



Réponse du soja (*Glycine max* L.) à des doses croissantes du DAP et Urée au Sud-Kivu, RD Congo

Patient Zamukulu^{1*}, Jean Mondo¹, Pascal Kalumire², Rodrigue Ayagirwe¹, Espoir Bagula¹, Katcho Karume¹, Dieudonné Katunga^{3&4}, Louis Baboy⁵, Emmanuel Njukwe⁶, Léon Nabahungu⁷, Antoine Lubobo^{5&8}, Serge Ndjadi¹, Gustave Mushagalusa¹

¹ Université Évangélique en Afrique (UEA), Bukavu, RD Congo, B.P 3323 Bukavu

² Université Libre des Grands-Lacs (ULGL), Bukavu, RD Congo

³ Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomique (INERA), Nioka, RD Congo, B.P 2037 Kinshasa 1

⁴ Université du Cinquantenaire (Uni50), Lwiro, RD Congo

⁵ Université de Lubumbashi (UNILU), Lubumbashi, RD Congo, B.P 1825 Lubumbashi

⁶ Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Bujumbura, Burundi, B.P 1893 Bujumbura

⁷ Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Kalambo, Bukavu, RD Congo, B.P 134 Kamembe, Rwanda

⁸ Centre International pour l'Agriculture Tropicale (CIAT – HarvestPlus), Kalambo, Bukavu, RD Congo

*Auteur correspondant : patzamukulu2@gmail.com

Original submitted in on 9th January 2018. Published online at www.m.elewa.org on 28th February 2018
<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v122i1.10>

RESUME

Objectif : La présente étude a été menée pour évaluer la réponse du soja à des doses croissantes du DAP et de l'Urée dans les conditions édapho-climatiques de Bugorhe dans les hautes altitudes du Sud-Kivu.

Méthodologie et résultats : Une expérimentation a été conduite suivant un dispositif en parcelle divisée (split plot) avec la source d'engrais azoté et la dose d'application des engrais comme facteur principal et facteur secondaire respectivement. Trois doses de l'Urée et du Di-Ammonium Phosphate (DAP) ont été appliquées à raison de 50 kg ha⁻¹ (D₁), 100 kg ha⁻¹ (D₂) et 150 kg ha⁻¹ (D₃) et une dose témoin D₀ (sans engrais). Le rendement en graines variait significativement en fonction de la dose ($p=0,0015$) et de la nature (source) d'engrais azoté ($p=0,0199$). Le DAP avait permis d'obtenir le rendement le plus élevé (1158,1 kg ha⁻¹) comparativement à l'Urée (956,7 kg ha⁻¹). Quant aux doses d'engrais, le rendement variait proportionnellement avec la dose d'engrais appliquée : la D₃ (150 kg ha⁻¹) du DAP a donné une moyenne élevée de rendement en graines (1640,9 kg ha⁻¹) alors que la dose témoin a donné une faible moyenne de rendement en graines (694,1 kg ha⁻¹). Pour l'Urée, la dose D₃ avait permis d'obtenir le rendement en graines le plus élevé (1229,8 kg ha⁻¹) comparativement à la dose témoin (627,4 kg ha⁻¹). Le rapport valeur sur coût obtenu sur les différentes doses d'engrais montre que la dose de 50 kg ha⁻¹ de l'Urée et 100 kg ha⁻¹ du DAP sont plus rentables avec des valeurs de 3,53 USD (4987,89 francs congolais) et 4,23 USD (5976,99 francs congolais). L'efficacité agronomique des doses d'engrais a varié entre 4,01 et 6,31 pour la dose 150 kg ha⁻¹ de l'Urée et du DAP.

Conclusion et application des résultats : Les résultats montrent que la dose de 150 kg ha⁻¹ pour le DAP et l'Urée permettrait d'améliorer le rendement en graines du soja au Sud Kivu mais, n'est pas rentable. Cependant, les doses de 50 kg ha⁻¹ et 100 kg ha⁻¹ de l'Urée et DAP sont à encourager le plus au vue de leurs rentabilités.

Mots-clés : Soja, Engrais azoté, Productivité, Rentabilité économique, Bugorhe, RD Congo

ABSTRACT

Response of the soybean (*Glycine max* L.) to increasing doses of DAP and Urea in the South – Kivu, DR Congo

Objective: This study assessed the soybean response to increasing doses of Di-Ammonium Phosphate (DAP) and Urea in the agro-ecological conditions of Bugorhe located in the highlands of South – Kivu.

Methodology and results: A field experiment was carried out in a split plot design with the fertilizer source as main factor and fertilizer dose as the sub-factor. Three doses of Urea and DAP were applied: 50 kg ha⁻¹ (D₁), 100 kg ha⁻¹ (D₂) and 150 kg ha⁻¹ (D₃) and a Control (D₀) without fertilizer. The soybean grain yield varied significantly with the applied dose ($p=0.0015$) and the nitrogen fertilizer source ($p=0.0199$). The DAP application recorded the highest grain yield (1158.1 kg ha⁻¹) compared to Urea (956.7 kg ha⁻¹). Regarding to fertilizer doses, the grain yield varied proportionally with fertilizer dose applied: D₃ (150 kg ha⁻¹) of DAP gave the highest grain yield (1640.9 kg ha⁻¹) compared to control, which had the lowest grain yield (694.1 kg ha⁻¹). For Urea, the D₃ dose gave the highest grain yield (1229.8 kg ha⁻¹) compared to control D₀ (627.4 kg ha⁻¹) which recorded the lowest grain yield. The value cost ratio obtained for different doses of fertilizer showed that the dose of 50 kg ha⁻¹ of Urea and 100 kg ha⁻¹ of DAP were more profitable with 3.53 USD (4987.89 Congolese francs) and 4.23 USD (5976.99 Congolese francs) of economic benefits, respectively. The agronomic efficiency (AE) of fertilizer doses was varying from 4.01 to 6.31 for 150 kg ha⁻¹ of Urea and 150 kg ha⁻¹ of DAP.

Conclusion and result applications : Results showed that the D₃ dose (150 kg ha⁻¹) of DAP and Urea would improve soybean grain yield in South – Kivu but, is not profitable. However, doses of 50 kg ha⁻¹ and 100 kg ha⁻¹ of Urea and DAP should be encouraged for their expected profit.

Keywords: Soybean, Nitrogenous fertilizer, Productivity, Profitability, Bugorhe, DR Congo

INTRODUCTION

Le soja est l'une de principales et importantes sources des protéines (40-42%) et d'huile végétale (18-22%) utilisées habituellement dans l'alimentation humaine (Mehmet, 2008 ; Mabapa *et al.*, 2010 ; Munene *et al.*, 2017). Il est utilisé dans les industries agro-alimentaires pour la fabrication de nombreux sous-produits riches en protéines pour l'amélioration de la santé des consommateurs (Baboy *et al.*, 2015). Cependant, comme pour d'autres cultures, son rendement est contraint en Afrique sub-saharienne par plusieurs facteurs dont la dégradation de la fertilité des sols, le changement climatique, les mauvaises pratiques culturales et le choix inadéquat des terres pour sa culture (Kananji *et al.*, 2013 ; Kihara *et al.*, 2016 ; Munene *et al.*, 2017 ; Van Vugt *et al.*, 2017). La mauvaise gestion de la fertilité du sol due à la croissance massive de la population affecte la production agricole en accroissant la demande des produits agricoles, intensifiant ainsi la pression sur les ressources naturelles et par conséquent l'épuisement continu de la fertilité des sols (Vanlauwe *et al.*, 2015). L'application des engrais inorganiques est un facteur important qui permettrait d'améliorer le rendement potentiel des

cultures et ainsi assurer la sécurité alimentaire de la population (IFDC, 2012 ; Bagula *et al.*, 2014 ; Bossissi *et al.*, 2015 ; Mushagalusa *et al.*, 2016). Au Kivu montagneux, l'agriculture est majoritairement paysanne et pratiquée sans jachère par de petits exploitants. L'exportation des nutriments du sol sans apport des fertilisants pour compensation a conduit à des baisses progressives de rendements au cours des années (Pypers *et al.*, 2011). Ndusha *et al.* (2017) ont montré que le soja n'est pas épargné et son rendement n'atteint guère 500 kg ha⁻¹ alors que des rendements potentiels s'estiment entre 1500 et 3000 kg ha⁻¹ dans certains pays africains (Kananji *et al.*, 2013 ; Van Vugt *et al.*, 2017). L'azote est un élément important dans la production des légumineuses à graines (Mehmet, 2008). Néanmoins, la demande du soja en azote varie d'une zone agro écologique à l'autre avec des rendements en graines influencés par différentes sources et doses d'azote appliquées (Mehmet, 2008 ; Falodun *et al.*, 2015). Ces derniers avaient montré que le rendement en graines du soja pouvait être amélioré jusqu'à 38,7% avec l'application de 90 kg ha⁻¹ d'azote. Suryantini & Kuntiyastuti (2015) avait

également montré une réponse favorable du soja à l'apport d'azote avec des rendements optimums à 120 kg ha⁻¹, cependant au-delà de 180 kg ha⁻¹, le rendement chutait et devenait comparable aux petites doses (30 et 60 kg ha⁻¹). Ainsi, la présente étude a été menée dans l'objectif de : (i) identifier

lequel des engrais azotés DAP et l'Urée augmenterait le rendement en graines du soja dans les conditions de Bugorhe et (ii) déterminer la dose optimale du DAP et de l'Urée à appliquer en vue d'augmenter son potentiel de production dans les conditions de Bugorhe.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude : L'expérimentation a été conduite dans le groupement de Bugorhe dans le champ d'un paysan (latitude 02° 14' 38,9"S, longitude 028° 49' 10,6"E et à une altitude de 1650 m). Bugorhe bénéficie d'un climat tropical humide caractérisé par deux saisons culturales (saison A : Septembre-Janvier et saison B : Février-Juin) et reçoit en moyenne une pluviométrie

annuelle de 1500 à 1800 mm (Mulinganya, 2016) avec une température moyenne d'environ 19,5°C (Chihire *et al.*, 2014). Ce site est dominé par le sol du type Ferralsols résultant des roches basaltiques (Mulinganya, 2016). Les résultats des analyses des sols du champ expérimental sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: Principales caractéristiques du sol du champ expérimental

Éléments	Quantité	Sol standard sur le soja
pH	5,90	6,0-6,8
Carbone organique (C _{org} en %)	1,74	2,3
Azote (N en %)	0,34	1
Phosphore (mg P/kg)	18,69	36-50
Potassium (K en meq par 100g)	0,10	1-3
Sodium (Na mol par kg)	0,09	0,4-0,8
Magnésium (Mg mol kg ⁻¹)	0,16	0,25-1,00

Source : Bustingorri & Lavado (2011) ; Walangululu *et al.* (2014)

Matériel Végétal : La variété 'Impérial' du soja a été utilisée comme matériel végétal en raison de son adaptation aux conditions écologiques du Kivu montagneux en général et du territoire de Kabare en particulier. Elle a une bonne résistance aux maladies et à la sécheresse (Habineza *et al.*, 2016). Le choix du soja comme culture test se justifie par son importance alimentaire et économique dans la sous-région (Ndusha *et al.*, 2017).

Engrais minéraux : Les engrais minéraux à base de l'Urée : 46% N et du DAP (Di-Ammonium Phosphate) : 18% N - 46% P₂O₅ ont été appliqués à des niveaux de dose différents : Dose 0 ou témoin (0 kg ha⁻¹), Dose 1 (50 kg ha⁻¹), Dose 2 (100 kg ha⁻¹) et Dose 3 (150 kg ha⁻¹).

Méthodes

Dispositif expérimental et gestion de l'essai : L'expérimentation a été conduite durant la petite saison des pluies allant de février à juin 2016. Un dispositif en parcelle divisée (split plot) avec deux facteurs en étude, dont la source des nutriments (azote) comme facteur principal et la dose d'application d'engrais comme facteur secondaire, a été adopté pour l'expérimentation. L'essai

contenait 3 blocs portant chacun 8 parcelles de 4 m de longueur et 2 m de largeur (soit 8 m²) et séparées les unes des autres par 0,5 m alors que la distance entre blocs était de 1 m. Le semis était fait à l'écartement de 0,40 m x 0,20 m en raison de 2 graines par poquet soit une densité de 250 000 plants à l'hectare. L'application des engrais était faite par poquet le jour de semis, la semence étant couverte d'une mince couche de sol afin d'éviter le contact direct entre la semence et l'engrais. Les données sur les paramètres de rendement ont été collectées à la récolte. Le nombre des gousses par plant et le nombre des graines par gousse étaient obtenus par comptage manuel. Quant au poids de 100 graines ; il avait été déterminé à l'aide d'une balance de précision de marque SF-400. A la récolte, les graines de soja obtenues par parcelle étaient pesées à l'aide de cette balance de précision, puis le rendement en graines (en kg ha⁻¹) était obtenu après extrapolation par la règle de trois simples.

Efficacité agronomique des doses d'engrais : l'efficacité agronomique (EA) des doses d'engrais était calculée selon l'équation suivante : $EA = (Rdt1 - Rdt2) / QE$ où Rdt1 : rendement en graine avec engrais à une dose

Zamukulu et al., J. Appl. Biosci. 2018 Réponse du soja (Glycine max L.) à des doses croissantes du DAP et Urée au Sud-Kivu, RD Congo

donnée ; Rdt2 : rendement en graine sans engrais et QE : quantité d'engrais appliquée à l'hectare (Mushagalusa et al., 2016).

Rentabilité économique des doses d'engrais : la rentabilité économique des doses d'engrais a été calculée selon la formule utilisée par Nyembo et al. (2012 ; 2013). Un kilogramme du DAP et Urée coûtait 1,5 USD dans les pharmacies agrovétérinaires du sud Kivu et 1 kg des graines du soja se vendait à 0,92 USD dans les marchés locaux lors de la période d'étude. Au moment de la recherche, 1 USD s'échangeait à 1413 francs congolais.

Analyse statistique des données : L'entrée des données a été faite à l'aide de Microsoft Excel. L'analyse statistique des données a ensuite été effectuée à l'aide du logiciel Statistix version 8.0. L'Analyse de la variance (ANOVA) a en effet été conduite pour la comparaison des moyennes et les moyennes étaient enfin séparées à l'aide du test de LSD (Least Significant Difference) au seuil de signification de 5% à chaque fois qu'il y avait des différences significatives.

RESULTATS

Effet du DAP et de l'Urée sur les paramètres de rendement du soja : Les effets moyens de la source d'engrais azoté sur les paramètres de rendement sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2: Effets moyens des engrais sur les paramètres de rendement du soja

Engrais	NGP	NGG	P100G (g)	Rdt (kg ha ⁻¹)
Urée	6,500 ^b	4,95 ^b	27,33 ^b	956,7 ^b
DAP	9,00 ^a	5,44 ^a	32,50 ^a	1158,1 ^a
LSD	1,444	0,432	1,450	67,4
CV (%)	12,07	4,19	8,71	2,20

Légende tableau 2 : NGP : Nombre de Gousses par Plant ; NGG : Nombre de Graines par Gousse ; P100G : Poids de 100 Graines ; Rdt : rendement en graines ; a, b, c : Les moyennes d'une même colonne suivies des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5 % du test de LSD ; CV : Coefficient de Variation.

Les résultats du tableau 2 montrent que l'application du DAP a permis d'obtenir de moyennes plus élevées pour les différents paramètres de rendement comparativement à l'Urée. En effet, le nombre de gousses par plant ($9 \pm 3,54$), le nombre des graines par gousse ($5,44 \pm 1,26$), le poids de 100 graines ($32,5 \pm 8,52$ g) et le rendement en graines ($1158,1 \pm 379,21$ kg ha⁻¹) sont en moyenne plus élevés pour le DAP comparativement à l'Urée ($6,5 \pm$

$2,61$; $4,95 \pm 1,32$; $27,33 \pm 7,95$ g et $956,7 \pm 238,56$ kg ha⁻¹) respectivement pour le nombre des gousses par plant, le nombre des graines par gousse, le poids de 100 graines ainsi que le rendement en graines.

Effet des doses d'engrais sur les paramètres de rendement du soja : Les effets des doses d'application des engrais sur le rendement du soja et ses composantes sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3: Influence des doses d'engrais sur les paramètres de rendement du soja

Doses	Urée				DAP			
	NGP	NGG	P100G(g)	Rdt (kg ha ⁻¹)	NGP	NGG	P100G(g)	Rdt (kg ha ⁻¹)
0	3,33 ^b	3,00 ^c	17,66 ^d	627,4 ^c	5,00 ^b	4,03 ^b	22,66 ^d	694,1 ^d
50	5,33 ^b	5,06 ^b	24,66 ^c	915,5 ^b	7,66 ^{ab}	4,93 ^b	28,33 ^c	978,7 ^c
100	8,33 ^a	5,33 ^b	29,33 ^b	1054,0 ^{ab}	10,33 ^{ab}	5,7 ^{ab}	35,00 ^b	1318,7 ^b
150	9,00 ^a	6,40 ^a	37,66 ^a	1229,8 ^a	13,00 ^a	7,10 ^a	44,00 ^a	1640,9 ^a
MG	6,50	4,95	27,33	956,67	9,00	5,44	32,50	1158,1
p-value	0,0011	0,0002	0,0000	0,0003	0,0225	0,0057	0,0000	0,0001
LSD	1,913	0,747	2,514	145,3	4,529	1,282	3,194	182,5
CV	14,73	7,56	4,60	7,60	25,19	11,79	4,92	7,89

Légende tableau 3 : NGP : Nombre de Gousses par Plant ; NGG : Nombre de Graines par Gousse ; P100G : Poids de 100 Graines ; Rdt : rendement en graines en kilogrammes par hectare; MG : moyenne générale ; a, b, c : les moyennes d'une même colonne suivies des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5 % selon le test de LSD (Least Significant Difference) ; CV : Coefficient de Variation and LSD.

Du tableau 3, le rendement variait proportionnellement avec les doses d'engrais appliquées : la dose D₃ (150 kg ha⁻¹) du DAP a donné le rendement en graines le plus élevé (1640,9 kg ha⁻¹) alors que le plus faible était enregistré à la D₀ quand aucun engrais n'était appliqué (694,1 kg ha⁻¹). La tendance était la même pour l'Urée où

la dose D₃ a permis d'obtenir le rendement le plus élevé (1229,8 kg ha⁻¹) alors que le plus faible était enregistré à la dose contrôle D₀ (627,4 kg ha⁻¹).

Efficacité agronomique des doses d'engrais : Les résultats sur l'efficacité agronomique des doses d'engrais appliquées sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4: Efficacité agronomique des doses d'engrais

Engrais	Doses	EA
Urée	50	5,67
	100	4,26
	150	4,01
DAP	50	5,69
	100	6,24
	150	6,31

Légende tableau 4 : EA : efficacité agronomique

Les résultats du tableau 4 montrent que l'application du DAP donne des bons résultats avec des moyennes d'efficacité agronomique qui varient proportionnellement avec les doses d'engrais. Par contre, les moyennes d'efficacité agronomique sur l'Urée ont varié disproportionnellement avec les différentes doses. En effet, 1 kg de l'Urée appliqué à la dose de 150 kg ha⁻¹ génère 4,01 kg de soja et 1 kg du DAP appliqué à la dose

de 150 kg ha⁻¹ produit 6,31 kg de soja. Cela suggère qu'au-delà de 100 kg de l'Urée et du DAP à l'hectare, l'application n'est plus bénéfique et affecte même négativement la productivité pour le cas de l'Urée.

Estimation de la rentabilité économique des doses d'engrais appliquées sur le soja : les résultats de l'estimation de la rentabilité économique des doses d'engrais sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Estimation de la rentabilité économique des doses d'engrais appliquées sur le soja

Engrais	Doses	Coût Engrais (USD)	Rdt (t ha ⁻¹)	Augmentation du rdt (t ha ⁻¹)	Valeur augmentation (USD)	RVC
Urée	0	-	0,6274	-	-	-
	50	75	0,9155	0,2881	265,05	3,53
	100	150	1,054	0,4266	392,47	2,61
	150	225	1,2298	0,6024	554,20	2,46
DAP	0	-	0,6941	-	-	-
	50	75	0,9787	0,2846	261,83	3,49
	100	150	1,3187	0,6913	635,99	4,23
	150	225	1,6409	1,0135	932,42	4,14

Légende tableau 5 : RVC : rapport valeur sur coût et USD : Dollars Américains. Au moment de la recherche, 1USD équivalait à 1413 francs congolais.

Les résultats du tableau 5 montrent que toutes les doses d'engrais appliquées sont rentables et peuvent être recommandées en culture de soja étant donné que leurs rapports valeur sur coût sont supérieurs à 1. La dose D₂ (100 kg ha⁻¹) du DAP est celle qui a le plus grand RVC et est donc la plus rentable et par conséquent

recommandable pour les agriculteurs du soja dans le sud Kivu. Pour chaque kilogramme d'engrais investi, les résultats montrent que l'agriculteur gagnerait 4,23 USD quand il applique la dose de 100 kg ha⁻¹ du DAP et 3,53 USD quand il applique 50 kg ha⁻¹ de l'Urée.

DISCUSSION DES RESULTATS

Caractéristiques chimiques des sols de Bughore : En effet, comme dans tout le Bushi montagneux, le sol est acide avec de pH variant entre 4,5 et 5 (Lunze, 2000). Curieusement, le pH du champ d'essai a été de 5,90 (Tableau 1), valeur non loin de la neutralité et aussi proche de la préférence des légumineuses à graines pour leur bonne croissance (Walangululu *et al.*, 2014). Un sol trop acide (pH <4,0) limite la productivité du soja qui préfère un sol avec un pH optimal de 6,0 à 6,8 et des valeurs critiques variant entre 4,0 et 5,5 (Widiata *et al.*, 2015 ; Wijanarko & Taufiq, 2016). En outre, le taux du Carbone organique était faible (1,74%) pour une bonne production agricole. Par ailleurs, Owusu & Sadick (2016) montrent qu'un sol productif doit avoir au moins 2,3% du taux de Carbone organique. Le sol du champ expérimental est pauvre en azote total (0,34%), valeur inférieure à 1%, ce qui ne donne pas l'indication précise de l'absorption par la plante de l'azote apportée. Par ailleurs, la teneur en phosphore assimilable demeure inférieure au seuil critique de 30 ppm pour une bonne réponse des cultures au différent type de sol (Traoré *et al.*, 2007). Cette valeur confirme la pauvreté presque totale des sols du Bushi en phosphore comme l'avaient signalé Lunze (2000) ; Vandamme (2008) et Mushagalusa *et al.* (2016). Ceci expliquerait la faible réponse des légumineuses à graines à l'apport des fertilisants contenant de faibles quantités de phosphore. Le faible niveau de P est un problème majeur dans la production des légumineuses à graines du fait que cet élément joue un rôle essentiel dans la formation des gousses et sa déficience dans le sol réduit le nombre des gousses par plant et par conséquent baisse significativement le rendement en graines du soja (Mahamood *et al.*, 2009). En outre, Bado (2002) montre que la déficience du sol en Phosphore affecte également le processus de fixation biologique de l'azote pour une meilleure nodulation pourtant, la fixation biologique de l'azote influence positivement la croissance et le rendement en graines des légumineuses qui sont des indicateurs de l'état nutritionnel des plantes. La faible quantité des bases échangeables dans le champ d'essai est liée par le faible taux du Carbone organique (Owusu & Sadick, 2016). Ceci expliquerait aussi en partie, la bonne réponse du soja au DAP comme source d'Azote car en plus de l'azote apporté, le DAP contient du phosphore qui est un élément essentiel pour la croissance et le développement des légumineuses à graines.

Effet des engrais (DAP et Urée) sur le rendement et ses composantes : Les résultats obtenus montrent que le rendement en graines du soja a varié significativement en fonction de la source des nutriments (type d'engrais).

Les moyennes étaient plus élevées pour les parcelles où le DAP était appliqué comparativement à l'Urée. Les mêmes observations ont été faites par Lamptey *et al.* (2014) qui montrent que cette différence de rendement serait due à la présence du phosphore dans le DAP en plus de l'azote qu'il apporte. Le phosphore étant l'un des éléments nutritifs majeurs affectant le rendement du soja dont sa déficience réduit significativement son rendement, sa présence dans le DAP expliquerait le rendement plus élevé comparativement aux traitements en urée (Matusso & Cabo, 2015). En effet, plusieurs autres auteurs ont déjà mis en évidence la variation du rendement du soja due aux différentes sources des nutriments utilisées dans la fertilisation (Yagoub *et al.*, 2012 ; Kasongo *et al.*, 2013 et Verde *et al.*, 2013).

Effet des doses d'engrais sur le rendement du soja et ses composantes : Le rendement du soja et ses composantes ont varié significativement et proportionnellement avec les doses d'engrais appliquées, la dose de 150 kg ha⁻¹ permettait d'obtenir des rendements plus élevés quelle que soit la source d'engrais utilisée. Ahmed (2013) avait trouvé dans son expérimentation que le rendement du soja s'améliorait avec la variation des doses d'engrais azoté dont le rendement en graines le plus élevé a été obtenu avec la combinaison de l'inoculum et 40 kg ha⁻¹ en comparaison du témoin sans engrais ni inoculum, soit respectivement 1940 kg ha⁻¹ et 2220 kg ha⁻¹ (2010 et 2011) et 910 kg ha⁻¹ et 1350 kg ha⁻¹ (2010 et 2011). Dans les conditions irriguées, Chafi *et al.* (2012) ont montré que la variation des doses d'azote sur le soja a influencé significativement le rendement et ses composantes avec un haut rendement obtenu grâce à la dose de 90 kg ha⁻¹ (5528,1 kg ha⁻¹) comparé à la dose supérieure (120 kg ha⁻¹) et au témoin (0 kg ha⁻¹) avec de rendement en graines de 4780 et 3888,1 kg ha⁻¹. Des résultats obtenus par Mehmet (2008) sur la culture du soja ont montré que la dose de 90 kg ha⁻¹ a réalisé le plus grand rendement, soit 2574 kg ha⁻¹ alors que la dose 0 kg ha⁻¹ avait réalisé le plus petit rendement en graines du soja, soit 1855 kg ha⁻¹. Matusso & Cabo (2015) ont obtenu, chez le soja, une augmentation proportionnelle du nombre des gousses par plant, du poids de 100 graines ainsi que du rendement en graines avec l'augmentation de la dose du phosphore (0, 20, 40 et 60 kg ha⁻¹) appliquée dont la variation du nombre des gousses par plant a été respectivement de 23,73 ; 25,25 ; 44,68 et 41 gousses plant⁻¹ selon les doses. La variation du poids de 100 graines et du rendement a été respectivement de 12,29 g, 12,94 g, 13,39 et 12,71 g (poids de 100 graines) et 200 ; 245 ; 297 et 429 kg ha⁻¹ (rendement) selon les doses appliquées.

Moreira *et al.* (2017) ont obtenu une augmentation proportionnelle du rendement en graines du soja qui a été significativement influencé par l'application de différentes doses d'azote foliaire. La variation observée a été de 5% (211 kg ha⁻¹) et 6,1% (259 kg ha⁻¹) pour la dose 5 et 10 kg de N ha⁻¹. Des résultats contraires aux nôtres ont été obtenus par Mrkovački *et al.* (2008). Ils ont obtenu une diminution du rendement en graines du soja suivant l'accroissement des doses d'azote après inoculation des semences avant semis. Le témoin sans engrais (0 kg ha⁻¹) a obtenu un haut rendement (4350 kg ha⁻¹) suivi de 30 kg ha⁻¹ (4251 kg ha⁻¹), 60 kg ha⁻¹ (4073 kg ha⁻¹) et 90 kg ha⁻¹ (4041 kg ha⁻¹). La variation disproportionnelle de leur rendement comparativement au nôtre serait due, selon Lamptey *et al.* (2014) à l'apport d'engrais chimique en dehors de l'inoculum qui a favorisé un surplus des nutriments en occasionnant une croissance végétative au détriment du poids de graines étant donné que Salih *et al.* (2015) montrent que l'inoculation du soja est rapportée comme l'une des solutions pour l'amélioration de la croissance et rendement en graines du soja.

Efficacité agronomique des doses d'engrais : Les résultats de l'efficacité agronomique des doses d'engrais montrent que l'application du DAP donne de bons résultats avec des moyennes d'efficacité agronomique qui varient proportionnellement avec les doses d'engrais et disproportionnellement avec l'application des doses de l'urée (tableau 4). Mushagalusa *et al.* (2016) montrent que les valeurs faibles d'efficacité agronomique dans le sol du Bushi seraient dues à l'acidité naturelle des sols. Cependant, Vanlauwe *et al.* (2015) recommandent

l'application de la chaux avant le semis dans le sol acide comme le ferralsols ou l'acrisols, étant donné que la chaux accroît l'efficacité agronomique des engrais en améliorant la disponibilité des nutriments dans les sols et en favorisant la croissance racinaire. Nos résultats montrent que l'efficacité agronomique des doses d'engrais accroît avec l'accroissement des doses du DAP (tableau 4).

Effets des doses d'engrais sur la rentabilité économique du soja : la rentabilité économique des doses d'engrais a varié avec l'application des doses différentes. La dose de 100 kg ha⁻¹ du DAP et celle de 50 kg ha⁻¹ de l'urée se sont avérées plus rentables sur la culture du soja étant donné qu'elles ont donné de rapports valeur sur coût plus élevés (tableau 5). Des observations similaires aux nôtres ont été faites par Kitabala *et al.* (2016) qui ont démontré que la rentabilité économique des engrais varie avec l'application de différentes doses d'engrais. Ils ont démontré que les doses supérieures sont moins rentables. Ces mêmes observations ont été faites par Gala *et al.* (2011) qui ont également démontré que le quart de la dose recommandée a été plus rentable comparativement à la dose recommandée. Selon Nyembo *et al.* (2012 ; 2013), la rentabilité économique des engrais n'est pas fonction des doses d'engrais appliquées étant donné qu'ils ont montré que les doses supérieures sont moins rentables comparativement aux petites doses. Cependant, Nyembo *et al.* (2014) recommandent l'usage des faibles doses des fertilisants étant donné qu'elles sont plus rentables que les fortes doses.

CONCLUSION

Les résultats obtenus ont montré que la source des engrais azotés appliquée à des doses croissantes a permis d'accroître le rendement en graines du soja. L'application de la dose de 150 kg ha⁻¹ du DAP permettrait ainsi d'accroître le rendement du soja dans les conditions paysannes du Sud-Kivu en général et de Bugorhe en particulier où la surexploitation des ressources naturelles constitue l'une de principales causes de la perte des nutriments essentiels pour la croissance et le rendement du soja en particulier. Le DAP s'est montré plus efficace en permettant un rendement plus élevé (1158,1 kg ha⁻¹) contre seulement 956,7 kg ha⁻¹

¹ pour l'urée. La dose de 150 kg ha⁻¹ (dose D₃) a été la meilleure dose pour l'urée et le DAP car, ayant permis de rendements allant jusqu'à 1229,8 kg ha⁻¹ pour l'urée et 1640,9 kg ha⁻¹ pour le DAP contre seulement 627,4 kg ha⁻¹ pour le témoin sans engrais. Quant aux RVCs obtenus sur les différentes doses d'engrais appliquées sur le soja, il s'est avéré que la dose de 50 kg ha⁻¹ de l'urée et celle de 100 kg ha⁻¹ du DAP sont plus rentables et donc à recommander aux exploitants agricoles du Sud-Kivu, étant donné qu'elles ont obtenus des RVCs plus élevés : 3,53 USD et 4,23 USD respectivement pour 50 kg ha⁻¹ de l'urée et 100 kg ha⁻¹ du DAP.

REFERENCES

- Ahmed F, 2013. Interactive effect on nitrogen fertilization and rhizobium inoculation on nodulation and yield of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences* 2 (4): 169-173.
- Baboy L, Kidinda L, Kilumba M, Langanu S, Mazinga M, Tshipama D, Kimuni L, 2015. Influence du semis tardif sur la croissance et le rendement du soja (*Glycine max* Merrill) cultivé sous différents écartements à Lubumbashi, RD Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 12 (1): 104-109.
- Bado V. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudanienne du Burkina Faso, Thèse de Doctorat, Université Laval du Canada, Québec 167.
- Bagula E, Pypers P, Mushagalusa G, Muhigwa J.-B., 2014. Assessment of fertilizer use efficiency of maize in the Weathered soils of Walungu District, DR Congo. B. Vanlauwe *et al.*, (eds.), *Challenges and Opportunities for Agricultural Intensification of the Humid Highland Systems of Sub-Saharan Africa*, Springer International Publishing Switzerland 187-199.
- Bossissi N, Bashagaluke J, Cidoro V, Nshobole N, Walangululu J, Pypers P, 2015. The best choice of fertilizer for maize (*Zea mays*) and climbing beans (*Phaseolus vulgaris*) rotation for rich, mean and poor farmers in South-Kivu, DR Congo. *Academia Journal of Agricultural Research* (3): 29-36.
- Bustingorri C. and Lavado R. 2011. Soybean growth under stable versus peak salinity. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 68 1): 102-108.
- Chafi A, Amiri E, Nodehi D, 2012. Effects of irrigation and nitrogen fertilizer on soybean (*Glycine max*) agronomic traits. *International Journal of Agriculture and Crop Science* 4 (16): 1188-1192.
- Chihire B, Rubabura K, Byenda M, Bakulukira R, Bisimwa B, Walangululu J.-M, 2014. Inventory of insects damaging the plants of rice and vectors of diseases in the irrigated area of Bugorhe district in the South Kivu Province in East of Democratic Republic of Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 7 (2): 512-521.
- Falodun J, Ehigiator J, Ogedegbe S, 2015. Growth and yield response of soybean (*Glycine max* Merr.) to organic and inorganic fertilizer in Edo Rainforest of Nigeria. *American Journal of Plant Sciences* 6: 3293-3297.
- Gala J, Camara M, Yao-Kouamé A, Keli J, 2011. Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 46: 3153-3162.
- Habineza J.-P, Samine A, Gakuru S, Dushimimana C, 2016. Effet de l'inoculation au rhizobium et de la fertilisation au triple super phosphate sur le comportement des variétés du soja. *Annales de l'UNIGOM* 6 (2): 99-110.
- IFDC (International Fertilizer Development Centre), 2012. IFDC report, 57. Volume 37, numéro 2.
- Kananji G, Yohane E, Siyeni D, Kachulu L, Mtambo L, Chisama B, Mulekano O, 2013. A Guide to Soybean Production in Malawi. Department of Agricultural Research Services (DARS), Lilongwe, Malawi. Retrieved November 29, 2016, from https://www.researchgate.net/publication/265736526_A_guide_to_soybean_production_in_Malawi
- Kasongo E, Mwamba T, Tshipoya P, Mukalay J, Useni Y, Mazinga M, Kimuni Y, 2013. Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. (Merrill) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un Ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences* 63:4727-4735.
- Kihara J, Nziguheba G, Zingore S, Coulibaly A, Esilaba A, Kabambe S, Njoroge S, Palm C, Huising J, 2016. Understanding variability in crop response to fertilizer and amendements in Sub-saharian Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 229:1-12.
- Kitabala A, Tsalla J, Kalenda A, Tshijika M, Mufind M, 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences* 102: 9669-9679.
- Lamptey S, Ahiabor B, Yeboah S, Asamoah C, 2014. Response of soybean to rhizobial inoculation and phosphorus application. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 2 (1): 73-77.
- Lunze L, 2000. Possibilités de gestion de la fertilité de sol au Sud – Kivu, Montagneux. *Cahiers du CERPRU* 14 : 23-26.
- Mabapa P, Ogola J, Odhiambo J, Whitbread A, Hargreaves J, 2010. Effect of phosphorus

- fertilizer rates on growth and yield of three soybean (*Glycine max*) cultivars in Limpopo province. African Journal of Agricultural Research 5 (19):2653-2660.
- Mahamood J, Abayomi Y, Aduloju M, 2009. Comparative growth and grain yield responses soybean genotypes to phosphorous fertilizer application. African Journal of Biotechnology 8 (6): 1030-1036.
- Matusso J. and Cabo F, 2015. Response of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] to phosphorus Fertilizer Rates in Ferralsols, Academic Research Journal of Agricultural Science and Research, 3 (10):281-288.
- Mehmet O, 2008. Nitrogen rate and plant population effects on yield and yield components in soybean. African Journal of Biotechnology 7 (25):4464-4470.
- Moreira A, Moraes L, Schroth G, Becker F, Mandarino J, 2017. Soybean yield and nutritional status response to nitrogen sources and rates of foliar fertilization. Soil fertility & Crop Nutrition 109 (2): 2-7.
- Mrkovački N, Marinković J, Aćimović R., 2008. Effect of N fertilizer application on growth and yield of inoculated soybean. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 36 (1): 48-51.
- Mulinganya N, 2016. Rhizobia inoculants combined with organic and inorganic fertilizer amendments effects on nitrogen fixation and yields of beans in South Kivu, Democratic Republic of Congo, Kenyatta University, MSc thesis in Integrated Soil Fertility Management, 88.
- Munene P, Chabala L, Mweetwa M, 2017. Land Suitability Assessment for Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Production in Kabwe District, Central Zambia. Journal of Agricultural Science 9 (3):1-16
- Mushagalusa G, Kashemwa A, Sinza C, Bigirimwami L, Karume K, Lubobo A, 2016. Responses of biofortified common bean varieties to diammonium phosphate fertilizer under climate variability conditions in South-Kivu, DR Congo. African Journal of Agricultural Research 11 (38): 3569-3577.
- Ndusha B, Karanja N, Woomeer P, Walangululu J, Mushagalusa G, Sanginga J.-M, 2017. Effectiveness of rhizobia strains isolated from South Kivu soils (Eastern DR Congo) on nodulation and growth of soybeans (*Glycine max*). African Journal of Soil Science 5 (3): 367-377.
- Nyembo L, Kisimba M, Mwamba T, Lwalaba Wa Lwalaba J, Lubobo A, Nyumba B, Pundu M, Baboy L, 2014. Effets de doses croissantes des composts de fumiers de poules sur le rendement de chou de Chine (*Brassica chinensis* L.) installé sur un sol acide de Lubumbashi. Journal of Applied Biosciences 77 : 6509-6522.
- Nyembo L, Useni Y, Chukiyanabo M, Tshomba J, Ntumba F, Muyomba E, Kapalanga P, Mpundu M, Bugeme D, Baboy L, 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.
- Nyembo L, Useni Y, Mpundu M, Bugeme D, Kasongo E, Baboy L, 2012. Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. Journal of Applied Biosciences 59: 4286-4296.
- Owusu A. and Sadick A, 2016. Assessment of soil nutrients under maize intercropping system involving soybean. International Research Journal of Agricultural and Food Sciences 1 (3): 33-34.
- Pypers P, Sanginga J.-M, Kasereka B, Walangululu J, Vanlauwe B, 2011. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. Field Crops Research 120: 76-85.
- Salih H, Hamd S, Dagash Y, 2015. The effects of rhizobium, mycorrhizal inoculation and diammonium phosphate (DAP) on nodulation, growth, and yield of soybean. Universal Journal of Agricultural Research 3 (1):11-14.
- Suryantini B. and Kuntiyastuti H., 2015. Effect of nitrogen fertilization on soybean production under two cropping seasons. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 3 (3): 317-323.
- Traoré O, Koulibaly B, Dakuo D, 2007. Effets comparés de deux formes d'engrais sur les rendements et la nutrition minérale en zone cotonnière au Burkina Faso. Tropicultura 25 (4): 200-203.
- Van Vugt D, Franke A, Giller K, 2017. Participatory research to close the soybean yield gap on

- smallholder farms in Malawi. *Experimental Agriculture* 53 (3): 396-415.
- Vandamme E. 2008. Nutrient deficiencies in soils of Walungu, South-Kivu, Democratic Republic of Congo. Mémoire de MSc, Université Catholique de Louvain, Belgique, 107.
- Vanlauwe B, Descheemaeker K, Giller K, Huising J, Merckx R, Nziguheba G, Wendt J, Zingore S, 2015. Integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. *Soil* 1: 491-508.
- Verde S, Danga B, Mugwe J, 2013. Effects of manure, lime and mineral P fertilizer on soybean yields and soil fertility in a humic nitisol in the Central highland of Kenya. *International Journal of Agricultural Science Research* 2 (9):283-291.
- Walangululu J, Shukuru L, Bamuleke D, Bashagaluke J, Angelani A, Baijuka F, 2014. Response of introduced soybean varieties to inoculation with rhizbium in Sud Kivu province, Democratec Republic of Congo. Fourth Ruforum Biennial Regional Conference, 21-25 july, Maputo; Mozambique, 273-279.
- Widiata B, Musa Y, Ala A, Farid M, 2015. Resistance of soybean genotypes against acidity, results of mutation induction by Gamma Ray Irradiation. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 9 (9): 60-69.
- Wijanarko A. and Taufiq A, 2016. Effect of lime application on soil properties and soybean yield on Tidal land. *Agrivitan* 38 (1): 14-23.
- Yagoub S, Ahmed W, Mariod A, 2012. Effect of Urea, NPK and compost on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.), in Semi-Arid region of Sudan. *International Scholarly Research Network* 6.