



Évaluation économique de quelques niveaux de fertilisation du maïs (*Zea mays* L. variété *Espoir*) dans la Vallée du Niari, République du Congo

¹Marc MANKOUSSOU, ²Fidèle MIALOUNDAMA et ³Jean DIAMOUANGANA

¹Doctorant en Sciences biologiques, Faculté des sciences et Techniques de l'Université Marien Ngouabi de Brazzaville,

²Laboratoire de Biologie et Physiologie végétale, Faculté des sciences et Technique de l'Université Marien Ngouabi de Brazzaville, ³Groupe pour l'Étude et la Conservation de la Biodiversité pour le Développement (GECOBIDE)

Correspondances : mankoussouk@yahoo.fr ; mialoundamaf@yahoo.fr ; dia_jean@yahoo.fr

Original submitted in on 22nd November 2016. Published online at www.m.elewa.org on 31st March 2017
<http://dx.doi.org/104314/jab.v111i1.7>

RESUME

Objectif : Évaluer économiquement quelques niveaux de fertilisation du maïs (*Zea mays* L. variété *Espoir*) dans la vallée du Niari en République du Congo et caractériser des traitements d'engrais permettant de procurer une rentabilité technique et économique.

Méthodologie et résultats : L'étude a été conduite au cours de la saison culturale 2013-2014 sur deux (2) sites du Groupement pour l'Étude et la Conservation de la Biodiversité pour le Développement à Loutété, sur la variété « Espoir », d'origine burkinabaise. Des analyses des sols des sites ont été réalisées au Cirad-Montpellier (France). L'essai a été installé suivant un dispositif en bloc aléatoire complet composé de 5 traitements et de trois (3) répétitions. Les traitements d'engrais testés étaient : T0 (témoin absolu) ; T1= calcaire (1000 kg/ha) + fumier de poules (1500 kg/ha) + urée (100 kg/ha) + NPK (150 kg/ha); T2 = calcidel (10 l/ha) + protaminal (10 l/ha) + huminal (20 l/ha); T3 = calcidel (10 l/ha) + protaminal (10 l/ha); et T4 = calcaire (1000 kg/ha) + fumier de poules (1500 kg/ha). Les résultats obtenus ont été analysés à l'aide du logiciel GenStat Release Discovery Edition 10.3. Le test de Newman-Keuls a permis de faire le classement des moyennes grâce à une analyse de variance au seuil de 1 % et 5 %. L'analyse économique a été réalisée sur la production afin de déterminer le taux de rentabilité par le biais du bénéfice net (Bn) et du rapport valeur coût (RVC). Le traitement ayant procuré un Bn et un RVC plus élevés a été retenu comme le plus efficace à recommander aux producteurs de maïs de la vallée du Niari. L'étude a montré que tous les traitements testés augmentaient significativement le rendement en maïs grain. Techniquement le traitement T1 était plus productif, avec un rendement de 5,76 t.ha⁻¹, suivi des T2, T3 et T4 des rendements 4,95 ; 4,33 et 4,77 t.ha⁻¹ respectifs. Mais économiquement, T1 était le moins rentable que T2, T3 et T4. Le traitement T1 a procuré un Bn de 78.400 FCFA et un RVC de - 5,12. Alors que, T2, T3 et T4 ont procuré, respectivement, un Bn de 210.000, 246.000, 309.750 FCFA ; et un RVC de 5,01, 2,47, 2,96.

Conclusion et application des résultats : Tous les traitements testés augmentaient le rendement de maïs grain. Techniquement le traitement T1 était plus productif et s'est révélé comme une excellente fumure pour augmenter le rendement du maïs grain dans cette zone écologique. Mais économiquement, T1 était moins rentable que les autres traitements, avec un Bn faible et un RVC très négatif. Économiquement les traitements T2, T3 et T4 étaient plus rentables avec des Bn élevés et des RVC > 2. Ainsi donc T2, T3 et T4 pourraient être

présentés comme des technologies pouvant être facilement adoptées. T4 serait une technologie capitale pour les petits producteurs de la zone d'étude, puisqu'il est d'acquisition et d'utilisation plus facile en milieu rural que T2 et T3, et en plus, il pourrait fournir des quantités des nutriments nécessaires à la culture sans apport d'engrais minéraux. Toutefois les traitements T2, T3 et T4 pourraient être conseillés aux sociétés agro-industrielles de la vallée du Niari nanties en capacités techniques et financières pour acheter et utiliser efficacement les engrais minéraux et organiques dans la production de maïs.

Mots clés : fertilisations organique et minérale, rentabilités technique et économique, *Zea mays L.*, Vallée du Niari.

ABSTRACT

Economic evaluation of some levels of fertilization of maize (*Zea mays L. variété Espoir*) in the Valley of the Niari, Republic of the Congo

Objective: To economically evaluate some fertilizer levels of maize (*Zea mays L. variety Espoir*) in the Niari valley in the Republic of Congo and characterize fertilizer treatments to provide technical and economic profitability.

Methodology and results : The study was conducted during the 2013-2014 growing season on two (2) sites of the Group for the Study and Conservation of Biodiversity for Development in Loutété, on the "Espoir" variety, of Burkinabe origin. Site soil analyzes were carried out at CIRAD-Montpellier (France). The test was installed using a complete randomized block device consisting of 5 treatments and three (3) repeats. The fertilizer treatments tested were: T0 (absolute control); T1 = limestone (1000 kg / ha) + chicken manure (1500 kg / ha) + urea (100 kg / ha) + NPK (150 kg / ha); T2 = calcidel (10 l / ha) + protaminal (10 l / ha) + huminal (20 l / ha); T3 = calcidel (10 l / ha) + protaminal (10 l / ha); And T4 = limestone (1000 kg / ha) + chicken manure (1500 kg / ha). The results were analyzed using GenStat Release Discovery Edition 10.3. The Newman-Keuls test was used to rank the averages using a 1% and 5% variance analysis. The economic analysis on the production to determine the rate of return through the net and the value cost. having provided treatment report a net profit and a higher cost value report has been selected as the most efficient to recommend to producers of corn of the Niari Valley. The study showed that all tested treatments significantly increased corn grain yield. Technically, the treatment T1 was the most productive, with a yield of 5.76 t.ha⁻¹, follow-up of the T2, T4 and T3, of yields of 4.95; 4.77 and 4.33 t.ha⁻¹ respective. But economically, the treatment T1 was less profitable than T2, T3 and T4. Treatment T1 gave a net profit of FCFA 78.400 and a value cost of - 5,12. Whereas T2, T3 and T4 provided, respectively a net income of 210,000, 246.000 and CFAF 309.750; and a value cost of 5.01, 2.47 and 2.96.

Conclusion and application of results: Conclusion and application of results: All treatments tested increased corn yield. Technically the T1 treatment was more productive and proved to be an excellent fertilizer to increase the yield of corn grain in this ecological zone. But economically, T1 was less profitable than the other treatments, with a low Bn and a very negative RVC. Economically, treatments T2, T3 and T4 were more profitable with high Bn and RVC > 2. Thus T2, T3 and T4 could be presented as technologies that can be easily adopted. T4 would be a key technology for smallholders in the study area, as it is easier to acquire and use in rural areas than T2 and T3, and it could also provide the nutrients needed to Cultivation without the use of mineral fertilizers. However, treatments T2, T3 and T4 could be advised to the agro-industrial companies of the Niari valley with technical and financial capacities to buy and use efficiently mineral and organic fertilizers in the production of corn.

Keywords: organic and inorganic fertilization, technical and economic returns, *Zea mays L.*, Niari Valley.

INTRODUCTION

Depuis la décennie 2000 plusieurs entreprises agricoles s'installent dans la vallée du Niari pour produire du maïs (*Zea mays L.*). Les rapports d'activités de sociétés agroindustrielles (Saris-Congo, 2010, 2011 et IPHD, 2013) rapportent qu'en dépit des semences améliorées et d'engrais minéraux utilisés, les rendements en maïs grain obtenus sont très bas, variant entre 0,4t.ha⁻¹ (paysans) et 1,5 à 3,1 t.ha⁻¹ (sociétés agroindustrielles). Mapangui (1992) attribue cette baisse de productivité à la dégradation physique des horizons de surface du sol. Le problème d'épuisement de la fertilité des sols dans les petites exploitations agricoles constitue la principale cause biophysique de la baisse de la production alimentaire par habitant en Afrique (Sanchez et al., 1997). Les toxicités aluminique et manganique et la déficience en éléments minéraux dans les sols de la Vallée du Niari sont des causes de baisse de rendement des cultures (Dadin, 1970 ; Boyer, 1976 ; Boyer, 1982 et

Djondo, 1987). Pour restaurer la fertilité des sols, les engrais minéraux utilisés et les rendements obtenus par les sociétés agroindustrielles sont consignés dans le Tableau 1. Des études diagnostiques relatives à l'utilisation des engrais en Afrique ont révélé que celle-ci est faible, particulièrement à causer de leur coût élevé, en raison de leur production à l'étranger, des quantités unitaires et des coûts élevés du transport (Kherallah et al, 2002 et Kelly, 2006). C'est pour cette raison que nous avons été amenés à réaliser une évaluation économique de quelques niveaux de fertilisation du maïs (*Zea mays L. variété espoir*) dans la Vallée du Niari (Congo) afin de trouver des traitements d'engrais susceptibles de procurer une meilleure production et une rentabilité économique aux producteurs de maïs. Pour étudier ce problème, nous avons été amenés à analyser les échantillons de sol des sites d'essai, où le maïs a été cultivé.

MATERIEL ET METHODES

Le site d'étude et le matériel végétal : L'étude a été conduite à Loutété dans la vallée du Niari, qui s'étend entre 12°30 et 14° de longitude est et 2°30 et 4°30 de latitude sud. La pluviométrie gravite entre 1.000 et 1.400 mm d'eau par an. Les températures moyennes sont de l'ordre de 23 à 25°C. Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) sont en moyennes comprises entre 1119 et 1314 mm par an. Le sol est ferrallitique fortement désaturé à texture argileuse. La matière organique est issue de la décomposition des végétaux, l'horizon humifère est riche en matière organique. Le sol présente une capacité d'échange cationique variant entre 16,1 et 18 mé/100 g de terre. Le calcium y est le cation échangeable le plus dominant en surface (55% de la CEC). Le taux de saturation du complexe en aluminium augmente avec la profondeur : de 1% en surface, elle passe à 20 à 30 % dans les horizons sous-jacents et atteint 55 % à 1 m de profondeur où le calcium n'occupe que 5 % de la CEC (Martin, 1975 ; Nzila 1992 ; Mapangui, 1992 et Djondo, 1994). Quelques caractéristiques chimiques et physico-chimiques des sols sont consignées dans le tableau 2. Le matériel végétal utilisé est le maïs "variété Espoir", importée du Burkina

Faso. Cette variété a été préférée en raison de sa résistance aux maladies (Helminthosporiose, Cercosporiose et Striure), aux ravageurs et pour son potentiel élevé de rendement (6 à 7 t/ha à une densité de 53333 plants/ha).

Amendements et engrais minéraux : Le calcaire utilisé comme un amendement provenait de l'unité de broyage du calcaire (UBC) de Madingou. Le calcaire cuit (%) est composé de : CaO (97,29); MgO (0,86) ; K₂O (0,16); SiO₂ (1,05); Al₂O₃(0,26), Fe₂O₃ (0,32), TiO₂ (0,02), Na₂O (0,02) et MnO (0,02) (analyses faites en France UBC, 1986). Les fientes de poulets provenaient de la ferme avicole N'semi de Loutété, de composition en matière sèche: Ntotal (4,4 %) ; P (2,1 %) ; K (2,6 %) ; Ca (2,3 %) ; Mg (1,0 %) ; S (0,6 %) ; Fe (1000 mg) ; Mn (413 mg) ; Zn (480 mg) ; Cu (172 mg) (Brady et Weil, 1996). Les engrais minéraux liquides utilisés provenaient de Delbon (2009) (France). Il s'agit de l'huminal : 70g/l (N), 31g/l (P₂O₅), 40g/l (K₂O), 65g/l (Acide hydrique et fulviques) et 525g/l (M.O); calcidel : 10,4 (% CaO), 1,4 (% Mg) et 0,3(% B) ; et protaminal: 77g/l (Ntotal), 30g/l (P₂O₅), 16g/l (K₂O) et 537g/l (M.O). L'Urée (46% N) et le NPK (17-17-17) ont été appliquées.

Mankoussou et al., J. Appl. Biosci. 2017 Évaluation économique de quelques niveaux de fertilisation du maïs (*Zea mays* L. variété *Espoir*) dans la Vallée du Niari, République du Congo

Tableau 1 : Situation de la production du maïs dans quelques stations de la vallée du Niari

Désignation	Semences	Fumure (kg/ha)	Rendement		Sources
			1 ^{er} cycle	2 ^{ème} cycle	
Ferme Kindzaba Ndiba de IPHD		Calcaire : 750 kg/ha NPK : 250kg/ha Urée : 120 kg/ha	1,25 t/ha	1,50 t/ha	Rapport d'activités IPHD 2013
Saris-Congo	Hybride Pan 12	Urée : 100 kg/ha MAP : 116 kg/ha KCl: 100 kg/ha	3,1 t/ha	2,7 t/ha	Rapport maïs 2 ^{ème} cycle 2010-2011, Saris-Congo
Gecobide	SAMARU	Calcaire : 1000 kg/ha	1,59 t/ha		Rapport d'activités 2006-2007, Gecobide
PEA	LG 60 hybride	N : 80 u/ha P2O5 : 50 u/ha K2O: 40 kg/ha	5 à 5,5 t/ha	4 à 4,5 t/ha	Projet d'expérimentation Agronomique de Loudima (PEA), Rapport synthèse
Paysans	Variété Locale		< 1 t/ha	< 1 t/ha	SOFRECO-CERAPE (2012)

Tableau 2 : Propriétés physiques et chimiques des sols des sites d'essai

	Kimbimbi					Bellevue					Moy. Gen
	E1	E2	E3	E4	Avg.	E1	E2	E3	E4	Avg.	
pH Eau	5	5.15	5.75	6.16	5.51	6.8	7.1	6.9	6.9	6.92	6.21
pH KCl	4.11	4.19	4.95	5.34	4.64	6.0	6.3	6.0	6.1	6.10	5.37
M.org. (%)	4.54	4.49	5.05	5.45	4.88	nd	nd	nd	nd	nd	-
N total. (‰)	1.56	1.40	1.84	1.52	1.58	0.98	1.07	1.05	1.06	1.04	1.34
C. org.	2.19	1.80	2.64	2.63	2.31	nd	nd	nd	nd	nd	-
Phos total (‰)	1.01	0.91	0.98	0.82	0.93	0.50	0.55	0.52	0.54	0.52	0.72
Phos ass. mg/kg	3.80	4.20	14,0	7.00	7.25	6.30	6.50	4.90	3.00	5.10	6.17
Argile %	43,89	41.4	33,1	31.4	37.4	25.0	18.1	24.5	24.0	22.9	30.1
Lim fins %	18.82	22.2	23.6	34.5	24.8	19.2	25.2	20.7	22.2	21.8	23.3
Lim grossiers %	6.69	6.08	7.19	5.15	6.27	7.8	7.6	15.1	15.1	11.4	8.83
Sable fins %	11.67	12.6	13,1	10.7	12.0	19.2	18.1	19.5	18.6	18.8	15.4
Sable gros %	11.40	8.50	12.2	7.76	9.97	16.5	17.1	15.5	14.6	15.9	12.9
Ca ²⁺ mé/100g	4.30	4.18	7.86	5.21	5.38	6.44	9.26	6.86	7.38	7.48	6.43
Mg ²⁺ mé/100g	0.39	0.36	2.47	1.36	1.14	0.52	1.13	0.59	0.72	0.74	0.94
K ⁺ mé/100g	0.16	0.17	0.3	0.19	0.20	0.26	0.16	0.19	0.14	0.18	0.19
pH Eau	0.03	00	00	00	0,00	0.0	0.0	0.0	0.0	00	0.01
pH KCl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	nd	nd	nd	nd	nd	-
CEC	18	17.6	16,10	16.74	17,1	nd	nd	nd	nd	nd	-

Dispositif expérimental et conduite de l'étude : L'essai a été installé suivant un dispositif en bloc aléatoire complet (Vilan, 2012) composé de 5 traitements d'engrais et de trois (3) répétitions. Les parcelles élémentaires étaient constituées de 5 lignes de 5 mètres de longueur distantes de 0,80 m. Le précédent cultural était une jachère travaillée. Le semis a été effectué en octobre 2013 et la récolte en février 2014. Une graine a été semée à 3 cm de profondeur avec un espacement de 0,25 cm entre les poquets. Une semaine après la levée, les manquants ont été complétés en vue d'obtenir une

densité de 50.000 plants/ha. Cinq (5) traitements ont été appliqués : T0 (témoin absolu); T1= calcaire (1000 kg/ha) + fumier des poules (1500 kg/ha) + Urée (100 kg/ha) + NPK (150 kg/ha); T2 = calcidel (10 l/ha) + protaminal (10 l/ha) + huminal (20 l/ha); T3 = calcidel (10 l/ha) + protaminal (10 l/ha); et T4 = calcaire (1000 kg/ha) + fumier des poules (1500 kg/ha). Le calcaire broyé et les fientes de poulets ont été apportés pendant la préparation du sol. Le N.P.K a été apporté une semaine après la levée. L'urée et le protaminal ont été apportés en deux fractions : la troisième semaine après le semis et à

la montaison. Le calcidel et l'huminal ont été apportés en deux fractions : première et troisième semaines après la levée. L'entretien de la culture a été fait manuellement. Les récoltes sont intervenues à 120 jours après le semis, lorsque les spathes étaient desséchées.

Paramètres mesurés : Les mesurés ont été réalisées sur vingt (20) plantes choisies aléatoirement au niveau des parcelles désignées "traitements" dans des blocs. Les principaux paramètres ont été utilisés pour caractériser les effets des traitements sur la croissance et la production de maïs. Il s'agit: hauteur de la plante (HPF); hauteur d'insertion de l'épi (HIE); diamètre au collet à la floraison (DPF); nombre d'épis récoltés (NER); nombre de pieds avec plus d'un épi (NPPE); poids des épis au champ (PEC); biomasse totale (BT); et biomasse racinaire (BR). Les mesures initiales ont été faites au stade floraison et les dernières mesures ont été effectuées après à la récolte. Les composantes du rendement par traitement ont été déterminées à partir des récoltes obtenues. Sur le sol, les prélèvements d'échantillons ont été réalisés dans l'horizon superficiel (0 - 20 cm). Les échantillons ont été broyés au laboratoire du Centre de recherche sur la conservation et la restauration des terres (CRCRT) de Brazzaville et ensuite envoyés au laboratoire de sols du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) - Montpellier (France), où des analyses physico-chimiques ont été réalisées: analyse granulométrique, le pH-Calcimétrie, la matière organique, le phosphore et le complexe d'échange-Acidité. L'analyse économique a été réalisée sur la production pour déterminer le taux de rentabilité par le biais du bénéfice net (Bn) et du rapport valeur coût (RVC). Le traitement ayant procuré un Bn et un RVC plus élevés a été retenu comme étant le plus efficient à recommander aux producteurs de maïs de la zone. L'optimum a été déterminé en fonction des équations suivantes : $Bn = Bb - Vi$. Où Bn est le bénéfice net (FCFA/ha), Bb est le bénéfice brut (FCFA/ha) et Vi est la valeur du montant de l'investissement (FCFA/ha). RVC est la valeur de l'augmentation du rendement par rapport au témoin divisé par le coût de l'investissement. Ce rapport a comparé la rentabilité des nouveaux traitements à celui bien connus par les producteurs de maïs de la zone d'étude notamment le traitement des fermes communautaires l'IPHD (2013), désigné traitement $T_{IPHD} = \text{Calcaire (750 kg/ha) + NPK (250 kg/ha) + Urée (120 kg/ha)}$. Ainsi, une

technologie ne peut être facilement adoptée que si le RVC est égale ou supérieure à 2. L'adoption se fait avec réticence si ce rapport est entre 1,5 et 2 et en dessous de 1,5 il y a rejet (Kaho et al., 2010 ; Useni et al., 2012). L'analyse marginale effectuée a permis de quantifier l'importance relative des traitements économiquement rentable. Les coûts d'engrais enregistrés sur le marché local en 2013 : urée (56.000 FCFA/50 kg) ; NPK (52.000 FCFA/50 kg) ; calcaire (250 FCFA/kg) ; fumier des poules (1.000 FCFA/20 kg) ; calcidel (6.000 FCFA/l) ; huminal (6.000 FCFA/l) et protaminal (6.000 FCFA/l). Les frais de travaux culturaux ont été évalués à 280.000 FCFA/ha et le coût de manutention et transport étaient évalués à 50.000 FCFA/ha, alors que 1 Kg de maïs a été vendu à 200 F CFA/kg. L'utilisation de ces différents coûts et frais ont permis de calculer le bénéfice brut de chaque traitement (Bb)(Tx) et le coût total d'investissement ou valeur d'investissement de chaque traitement (Vi)(Tx) suivant les équations suivantes :

- $Bb(Tx) = Y * Py$ où Bb est le bénéfice brut du traitement Tx (F CFA/ha), Y est le rendement obtenu à partir de l'utilisation du traitement Tx (kg/ha) et Py est le prix d'un kilogramme de maïs;

- $Vi(Tx) = (Qx * Px) + \Sigma Cx$ où Qx est la quantité totale d'engrais utilisée pour le traitement Tx (kg/ha), Px est le prix de l'unité du traitement et ΣCx représente la somme totale des coûts des travaux culturaux et les frais de manutention et de transport ;

- Quant au RVC, il a été calculé à partir de l'équation suivante : $RVC = [Bn(Tx) - Bn(T_{IPHD})] / [Ai(Tx) - Ai(T_{IPHD})]$ où RVC est le rapport valeur coût, Bn (Tx) est le bénéfice net des traitements 1, 2, 3, 4 (F CFA/ha/an), $Bn(T_{IPHD})$ est le bénéfice net du traitement T_{IPHD} (F CFA/ha), $Ai(Tx)$ est le coût total d'investissement des traitements 1, 2, 3, 4 (F CFA/ha) et $Ai(T_{IPHD})$ représente le coût total d'investissement du traitement IPHD (F CFA/ha).

Analyses statistiques : Les résultats obtenus ont été analysés à l'aide du logiciel GenStat Release Discovery Edition 10.3. Les calculs ont été effectués à partir du logiciel Microsoft Office Excel, version 2007 (Microsoft Software, 2007). Le test de Newman-Keuls a permis de faire le classement des moyennes grâce à une analyse de variance (ANOVA) au seuil de 1 % et 5 %. Un test de normalité a été effectué sur chaque variable pour valider les résultats de l'ANOVA.

RESULTATS

Effets des différents traitements d'engrais sur la croissance végétative : Les moyennes des valeurs obtenues sur les accroissements de la BT, HPF, HIE, DPF, PEC, NPPER et NER sont présentées dans le tableau 3. Les résultats montrent que l'accroissement de la BT a varié entre 24,9 (T3) et 42,4 kg (T1). L'analyse de la variance révèle que des différences significatives ($p < 0,05$) entre moyennes obtenues avec les traitements ont été observées. La classification selon le test de Newman-Keuls a abouti à deux groupes distincts. Il s'agit des traitements T0, T2, T3 et T4 qui ont eu des effets les plus faibles sur l'accroissement de la BT, statistiquement différents de celui du traitement T1. Les résultats HPF révèlent que l'accroissement a oscillé entre 1,944 (T3) et 2,365m (T1). L'analyse de la variance révèle que des différences significatives ($p < 0,05$) entre moyennes obtenues avec les traitements ont été observées. La classification selon le test de Newman-Keuls a abouti à deux groupes distincts. Il s'agit des traitements T0, T2 et T3 qui ont eu des effets les plus faibles sur la HPF statistiquement différents de celui du traitement T1. Concernant le traitement T4, l'analyse de la variance révèle qu'il n'existe pas de différence significative ($p < 0,05$) entre sa moyenne et celle du traitement T1 d'une part, et d'autre part sa moyenne et celles des traitements T0, T2 et T3. Les résultats HIE montrent que l'accroissement a varié entre 0,978 (T0) et 1,207 m (T1). L'analyse de la variance révèle que des différences significatives ($p < 0,05$) entre moyennes obtenues avec les traitements ont été observées. La classification selon le test de Newman-Keuls a abouti à deux groupes distincts. Il s'agit du traitement T1 qui a eu un effet plus bénéfique sur la HIE statistiquement différent de ceux de traitements T0, T2 et T3. En ce qui concerne le traitement T4, comme pour la HPF l'analyse de la variance révèle qu'il n'existe pas de différence significative ($p < 0,05$) entre sa moyenne et celle du traitement T1 d'une part, et d'autre part entre sa moyenne et celles des traitements T0, T2 et T3. Les résultats DPF révèlent que l'accroissement a varié entre 1,898 (T2) et 2,465 (T1) cm. L'analyse de la variance révèle que des différences significatives ($p < 0,05$) entre moyennes obtenues avec les traitements ont été observées. La classification selon

le test de Newman-Keuls a abouti à trois groupes distincts. Il s'agit du traitement T1 qui a eu un effet plus bénéfique sur la DPF, statistiquement différent des traitements T0, T2, T3 et T4. Les traitements T2 et T3 qui ont eu des effets les plus faibles sur la DPF statistiquement différents de celui du traitement T4. Pour le traitement T0, l'analyse de la variance révèle qu'il n'existe pas de différence significative ($p < 0,05$) entre sa moyenne et celle du traitement T4 d'une part, et d'autre part sa moyenne et celles des traitements T2 et T3. Les résultats montrent que les moyennes du PEC ont varié entre 10,13 (T0) et 15,38 kg (T1). L'analyse de la variance révèle que des différences significatives ($p < 0,05$) entre moyennes obtenues avec les traitements ont été observées. La classification selon le test de Newman-Keuls a abouti à trois groupes distincts. Il s'agit du traitement T1 qui a eu un effet plus bénéfique sur l'augmentation du PEC statistiquement différent de ceux de traitements T0, T2, T3 et T4. Par contre le traitement T0 a eu un effet faible sur l'accroissement du PEC est statistiquement différent de ceux des traitements T2, T3 et T4. Concernant le NPPER, les résultats révèlent que les moyennes ont oscillé entre 6,38 (T3) et 15,33 (T1). L'analyse de la variance a révélé qu'il existe des différences significatives ($p < 0,05$) entre les moyennes obtenues avec les différents traitements d'engrais appliqués. La classification selon le test de Newman-Keuls a aboutit à trois groupes distincts. Il s'agit du traitement T1 qui a eu un effet plus bénéfique sur l'accroissement du NPPER statistiquement différent de ceux de traitements T0, T2, T3. Pour le traitement T4, l'analyse de la variance révèle qu'il n'existe pas de différence significative ($p < 0,05$) entre sa moyenne et celle du traitement T1 d'une part, et d'autre part entre sa moyenne et celles des traitements T0, T2 et T3. S'agissant du NER, les résultats montrent que les moyennes ont varié entre 98,8 (T3) et 112,5 (T1). L'analyse de la variance révèle qu'il n'existe pas non plus de différence significative ($p < 0,05$) entre les moyennes obtenues avec les différents traitements d'engrais appliqués. Le nombre d'épis récoltés par pied n'est pas influencé par l'application les différents engrais.

Table 3: Effets des différents traitements d'engrais sur la croissance végétative et sur le rendement

Traitements	composantes de croissance végétative				composante de rendement		
	BT (kg)	HPF (m)	HIE (m)	DPF (cm)	PEC (kg)	NER	NPPE
T0	26,27 b	1,933 b	0,995 b	1,952 bc	10,13 c	97,0 a	7,000 b
T1	42,37 a	2,365 a	1,207 a	2,465 a	15,38 a	112,5 a	15,333 a
T2	28,55 b	2,012 b	0,978 b	1,898 c	13,20 b	104,2 a	8,667 b
T3	24,90 b	1,935 b	1,047 b	1,963 c	11,55 b	98,8 a	6,833 b
T4	32,60 b	2,177 ab	1,122 ab	2,152 b	12,73 b	109,2 a	11,167 ab
CV	10,7	2,2	2,9	2,7	3,6	4,7	18,6
F	0,002	0,008	0,010	< 0,001	< 0,001	0,540	0,010

BT : Biomasse totale à la récolte ; HPF : Hauteur de la plante à la floraison ; HIE : Hauteur d'insertion de l'épi ; DFP : Diamètre de la plante à la floraison. PEC : poids des épis au champ ; BT : biomasse totale ; NER : nombre d'épis récoltés et NPPE : nombre de plantes de plus de deux épis. T₀, T₁ ; T₂ ; T₃ et T₄ sont les traitements appliqués. Les valeurs suivies de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes, au seuil de 0,05 par le test de Newman et Keuls.

Rentabilité économique de la culture du maïs : Les résultats relatifs au revenu brut (Rb), au bénéfice net (Bn) et au rapport valeur coût (RVC) obtenus suite à l'application des différents traitements d'engrais sont présentés dans le tableau 4. Les résultats montrent que les revenus bruts (Rb) ont varié entre 866.200 (T3) et 1.153.400 FCFA (T1), les bénéfices nets (Bn) entre 78.400 (T1) et 309.750 F CFA/ha (T4) et les RVC entre - 5,12 (T1) et 5,01 (T2). Un revenu net maximal de 1.153.400 F CFA/ha et le RVC de - 5,1 a été obtenu avec

le traitement T1, mais ce traitement a enregistré le plus faible bénéfice net (78.400 FCFA). Les traitements T2, T3 et T4 ont obtenu des RVC respectivement de 5,01 ; 2,47 et 2,96 et des bénéfices nets de 210.000 FCFA ; 256.200 FCFA et 309.750 FCFA. Les résultats révèlent que le traitement T1 est techniquement plus efficace que les traitements T2, T3 et T4. En revanche les traitements T3, T2 et T4 sont économiquement plus rentables avec des revenus nets (Bn) plus élevés et des rapports valeur coût (RVC) plus intéressants que ceux procurés par T1.

Tableau 4 : Effet des différents traitements d'engrais sur la rentabilité économique de la culture de maïs à Loutété

Traitements	Prix du traitement t/ha (FCFA)	Coût des travaux de sols, d'épandage de l'engrais/ha (FCFA) et d'entretien	Coûts récolté, égrainage et emballage	Coût total (FCFA)	Rendement en grains maïs (t/ha)	Revenu brut (FCFA)	Bénéfice net (FCFA)	RVC
T _{IPHD}	581.900	245.000	100.000	926.900	2,500	500.000	-526.900	-
T ₁	705.000	270.000	100.000	1.075.000	5,767	1.153.400	78.400	- 5,1
T ₂	360.000	320.000	100.000	780.000	4,950	990.000	210.000	5,01
T ₃	240.000	270.000	100.000	610.000	4,331	866.200	256.200	2,47
T ₄	325.000	220.000	100.000	645.000	4,773	954.750	309.750	2,96

N.B : Densité de semis est 50.000 pieds/ha ; Prix d'achat de l'engrais, Coût des travaux de préparation sol et soins apportés aux cultures, Coût de récolté et grainage et manutention, Prix de vente d'1kg est de 200 FCFA ; RVC = Rapport valeur coût.

DISCUSSION

Dans l'essai, on a obtenu une amélioration aussi des paramètres végétatifs que de production, avec l'apport des différents traitements. Le milieu d'étude valorise au mieux les fumures organiques et inorganiques qui est y incorporé. La comparaison entre les différents traitements apportés montre que le traitement T1 induit

une croissance plus élevée de DPF qui constitue un excellent indicateur de développement végétatif. Ce paramètre a été amélioré de plus de 26,28 % par T1 par rapport au T0, avec seulement environ de 2,76 ; 0,56 et 10,24 % respectivement pour les traitements T2, T3 et T4. Cette tendance évolutive est également observée sur

les autres paramètres de croissance tels que la BT (61,28 %), la HPF (22,34 %). Ce traitement apparaît comme une excellente fumure pour le développement du maïs. Pour les paramètres de production, le traitement T1 a induit une croissance plus élevée du PEC de plus de 52,34 % par rapport T0, avec seulement environ 30,30; 14,01 et 25,66 % respectivement pour les traitements T2, T3 et T4. Cette tendance évolutive est aussi observée sur les autres paramètres de production tels que le NER (15,97 %) et NPPE (119 %). Les résultats montrent qu'il y a une bonne réponse du maïs au Traitement T1. Ces résultats confortent ceux de Mombo-Tsimba (2008), comme le notait également Nyembo *et al.*, (2014) la combinaison des fumiers de poules et d'engrais minéraux permettent d'accroître le rendement en maïs grain (6,9 t/ha, pour 7 t de fumiers combinés à 150 kg NPK + 100 kg d'Urée). Le traitement T1 a amélioré de façon significative le rendement en maïs grain de 5,76 t/ha par rapport aux rendements observés pour les traitements T2, T3 et T4. L'augmentation de rendement serait due à l'amélioration des propriétés du sol et à la libération des éléments nutritifs. Cette augmentation de rendement est attribuable au changement favorable des conditions du sol, entraînant un bon développement des racines et une bonne assimilation des éléments nutritifs libérés par la matière organique elle-même ou en retenant les éléments nutritifs libérés par les engrais minéraux (Tejada *et al.*, 2006 et Maftoun *et al.*, 2004). Sanginga et Woome (2009) affirment que la combinaison d'engrais organique et minéraux crée les meilleures conditions de production car la matière organique améliore les propriétés du sol, alors que les engrais minéraux apportent aux plantes les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires et d'accroître l'efficacité agronomique. Certaines raisons justifient cette combinaison dont la déficience en éléments essentiels aux cultures des engrais minéraux communs alors que les ressources organiques les contiennent (Sanginga et Woome, 2009). La matière organique seule ne suffit pas souvent car elle n'est pas disponible en grande quantité pour assurer le niveau de production escompté pour les agriculteurs (Vanlauwe *et al.*, 2006). Comme l'affirmaient Kaho *et al.* (2011) et Useni *et al.* (2012) les rendements du maïs augmentent lorsque les engrais minéraux sont associés aux ressources organiques. Étant donné le coût total élevé (1.075.000 FCFA) de ce T1 dont 65,58 % représentent pour des frais d'engrais, le bénéfice net (Bn) que ce traitement procure est très bas (78.400 FCFA) et par conséquent le Rapport valeur de coût est négatif. Comme le notaient Kouame *et al.*, (2014) la rentabilité économique des engrais diminuait avec l'augmentation des doses, conduisant à une augmentation du coût total,

et par conséquent à la diminution du RVC. Bien T1 est techniquement plus productif, le bénéfice net généré est faible ainsi qu'un RVC négatif, c'est donc une technologie à rejet (Kaho *et al.*, 2010 et ; Useni *et al.*, 2012). Comme Nyembo *et al.*, (2013) en République démocratique du Congo, en trouvant l'indice d'acceptabilité (variant de 0.74 à 1.21, se trouve dans la catégorie des technologies à rejet) rapportaient que la technologie n'est pas à conseiller au regard des dépenses d'épandage et buttage qui affectent négativement la rentabilité économique de la culture. Le traitement T1 n'est pas à conseiller au regard surtout des dépenses d'acquisition d'engrais minéraux dans la zone d'étude, comme l'affirmaient Kherallah *et al.*, (2002) et Kelly (2006) l'utilisation des engrais en Afrique est faible, particulièrement à cause de leur coût élevé, en raison de leur production à l'étranger, des quantités unitaires et des coûts élevés du transport. Plusieurs études ont montré des effets bénéfiques de la fertilisation chimique au moyen de l'agriculture (Gala *et al.*, 2011 ; Nyembo *et al.*, (2012). Berger (1996), Clermont-Dauphin, et Meynard, (1998) rapportent que sur des sols ferrallitiques particulièrement sableux, les éléments apportés par l'engrais n'ont qu'un effet à court terme. Ainsi, en absence de matière organique, ces éléments nutritifs apportés au sol sont vite lessivés et ne profitent que partiellement aux pieds de maïs. Les traitements T2 et T3 ont accru de manière significative le rendement en maïs grain respectivement 4,95 et 4,33 t/ha comparativement à T0 (3,79 t/ha). L'augmentation de rendement des parcelles fertilisées avec ces traitements pourrait être due à l'amélioration des propriétés du sol et à libération en grande quantité des éléments importants comme N, P₂O₅, K₂O, M.O, CaO, Mg, B nécessaires pour la croissance de la culture. Si du point technique les Traitements T2 et T3 ont procuré des bons rendements, économiquement, ces ils ont respectivement des Bn de 210.000 et 256.200 FCFA et de RVC de 5,01 et 2,47, comme le soulignaient (Kaho *et al.*, 2010 ; Useni *et al.*, 2012) ce sont des technologies qui pourraient être adoptés sans réticence par les producteurs de maïs de cette zone écologique. De nombreuses études ont révélé le rôle joué par les fumiers des poules sur la croissance et la production de maïs. L'apport du fumier de volaille enrichi le sol en éléments fertilisants primaires (NPK) et secondaires ainsi qu'en oligo-éléments qui jouent un rôle important dans la physiologie et le métabolisme de la plante, permettant ainsi une bonne croissance et des rendements meilleurs (Dupriez, Leener, 1993). En outre, la fumure organique apporte les éléments nutritifs au sol, dont elle améliore ainsi la structure (Dupriez *et al.*, 1983 ; Feller, 1995). Nyembo *et al.* (2014) ont observé que les

fumiers des poules présentent un grand potentiel pour l'amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs de sol et a pu fournir la quantité de nutriments nécessaire à la croissance du maïs. Les fumiers de poules appliqués seuls ou en combinaison avec les engrais minéraux ont amélioré la capacité de rétention d'eau. Les fumiers de poules et les amendements calcaires ont permis d'améliorer les rendements en maïs grain par rapport au témoin non fertilisé. Par contre, comparé au traitement T1, le traitement T4 n'a pas permis d'obtenir des rendements plus élevés en maïs-grain (4,77 t/ha), certainement à cause de la faible disponibilité de fumiers des poules en éléments nutritifs, particulièrement l'azote. Du fait que l'azote des fumiers de poules serait principalement sous forme organique et sa minéralisation en période de végétation n'a probablement pas été suffisante pour combler les besoins en N du maïs-grain. En revanche, le traitement T4 a procuré le Bénéfice net (309.750 FCFA) le plus élevé de tous les traitements testés et un RVC de 2,96. T4 se présente comme le meilleur traitement à vulgariser en milieu rural. Comme le rapportaient Nyembo *et al* (2014), les fumiers de poules

peuvent améliorer la fertilité du sol et augmenter significativement les rendements de cultures. En plus du fait de son acquisition et l'utilisation plus facile en milieu rural que les autres traitements. Selon Kaho *et al*, (2010) et Useni *et al*, 2012, le traitement T4 serait bien une technologie à vulgariser dans la zone d'étude. Le sol des parcelles d'essai est acide. Comme le rapportaient Aldrich *et al.*, (1975), Borrero *et al.*, (1995), Clark (1997) et Welcker *et al.*, (2005), la faible production obtenue par le traitement T0 (3,79 t/ha) peut être attribuée aux facteurs caractéristiques des sols acides : pH acide, toxicités aluminique et manganique, déficiences en nutriments (Ca, Mg, P, K, B et Zn) et une réduction de la biomasse et de l'activité microbienne. En effet, l'absence d'apports organiques et inorganiques s'accompagne d'une perte en matières organiques et en nutriments, d'une acidification des sols, d'une réduction de la biomasse et de l'activité microbienne, d'une insolubilisation du potassium qui ensemble contribuent à la baisse sensible des rendements des cultures (Deblay, 2006).

CONCLUSION

La présente étude a été initiée en vue d'une évaluation économique de quelques niveaux de fertilisation du maïs (*Zea mays L. variété espoir*) dans la vallée du Niari (Congo). L'essai a été installé suivant un dispositif en bloc aléatoire complet composé de 5 traitements et de trois (3) répétitions. L'étude a montré que les traitements T1, T2, T3 et T4 améliorent la fertilité du sol et augmentent significativement les rendements en maïs grain. Dans les conditions de l'essai, le traitement T1 est techniquement plus efficace. Il a permis d'augmenter significativement le rendement (5,76 t/ha) par rapport aux autres traitements. Mais économiquement le traitement T1 est moins rentable que les traitements T2, T3 et T4. Les bénéfices nets des traitements T2, T3 et T4 respectivement

210.000, 256.200 et 309.750 FCFA sont plus élevés que celui du traitement T1 (78.400 FCFA). Le traitement T4 avec un rapport valeur coût (RVC) de 2,96, sa composition et son acquisition facile en milieu rural présente un grand potentiel pour améliorer aussi bien les paramètres végétatifs que de production du maïs ; ce qui est un atout potentiel pour les petits agriculteurs de la zone d'étude. Cependant d'autres études sont nécessaires pour quantifier la durabilité de cet effet. Pour les sociétés agroindustrielles disposant de plus des moyens financiers et techniques pour l'acquisition et l'utilisation des engrais minéraux, les traitements T2, T3 et T4 peuvent être recommandés.

REMERCIEMENTS

Au titre de ce travail, les auteurs tiennent à remercier Dr Nzila J de D, Dr Mbani Grégoire et Dr. Mvila A pour l'appui technique. Nous remercions aussi tout le staff technique du laboratoire du Centre de Recherche sur la Conservation et la Restauration des Terres (CRCRT) pour l'appui technique apporté dans la préparation des échantillons de sols envoyés au CIRAD-Montpellier (France). Nos remercions vont à M Moussiessé et M

Christian Ballon et aux équipes techniques de culture de maïs de la SARIS- Congo et de l'IPHD. Nos remerciments vont également aux Membres du Groupement pour l'Étude et la Conservation de la Biodiversité pour le Développement (GECOBIDE), pour leur collaboration à l'installation et au suivi de l'expérimentation en plein champ.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aldritch, S.R., Scott, W.O. & Leng, E.R. 1975- Modern corn production, 2nd ed. Champaign, IL, USA, A & L Pulications Banananuka J.A. et P.R.
- Badin B., 1970- Les facteurs chimiques de la fertilité des sols (bases échangeables; sels; utilisation des échelles de fertilité). In Pédologie et Développement (Techniques Rurales en Afrique) n° 10, SEAE, Paris 1970, p221-237
- Berger M., 1996- L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano sahélienne, agriculture et développement, numéro hors série. France. 52p.
- Borrero J.C., Pandey S., Ceballos H., Mangnavaca R. & Bahia A.F.C., 1995- Genetic variances for tolerance to soil acidity in tropical maize population. *Maydica*, 40, 283-288.
- Boyer J., 1976- L'aluminium échangeable : incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, XIV (4) : 259-269.
- Boyer, J., 1982- Les sols ferrallitiques, Tome 10 : Facteurs de fertilités et utilisation des sols. Coll. Initiations –Documentations techniques, ORSTOM, Paris, 384 p.
- Clark R.B., 1997- Effect of aluminium on growth and mineral elements of Al-tolerant corn. *Plant Soil*, 47, 653-662.
- Clermont-Dauphin C., Meynard J. M., 1998- L'emploi des pesticides et d'engrais en agriculture. In: STENGEL P., GELIN S., coord: Sol interface fragile. INRA, Paris.213p
- Delbon (2009): Fiche Technique composition des engrais liquides.
- Deblay S., 2006- Fertilisation et amendement. Educagri éditions, 2^{ème} Edition, Paris, 129p
- Djondo M. Y 1987- Incidence du brulis et du calcaire sur la symbiose fixatrice d'azote et les rendements de trios variétés d'arachide (*Arachis hypogaea* L). Mémoire d'Ingénieur de Développement Rural, IDR, UMNG, Brazzaville, 102p.
- Djondo M. Y., 1994- Propriétés d'échange ionique de sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari et Sableux du Plateau Batéké au Congo, Application à la correction de leur acidité, Thèse de Doc. Université Paris XII-Val de Marne
- Dupriez H., Leener P., 1993- Arbres et agriculture multi-étagée d'Afrique, édition Belgique. Terres et Vie, 264p.
- Dupriez F & De Leener P., 1983- Agriculture tropicale en milieu paysan Africain. Terre et vie, l'Harmattan, 280p.
- Feller C., 1995- La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Applications aux zones sahélienne et soudanienne. *Agriculture et développement*, 8, pp 35-41
- Kaho F., Yemefack M., Feujio-Tegwefouet P. et Tchanthaouang JC, 2011- Effet combiné de feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au centre du Cameroun. *Tropicultura*, 29 (1): 39 – 45.
- Kelly V. 2006- Factors affecting demand for fertilizers in sub Saharan Africa. *Agriculture and Rural Development*, Discussion p23.
- Kherallah M., Delagde C., Gabre-Madhin E., Minot N., Johnson M., 2002- Reforming agricultural markets in Africa. Baltimore, USA, IFRI and Johns Hopkins University Press, 224p.
- Kouame K A S., Yte W., Doumbia S.,Konan K.E., Kouassi N A., Kone B. et Sekou D.(2014) – Détermination de la dose de fumure potassique sous culture de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) dans les conditions du sud-est de la cote d'Ivoire : cas du matériel végétal en cours de vulgarisation. *European Scientific Journal*, June 2014, édit vol 10, N° 18 : 1857-7881.
- IPHD: International Partnership for Human Development, 2013 - Rapports d'activités 2013 – 2014.
- Mapangui A., 1992 - Étude de l'organisation et du comportement de sols ferrallitiques argileux de la Vallée du Niari. Conséquences sur l'évolution physique sous culture de manioc en mécanisé depuis 15 ans. Thèse Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 246p.
- Maftoun M, Moshiri F, Karimian N, Ronaghi AM, 2004- Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. *J. Plant Nutr.*, 27(9):1635-1651.
- Martin D., 1975- Complexe agro-industriel de Mantsoumba : étude pédologique de la ferme de Mantsoumba. Doc. ORSTOM, B/ville, multigr. 40p
- Mombo-Tsimba M.A.C., 2008- Influence du *Leucaena leucocephala* et de la fertilisation sur la production du maïs dans un système de culture en couloirs sur un sol sableux de la région de Brazzaville (Congo), MEMOIRE, Pour l'obtention du Certificat d'Aptitude au Professorat,

- d'Enseignement Secondaire (C.A.P.E.S.),
Option : Sciences Naturelles
- Nzila J. de D., 1992- Étude des transformations structurales et physico-chimiques d'un sol ferrallitique acide de la vallée du Niari (Congo) soumis à la pratique d'écobuage. Thèse, Université de Paris III-Val de Marne, 190p.
- Nyembo K L., Useni S Y., Mpundu MM., Bugeme MD., Kasongo LE., Baboy LL., 2012- Effet des apports des doses varies des fertilisants inorganiques (NPK et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique des nouvelles variétés de *Zea mays L* à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 59 : 4286-4296.
- Nyembo K.L., Useni S.Y., Chinawej M. M. D., Kyabuntu I.D., Kaboza Y., Mpundu M.M., Baboy L.L. (2014)- Amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol sous l'apport combiné des bio déchets et des engrais minéraux sur le comportement du maïs (*Zea mays L. variété Unilu*). *Journal of Applied, Biosciences* 74: 6121-6130
- Nyembo K.L., Useni S Y, Chukiyabo K.M, Tshomba K.J, Ntumba N. F, Muyambo M. E., Kapalanga K P, Mpundi M.M., Bugeme M. D, Baboy L. Louis (2013)- Rentabilité économique du fractionnement des engrais azotés en culture de maïs (*Zea mays L.*): cas de la ville de Lubumbashi, sud- est de la RD Congo. *Journal of Applied, Biosciences* 65: 4945-4956
- Sanginga N., Woomer P., Sanchez P.A., Shepherd K.D., Soule M.J., Place F.M., Mkwunye A.U., Buresh R.J., 2009 - Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and process development, TSBF-CIAT and FORMAT, Nairobi Kenya.
- Société Agricole de Raffinage Industriel du Sucre (SARIS) 2012 - Rapport d'activités culture de maïs.
- Tejada M, Hernandez MT, Garcia C, 2006 - Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J Environ. Qual.*, 35: 1010-1017.
- Useni S.Y., Baboy L.L., Nyembo K.L., Mpundu M.M., 2012 - Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays L.* cultivées dans la région de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences* 54: 3935– 3943
- UCB (1986): Fiche de l'Unité de broyage du Calcaire de Madingou établie en France.
- Vanlauwe B, Tittone P, Mukalama J., 2006- Within-farm soil fertility gradients affect response of maize to fertilizer application in western Kenya. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 76: 171-182
- Vilan M., 2012 - Méthodes expérimentales en agronomie, pratiques et analyses, Sciences, techniques et application, 2^{ème} édition.
- Welcker C., Thé C., De Leon C., Parentoni S.N., Bernal J., Félicité J., Zonkeng C., Salazar F., Narro L. & Horst W.J., 2005 - Heterosis and combining ability for adaptation of maize to acid soils: implication for future breeding strategies. *Society of America. Crop Science*, 42, 2405-2413.