

# IDENTIFICATION ET HIÉRARCHISATION D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS DÉTERMINANTS POUR LA PRODUCTION DU MAÏS (*ZEAMAYS* L.) SUR SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX AU SUD DU TOGO

Gbénonchi MAWUSSI<sup>1,\*</sup>, Ayi Koffi ADDEN<sup>2</sup>, Jean Mianikpo SOGBEDJI<sup>1</sup>, Kwasi Dzola AYISAH<sup>1</sup>, Komla SANDA<sup>1</sup>

## RESUME

Des essais agronomiques ont été conduits sur sols ferrugineux tropicaux dans un cycle biennal (2013-2014) auprès de 6 producteurs dans leurs champs familiaux. Les cultures de coton et de niébé servant de précédents culturaux à un essai soustractif sur le maïs (*Zea mays* L.) ont été menées en 2013. L'essai soustractif sur la culture de maïs a été conduit en 2014 avec les 6 producteurs repartis en deux groupes dont 3 producteurs avec précédent cultural coton et 3 producteurs avec précédent cultural niébé. Il a consisté en une combinaison de trois éléments majeurs dont l'azote (N), phosphore (P) et potassium (K) et en l'omission d'un élément en apportant les deux autres à des doses non-limitatives de 90 kg/ha de N, 30 kg/ha de P et 30 kg/ha de K. Le dispositif expérimental utilisé était celui en blocs complètement aléatoires à trois répétitions. Les rendements du maïs sont moins influencés par le précédent cultural. Les taux de recouvrement indiquent que l'azote a été l'élément minéral le plus utilisé par le maïs avec une valeur supérieure à 31% contre 11 et 9% pour P et K respectivement. Les résultats permettent de classer les trois éléments nutritifs étudiés par besoin d'apport prioritaire à la culture de maïs par ordre décroissant de N>P>K. L'amélioration des rendements de maïs sur sols ferrugineux tropicaux au Sud du Togo nécessite une sécurisation et un renforcement de la fertilisation minérale prioritairement à base de N et de P avec un plus grand besoin de N.

**Mots clés :** Togo, sol, précédent cultural, fumure minérale, rendement, maïs.

## ABSTRACT

### Identification and prioritization of determinant nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) production on tropical ferruginous soils in southern Togo

Agronomic trials were conducted on tropical ferruginous soils in a 2-yr cycle (2013-2014) in 6 family-based fields. Cotton and cowpea crops were grown in 2013 and a maize (*Zea mays* L.)-based nutrient omission trials (NOT) were in 2014. Nutrient omission trial (NOT) was conducted on maize in year 2014 with these producers left in two groups to identify and prioritize limiting mineral nutrients in maize (*Zea mays* L.) production. The 6 family-fields included 3 fields with preceding cotton and 3 fields with preceding cowpea. The trial consisted of a combination of the three macro elements including nitrogen (N), phosphorous (P) and potassium (K) by omitting one of them and providing the other two at non-limiting application rates of 90 kg/ha of N, 30 kg/ha of P and 30 kg/ha of K. The experimental design was a randomized complete block with three replications. Maize yields are less influenced by the previous crop. The recovery rate of N, P and K indicate that nitrogen was the most used mineral element by maize with a recovery rate above 31% against 11 and 9% for P and K, respectively. The results show that N is the most limiting nutrient in maize production followed by P under both cotton and cowpea based cropping systems. The magnitude of nutrient need was N> P> K, indicating that N and P are the most needed crop nutrients towards improving maize grain yields in the studied agro ecosystem.

**Key words:** Togo, soil, cropping history, mineral fertilizer, maize yield

<sup>1</sup> - Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA), Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo

<sup>2</sup> - Institut de Conseil et d'Appui Technique (ICAT), Unité Technique Café Cacao (UTCC), Kpalimé- Togo

\* Correspondance, e-mail : [gmawussi@gmail.com](mailto:gmawussi@gmail.com)

Correspondance Téléphone : 00(228) 90 19 46 28

## 1- Introduction

L'économie togolaise reste dépendante du secteur agricole qui contribue à 45% du produit intérieur brut (Litsé *et al.*, 2011) et constitue la principale source de revenus et d'emplois pour environ 70% de la population active. Les exploitations sont de petites tailles et les méthodes culturales dans beaucoup de cas restent encore ancestrales caractérisées par l'emploi d'outils rudimentaires et par une faible utilisation d'intrants (semences améliorées, fertilisants minéraux et organiques etc.) contribuant ainsi à la dégradation continue des sols. Des auteurs estiment que la mise en culture des sols tropicaux par des méthodes culturales traditionnelles entraîne une perte de fertilité et de faibles rendements des

cultures (Pichot *et al.*, 1981; Pieri, 1989; Sedogo, 1993). En Afrique subsaharienne, les éléments nutritifs exportés par les récoltes des sols déjà pauvres ne sont pas remplacés de manière adéquate et l'utilisation d'engrais minéraux ou organiques en cultures vivrières reste insignifiante (Akanza et Yao-Kouamé, 2011). Dans les conditions actuelles de production agricole au Togo, la culture céréalière est de type pluvial sur des sols peu productifs naturellement pauvres en éléments minéraux. La fertilité des terres constitue le facteur limitant de l'accroissement des rendements. Devant cette situation, le déficit majeur pour les producteurs reste l'amélioration des rendements de cultures vivrières par l'apport d'engrais minéraux en particulier le rendement du maïs qui est la première principale culture vivrière. Ceci

peut être obtenu par l'application de nouvelles formules de fumure minérale dans des systèmes de cultures basés sur des précédents culturaux. Lendres (1992) signale que le maïs, en succédant au coton bénéficie de l'arrière effet de la fertilisation de celui-ci et améliore ainsi son rendement. Deux précédents culturaux arachide et niébé ont augmenté les rendements du sorgho de 54 et 64% respectivement sur sols ferrugineux tropicaux au Burkina Faso (Bado, 2002).

La zone de Notsé est l'une des zones cotonnières du Togo où dominant dans les systèmes de cultures les céréales et les légumineuses qui se succèdent généralement avec le coton dans l'assolement sur les exploitations familiales. La détermination des besoins prioritaires par rapport aux trois principaux nutriments (N, P et K) est donc nécessaire pour améliorer durablement la production du maïs dans cette zone agro écologique. Cette étude a pour objectif principal d'identifier et d'hierarchiser les éléments nutritifs les plus limitatifs dans la production du maïs. Il s'agissait spécifiquement d'évaluer l'effet combiné des formules de fumure minérale et des précédents culturaux coton et niébé sur le rendement du maïs et de déterminer le taux de recouvrement de chacun des éléments nutritifs N, P et K en fonction de la fumure minérale et du précédent cultural.

## 2- Matériel et méthodes

### 2.1- Zone de l'étude

L'étude a été conduite sur les exploitations familiales de 6 producteurs volontaires du village de Hahomègbé situé sur l'axe routier Notsé - Kati. Il s'agit d'une zone cotonnière où le maïs et le niébé occupent respectivement le premier rang parmi les céréales et les légumineuses cultivées. Le choix des producteurs a été fait avec les agents des structures d'encadrement des paysans, en occurrence ceux de l'Institut de Conseil et d'Appui Technique (ICAT). La distribution annuelle des pluies (1200 mm) est bimodale avec des pics en juin et septembre. Les sols ferrugineux tropicaux sont les plus dominants et occupés pour la production du coton, de céréales et de légumineuses. Les moyennes annuelles des températures maximales et minimales sont respectivement 24°C et 34°C.

### 2.2- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté était celui en blocs complètement randomisés à trois répétitions. Le précédent cultural et la formule de fumure minérale sont les deux facteurs étudiés. Le dispositif expérimental est constitué de 3 blocs représentant les précédents culturaux et de 5 parcelles élémentaires représentant les formules de fumure minérale. L'essai a consisté en une combinaison de trois éléments majeurs N, P et K, à omettre un élément en apportant les deux autres à des doses maximales déterminées sur la base des doses recommandées et appliquées dans la zone d'étude pour la culture de maïs : 200 kg/ha de NPK 15-15-15 et 100 kg/ha d'urée (46% N). Pour cette raison, cinq différents traitements ont été constitués :

- 1-  $N_0P_0K_0$  : témoin sans apport des éléments N, P et K ;
- 2-  $N_0P_{30}K_{30}$  : apport de 30 kg/ha de P et 30 kg/ha de K sans azote ;
- 3-  $N_{90}P_{30}K_0$  : apport de 90 kg/ha de N et 30 kg/ha de P sans

potassium ;

- 4-  $N_{90}P_0K_{30}$  : apport de 90 kg/ha de N et 30 kg/ha de K sans phosphore ;
- 5-  $N_{90}P_{30}K_{30}$  : fumure complète, apport de 90 kg/ha de N, 30 kg/ha de P et 30 kg/ha de K.

### 2.3- Gestion du sol et de la culture

Les essais agronomiques ont été conduits sur sols ferrugineux tropicaux pendant deux ans (2013 et 2014) auprès de 6 producteurs dans leurs champs familiaux. Les cultures de coton et de niébé devant servir de précédents culturaux à l'essai soustractif sur le maïs ont été menées durant la campagne agricole de 2013. L'essai soustractif sur la culture de maïs a été conduit en 2014 avec les 6 producteurs repartis en deux groupes dont 3 producteurs à précédent cultural coton et 3 producteurs à précédent cultural niébé. Les parcelles élémentaires mesuraient chacune 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m). Les quatre types d'engrais minéraux, l'urée 46% N, le triple super phosphate 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, le chlorure de potassium 60% K<sub>2</sub>O et le complexe NPK 15-15-15, ont été appliqués au 15<sup>e</sup> jour après le semis. Seule l'urée a été apportée une seconde fois en fumure d'appoint au 45<sup>e</sup> jour après le semis.

La variété de maïs "Ikéné" très répandue dans la zone d'étude était le matériel végétal utilisé. Les engrais minéraux utilisés sont : l'urée 46% N ; le triple super phosphate 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, le chlorure de potassium 60% K<sub>2</sub>O et le complexe NPK 15-15-15. Le mode de préparation du sol appliqué à toutes les parcelles était le labour manuel effectué à la daba. Le semis a été fait en ligne et en poquet. La profondeur de semis était d'environ 3 cm avec des écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre les poquets. La quantité de semence était de 2 grains par poquet. Seul le désherbage manuel à la daba a été pratiqué. Chaque parcelle a bénéficié de trois sarclages manuels: le premier effectué 14 jours après semis, le second 21 jours après le premier et le troisième associé au buttage a été réalisé 21 jours après le second. Les engrais ont été épandus en bandes et recouverts de terre immédiatement après l'apport. Le buttage a été réalisé manuellement à la daba après le second épandage de la fumure.

### 2.4- Collecte et analyse des données

Les rendements ont été déterminés à la récolte sur des carrés de rendement de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m). Les paramètres mesurés pour chaque carré de rendement étaient le poids des grains et de la paille. La technique de récolte a consisté à détacher l'épi des spathes et à garder les spathes sur les tiges. La paille et les grains ont été séchés au soleil et leur poids mesuré à l'aide d'un peson. Dans chaque cas, le rendement moyen de chaque groupe de 3 producteurs est exprimé en kg/ha au taux d'humidité de 14%. Le taux de recouvrement d'un élément permet de connaître en pourcentage la quantité de cet élément que la culture a utilisée. Le taux de recouvrement (TR en %) est calculé par la formule mathématique suivante :

$$TR(\%) = \frac{(N, P \text{ ou } K)_{pf} - (N, P \text{ ou } K)_{pnf}}{(N, P \text{ ou } K)_{Qt}} \times 100$$

(N, P ou K)<sub>pf</sub>: N, P ou K prélevé par les plantes de la parcelle fertilisée

(N, P ou K)<sub>pnf</sub>: N, P ou K prélevé par les plantes de la parcelle non fertilisée

(N, P ou K)Qt : Quantité totale de N, P ou K apportée par les fertilisants.

Pour cela, des échantillons composites de grain de maïs d'environ 250 g chacun et des échantillons de plants de maïs entiers, à raison de trois plants choisis au hasard sur chaque parcelle élémentaire ont été utilisés pour la détermination des teneurs en azote total, phosphore total et potassium au laboratoire. Les plants de maïs entiers arrachés ont été hachés, mélangés, séchés au four à 60°C jusqu'à masse constante et broyés par parcelle (Sogbedji *et al.*, 2006). Ainsi, les échantillons de paille et de grain ont été analysés par des méthodes standard de Kjeldhal pour l'azote total, de Dabin modifiée pour le phosphore total et du spectrophotomètre d'absorption atomique pour le potassium (IITA, 1982).

La hiérarchisation du besoin de maïs en éléments minéraux N, P et K a été faite suivant le principe d'essais soustractifs et sur la base des rendements en maïs grain (IFDC, 2009).

L'ensemble des données (rendements grain et paille) a été saisi dans le tableur Excel et l'analyse de variance (ANOVA) réalisée avec le logiciel CropStat. La séparation des groupes homogènes a été faite par le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

### 3- Résultats

#### 3.1- Effet combiné du précédent cultural et de la fumure minérale sur le rendement du maïs

Le Tableau I présente les rendements moyens en maïs grain et paille des deux groupes de producteurs en fonction des précédents culturaux et des différents traitements de fumure. Il ressort de ce tableau deux groupes homogènes distincts de traitements aussi bien pour le rendement grain que pour le rendement paille. Les traitements  $N_{90}P_{30}K_{30}$ ,  $N_{90}P_{30}K_{0}$  et  $N_{90}P_{0}K_{30}$  forment le meilleur groupe qui diffère de façon significative du groupe formé par le témoin ( $N_0P_0K_0$ ) et le traitement  $N_{90}P_{30}K_{30}$ . On constate que l'absence de N au niveau du traitement  $N_0P_{30}K_{30}$  a entraîné une perte significative de rendement par rapport à la fumure minérale complète  $N_{90}P_{30}K_{30}$ . En effet, une perte de rendement en maïs grain de près de 56,69% (1630 kg contre 2875 kg) sous précédent cultural coton, de 59,31% (1459 kg contre 2460 kg) sous précédent cultural niébé et une perte en rendement paille de près de 61,35% (3670 kg contre 5982 kg) sous précédent cultural coton et de 76,84% (3581 kg contre

4660 kg) sous précédent cultural niébé ont été enregistrées. Malgré l'absence du P et du K respectivement au niveau des traitements  $N_{90}P_{0}K_{30}$  et  $N_{90}P_{30}K_{0}$ , ces deux traitements permettent d'obtenir des rendements en maïs grain et paille compétitifs à ceux de la fumure minérale complète  $N_{90}P_{30}K_{30}$  (Tableau I). Bien que les traitements  $N_{90}P_{30}K_{0}$ ,  $N_{90}P_{0}K_{30}$  et  $N_{90}P_{30}K_{30}$  forment un groupe homogène, on constate en numérique que les rendements moyens du traitement  $N_{90}P_{30}K_{0}$  sont les plus élevés. Suivant le principe des essais soustractifs et sur la base des rendements (Tableau I), il ressort que le maïs a besoin en toute première priorité de N

**Tableau I-** Effet combiné du précédent cultural et de la fumure minérale sur le rendement moyen en maïs grain et paille

Traitements	Rendement grain (kg/ha)		Rendement paille (kg/ha)	
	Précédent coton	Précédent niébé	Précédent coton	Précédent niébé
$N_0P_0K_0$	1435 <sup>b</sup> ±20	1310 <sup>b</sup> ±19	3460 <sup>b</sup> ±23	3350 <sup>b</sup> ±22
$N_{90}P_{30}K_{30}$	1630 <sup>b</sup> ±27	1459 <sup>b</sup> ±18	3670 <sup>b</sup> ±20	3581 <sup>b</sup> ±19
$N_{90}P_{30}K_0$	3015 <sup>a</sup> ±33	2620 <sup>a</sup> ±35	6205 <sup>a</sup> ±28	5210 <sup>a</sup> ±32
$N_{90}P_0K_{30}$	2715 <sup>a</sup> ±22	2340 <sup>a</sup> ±34	5080 <sup>a</sup> ±29	4890 <sup>a</sup> ±30
$N_{90}P_{30}K_{30}$	2875 <sup>a</sup> ±23	2460 <sup>a</sup> ±29	5982 <sup>a</sup> ±31	4660 <sup>a</sup> ±33

puisque la formule  $N_{90}P_{30}K_{30}$  réduisait considérablement le rendement suivi de P étant donné que la formule  $N_{90}P_0K_{30}$  réduisait également le rendement mais dans une moindre mesure par rapport à la soustraction de N, tandis que la soustraction de K dans la formule  $N_{90}P_{30}K_0$  n'a pas influencé le rendement quand N et P sont appliqués en quantité suffisante. La hiérarchisation est donc N>P>K. Par ailleurs, les résultats montrent que les rendements moyens en maïs grain et paille de tous les traitements de fumure minérale sont légèrement plus élevés lorsqu'ils ont été installés sur des parcelles à précédent cultural coton. Cependant, la différence de rendement entre le précédent cultural coton et le précédent cultural niébé n'est pas significative pour tous les traitements.

#### 3.2- Taux de recouvrement des éléments nutritifs N, P et K

Pour un même élément minéral N, P et K, les résultats ne révèlent aucune différence significative entre les traitements de fumure minérale en ce qui concerne les taux moyens de recouvrement. La comparaison des taux moyens de recouvrement des trois éléments minéraux indique que l'azote a les taux de recouvrement les plus élevés compris entre 31,15 et 33,30% contre un taux de recouvrement de P et K compris entre 8,07 et 13,12% (Tableau II).

**Tableau II-** Taux moyen de recouvrement de N, P et K (%) en fonction du précédent cultural et de la fumure minérale

Traitements	Recouvrement de N %		Recouvrement de P %		Recouvrement de K %	
	Précédent coton	Précédent niébé	Précédent coton	Précédent niébé	Précédent coton	Précédent niébé
$N_0P_0K_0$	-	-	-	-	-	-
$N_{90}P_{30}K_{30}$	-	-	11,90 <sup>a</sup> ±06	9,7 <sup>a</sup> ±08	9,11 <sup>a</sup> ±03	8,6 <sup>a</sup> ±07
$N_{90}P_{30}K_0$	33,30 <sup>a</sup> ±13	30,12 <sup>a</sup> ±12	13,12 <sup>a</sup> ±08	11,05 <sup>a</sup> ±06	-	-
$N_{90}P_0K_{30}$	32,23 <sup>a</sup> ±12	29,22 <sup>a</sup> ±11	-	-	8,9 <sup>a</sup> ±06	8,22 <sup>a</sup> ±05
$N_{90}P_{30}K_{30}$	31,15 <sup>a</sup> ±11	28,19 <sup>a</sup> ±10	12,09 <sup>a</sup> ±09	10,18 <sup>a</sup> ±307	9 <sup>a</sup> ±05	8,07 <sup>a</sup> ±04

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Newman-Keuls.



#### 4- Discussion

Les résultats indiquent que les meilleurs rendements moyens en maïs grain et paille ont été obtenus avec les différents traitements contenant N :  $N_{90}P_{30}K_0$ ,  $N_{90}P_0K_{30}$  et  $N_{90}P_{30}K_{30}$  et c'est en absence de N dans la formule de fumure minérale que les rendements sont les plus bas. On observe également que la fumure minérale sans P ( $N_{90}P_0K_{30}$ ) ou sans K ( $N_{90}P_{30}K_0$ ) permet d'obtenir des rendements compétitifs à ceux de la fumure minérale complète ( $N_{90}P_{30}K_{30}$ ) (Tableau 1). Ces observations révèlent que N constitue l'élément nutritif majeur qui limite le plus le rendement du maïs dans les systèmes de rotation cotonnier/maïs et niébé/maïs. Elles permettent d'appréhender la difficulté pour le sol à couvrir les besoins en azote du maïs. On en déduit que la suppression de P ou de K d'une formule de fumure minérale ne semble pas influencer les rendements dans les agro systèmes de cotonnier/maïs et niébé/maïs. Les besoins en P et K du maïs semblent être couverts par la capacité nutritive intrinsèque du sol et de la fertilisation résiduelle du précédent cultural. Les résultats permettent d'estimer que les sols de la zone d'étude sont potentiellement bien pourvus en P et K. Le rôle déterminant de N dans la production du maïs que démontrent ces résultats est en accord avec le constat fait par certains auteurs (Yaro *et al.*, 1997 ; Kabrah *et al.*, 1996) qui affirment que le déficit en azote fait enregistrer les plus faibles rendements en maïs grain et paille.

La comparaison des rendements en fonction du précédent cultural montre qu'aucune différence significative n'a été enregistrée entre le précédent coton et le précédent niébé. Ces résultats indiquent que les rendements du maïs sont moins influencés par la nature du précédent cultural maïs, probablement par la fertilisation résiduelle. Une analyse préalable des différents sols des agro systèmes respectifs permettra d'approfondir les résultats actuels. Les taux de recouvrement de N, P et K en fonction de la fumure minérale et du précédent cultural indiquent que l'azote a été l'élément minéral le plus utilisé par la culture du maïs avec une valeur supérieure à 31% contre 11 et 9% pour P et K respectivement (Tableau II). Les accroissements de rendements en maïs grain et paille en fonction des différents traitements indiquent que la hiérarchisation des besoins de la culture du maïs en éléments nutritifs N, P et K est par ordre décroissant :  $N > P > K$ . Nos observations recourent celles de Kodjo *et al.* (2013) qui rapportaient que, sur sol ferrugineux tropical appauvri et sol ferrugineux tropical concrétionné d'Alafia dans la commune de Savè au Bénin où a été expérimenté un système de culture pure de maïs, l'élément le plus limitant restait incontestablement l'azote (N) suivi du phosphore (P) et du potassium (K) par ordre de priorité. Toutefois, une étude ultérieure avec les indices de Chaminade (Koné *et al.*, 2013) permettra de consolider ce résultat.

#### 5- Conclusion

Un essai soustractif réalisé sur la culture du maïs a permis d'identifier et d'hiérarchiser les besoins en éléments nutritifs limitatifs de la production du maïs sur sols ferrugineux tropicaux en fonction du précédent cultural et de la fumure minérale. Il s'est révélé qu'en absence de l'azote dans la formule de fumure minérale, on enregistre les plus faibles rendements du maïs, alors que l'absence du phosphore ou

du potassium n'affecte pas les rendements en maïs grain et paille. Par ordre décroissant, le besoin en azote se révèle le plus important suivi de celui en phosphore :  $N > P > K$ . Les trois formules d'engrais  $N_{90}P_{30}K_0$ ,  $N_{90}P_0K_{30}$  et  $N_{90}P_{30}K_{30}$  testées donnent des rendements comparables en maïs grain et paille. Il y a donc besoin de poursuivre l'étude en comparant des doses croissantes d'azote et de phosphore afin de dégager la dose optimale à appliquer au maïs sur sols ferrugineux tropicaux de la zone d'étude.

#### 6- Remerciements

Les auteurs remercient l'ONG (Organisation Non Gouvernementale) AFHON (Actions en Faveur de l'Homme et la Nature) pour son appui financier et matériel dans l'exécution du travail. Leurs remerciements vont aux agents de l'Institut de Conseil et d'Appui Technique ICAT-Notsé pour leur collaboration technique dans la réalisation de cette étude. Ils remercient vivement tous les producteurs agricoles de la localité qui ont accepté abriter les essais agronomiques sur leurs parcelles et contribué à la conduite de l'étude depuis sa mise en place jusqu'à la fin.

#### 7- Références bibliographiques

- Akanza K.P., Yao-Kouamé A. 2011. Fertilisation organo-minérale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et diagnostic des carences du sol. *Journal of Applied Biosciences* 46: 3163 – 3172.
- Bado B.V. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones Guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de Philosophie Docteur (Ph. D). Université Laval, Québec. 184p.
- IFDC (International Fertilizer Development Center). 2009. Development and Dissemination of Sustainable Integrated Soil Fertility Management Practices for Smallholder Farmers in Sub-Saharan Africa. Technical Bulletin IFDC – T-71. Muscle Shoals, Alabama, U.S.A.
- IITA 1982. Automated and semi-automated methods of soil and plant analysis manual, series N° 7 IITA, Ibadan, Nigeria
- Kabrah V., Vao N.R., Dea G.B., Couloud J.V. 1996. Effet de l'apport d'engrais et de la matière organique sur le rendement en grains chez le maïs. *Cahiers Agriculture* 5 :189-93.
- Kodjo S., Adjanooun A., Akondé T.P., Aïhou K., Kpagbin G., Gotoechan H., Igue A.M. 2013. Diagnostic participatif de la fertilité des sols des exploitations agricoles à base de maïs (*Zea mays*) dans les départements du Zou et des Collines au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*. 39 - 53.
- Koné B., Fatogoma S., Chérif M. 2013. Diagnostic of mineral deficiencies and interactions in upland rice yield declining on foot slope soil in a humid forest zone. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 3 (7): 11-20.
- Lendres P. 1992. Pratiques paysannes et utilisation des intrants en culture cotonnière au Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur tropical. CNEARC, Montpellier, 80 p.

- Litsé J.K., Bakoup F., Ndiaye-Diop M., Diallo K., Doffonsou R.A., Mutsinzi J.-P., Zouhon-Bi Gouri S., Ekpo A., Sanogo I., Dade L., Fall M., Faraoun M., etc. 2011. Togo document de stratégie pays 2011-2015. Département des opérations pays - Région Afrique de l'Ouest 1. BAD / FAD 37 p.
- Pichot J., Sedogo M.P., Poulin J.F., Arrivets J. 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux sous l'influence des fumures minérales et fumures organiques. *Agronomie Tropicale*, Vol 33, (2) 122 - 133.
- Pieri C. 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara, 444 P.
- Sedogo P.M. 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat, mention Sciences naturelles (Agronomie - écologie - pédologie), / Université de Cote d'Ivoire. 330 P.
- Sogbedji J.M., van Es H.M., Agbeko K.L. 2006. Cover cropping and nutrient management strategies for maize production in Western Africa. *Agronomy Journal* 98:883-889.
- Yaro D.T., Iwuafor E.N.O., Chude V.O., Tarfa B.D. 1997. Use of organique manure and inorganique fertilizer in maize production: A field evaluation. In strategy for sustainable maize production in West and Central Africa, 237-239p.