



Rentabilité de l'application des fractions des doses d'engrais NPK en culture de manioc (*Manihot esculenta* Crantz, var. sawasawa) dans les conditions agroécologiques des Territoires de Beni et Lubero

Serge Kasereka Masimengo¹, Yves Mbusa Kamavu², Kambale Blessing Muyisa Musongora³, Serge Kambale Kikono⁴, Muhindo Sahani Walere⁵, Gilbert Paluku Mutiviti⁶

Résumé

Cette étude s'est proposé d'évaluer la rentabilité de la combinaison de diverses fractions de doses des macronutriments NPK sur la culture du manioc en Territoires de Beni et Lubero. Pour ce faire, des essais ont été conduits dans trois zones agroécologiques ; Bingo, Maboya et Kirumba pendant trois saisons culturales consécutives (2018-2019, 2019-2020 et 2020-2021). Excepté le traitement témoins, la dose du potassium a été maintenue à 40 kg/ha. Sous la combinaison NP, les doses d'azote ont varié de 40, 60 et 90 kg/ha pour les traitements NP1, 2, 3 respectivement. Pour les traitements PK, potassium a été considéré aux doses de 40, 80 et 120 kg/ha (PK1, 2, 3 respectivement). Les traitements au NPK ont consisté en une combinaison deux à deux des doses de 40, 60 et 90 kg d'azote par ha à celles de 40, 80 et 120 kg de potassium par ha donnant ainsi les 9 variantes de NPK.

La production du manioc a impliqué les coûts les plus élevés lorsque pratiquée avec l'application du NPK9, NPK6 et NPK8 à Bingo (4426,81 ; 4385,15 et 4161,88 \$/ha respectivement). La fertilisation au NPK6 dans le site de Bingo a induit le rendement en farine de manioc le plus élevé (22454,32 t/ha), suivi du NPK9 (21856,79 t/ha) et NPK8 (20745,68 t/ha) dans le même site expérimental. Les bénéfices bruts les plus élevés ont été réalisés à Bingo et Maboya sur les parcelles traitées au NPK6, NPK9, NPK8, NPK7, NPK5 et NPK9, NPK8, NPK6, NPK7. Il en a résulté que les parcelles traitées au NPK6, NPK7, NPK8 et NPK9 ont dégagé des

¹ Chef de Travaux en Section Agronomie générale à l'ISEAVF (Institut Supérieur d'Études Agronomiques, Vétérinaires et Forestières) (Nord-Kivu/RDC) : sergemasimengo@gmail.com

² Chef de Travaux en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Officielle de Semuliki (Nord-Kivu/RDC).

³ Assistant en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu/RDC).

⁴ Assistant au Département des Sciences commerciales et financières à l'Institut Supérieur de Commerce (Nord-Kivu/RDC).

⁵ Professeur Ordinaire en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu/RDC).

⁶ Professeur Ordinaire en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu/RDC).

bénéfices nets les plus élevés à Bingo et Maboya. Le ratio bénéfice brut-coût le plus élevé a été obtenu lorsque les variantes du traitement NPK ont été appliquées à Maboya (>3) comparativement à tous les autres traitements dans les divers sites respectifs.

En définitive, fertiliser le manioc au NPK (toutes ses variantes) dans le site de Bingo implique des coûts élevés, mais avec le meilleur bénéfice brut ainsi que le bénéfice net. Ainsi, seules les doses élevées du NPK sont les mieux indiquées pour Bingo, alors que le site de Maboya peut rentabiliser toutes les variantes du NPK.

Mots-clés : Manioc, fractionnement des doses d'engrais, fertilisation, Butembo

Abstract

This study proposed to assess the economic profitability of the combination of various dose fractions of NPK macronutrients on cassava in Beni and Lubero Territories. For this end, trials were conducted in three agro-ecological zones; Bingo, Maboya and Kirumba for three consecutive cropping seasons (2018-2019, 2019-2020 and 2020-2021). Except for the control, the potassium dose was maintained at 40 kg/ha for all the treatments. For the NP combination, the nitrogen doses varied from 40, 60 and 90 kg/ha for the NP1, 2, 3 treatments respectively. For the PK treatments, potassium was considered at doses of 40, 80 and 120 kg/ha (PK1, 2, 3 respectively). The NPK treatments consisted of a two-by-two combination of doses of 40, 60 and 90 kg of nitrogen per ha with those of 40, 80 and 120 kg of potassium per ha; thus giving the 9 variants of NPK.

Cassava production involved the highest costs when cultivated with the application of NPK9, NPK6 and NPK8 at Bingo (4426.81; 4385.15 and 4161.88 \$/ha; respectively). NPK6 fertilization in Bingo site induced the highest cassava flour yield (22454.32 t/ha), followed by NPK9 (21856.79 t/ha) and NPK8 (20745.68 t/ha) at the same experimental site. The highest gross profits were made at Bingo and Maboya on plots treated with NPK6, NPK9, NPK8, NPK7, NPK5 and NPK9, NPK8, NPK6, NPK7. As a result, plots treated with NPK6, NPK7, NPK8 and NPK9 had the highest net profits in Bingo and Maboya. The highest gross benefit-cost ratio was obtained when the NPK treatment variants were applied in Maboya (>3) compared to all other treatments in the various respective sites.

Ultimately, fertilizing cassava with NPK (all its variants) in Bingo site involves high costs but with best gross as well as net profit. Thus, only the high doses of NPK are the best indicated for Bingo while the Maboya site can make all the variants of NPK profitable.

Key words: Cassava, split fertilizer doses, fertilization, Butembo

1. Introduction

Bien qu'il soit considéré comme une culture épuisante (EL-SHARKAWY, 2014), le manioc est généralement cultivé dans des conditions d'agriculture itinérante sur brulis (MAKINDE *et al.*, 2007) où très peu d'attention est accordée à sa fertilisation (FENING *et al.*, 2009). Les écarts entre le rendement potentiel et le rendement réel restent encore très prononcés, de l'ordre de 10 tonnes/ha en champ comparativement au

15 à 20 tonnes/ha obtenus sur les champs expérimentaux (FERMONT *et al.*, 2009).

Il est dès lors reconnu que la fertilisation de la culture du manioc peut substantiellement améliorer son rendement, même sur des terres marginales (BILONG *et al.*, 2022; KOUADIO *et al.*, 2014; NYEMBO *et al.*, 2013). En dépit de ce fait, l'on s'aperçoit que l'adoption de la fertilisation minérale par les agriculteurs reste influencée par plusieurs facteurs (KIMWANGA *et al.*, 2021). Ces facteurs peuvent se rapporter à la disponibilité des engrais sur le marché local, la facilité à utiliser ces engrais ainsi que la pénibilité du travail additionnel qu'exige davantage l'application des engrais. Ces contraintes demeurent exacerbées par une négative perception que se fait donc la population rurale des effets des engrais sur leurs sols et la qualité des aliments ainsi qu'un prix de vente non rémunérateur et un faible accès au marché (BILONG *et al.*, 2022; KIMWANGA *et al.*, 2021). La rentabilité économique serait l'élément le plus déterminant lorsqu'une innovation de telle envergure entre en jeu dans les systèmes de production dominés par de petits producteurs (KELLY, 2006).

Très peu d'études ont été conduites sur la rentabilité de la fertilisation de la culture du manioc dans les pays africains, en République Démocratique du Congo en particulier. La rareté de telles études dans ces systèmes de production serait en partie liée au fait que la culture du manioc a bénéficié de très peu d'études en rapport avec la fertilisation (FERMONT *et al.*, 2009). Là où l'attention a été accordée à l'évaluation de la rentabilité de la fertilisation de la culture du manioc, tant inorganique, organique que leur combinaison, les conclusions ne cessent de réaffirmer la nécessité pour les agriculteurs de recourir à l'usage des fertilisants pour améliorer leurs revenus (GOUGODO *et al.*, 2023; KOUADIO *et al.*, 2014; LUCIENS *et al.*, 2013; PYPERS *et al.*, 2012).

Toutes ces études ont porté soit sur la rentabilité comparée de plusieurs types d'engrais (BILONG *et al.*, 2022; KOUADIO *et al.*, 2014), celle des fractions d'un seul des composés minéraux (Azote, Phosphore et Potassium) (LUCIENS *et al.*, 2013; NYEMBO *et al.*, 2013) ou alors une fumure organique associée aux fractions d'un seul des composés minéraux (BILONG *et al.*, 2022; BIRATU *et al.*, 2018; GOUGODO *et al.*, 2023; MERUMBA *et al.*, 2022; PYPERS *et al.*, 2012).

Très peu d'études ont été consacrées à l'analyse de la réponse de la culture du manioc au fractionnement simultané des macronutriments NPK. Cette étude se propose d'évaluer la rentabilité de la combinaison de diverses

fractions des macronutriments NPK sur la culture du manioc afin de proposer une option de fertilisation qui optimise les revenus des producteurs du manioc en Territoires de Beni et Lubero. L'hypothèse sous examen porte à croire que la rentabilité de la fertilisation du manioc croîtrait avec l'utilisation simultanée des doses croissantes des fractions de trois macronutriments NPK.

2. Matériels et méthodes

2.1. Milieu physique

Les essais, qui ont fait l'objet de cette étude, ont été implantés dans trois sites expérimentaux en Territoires de Beni et Lubero. Le premier site était localisé à Bingo/ Nogera à 1 080 mètres d'altitude, 0,49917° de latitude nord et 29,39446° de longitude est. Le deuxième essai a été implanté à Maboya /Luholu à 1 329 mètres d'altitude, 0,29551° de latitude nord et 29,30772 de longitude est. Le troisième site, quant à lui, était à Kitsimanda/Kihembe à 1 715 mètres d'altitude, 0,68865 de latitude sud et 29,19511 de longitude est. Les deux premiers sites expérimentaux sont entièrement situés dans les limites administratives du Territoire de Beni, alors que le troisième est localisé en Territoire de Lubero.

2.2. Approche méthodologique

2.2.1. Les différents traitements en expérimentation

Quatre types d'engrais communément rencontrés dans la région (DAP, TSP, KCl et Urée) ont été mis en expérimentation. Les engrais minéraux ont été utilisés à diverses doses, à savoir le témoin, les doses 40, 60 et 90 kgs ha⁻¹ pour l'azote et 40, 80 et 120 kgs ha⁻¹ pour le potassium, alors que le phosphore n'a été utilisé qu'à la dose de 40 kgs ha⁻¹. La combinaison de ces différentes fractions a conduit à un total de 16 traitements (15 traités et un témoin non traité) tels que présentés dans le tableau

Tableau 1. Combinaison des doses en kgs de l'élément fertilisant

N° Traitement	TRAITEMENTS	N	K ₂ O	P ₂ O ₅
T1	T (Contrôle)	0	0	0
T2	NP1	40	0	40
T3	NP2	60	0	40
T4	NP3	90	0	40
T5	PK1	0	40	40
T6	PK2	0	80	40
T7	PK3	0	120	40
T8	NPK1	40	40	40
T9	NPK2	40	80	40
T10	NPK3	40	120	40
T11	NPK4	60	40	40
T12	NPK5	60	80	40
T13	NPK6	60	120	40
T14	NPK7	90	40	40
T15	NPK8	90	80	40
T16	NPK9	90	120	40

2.2.2. Conduite de l'essai

Trois essais consécutifs ont été conduits dans chacun de trois sites d'expérimentation. Ces essais ont été conduits suivant un dispositif en blocs aléatoires complets constitué de trois blocs et seize traitements par bloc, soit un total de 48 unités expérimentales. Les parcelles de 5 m x 5 m étaient séparées de 2 m, alors que les blocs étaient distants de 3 m, soit une superficie totale de 2 520 m² (Figure 1). Le matériel biologique a consisté au manioc de la variété Sawasawa.

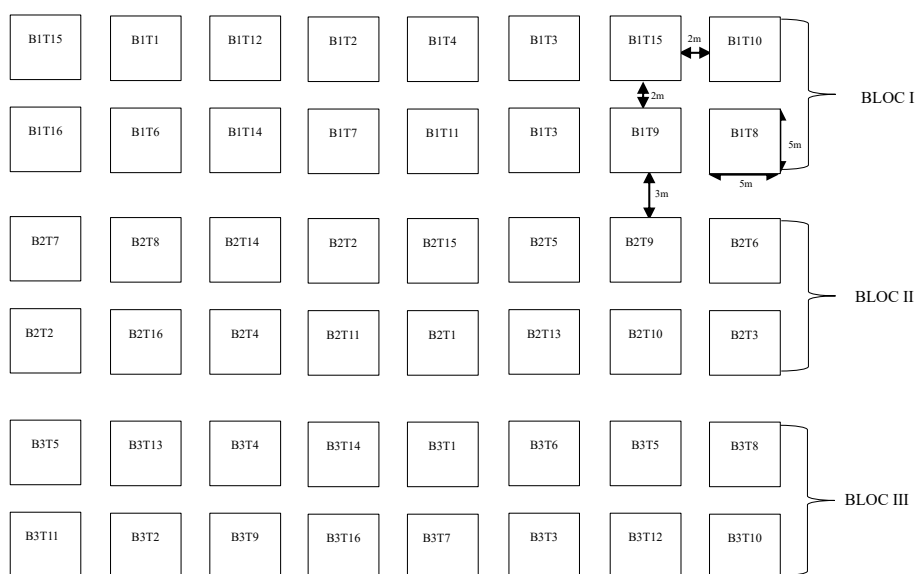


Figure 1. Plan expérimental de Bingo année 1 (2018)

L'entretien et le suivi des essais avaient consisté aux travaux de sarclage manuel qui étaient couplés beaucoup plus à l'épandage des doses séquentielles d'engrais selon le calendrier ci-après :

- À la plantation : fumure de fond ; fumier à base des crottes de chèvre et application de la dose unique de phosphore ;
- Au 45^e jour : évaluation de la levée, sarclo-buttage et première application séquentielle d'engrais ;
- Au 75^e jour : sarclage et deuxième application d'engrais ;
- Au 135^e jour : contrôle de mauvaises herbes, troisième et dernière application d'engrais.

2.2.3. Méthode d'analyse de la rentabilité économique

L'analyse économique a été réalisée sur la production réalisée sur une parcelle élémentaire de 5m x 5m. Les racines fraîches récoltées ont été pesées pour déterminer le rendement parcellaire et ainsi converti en rendement à l'hectare. Un taux de conversion de 40 % a été appliqué pour la conversion du rendement en racines fraîches à rendement en farine de manioc.

Les calculs de la rentabilité ont été faits suivant un cycle court (dans le champ de production) sur base du prix de la farine de manioc tel que

pratiqué sur le marché local dans chaque site d'expérimentation au moment de la récolte. Ceci implique que les coûts liés au transport, au stockage, et perte post-récolte n'ont pas été inclus dans les calculs de rentabilité ici présentés. En moyenne, le prix du kg de la farine de manioc sur le marché était de 0,5 \$, 0,55 \$ et 0,56 \$ pour Bingo, Maboya et Kirumba, respectivement. Les coûts fixes et variables (intrants et main d'œuvre) ont été évalués au prix du marché au moment de leur avènement pendant le processus de production (FENING et al., 2009; KELLY, 2006).

La rentabilité de l'application des doses séquentielles des fertilisants a été évaluée par le biais du bénéfice net (Bn) et du rapport valeur coût (RVC). Le bénéfice net a été déterminé par la différence entre le bénéfice brut et le coût d'investissement suivant la formule : $Bn = Bb - Vi$ où Bn est le bénéfice net en \$/ha, Bb est le bénéfice brut (\$/ha) et Vi est la valeur du montant investi (coûts variables) (\$/ha).

Le coût de l'investissement (Vi) est constitué du coût du traitement (des boutures, du fumier et des engrais) et du coût des travaux (location de terrain et tous les services payés de main d'œuvre de la préparation du terrain au traitement des farine). Les différents coûts et frais engagés ont permis de calculer le bénéfice brut (bb) de chaque traitement et le coût total d'investissement ou bien la valeur d'investissement de chaque traitement par hectare suivant les équations suivantes telles que recommandé par PENOT *et al.* (2010): $Bb = Y * Py$ où Bb est le bénéfice brut du traitement donné (\$/ha), Y est le rendement obtenu à partir de l'utilisation du traitement (Tonnes/ha) et Py est le prix extrapolé à la tonne de cossette de manioc.

$Vi = (Qx * Px) + \Sigma Cx$ où Qx est la quantité totale d'engrais utilisée pour un traitement donné (kg/ha), Px est le prix de l'unité du traitement et ΣCx représente la somme totale des coûts des traitements et des travaux culturaux. Le rapport valeur-coût (RVC) a servi à comparer la rentabilité de nouveaux traitements à celle des témoins (USENI *et al.*, 2013). Il s'agit de la valeur de l'augmentation du rendement par rapport au témoin divisé par le coût de l'investissement (GOUGODO *et al.*, 2023) tel que repris dans l'équation:

$$RVC = \frac{[Bn(Tx) - Bn(T0)]}{[Ai(Tx) - Ai(T0)]}$$

où RVC est le rapport valeur coût ; Bn(Tx) est le bénéfice net des traitements pour les différentes combinaisons NP, PK et NPK (\$/ha/an), Bn(T₀) est le bénéfice net du traitement témoin ou de (\$/ha), Ai(Tx) est le

coût total d'investissement des traitements pour les différentes combinaisons NP, PK et NPK, (\$/ha) et $A_i(T_0)$ représente le coût total d'investissement du traitement témoin (\$/ha).

2.2.4. Analyses statistiques

Pour évaluer l'effet des fractions des doses d'engrais sur la rentabilité de la culture du manioc, il a été fait recours au modèle linéaire mixte (MLM) du package lme4 du logiciel R. Le choix de ce modèle a été dicté par la nature des données, ne répondant pas à la condition d'homogénéité de la variance (Levene's test) et la normalité de la distribution des données (Shapiro-Wilk test) (BATES *et al.*, 2015). Lorsque de différences significatives étaient observées entre les doses d'engrais ou les sites expérimentaux (ANOVA 2), une comparaison multiple des moyennes était envisagée par le Tukey's HSD pour séparer les moyennes significativement différentes (BORCARD *et al.*, 2011).

3. Résultats

3.1. Rendement en farine de manioc

Le rendement en farine de manioc a varié entre les années d'expérimentation, la première et la troisième ayant produit des rendements en farine de manioc significativement inférieurs (13 404 et 13 558 kg/ha, respectivement) comparativement à la deuxième année (13 935 kg/ha). Tout en considérant les interactions site*traitement (tableau 2), le traitement NPK6 appliqué à Bingo a induit un rendement en farine de manioc significativement élevé, suivi du NPK9 et NPK8 dans le même site. Les plus faibles rendements en farine de manioc ont été enregistrés sur toutes les parcelles témoins dans tous les sites et celles traitées aux variantes de NP à Maboya et Kirumba (Tab.7).

Tableau 2. Analyse de la variance du rendement en farine de manioc

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F value	Pr(>F)
Site	2	1391482337	695741168	512.2970	<0.001***
Traitement	15	7500566428	500037762	368.1942	<0.001***
Année	2	21254839	10627419	7.8253	<0.001***
Bloc	2	12283686	6141843	4.5224	0.999
Site: Traitement	30	437131008	14571034	10.7291	<0.001***
Erreurs résiduelles	380	516071019	1358082		

En comparant les sites, le rendement en farine de manioc a été significativement élevé à Bingo (15 526 kg/ha), suivi de Maboya et Kirumba qui ont réalisé 14 148,5 et 11 222 kg/ha, respectivement (tab. 7). Les parcelles traitées au NPK9, NPK6 et NPK8 (Tableau 1) ont donné un rendement en farine de manioc significativement élevé comparativement à toutes les autres. Le rendement en farine de manioc le plus faible a été obtenu sur les parcelles témoins ainsi que celles traitées au NP1 et NP2 (Tableau 1) comme cela est illustré à la figure 2.

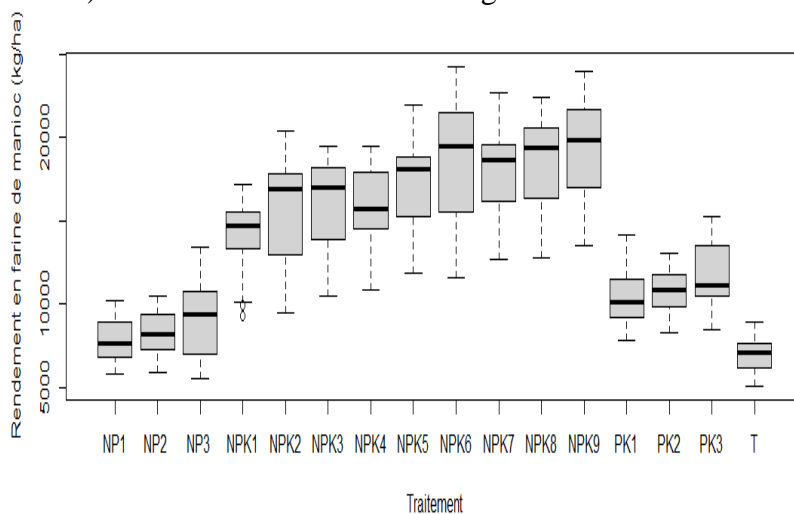


Figure 2. Rendement en farine de manioc par traitement

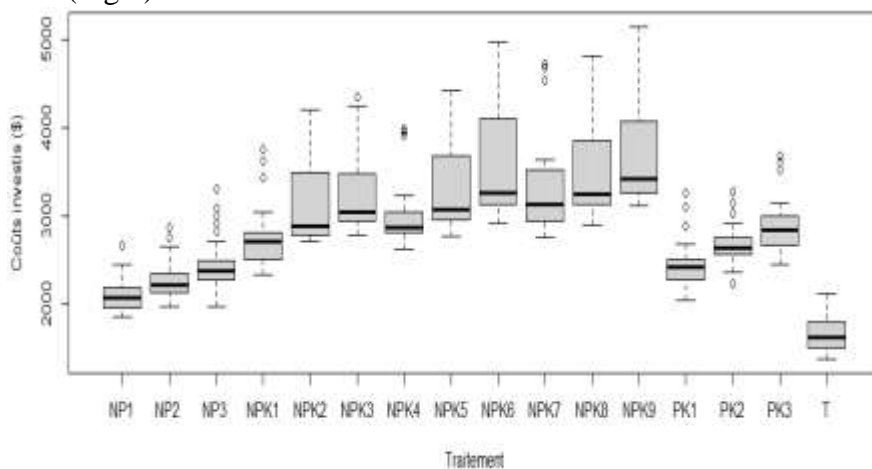
3.2. Coût d'investissement de la production du manioc

Le coût d'investissement dans la production du manioc avec l'application de différentes fractions des doses d'engrais a été fonction d'une interaction entre la dose d'engrais et le site pris en considération (Tab.3). De même, ce coût a été significativement élevé au cours de la troisième année (3 054,13 \$/ha) comparativement à la première et deuxième année (2 781,32 et 2 792,52 \$/ha, respectivement). La production du manioc a impliqué les coûts les plus significativement élevés lorsque pratiquée avec l'application du NPK9, NPK6 et NPK8 à Bingo, alors que les traitements témoins dans tous les sites ont impliqué les coûts les plus significativement bas (Tab.7).

Tableau 3. Analyse de la variance du coût d'investissement dans la production du manioc

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F value	Pr(>F)
Site	2	39473093	19736547	568,1601	<0,001***
Traitement	15	134241954	8949464	257,6301	<0,001***
Année	2	6811532	3405766	98,0425	<0,001***
Bloc	2	73054	36527	1,0515	1
Site: Traitement	30	11789603	392987	11.3130	<0,001***
Erreurs résiduelles	380	13200308	34738		

Les coûts d'investissement se sont révélés significativement élevés à Bingo à la hauteur de 3 300,35 \$/ha comparativement à Kirumba et Maboya, où ces coûts sont aussi différents et évalués à 2 714,45 \$/ha et 2 614,2 \$/ha, respectivement. Les traitements NPK9, NPK6 et NPK8 ont impliqué les coûts significativement les plus élevés dans la production du manioc, alors que le traitement témoin a été le moins onéreux. Le reste des traitements au NPK et tous ceux au PK ont impliqué un coût intermédiaire suivi de ceux au NP (Fig.3).

**Figure 3. Coût d'investissement dans la culture du manioc par traitement**

3.3. Bénéfice brut de la production du manioc

Le bénéfice brut a été significativement influencé par des interactions entre le traitement et le site expérimental (Tab.4). Néanmoins, ce bénéfice brut a significativement accru de la première à la troisième année de

l'expérimentation. Les bénéfices bruts les plus élevés ont été réalisés à Bingo et Maboya sur les parcelles traitées au NPK6, NPK9, NPK8, NPK7, NPK5 et NPK9, NPK8, NPK6, NPK7, respectivement. Les bénéfices bruts les moins élevés et ne différant pas significativement les uns des autres, ont été obtenus en cultivant le manioc sans engrais (parcelles témoins) dans tous les sites ou sur des parcelles traitées au NP1, NP2 à Bingo, au NP1, NP2, NP3, PK1 à Maboya et au NP1, NP2, NP3 à Kirumba (Tab.7).

Tableau 4. Analyse de la variance du bénéfice brut de la culture du manioc

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F value	Pr(>F)
Site	2	211026539	105513269	213.4624	<0.001***
Traitement	15	2024717455	134981164	273.0785	<0.001***
Année	2	88267674	44133837	89.2865	<0.001***
Bloc	2	3565163	1782581	3.6063	1
Site: Traitement	30	100283507	3342784	6.7627	<0.001***
Erreurs résiduelles	380	187831860	494294		

Le bénéfice brut réalisé sur la culture de manioc à Bingo est significativement supérieur (7 781 \$/ha) à celui de Maboya (7 308 \$/ha) qui a aussi été significativement supérieur à celui réalisé à Kirumba (6 120 \$/ha). Ce bénéfice brut s'est significativement accru pour des parcelles traitées au NPK9, NPK6, NPK8 et NPK7. Les autres variantes du traitement au NPK ont induit un bénéfice brut significativement inférieur aux précédents, mais supérieur à celui enregistré sur les parcelles traitées aux diverses variantes du PK et NP, successivement. Le bénéfice brut le moins élevé a été enregistré sur des parcelles qui n'ont reçu aucun traitement en engrais (Fig.4).

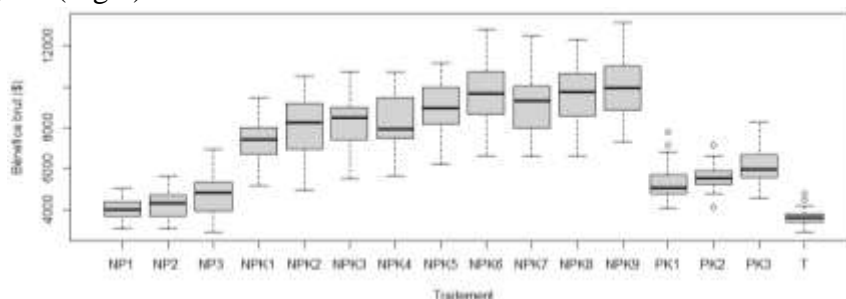


Figure 4. Bénéfice brut de la culture du manioc par traitement

3.4. Bénéfice net de la production du manioc

Le bénéfice net de la culture du manioc a été significativement influencé par des interactions entre le traitement et le site expérimental (Tab. 5). Le bénéfice réalisé à la troisième année a été le plus élevé (4 580,3 \$/ha) comparativement à celui réalisé à la première et deuxième années (4 038,6 et 4 254,6 \$/ha, respectivement). Les bénéfices nets les plus significativement élevés ont été réalisés à Bingo et Maboya sur les parcelles traitées au NPK6, NPK7, NPK8 et NPK9. Ces derniers ont été successivement suivis par les traitements au PK, NP et les parcelles non traitées avec l'ordre de combinaison des variantes des traitements qui varie d'un site à l'autre (Tab.7).

Tableau 5. Analyse de la variance du bénéfice net de la culture du manioc

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F value	Pr(>F)
Site	2	173960187	86980093	325,4258	<0,001***
Traitement	15	1190641503	79376100	296,9764	<0,001***
Année	2	21374283	10687141	39,9847	<0,001***
Bloc	2	1708705	854352	3,1965	0,04201 *
Site: Traitement	30	66830779	2227693	8,3347	<0,001***
Erreurs résiduelles	380	101566733	267281		

Les bénéfices nets ont différencié d'un site à un autre. Ceux réalisés à Bingo ont été significativement les plus élevés (4 859\$/ha), comparativement à ceux réalisés à Maboya (4 609\$/ha) et/ou à Kirumba (3 405,5\$/ha), eux-mêmes étant significativement différents entre eux. Les parcelles traitées au NPK9, NPK6, NPK8 et NPK7 ont généré les bénéfices nets les plus significativement élevés. Ces derniers ont été suivis par les parcelles traitées par les autres variantes du traitement NPK et celles de PK. Les plus faibles bénéfices nets ont été enregistrés sur les parcelles traitées au NP. Ces dernières n'ont pas statistiquement différencié de parcelles témoins en ce qui concerne leur bénéfice net (Fig.5).

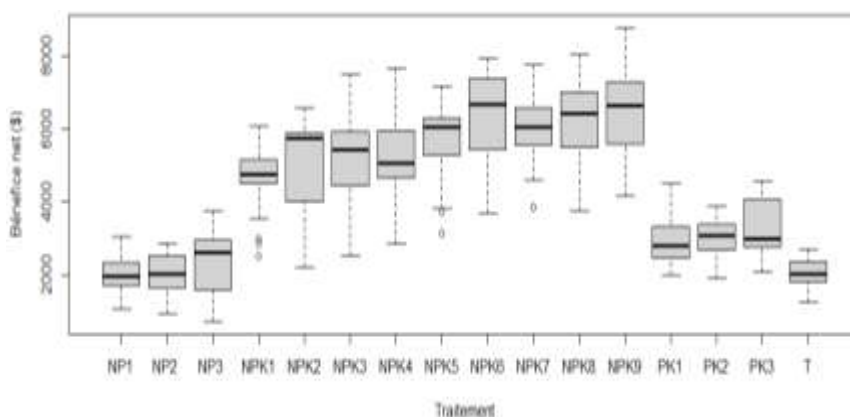


Figure 5. Bénéfice net de la culture du manioc par traitement

3.5. Ratio bénéfice brut/coût de la production du manioc produit avec des doses d'engrais fractionnées

Le ratio bénéfice brut-coût relatif à la production du manioc s'est avéré significativement influencé par des interactions entre le site expérimental et le traitement (Tab.6). Ce ratio a été le plus significativement bas au cours de la première année (2,32) comparativement à celui obtenu au cours de la deuxième et troisième (2,47 et 2,46 respectivement). Toutes les variantes du traitement NPK appliquées à Maboya ont induit un ratio bénéfice brut-coût significativement élevé comparativement à tous les autres traitements dans les divers sites respectifs. Les plus faibles valeurs de ce ratio ont été enregistrées au site de Kirumba pour toutes les parcelles ayant été traitées aux diverses variantes du traitement NP (Tab.7).

Tableau 6. Analyse de la variance du ratio bénéfice brut-coût

Sources de variation	ddl	SCE	CM	F value	Pr(>F)
Site	2	20,48	10,24	402,758	<0,001***
Traitement	15	52,883	3,5255	138,6658	<0,001***
Année	2	2,002	1,0009	39,3685	<0,001***
Bloc	2	0,121	0,0606	2,3842	1
Site:					
Traitement	30	10,295	0,3432	13,4968	<0,001***
Erreurs résiduelles	380	9,661	0,0254		

En comparant les sites entre eux, le site de Maboya a présenté un ratio bénéfice brut-coût significativement élevé (2,72) comparativement à Bingo et Kirumba pour lesquels ce ratio a été significativement différent et de

l'ordre de 2,32 et 2,21, respectivement. Entre les traitements, quatre groupes se sont démarqués. Le NPK4, NPK5, NPK6, NPK7, NPK8 et NPK9 se sont significativement distingués d'autres par leur ratio bénéfice brut-coût le plus élevé. Ces derniers ont été suivis par le groupe composé de NPK1, NPK2 et NPK3. Les deux derniers groupes sont ceux composés des variantes du traitement PK qui n'ont pas significativement différencié du traitement témoin suivi des variantes du traitement NP en dernière position (Fig.6).

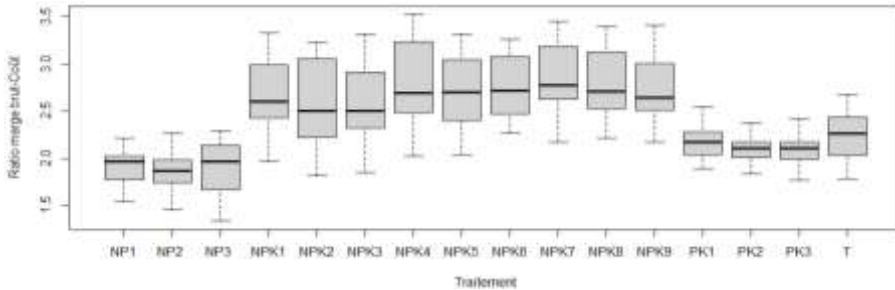


Fig. 6. Ratio Bénéfice brut-Coût par traitement

3.6. Analyse Factorielle Mixte (AFM) des facteurs testés et les indicateurs de la rentabilité de la culture du manioc

L'analyse factorielle mixte des données relatives aux indicateurs de la rentabilité de la culture du manioc telle qu'influencée par les doses séquentielles d'engrais montre que le facteur traitement, le rendement en farine de manioc, le bénéfice brut et le bénéfice net ont le plus contribué à la construction du premier axe. Le site et le traitement constituent respectivement les facteurs aléatoires et fixe ayant substantiellement contribué à la construction du deuxième axe (Fig.7a).

Le deuxième axe de l'AFM ségrant les valeurs faibles de celles élevées pour les paramètres sous observation a permis d'associer les sites aux traitements qui y semblent plus bénéfiques. Ainsi, la culture du manioc à Bingo implique des coûts élevés lorsqu'elle est fertilisée au NPK dans toutes ces variantes. En même temps, le rendement en farine de manioc, le bénéfice brut ainsi que le bénéfice net de la culture du manioc sont les plus élevés dans ce site lorsque le manioc est fertilisé au NPK (Fig.7c). Par ailleurs, la culture du manioc à Kirumba a mieux rentabilisé la fertilisation au NP et PK sous toutes leurs variantes. Le site de Maboya est resté intermédiaire entre Bingo et Kirumba pour ce qui est de la rentabilisation des engrais en expérimentation. Sa position sur l'axe 2 montre que les coûts d'investissement dans la culture du manioc ainsi que les bénéfices (brut et

net) générés sont proportionnels peu importe le type d’engrais utilisé ou la variante de ces engrais prise singulièrement (Fig.7c).

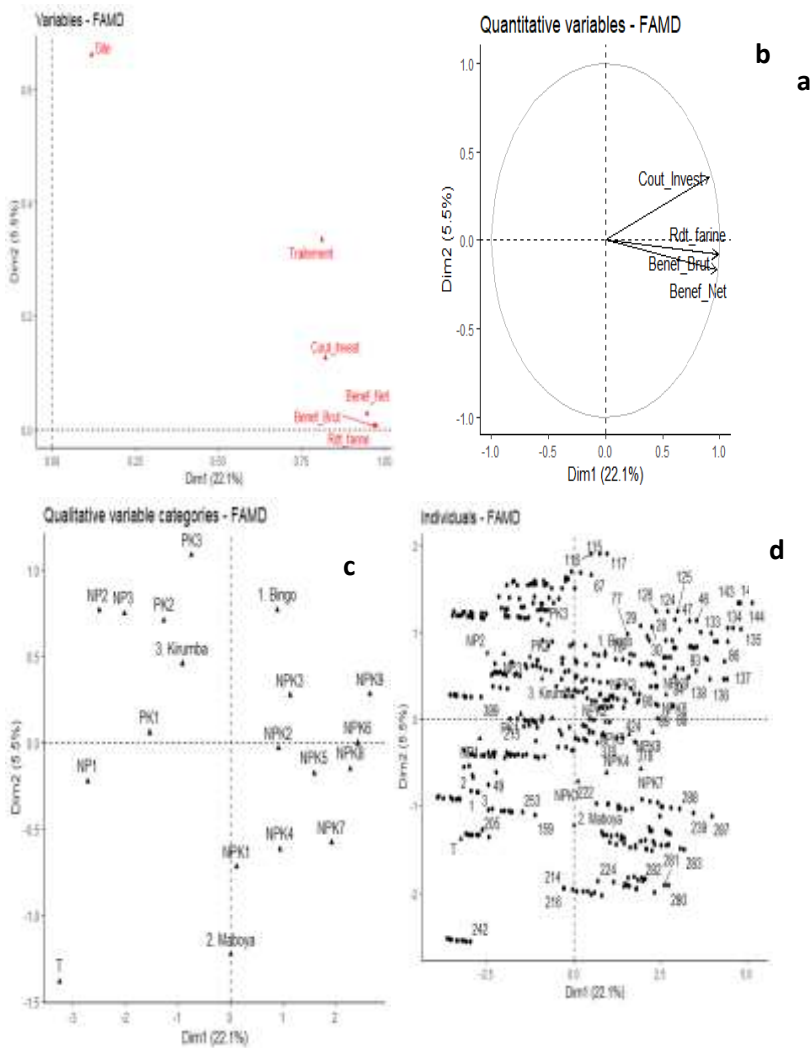


Figure 7. Analyse Factorielle Mixte (AFM) des facteurs mis en jeu et des indicateurs de la rentabilité économique. Cout_Investr = Coûts investis, Bénéf_Brut = Bénéfice brut, Benef_Net = Bénéfice net, Rdt_farine = rendement en farine.

Tableau 7a. Indicateurs de la rentabilité de la culture du manioc soumis aux fractions des doses séquentielles à Bingo

Traitement	Rendement en farine (kg/ha)	Coût d'investissement(\$)	Bénéfice brut(\$)	Bénéfice net(\$)	Ratio Bénéfice/Coût
NP1	9160.49(235) ^f	2334.1(78) ^{hi}	4565.68(122) ^{ij}	2422.65(121) ^j	1.96(0.04) ^e
NP2	9565.43(208) ^f	2469.82(84) ^h	4777.04(154) ^{ij}	2507.62(103) ^j	1.94(0.03) ^e
NP3	11664.2(348) ^e	2797.25(105) ^{fgh}	5833.33(244) ^{hi}	3274.36(127) ⁱ	2.09(0.04) ^{de}
NPK1	15441.98(304) ^d	3095.97(135) ^{fg}	7741.98(339) ^{efg}	4942.58(121) ^{fg}	2.5(0.03) ^{ab}
NPK2	18385.19(353) ^c	3711.53(100) ^{cde}	9207.65(363) ^{bcde}	5984.74(106) ^d	2.48(0.08) ^{abc}
NPK3	18182.72(275) ^c	3827.25(116) ^{bcd}	9089.88(295) ^{cde}	5792.76(153) ^{de}	2.38(0.05) ^{abcd}
NPK4	15980.25(486) ^d	3387.91(144) ^{def}	8039.75(466) ^{def}	5067.3(203) ^{ef}	2.37(0.07) ^{abcd}
NPK5	19422.22(426) ^{bc}	3896.29(104) ^{abcd}	9727.16(396) ^{abcd}	6349.33(132) ^{cd}	2.5(0.08) ^{ab}
NPK6	22454.32(333) ^a	4385.15(129) ^{ab}	11250.12(438) ^a	7473.09(89) ^a	2.57(0.08) ^a
NPK7	19595.06(743) ^{bc}	3911.59(185) ^{abcd}	9880.74(651) ^{abc}	6453.67(290) ^{bcd}	2.52(0.09) ^{ab}
NPK8	20745.68(403) ^{ab}	4161.88(144) ^{abc}	10413.83(483) ^{abc}	6805.76(136) ^{abc}	2.5(0.08) ^{ab}
NPK9	21856.79(478) ^a	4426.8(163) ^a	10972.35(527) ^{ab}	7145.7(186) ^{ab}	2.48(0.07) ^{abc}
PK1	12162.96(378) ^e	2659.46(116) ^{gh}	6104.94(323) ^{ghi}	3674.11(149) ^{hi}	2.29(0.04) ^{abcd}
PK2	11856.79(215) ^e	2787.88(95) ^{gh}	5927.9(206) ^{ghi}	3395.84(115) ⁱ	2.13(0.02) ^{de}
PK3	14128.4(226) ^d	3169.91(116) ^{efg}	7079.01(282) ^{fgh}	4204.29(78) ^{gh}	2.23(0.03) ^{bcde}
T	7812.35(322) ^f	1782.84(64) ⁱ	3886.91(150) ^j	2249.26(159) ^j	2.19(0.08) ^{cde}
Moyenne Bingo	15525.93 (396)^a	7781.14(213)^a	4858.94(148)^a	4858.94(148)^a	2.32(0.02)^b

Dans une même colonne et pour un même site expérimental, les valeurs suivies par au moins une lettre similaire ne sont pas statistiquement et significativement différentes

Tableau 8b. Indicateurs de la rentabilité de la culture du manioc soumis aux fractions des doses séquentielles à Maboya

Traitement	Rendement en farine (kg/ha)	Coût d'investissement(\$)	Bénéfice brut(\$)	Bénéfice net(\$)	Ratio Bénéfice/Coût
NP1	7657.78(244) ^{gh}	1928.15(25) ^g	3933.11(97) ^{gh}	2004.96(75) ^d	2.04(0.03)d
NP2	8123.46(240) ^{fgh}	2086.19(34) ^{fg}	4204.69(169) ^{gh}	2118.5(135) ^d	2.01(0.05)d
NP3	8973.33(428) ^{efg}	2270.81(46) ^e	4636.54(229) ^{fgh}	2365.73(183) ^d	2.03(0.06)d
NPK1	14933.33(404) ^d	2466.83(32) ^d	7708.89(213) ^e	5151.44(167) ^c	3.12(0.05)ab
NPK2	16903.7(315) ^c	2798.89(19) ^c	8720.25(130) ^{de}	5775.19(124) ^{bc}	3.11(0.02)ab
NPK3	17259.26(476) ^c	2958.31(42) ^{bc}	8914.07(277) ^{cd}	5807.61(248) ^{bc}	3.01(0.05)b
NPK4	18138.27(355) ^{bc}	2831.82(37) ^{bc}	9373.83(249) ^{bcd}	6389.29(239) ^{ab}	3.31(0.04)a
NPK5	18064.2(351) ^{bc}	2956.17(35) ^{bc}	9333.83(236) ^{bcd}	6220(204) ^{ab}	3.15(0.04)ab
NPK6	19718.52(237) ^{ab}	3213.89(25) ^a	10182.96(168) ^{ab}	6798.57(160) ^a	3.17(0.03)ab
NPK7	19120.99(216) ^{ab}	3007.19(37) ^b	9887.9(245) ^{abc}	6720.72(244) ^{ab}	3.28(0.04)a
NPK8	19945.68(285) ^a	3200.72(36) ^a	10309.14(243) ^{ab}	6940.39(239) ^a	3.22(0.04)ab
NPK9	20261.73(477) ^a	3356.03(50) ^a	10475.56(330) ^a	6959.03(337) ^a	3.12(0.05)ab
PK1	9575.31(415) ^{ef}	2218.85(41) ^{ef}	4939.26(204) ^{fg}	2720.41(163) ^d	2.22(0.05)d
PK2	10320.99(433) ^e	2477.33(46) ^d	5329.88(232) ^f	2852.55(186) ^d	2.14(0.05)d
PK3	10404.94(282) ^e	2615.68(29) ^d	5369.88(144) ^f	2754.2(115) ^d	2.05(0.03)d
T	7046.91(237) ^h	1456.57(22) ^h	3632.84(108) ^h	2176.27(87) ^d	2.49(0.04)c
Moyenne Maboya	14148.49(417)^b	7307.99(217)^b	4609.16(172)^b	4609.16(172)^b	2.72(0.05)^a

Dans une même colonne et pour un même site expérimental, les valeurs suivies par au moins une lettre similaire ne sont pas statistiquement et significativement différentes

Tableau 9c. Indicateurs de la rentabilité de la culture du manioc soumis aux fractions des doses séquentielles à Kirumba

Traitement	Rendement en farine (kg/ha)	Coût d'investissement(\$)	Bénéfice brut(\$)	Bénéfice net(\$)	Ratio Bénéfice/Coût
NP1	6671.6(233) ^h	2098.77(29) ^j	3643.85(147) ⁱ	1545.08(117) ^{hi}	1.73(0.04)efg
NP2	6790.12(278) ^h	2226.66(32) ^{ij}	3707.06(161) ⁱ	1480.4(129) ^{hi}	1.66(0.05)fg
NP3	6780.25(253) ^h	2325.23(34) ^{hi}	3708.64(168) ⁱ	1383.41(135) ⁱ	1.59(0.05)g
NPK1	11920.99(628) ^{def}	2701.53(38) ^g	6481.38(290) ^{defg}	3779.86(284) ^{bcde}	2.4(0.11)abc
NPK2	11604.94(515) ^{def}	2879.23(47) ^{defg}	6321.78(253) ^{efg}	3442.55(244) ^{cdef}	2.2(0.09)cd
NPK3	12572.84(453) ^{cde}	2992.81(40) ^{bcde}	6871.31(292) ^{cdef}	3878.49(284) ^{bcd}	2.3(0.09)bcd
NPK4	13279.01(576) ^{bcd}	2816.4(19) ^{efg}	7236.15(286) ^{bcde}	4419.75(282) ^{abc}	2.57(0.10)ab
NPK5	13817.28(534) ^{abcd}	4094.29(1079) ^{bcd}	7550.81(339) ^{abcd}	3456.52(1155) ^{abc}	2.49(0.10)abc
NPK6	14360.49(581) ^{abc}	3100.2(44) ^{bc}	7824.99(293) ^{abc}	4724.79(249) ^{ab}	2.52(0.06)abc
NPK7	14962.96(584) ^{ab}	2987.59(45) ^{bcde}	8157.23(301) ^{ab}	5169.65(255) ^a	2.72(0.06)a
NPK8	14948.15(512) ^{ab}	3118.85(47) ^{ab}	8163.36(313) ^{ab}	5044.5(266) ^a	2.61(0.06)ab
NPK9	15604.94(513) ^a	3302.33(46) ^a	8517.53(307) ^a	5215.2(261) ^a	2.57(0.06)ab
PK1	9229.63(312) ^g	2476.16(27) ^h	5025.78(137) ^h	2549.62(110) ^{fgh}	2.03(0.03)de
PK2	10014.81(374) ^{fg}	2741.8(33) ^{fg}	5452.25(167) ^{gh}	2710.45(133) ^{efg}	1.99(0.04)def
PK3	10765.43(451) ^{efg}	2915.91(38) ^{cdef}	5859.16(207) ^{fgh}	2943.25(189) ^{def}	2.01(0.06)de
T	6232.1(260) ^h	1719.43(27) ^k	3397.14(135) ⁱ	1677.71(108) ^{ghi}	1.97(0.05)def
Total Kirumba	11222.22(287)^c	6119.9(156)^c	3405.46(125)^c	3405.46(125)^c	2.21(0.03)^c

Dans une même colonne et pour un même site expérimental, les valeurs suivies par au moins une lettre similaire ne sont pas statistiquement et significativement différentes

4. Discussion

Partant de différentes combinaisons de facteurs et des doses d'engrais, il s'est observé que le bénéfice net est positivement corrélé au rendement en farine ainsi qu'au bénéfice brut. Toutefois, ces facteurs sont tous négativement corrélés au coût d'investissement de la culture du manioc. Les bénéfices nets (Bn) que les traitements issus de la combinaison NP, sont très bas avec un rapport valeur coût négatif. D'après USENI *et al.* (2013), ces technologies ont très faiblement rentabilisé la culture du manioc et ont été économiquement moins performantes que la production du manioc sans usage de fertilisant et donc une technologie à rejet.

Dans le même ordre, KELLY (2006) a montré qu'il est important de connaître les engrais à recommander pour les différentes cultures et les zones de culture. Des observations similaires ont été faites par DHUYVETTER *et al.* (2000), suggérant que les recommandations ou l'adoption d'une technologie doit tenir compte de la relation entre la valeur de la production et l'investissement qu'implique l'usage de l'engrais. Toutefois, la ségrégation des valeurs faibles de celles élevées pour les paramètres sous observation permettant d'associer les sites aux traitements qui y semblent plus bénéfiques, BATIONO *et al.* (1993) ont trouvé que la fertilisation minérale s'accompagne toujours de gain de rendement, et que cette augmentation est aussi fonction d'autres potentiels variables.

Ainsi, à l'exception deux variantes du traitement NP dans le site de Bingo (NP1 et NP2) et le PK2 et le témoin à Kirumba, tous les autres traitements ont donné une valeur du RVC supérieure à 2. Ceci signifie que dans les conditions d'expérimentation, l'investissement d'un dollar américain dans l'usage de l'engrais, implique un gain d'un dollar additionnel comparativement à celui qui produit le manioc sans engrais. Dans des cas similaires, une évolution à la baisse des coûts de production jouerait sur la ventilation des charges variables (THEVENET, 2000). Comme le rendement en farine de manioc, le bénéfice brut ainsi que le bénéfice net de la culture du manioc sont les plus élevés dans tous les sites lorsque le manioc est fertilisé au NPK.

Par ailleurs, Maboya est le site qui a relevé les RVC plus élevés au niveau des différentes combinaisons NPK, suivi de celui de Bingo et Kirumba. Ces résultats s'accordent intimement avec la définition de nouveaux itinéraires techniques plus économes en intrants (THIAULT, 2000). Ils corroborent également avec les conclusions de FERREIRA *et al.* (2017) selon

lesquelles, la réponse physiologique des plantes à l'élément limitant ainsi que ses implications économiques sont fonction de la zone agroécologique et de son abondance initiale dans le sol. Il est donc probable que l'augmentation entre le traitement témoin (T) et les meilleurs traitements obtenus ci haut soit due aux effets conjugués des trois éléments N, P et K. Des résultats similaires ont été obtenus en Côte d'Ivoire sur le manioc et dans d'autres pays, que les rendements les plus élevés correspondaient aux traitements ayant des apports simultanés de N, P et K (PYPERS *et al.*, 2012).

Du point de vue technique, les variantes du traitement au NPK ont procuré de bons rendements étant donné qu'économiquement, ils ont des RVC ≥ 2 . Sous ces conditions, ces combinaisons constituent des technologies qui pourraient être adoptés sans réticence par les producteurs (USENI *et al.*, 2013). À partir d'une dose recommandée d'engrais, toute augmentation de dose s'exprime par une baisse de rendement. L'augmentation de la dose de fertilisant de différentes composantes des traitements en expérimentation ne fait que s'accompagner d'autant de coûts élevés, qu'il sied de retenir que les traitements NPK4 à Maboya, NPK7 à Kirumba et NPK1 à Bingo ont été les plus performants.

NYEMBO *et al* (2013) ont trouvé qu'un traitement au fertilisant ayant induit un RVC de 2,96 se présentait comme étant de loin le meilleur traitement à vulgariser en milieu rural pour une culture de maïs.

En agriculture durable, les doses d'engrais ayant induit les meilleurs résultats techniques et économiques ne sont pas nécessairement la meilleure option de fertilisation (Biratu *et al.*, 2018). Elle se doit également de garantir la qualité environnementale des autres ressources qui environnent l'exploitation qui est en cause. Ainsi, l'adoption sélective des traitements revêt une réponse aux suspicions de l'opinion à l'encontre d'une agriculture accusée d'épuiser, de dégrader, et de polluer les sols et l'eau, comme l'ensemble des ressources naturelles (BOIFFIN & STENGEL, 2000). Dans une étude portant sur la fertilisation du riz, les fortes doses d'engrais ont entraîné une augmentation des besoins hydriques élevés que la plante n'arrive pas à couvrir, ce qui entraîneraient une réduction drastique du rendement et par conséquent, la rentabilité économique de la culture (LAFITTE, 2002).

Dans tous les sites, les variantes du traitement NP ont produit le RCV le plus bas. Ceci augure que l'apport de doses d'engrais non appropriées aux sols et aux besoins des cultures, constitue une perte d'éléments nutritifs et

un gaspillage des ressources (Ezui, 2010). L'idée c'est, certes exploiter les ressources de la nature mais aussi veiller à leur durabilité. Bien plus, il est important de connaître les engrais à recommander pour les différentes cultures et les zones de culture ainsi qu'avoir une bonne connaissance de leur rentabilité (KELLY, 2006).

Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que la rentabilité de l'usage doses séquentielles d'engrais varie en fonction de plusieurs facteurs dont le taux de combinaison éléments nutritifs et de la zone agroécologique. Les bénéfices nets les plus significativement élevés ont été réalisés à Bingo et Maboya sur les parcelles traitées au NPK6, NPK7, NPK8 et NPK9. Néanmoins, les résultats du RVC montrent que le site de Maboya a mieux rentabilisé les diverses variantes du traitement NPK, Bingo n'a été mieux indiquée que pour les doses élevées des variantes du NPK alors que Kirumba a favorablement répondu aux variantes du traitement PK. Les différentes variantes du traitement NP ont été moins performantes que les traitements témoins aux sites de Maboya et Kirumba, ce qui implique un rejet d'une telle technologie.

Par le biais de cette étude, nous pensons avoir contribué à la recherche alternative pour une amélioration de la production du manioc. De plus, cette étude offre une amélioration de la compréhension de la rentabilité économique de l'usage des engrais en culture de manioc. Cette démarche ne peut s'arrêter aux limites de la parcelle ou de l'exploitation. Il importe de se situer en une échelle spatiale appropriée en fonction de la nature des problèmes posés et des décisions à prendre mais les conditions de son transfert vers l'aide à la décision et le développement n'ont été, jusqu'à présent, que complètement réunies.

Références bibliographiques

- BATES, D., MÄCHLER, M., BOLKER, B., & WALKER, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- BATIONO, A., BUERKERT, A., SEDOGO, M. P., CHRISTIANSON, B. C., & MOKWUNYE, A. V. (1993). A critical review of crop residue use as soil amendment, in the West Africa Semi-arid tropics. In M. Powell, S. Ferrandez, T. O. Williams, & C. Renard (Éds.), *Livestock and*

- Sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of Sub-Saharan Africa II. Technical papers. Proceedings International conference (ILCA). ILCA.*
- BILONG, E. G., ABOSSOLO-ANGUE, M., NANGANOA, L. T., ANABA, B. D., AJEBESONE, F. N., MADONG, B. À., & BILONG, P. (2022). Organic manures and inorganic fertilizers effects on soil properties and economic analysis under cassava cultivation in the southern Cameroon. *Scientific Reports*, 12(1), 20598. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17991-6>
- BIRATU, G. K., ELIAS, E., NTAWURUHUNGA, P., & SILESHI, G. W. (2018). Cassava response to the integrated use of manure and NPK fertilizer in Zambia. *Heliyon*, 4(8), e00759. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00759>
- BOIFFIN, J., & STENGEL, P. (2000). Réapprendre le sol : Nouvel enjeu pour l'agriculture et l'espace rural. In C. Armand (Éd.), *Economie et stratégies agricoles* (DEMETER 2000, p. 146-211). DEMETER 2000.
- BORCARD, D., GILLET, F., & LEGENDRE, P. (2011). *Numerical Ecology with R* (1^{re} éd.). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>
- DHUYVETTER, K. C., SCHLEGEL, A. J., & KASTENS, T. L. (2000). Effect of phosphorus on economic nitrogen rate for irrigated corn-crop. *Better Crops*, 84(3), 9-11.
- EL-SHARKAWY, M. A. (2014). Global warming : Causes and impacts on agroecosystems productivity and food security with emphasis on cassava comparative advantage in the tropics/subtropics. *Photosynthetica*, 52(2), 161-178. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0028-7>
- EZUI, K. S. (2010). *Optimisation de l'utilisation des engrais dans les systèmes de culture à base de manioc (Manihot esculenta Crantz) sur terre de barre au Togo* [Thèse de Master]. Université de Lomé.
- FENING, J. O., GYAPONG, T. A., ABABIO, F., & GAISIE, E. (2009). Effect of site characteristics on the productivity and economic returns from cassava legume intercropping in Ghana. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 3(10), Article 10. <https://doi.org/10.4314/ajest.v3i10.56260>
- FERMONT, A. M., VAN ASTEN, P. J. A., TITTONELL, P., VAN WIJK, M. T., & GILLER, K. E. (2009). Closing the cassava yield gap : An

- analysis from smallholder farms in East Africa. *Field Crops Research*, 112(1), 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.01.009>
- FERREIRA, I. E. P., ZOCCHI, S. S., & BARON, D. (2017). Reconciling the Mitscherlich's law of diminishing returns with Liebig's law of the minimum. Some results on crop modeling. *Mathematical Biosciences*, 293, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.08.008>
- GOUGODO, D. M.-Z. L. J., KOSH-KOMBA, E., OMENDA, J. A., ZAMAN, M., MINGABAYE-BENDIMA, B., BATAWILA, K., & AKPAGANA, K. (2023). Fertilization options for improved cassava productivity and economic profitability in the Pissa and Damara areas, Central African Republic : Comparative Approach. *African Journal of Agricultural Research*, 19(1), 67-80. <https://doi.org/10.5897/AJAR2022.16250>
- KELLY, V. A. (2006). *Factors affecting demand for fertilizer in Sub-Saharan Africa*. World Bank, Agriculture & Rural Development Department.
- KIMWANGA, P. S., KABUITA, L. M., SIWAKO, J.-P. L., NZAWELE, B. D., & MUSSA, M. I. (2021). Rentabilité et obstacles à l'adoption des variétés améliorées du Manioc (*Manihot esculenta*) chez les paysans en RD Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(2), 286-292.
- KOUADIO, K. K., BAKAYOKO, S., SORO, D., ETTIEN, D. J., & YOBOUE, K. E. (2014). Étude de la durabilité économique et environnementale de la production de manioc sur ferralsols. *Journal of Applied Biosciences*, 78(1), 6694. <https://doi.org/10.4314/jab.v78i1.5>
- LAFITTE, R. (2002). Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. *Field Crop Research*, 76, 165-174.
- LUCIENS, N. K., YANNICK, U. S., MINERVE, C. K., JOHN, T. K., FRANÇOIS, N. N., EMMANUEL, M. M., PRISCA, K. K., MICHEL, M. M., DAVID, B. M., & LOUIS, B. L. (2013). Economic viability of splitting nitrogen fertilizer in maize (*Zea mays* L.) : Case of Lubumbashi, southeastern DR Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 65, 4945-4956. <https://doi.org/10.4314/jab.v65i0.89619>
- MAKINDE, E. A., SAKA, J. O., & MAKINDE, J. O. (2007). Economic evaluation of soil fertility management options on cassava-based

- cropping systems in the rain forest ecological zone of south western Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 2(1), 7-13.
- MERUMBA, M. S., SEMU, E., SEMOKA, J. M., MSANYA, B. M., KIBURA, J. K., & BLANDES, J. S. (2022). Profitability of Using Different Rates of Farmyard Manure and Potassium Fertilizer for Cassava Production in Bukoba, Missenyi and Biharamulo Districts, Tanzania. *Journal of Experimental Agriculture International*, 132-149. <https://doi.org/10.9734/jeai/2022/v44i1030887>
- NYEMBO, L. K., YANNICK, U. S., MINERVE, C. K., KALUMBU, T., FRANÇOIS, N. N., EMMANUEL, M. M., PRISCA, K. K., MICHEL, M., DAVID, B. M., & LOUIS, B. 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, 4945-495.
- PENOT, E., HUSSON, O., & RAKOTONDRAMANANA. (2010). Les calculs économiques pour l'évaluation des systèmes. Annexe2 : Les bases de calculs économiques pour l'évaluation des systèmes SCV. In *Manuel pratique du semis direct Ã Madagascar. Annexe 2 / CIRAD* (p. 28). CIRAD. https://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=559337
- PYPERS, P., BIMPONDA, W., LODI-LAMA, J.-P., LELE, B., MULUMBA, R., KACHAKA, C., BOECKX, P., MERCKX, R., & VANLAUWE, B. (2012). Combining Mineral Fertilizer and Green Manure for Increased, Profitable Cassava Production. *Agronomy Journal*, 104(1), 178-187. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0219>
- THEVENET, G. (2000). L'utilisation et la maitrise des intrants en céréaliculture. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 86(3), 139-159.
- THIAULT, J. (2000). Le bon usage des intrants en agriculture, Introduction. *C.R.C. Acad..Agric.Fr.*, 86(3), 129-137.
- USENI, Y., MINERVE, C., JOHN, T., EMMANUEL, M., PRISCA, K., FRANÇOIS, N., PATRICK, K., KALILO, K., LOUIS, B., LUCIENS, N., & MICHEL, M. (2013). Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 66(0), 5070. <https://doi.org/10.4314/jab.v66i0.95005>