus élevé de plus de 1647,5 kg.ha⁻¹ comparé avec les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes (Tableau 4). Ces résultats montrent le potentiel plus productif des terres concrétionnées de cette zone. Cet état de fait, traduit un bon niveau de matière organique (3,55%) aussi bien que de l'azote total (0,087%) dans ce type de sol. En effet, les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés s'accommodent bien avec les différentes façons culturales des populations à la base et sont bien indiqués pour la culture de maïs. Cependant, la productivité des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes est acceptable avec un rendement moyen de 2,01 t/ha, mais moins productive que celle des sols ferrugineux tropicaux concrétionnés. Ces sols présentent des taux en matière organique de 1,30% et en azote total de 0,040% qui sont deux à trois fois moins que dans les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés. En conséquence, la nature du sol à cultiver paraît très importante, mais il est aussi indispensable de pratiquer les méthodes de conservation durable pour une meilleure productivité et durabilité des terres.

Tableau 3 : Tableau d'analyse de variance à un facteur considérant les sols et les diverses combinaisons d'engrais

Sous de variation	ddl	Valeur de F
		Rendements grains
Sols	1	72,06***
Traitements	9	4,02**
Sols*Traitements	9	2,50*

* : P<0,05 ; ** : P< 0,01 ; *** : P< 0,001

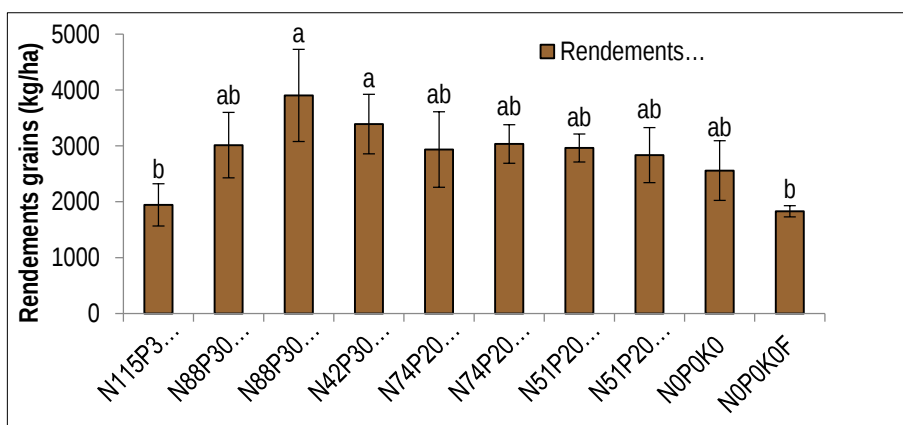
Tableau 4 : Effet des différents types de sols sur le rendement grain de maïs

Sols	Rendements grains (Kg ha ⁻¹)
Ferrugineux concrétionnés	3667,7±228,23a
Ferrugineux hydromorphes	2014,2 ±123,14b

Les valeurs suivies des lettres alphabétiques différentes sont significativement différentes (P<0,05) d'après le test de Student Newman-Keuls

Effet des différents traitements sur le rendement grain du maïs

L'apport des engrais minéraux contribue à l'amélioration de la santé des terres et du rendement des cultures. La Figure 3 présente l'effet des différentes combinaisons d'engrais sur le rendement grain de maïs. Les résultats de l'analyse de variance montrent que les différents traitements appliqués ont une influence significative sur le rendement en grain de maïs (Tableau 3). Ainsi, le niveau du rendement grain a varié selon les combinaisons. L'analyse des résultats de la Figure 3 révèle que la formule d'engrais $N_{88}P_{30}K_{35}F$ indique le meilleur rendement en grain de maïs ($3904,17 \pm 825,68$). Ce résultat montre que l'azote est le nutriment majeur qui influence le rendement des plantes et la concentration en protéine, surtout en combinaison avec l'engrais organique (Olson et Swallow, 1984 ; Grant, *et al.*, 1985). Dans une certaine mesure, l'azote constitue le principal élément limitant le rendement des cultures céréalières (Ziadi *et al.*, 2006). Ces résultats sont en rapport avec ceux de Saïdou *et al.* (2012) et de Batamoussi *et al.* (2014) qui ont montré que l'azote constitue le principal élément limitant le rendement des cultures céréalières. Ces observations témoignent du rôle crucial joué par la fertilisation azotée dans l'obtention d'un meilleur rendement céréalier (Walkley & Black, 1934 et 2003). En effet, les sols qui ont abrité l'essai possèdent un bon potentiel productif pour la culture du maïs de variété EVDT ETR 97 dont le rendement sans intrant extérieur équivaut à 2,5 t/ha (Figure 3). Cependant, une cause importante de la faible productivité des sols tropicaux serait la baisse de la fertilité du sol (Cattan *et al.*, 2014). Pour y remédier, l'apport de la fumure organique a été promu d'autant plus que la fumure minérale sans aucune restriction organique affecte les caractéristiques chimiques du sol, ce qui dénote d'ailleurs les limites de cette fumure.



Les barres d'erreurs représentent les erreurs standards

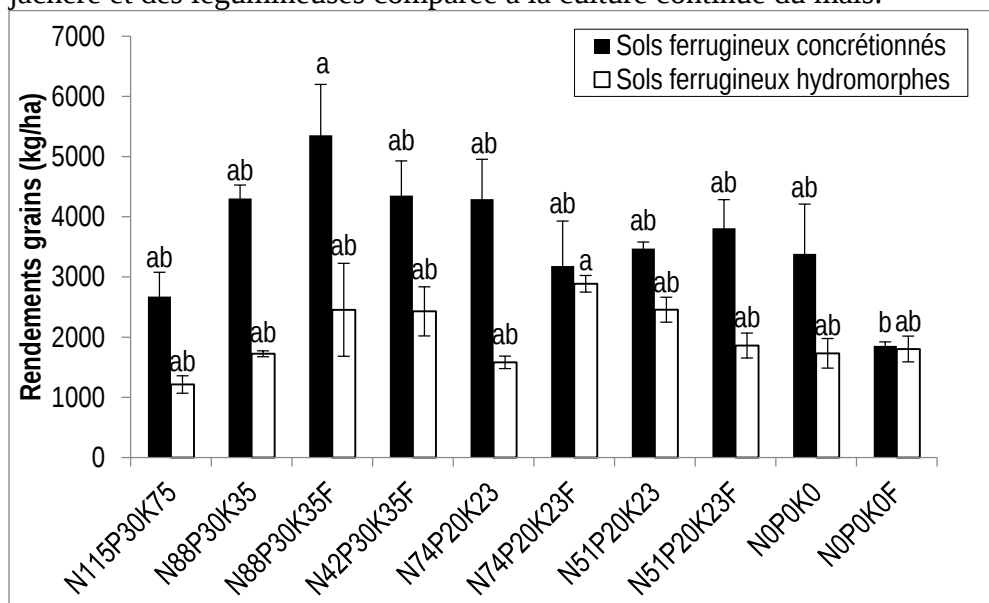
Les barres portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls

Figure 3 : Effet des différentes combinaisons d'engrais sur le rendement grain de maïs

Effet conjugué des différents types de sol et des traitements sur le rendement grain du maïs

L'interaction des types de sol et des différentes combinaisons d'engrais minéraux et organo-minérales a été significative ($P < 0,5$) et déterminant dans le rendement en grains de maïs pendant une année de culture (Tableau 3). En effet, les rendements ont varié énormément considérant les différents traitements et les types de sol. La Figure 4 présente l'effet conjugué des différents types de sol et des traitements appliqués sur le rendement grain du maïs. L'analyse des résultats de cette figure montre que, quel que soit le traitement, les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés présentent des rendements en grain de maïs les plus élevés. Ces sols disposent ainsi un meilleur pouvoir productif comparé aux sols ferrugineux tropicaux hydromorphes. Ce constat serait la conséquence de la richesse de ce type de sol en matière organique et en azote (Tableau 2). Cependant, la faible productivité des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes est due aux différentes pratiques agricoles inappropriées affectant négativement le niveau de la matière organique et celui de l'azote dans le sol. En effet, le traitement N88P30K35F s'accommode mieux avec les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés et exprime de ce fait le rendement le plus élevé ($5353,67 \pm 844,39$ kg/ha) comparativement aux autres traitements (Figure 4). Par contre, dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, c'est plutôt le traitement N74P20K23F qui a induit le rendement élevé ($2887,33 \pm 137,76$ kg/ha). Ces observations ont été entérinées par les travaux de Balogoun *et al.* (2013), qui ont montré que pour un rendement élevé de maïs, il serait nécessaire d'apporter une dose de 80,5 kg N/ha. En effet l'aboutissement d'un bon rendement dépend non seulement de la nature du sol, mais également de la quantité d'azote disponible dans le sol pour l'alimentation nutritionnelle de la plante. L'apport du fumier organique (bourse de vache) a contribué de façon significative ($P < 0,05$) à l'augmentation du rendement (Figure 4) à travers l'amélioration de la fertilité du sol et probablement par sa matière organique. Ainsi, l'efficacité de l'effet combiné des engrais minéraux et organiques apparait avec le traitement N88P30K35F et entraîne une augmentation de 10,51% du rendement comparé au traitement N88P30K35 dans les sols ferrugineux concrétionnés. Quant aux sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, c'est plutôt le traitement N74P20K23F et améliore le rendement de 13,06% de plus que celui de N74P20K23. Les résultats montrent également que les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés et ferrugineux tropicaux hydromorphes possèdent de bonne aptitude à la production du maïs. Cette capacité se traduit par les rendements obtenus $3385 \pm 825,47$ et $1731 \pm 245,89$ kg/ha dans les traitements témoins (Figure 4). En général, le traitement N115P30K75 a induit un rendement faible comparativement aux traitements N88P30K35 et N74P20K23 sur les

deux types de sols du fait que l'optimum a été déjà atteint. Cet optimum correspond aux niveaux à partir desquels les augmentations des rendements obtenus sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les doses d'éléments fertilisants s'élèvent. Ce qui est conforme à la loi de Mitscherlich. Selon Sileshi *et al.*, (2009) les amendements de dose d'engrais recommandé apportés après la jachère augmente le rendement grain maïs de 25%. Ceci montre que la matière organique issue des légumineuses a un effet synergique avec l'engrais minéral et que les rotations de légumineuse peuvent jouer un grand rôle dans la réduction du besoin de l'engrais minéral. De même, Detchinli and Sogbedji, (2014) ont montré que la culture continue du maïs a permis d'augmenter le rendement de maïs grain de 6,2 à 60,3% dans les années de jachère de 2002-2003 et 2006-2007 et de 5,1 à 8,2% si l'on se base uniquement sur la période de 2002-2003. Pendant les mêmes périodes de l'étude, la culture du maïs basée sur l'utilisation du mucuna et de niébé a eu le rendement de maïs grain augmenté de 28,6 à 47,6%, de 22 à 260% et de 28,3 à 136,1% respectivement en année de jachère, de non jachère et des légumineuses comparée à la culture continue du maïs.



Les barres d'erreurs représentent les erreurs standards

Les barres portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'après le test de Student Newman-Keuls

Figure 4 : Effet conjugué des différents types de sol et des traitements appliqués sur le rendement grain du maïs

CONCLUSION

La présente étude a examiné l'effet de deux types de sol et de l'application d'engrais minéraux et organo – minéraux sur le rendement

grain de maïs de variété EVDT ETR 97. Au terme de cette étude, les différentes combinaisons d'engrais minéraux et organo-minéraux ont été prépondérantes dans la productivité des terres. En effet, les résultats montrent que, les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés ont exprimé un bon potentiel de rendement grain de maïs. Seule la formule N88P30K35F a induit un meilleur rendement en grain de maïs dans les sols ferrugineux tropicaux concrétionnés. Par contre, dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, c'est plutôt la combinaison N74P2023F qui a été identifiée comme meilleure. D'une manière générale, les rendements ont été positivement corrélés avec le niveau de l'azote appliqué au sol. Il convient également de signaler que, malgré l'effet bénéfique des engrais minéraux dans l'accomplissement d'un meilleur rendement, la fumure organo-minérale apparaît convenable pour assurer une meilleure productivité et le maintien durable de la fertilité des sols agricoles.

References:

1. Agossou V., 1983. Les sols Béninois et leurs Potentialités Agricoles. Projet Agro- Pédologie, Etude N°260, 10 p + annexes.
2. Balogoun I., Saïdou A., Ahoton L. E., Adjanooun A., Amadji G. L., Ezui G., Youl S., Mando A., Igué A. M. et Sinsin B. A., 2013. Détermination des formules d'engrais minéraux et des périodes de semis pour une meilleure production du maïs (*Zea mays* L.) au Sud et au Centre Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, ISSN sur papier : 1025-2355, Numéro spécial Fertilité du maïs : 1-25.
3. Balogoun I., 2012. Essais de validation des formules d'engrais et des périodes de semis recommandées par le modèle DSSAT pour la production de maïs (*Zea mays* L.) au Sud et Centre Bénin. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 78 p.
4. Batamoussi M. H., Oga C. A., Sèkloka E., Saïdou A., 2014. Effects of different formulations of mineral fertilizers on the agronomic parameters of maize (*Zea mays*) in the climate change conditions of central Benin. *International Journal of Science and Advanced Technology* (ISSN 2221-8386), 4 (6) June 2014 <http://www.ijst.com>.
5. Cattan P., Letourmy P., Zagrè B., Minougou A. & Compaoré E., 2001. Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso. *Cahiers d'Agriculture*, 10 (3): 159-172.
6. Ezui G., Igué A.M., Attiogbe P., Mando A., Sogbedji J.M., Pare T., Youl S., Wilkens P., Singh U., Gist O., 2011. Mise à jour des recommandations d'engrais pour la production du maïs en Afrique de l'Ouest : Cas du Bénin. Poster, IFDC, Lomé, Togo.

7. Ezui G. S., Youl. Igué A.M, Balogoun I., Dossa E. et Ouédraogo J., 2012. Rapport d'atelier sur la simulation de DSSAT pour la culture du maïs EVDT et SIM 2000 pour les sols de Nanébou, de Arbonga et de Pédarou au Nord-Bénin. IFDC, Lomé, Togo
8. Fikri K., Ismaili M., Fikri B. S., Tribak A., 2004. Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation. Impact du phénomène au Maroc'', *Science et changements planétaires. Sécheresse*, 15(4) :307-320.
9. Grant C. A., Stobbe E.H., Racz G. J., 1985. The effect of fall applied N and P fertilizers and timing of N application on yield and protein content of winter wheat grown on zero-tilled land in Manitoba. *Canadian Journal of Soil Sciences*, 65: 621–628.
10. Igué A.M., Agossou V. et Ogouvidé F.T., 2008. Influence des systèmes d'exploitation agricole sur l'intensité de la dégradation des terres dans le département des Collines au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique*, 61: 39-51.
11. Igué A.M., 2009. Impact of Land Use on Chemical and Physical Soil Characteristics in Collines, Benin. *Advances in Geo Ecology* 40: 72-80.
12. Igué A.M., 2012. Etude Agro-pédologique à l'échelle de 1/50.000 à Arbonga dans la commune de Banikoara (Département de l'Alibori). LSSEE, Cotonou, Bénin, 33 p.
13. Igué A.M., Saidou A., Adjanohoun A., Ezui G., Attiogbe P., Kpagbin G., Gotoechan-Hodonou H., Youl S., Pare T., Balogoun I., Ouedraogo J., Dossa E., Mando A. et Sogbedji J. M., 2013. Application et adaptation de l'approche intégrée DSSAT-SIG à la formulation des doses d'engrais pour la culture du maïs au Sud et au Centre du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) - Numéro spécial Fertilité du maïs – Janvier 2013. Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net>*
14. Igué A. M., Gaiser T., Stahr K., 2014. Landscape related variability of physical and chemical soil characteristics in the Moist Savanna of Benin. *International Journal of AgriScience*, 4(1): 28-48, January 2014. www.inacj.com.
15. Kodjovi Sotomè Detchinli, Jean Mianikpo Sogbedji. Assessment of the Profitability and the Effects of Three Maize-Based Cropping Systems on Soil Health in Western Africa. *American Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 2, No. 6, 2014, pp. 321-329. doi: 10.11648/j.ajaf.20140206.25.
16. 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.
17. Lal R., 2002. Carbon sequestration in dryland ecosystems of west Asia and North Africa'', *Land Degradation & Development*, 13 (1): 45-59,
 18. Mrabet R., Saber N., EL-Brahli A., Iahlou S., Bessam F., 2001. 'Total Particulate organic matter and structural stability of a calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco'. *Soil and Tillage Research*, 57(1): 225-235.
 19. Mrabet R., and Moussadek R., 2012. Conservation agriculture in dry areas of Morocco: Rational for agricultural sustainability under climate and socio-economic change, International conference of agricultural Engineering, Valencia. Spain, [Online] Available http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C0458.pdf.
 20. Olson R. V., Swallow C. W., 1984. Fate of labeled nitrogen fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 583–586.
 21. Robert M., 1996. Aluminum toxicity a major stress for microbes in the environment. p 227–242 In: Huang, P.M. *et al.*, (eds.). *Environmental Impacts*. Vol. 2, Soil component interactions. CRCpress.
 22. Saïdou A., 1992. Effets de l'apport de différents végétaux sur la fertilité d'un sol ferrallitique (terre de barre) du sud du Bénin. Thèse d'Ingénieur Agronome FSA/UAC, Abomey-Calavi, Bénin, 71 p.
 23. Saïdou A., Janssen B. H., Temminghoff E. J. M., 2003. Effects of soils properties, mulch and NPK fertilizer on maize yields and nutrient budgets on ferralitic soil in southern Benin. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100: 265-273.
 24. Saïdou A., Kossou D., Acakpo C., Richards P., Kuyper W.T., 2012. Effects of farmers' practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in Central Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(1): 363-376.
 25. Sanchez P. A. and Jama B. A., 2002. Soil Fertility Replenishment Takes off in East and southern Africa. International centre for Research in Agro forestry, Nairobi, Kenya. 352 p.
 26. Sileshi G, Akinnifesi FK, Ajayi OC, Place F. 2009. Evidence for impact of green fertilizers on maize production in sub-Saharan Africa: a meta-analysis. ICRAF Occasional Paper No. 10. Nairobi: World Agroforestry Centre

27. Viennot, 1969. Carte pédologique de reconnaissance du Dahomey au 1/200000. Feuille Tanguéta. Etude N° 110, LSSEE, Cotonou, 41p. + annexes
28. Walkley A. and Black I. A., 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method”, *Soil Science*, 37(1): 29-38.
29. Walkley A., Black C. A., 2003. Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique dans les sols agricoles: méthode Walkley-Black modifiée Centre d’expertise en analyse environnementale du Québec et Ministère de l’agriculture, des pêcheries et de l’alimentation du Québec, MA. 1010 – WB 1.0, Ministère de l’environnement du Québec, 2003, 10 p.
30. Worou S.K., 1998. Soils dominants du Togo. Corrélation avec la Base de référence mondiale. In Rapport sur les ressources en sol du monde 98. [En ligne]. Disponible sur le «[http : www.Fao.org/DOCREP/005/Y3948F/y3948f09.html](http://www.Fao.org/DOCREP/005/Y3948F/y3948f09.html) #Top of page». Consulté le 12/10/2010
31. Yallou C.G., Aïhou K., Adjanohoun A., Baco M. N., Sanni O. A., Amadou L., 2010. Répertoire des variétés de maïs vulgarisées au Bénin. Document technique d’information et de vulgarisation. Dépôt légal N° 4920 du 03/12/2010, du 4^{ème} trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. ISBN: 978-99919-368-3-3-4, 19 p.
32. Ziadi N., Gagnon B., Rochette P., Angers D., Chantigny M., 2006. Nitrogen use efficiency and N₂O emission reduction in corn receiving mineral fertilizers. *Rapport de projet*, 12 p.