

Matière sèche, HCN et NPK des tubercules de manioc soumis à différentes doses du NPK

**Kasereka Masimengo Serge^{1*}, Kambale Muyisa Musongora², Mbusa
Kamavu Yves³, Lwanzo Kisonia Nelly⁴, Kakule Vyakuno Joseph
Emmanuel⁵, Muhindo Sahani Walere⁶, Mutiviti Paluku Gilbert⁷**

Résumé

Cette étude a évalué l'effet des fractions de doses d'engrais sur la teneur en matière sèche, en HCN (cyanure d'hydrogène) et azote, phosphore et potassium dans les racines de manioc. La teneur en matière sèche a été significativement élevée à Maboya (53,4 %) comparativement à Kirumba (48 %) et Bingo (40,6 %), alors que le taux de cyanure d'hydrogène a été plus élevé à Bingo (7,4 mg/100g de matière sèche) comparativement à Kirumba (5,8 mg/100g de matière sèche) et à Maboya (5,6 mg/100g de matière sèche). La teneur en N, P et K des racines de manioc a été la plus élevée à Kirumba (1,5 %, 2,3 mg/100g de matière sèche, 35 mg/100g de matière sèche; respectivement), suivi de Bingo (1,03 %, 1,97 mg/100g de matière sèche, 31,7 mg/100g de matière sèche ; respectivement) et Maboya (0,6 %, 1,97 mg/100g de matière sèche, 33,6 mg/100g de matière sèche ; respectivement). Les doses élevées d'azote (90 kg/ha) en présence des doses croissantes de potassium (40, 80 et 120 kg/ha) ont induit des teneurs en matière sèche et NPK les plus élevées dans les racines de manioc. Cependant, les faibles doses d'engrais azotés (40 et 60 kg/ha) en présence des doses croissantes de potassium (120 et 80 kg/ha) ont induit les plus fortes teneurs en cyanure d'hydrogène. Une dose de 90 kg/ha d'azote associée à 120 kg/ha de potassium serait un compromis idéal pour produire le manioc de faible teneur en cyanure d'hydrogène si le phosphore n'est pas limitant.

Mots-clés : Manioc, fertilisation, matière sèche, cyanure d'hydrogène

¹ Institut Supérieur d'Études Agronomiques, Vétérinaires et Forestières de Butembo ; Email sergemasimengo@gmail.com

² Université Catholique du Graben ; Email kambalemuyisam@gmail.com

³ Université Officielle de Semuliki, Email yvesmbusa@gmail.com

⁴ Université Catholique du Graben ; Email nellykisoniagus@gmail.com

⁵ Université Catholique du Graben ; Email evyakuno@yahoo.fr

⁶ Université Catholique du Graben ; Email sahaniwalerem@gmail.com

⁷ Université Catholique du Graben ; Email malkakuva@gmail.com

*Auteur correspondant : Masimengo Kasereka Serge Email : sergemasimengo@gmail.com

Abstract

The present study investigated the effect of fractional doses of fertilizers on the dry matter, HCN and NPK content of cassava roots. The dry matter content was significantly higher in Maboya (53.4 %) compared to Kirumba (48 %) and Bingo (40.6 %) while the hydrogen cyanide content was the highest in Bingo (7.4 mg/100g) compared to Kirumba (5.8 mg/100g) and Maboya (5.6 mg/100g dry matter). The N, P and K content of cassava roots were highest in Kirumba (1.5 %, 2.3 mg/100g dry matter, 35 mg/100g dry matter; respectively), followed by Bingo (1.03 %, 1.97 mg/100g dry matter, 31.7 mg/100g dry matter; respectively) and Maboya (0.6 %, 1.97 mg/100g dry matter, 33.6 mg/100g dry matter; respectively). High doses of nitrogen (90 kg/ha) in the presence of increasing doses of potassium (40, 80 and 120 kg/ha) induced highest dry matter and NPK content in cassava roots. However, low doses of nitrogenous fertilizers (40 and 60 kg/ha) in the presence of increasing doses of potassium (120 and 80 kg/ha) induced the highest HCN levels. The 90 kg/ha combined with 120 kg/ha of potassium would be an ideal tradeoff to produce cassava with low hydrogen cyanide if phosphorus is not limiting.

Key words: Cassava, fertilization, dry matter, hydrocyanide

1. Introduction

Le manioc est une culture vivrière importante à travers le monde où elle fournit plus de 500 calories par jour à environ 70 millions de personnes. Bien que les feuilles soient des sources de protéines, de vitamines et de minéraux, le manioc est produit pour ses racines comestibles riches en glucides (Byju & Suja, 2020). Les feuilles fraîches sont consommées comme légume dans certaines régions du monde (Fermont et al., 2009).

Actuellement, la demande de manioc augmente non seulement pour l'alimentation humaine, mais également à des fins industrielles et d'alimentation du bétail (Vernier et al., 2018). L'augmentation des rendements de tubercules pour répondre à la demande croissante exige l'utilisation d'engrais (organiques ou inorganiques) afin de compenser l'épuisement et le déséquilibre des éléments nutritifs du sol (Okoth & Yermiyahu, 2021).

La teneur en glycosides cyanogéniques est un facteur limitant pour la consommation humaine ou animale des racines de manioc. La présence des cyanoglycosides dans les racines de manioc les rend potentiellement toxiques pour les populations humaines qui se nourrissent d'un régime à base de manioc et d'une faible ingestion de protéines (Lundquist, 1992). La

teneur en glycosides cyanogéniques serait un facteur génétiquement contrôlé et la plupart des variétés contiennent de 15 à 400 mg de cyanure/kg de poids frais.

Occasionnellement, des tubercules de certaines variétés de manioc contiennent 1300-2000 mg de cyanure/kg de poids frais, et les feuilles de manioc peuvent contenir 1000-2000 mg glycosides cyanogéniques/kg (Padmaja, 1995). La teneur en cyanure des racines de manioc est non seulement génétiquement contrôlée, mais dépend aussi de plusieurs facteurs environnementaux (Brown et al., 2016). Il a cependant été constaté que différents génotypes de manioc ne réagissent pas de la même façon à l'évolution des conditions environnementales (Ndung'u et al., 2012). Par conséquent, le déplacement d'un génotype d'un endroit à un autre pourrait altérer son potentiel cyanogénique en raison des différences de climat et de sol (IITA, 1993).

Il en résulte une variation considérable de la toxicité entre les mêmes variétés cultivées dans différentes conditions, qu'elles soient naturelles ou d'origine humaine telles que les régimes de fertilisation (Ndung'u et al., 2012). Malgré cette plasticité, la caractérisation du pouvoir cyanogénique d'un génotype de manioc dans des conditions climatiques variables en réponse aux régimes de fertilisation est utile. Cette caractérisation est nécessaire pour faire correspondre les niveaux de fertilité du sol appropriés à ce génotype particulier pour répondre à l'impératif de faible teneur en cyanure dans les racines de manioc.

Outre la concentration de cyanure dans les racines de manioc, la qualité de l'amidon est un autre important trait de qualité du manioc. À part le potentiel génétique des génotypes considérés, la vitesse d'accumulation de l'amidon dépend fortement des conditions environnementales, entre autres du régime des précipitations, de la température et de la fertilité du sol (Zhang et al., 2020).

Ainsi, le régime de fertilisation et la disponibilité en eau jouent-ils un rôle important dans la synthèse de l'amidon de qualité (Omondi & Yermiyahu, 2021; Santisopasri et al., 2001; Xie et al., 2020). De plus, des valeurs élevées des propriétés fonctionnelles de l'amidon, telles que la capacité d'hydratation, le pouvoir de gonflement et la solubilité augmentent avec l'augmentation des taux de fertilisation et de l'absorption des

nutriments (Mensah, 2013). Le taux d'absorption de l'azote, potassium, phosphore, calcium et magnésium peut s'évaluer par l'analyse de l'état nutritionnel de la plante, matérialisé par la concentration des minéraux dans certains organes de la plante comme les jeunes feuilles, la tige ou les organes de stockage (Adiele et al., 2021).

Dans cette perspective, Howeler et Cadavid (1983) ont rapporté que jusqu'à six mois après la plantation, l'azote s'accumule principalement dans les feuilles, après quoi l'azote dans les feuilles diminue en raison de la chute des feuilles, mais continue d'augmenter dans les tiges et reste constant dans les racines. Pendant ce temps, le phosphore et surtout le potassium s'accumulent principalement dans les racines, suivies des tiges et des feuilles (Howeler, 2012). Une diminution substantielle des concentrations de N, P et K dans toutes les parties de la plante est inévitable à mesure que la plante de manioc vieillit à la suite de l'augmentation de la proportion de tissus structuraux et de stockage.

La teneur en matière sèche, en amidon, fibres, protéines, acide cyanhydrique et d'autres substances, y compris les minéraux, dans un tubercule de manioc est un indicateur de sa qualité. Ainsi, comprendre l'effet de l'application d'engrais sur la qualité des tubercules de manioc, principalement en termes de teneur en matière sèche, en HCN et en NPK, est d'une importance capitale en ce qui concerne l'utilisation des engrais pour les agriculteurs de subsistance et commerciaux dans un effort d'augmentation de la production. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de l'application de fractions de doses d'engrais inorganiques sur la qualité du manioc en agriculture pluviale dans les Territoires de Beni et de Lubero.

2. Matériels et méthodes

2.1. Milieu physique

Les expérimentations ont été faites sur trois sites : Bingo/ Nopera à 1080 mètres d'altitude, 0,49917° de latitude nord et 29,39446° de longitude est ; Maboya /Luholu à 1329 mètres d'altitude, 0,29551° de latitude nord et 29,30772 de longitude est et Kitsimanda à 1715 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.

Cette zone connaît des températures plus modérées (16°C en moyenne), une pluviométrie plus réduite, des amplitudes thermiques diurnes plus élevées et des nuits fraîches (Vyakuno, 2006). Les sols des Territoires de Beni et Lubero sont issus des roches granitiques, schisteuses et volcaniques. Néanmoins, les sols du fossé tectonique (plaine de la Semuliki) sont des sols alluviaux d'origine sédimentaire (Vyakuno, 2006). Les résultats des analyses pédologiques des sols des sites qui ont abrité les expérimentations sont consignés au tableau 1.

Tableau 9. Propriétés physico-chimiques des sols des sites d'expérimentation

Paramètres	Sites d'expérimentation		
	Bingo	Maboya	Kirumba
pH eau	5,61	5,40	6,44
pH KCl	4,83	4,50	4,35
Teneur en eau (%)	8,40	8,07	9,22
MO (%)	7,40	8,40	10,22
C (%)	4,25	4,27	5,06
N (%)	0,52	0,40	0,38
P (%)	0,86	0,97	0,57
K (%)	7,06	6,42	5,76
Ca (%)	1,16	2,17	1,83
Na (%)	0,86	0,78	0,87
Mg (%)	0,07	0,46	0,05
CEC (méq)	9,57	10,13	12,87
Argile (%)	15,49	23,21	28,90
L (%)	9,37	7,73	8,69
S (%)	75,14	69,06	62,41

Source : Nos analyses au Laboratoire Central de l'UCG

2.2. Conduite de l'essai

Les fractions de quatre types d'engrais communément rencontrés dans la région (DAP, TSP, KCl et Urée) ont été mises en expérimentation. Les engrais minéraux ont été utilisés à différentes doses, à savoir le témoin, les doses 40, 60 et 90 kg ha⁻¹ pour le N et 40, 80 et 120 kg ha⁻¹ pour le K, alors que le P n'a été utilisé qu'à la dose de 40 kg ha⁻¹. Un total de 16 traitements a été obtenu (15 traités et un témoin non traité), tels que présentés dans le tableau 2.

Tableau 10. Combinaison des doses en kg 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

2.3. Conduite de l'essai

Trois essais consécutifs ont été conduits dans chacun de trois sites d'expérimentation. Dans chaque site, les expérimentations consécutives étaient conduites sur une nouvelle parcelle afin d'éviter le biais lié aux effets résiduels de la culture précédente. 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. Des parcelles

de 5 m x 5 m étaient séparées de 2 m, alors que les blocs étaient distants de 3 m. Le matériel biologique a consisté au manioc de la variété *Sawasawa*.

La variété *Sawasawa* est un type variétal de manioc doux inscrit au catalogue national des plantes vivrières depuis 2008 sous le code « MM 96/3920 ». Pour l'installation de premiers essais (2019), les boutures ont été récoltées dans des champs expérimentaux de l'APROMA (Association des Producteurs du Manioc au Congo) à Pasisi, en Ville de Beni, à 10 mois d'âge. Pour les essais subséquents (2020 et 2021), les matériels de plantation de 12 mois d'âge étaient issus des résultats des essais des années précédentes respectives. En moyenne, les boutures mises en terre étaient de 21 mm de diamètre, long de 239 mm et comptant 5 nœuds.

2.4. Collecte des échantillons des racines de manioc et détermination de la teneur en matière sèche, HCN et NPK

Des tubercules de manioc frais ont été échantillonnés 12 mois après plantation. Dans chaque parcelle, un échantillon de 500 g était recueilli dans une glacière et acheminé au laboratoire d'analyse endéans 48 heures. Lors de l'échantillonnage, des tubercules plus gros, moyens et plus petits ont été inclus dans l'échantillon afin de constituer un sous-échantillon composite par parcelle. Sur un même tubercule, les échantillons ont été prélevés à partir de la base, du milieu et de la pointe de la carotte après avoir été pelée et disséquée longitudinalement en petits morceaux afin que les échantillons soient plus représentatifs tel que proposé par Chavez et al (2008).

Les échantillons ont été transportés au laboratoire d'analyse de l'Université Catholique du Graben (Butembo, RD. Congo) et séchés à l'étuve à 70°C jusqu'au poids constant et repesés pour la détermination de la teneur en matière sèche. Les échantillons bien secs ont été broyés et les analyses subséquentes ont été faites sur la farine ainsi obtenue. La teneur HCN des racines a été analysée selon la procédure détaillée par Essers et al. (1993), alors que la teneur en éléments minéraux (N, P, K) a été analysée suivant le protocole décrit par Okalebo et al. (2002).

2.5. Analyses statistiques

Les données de la teneur en matière sèche, en HCN, en azote, phosphore et potassium ont été analysées selon le protocole statistique réservé « aux facteurs lieux et temps » pour le cas des expériences répétées en plusieurs endroits et au cours de plusieurs années. L'analyse par un modèle linéaire mixte (MLM) a été effectuée à l'aide du package lme4 du logiciel R pour évaluer l'effet des fractions des doses d'engrais sur les paramètres sous observation. 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 des 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. Teneur en matière sèche des racines de manioc

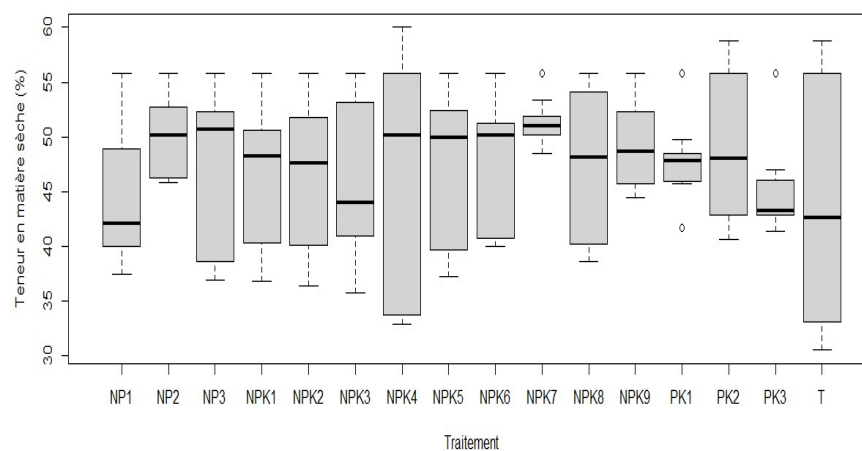
La teneur en matière sèche des racines de manioc produites au cours de cette étude a été significativement influencée par des interactions entre le site expérimental et le traitement (Tableau 3). Bien plus, la teneur en matière sèche des racines produites au cours de la deuxième année d'expérimentation a été significativement élevée (48,3 %) comparativement à celles issues de la première et troisième années d'expérimentation (46,9 %).

Une teneur en matière sèche significativement élevée a été enregistrée sur les parcelles témoins ainsi que celles ayant été traitées à toutes les doses de NPK et NP au niveau de Maboya. La plus faible teneur en matière sèche, par contre, a été enregistrée sur les parcelles témoins ainsi que celles ayant été traitées au NPK1, NPK2, NPK3, NPK4 et NPK5 au site de Bingo (Tableau 8).

Tableau 11. Analyse de la variance de la teneur en matière sèche des racines de manioc

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fvalue	Pr(>F)
Site	2	3942,6	1971,3	388,1719	<0,001***
Traitement	15	516,7	43,45	6,7834	<0,001***
Année	2	40,8	20,4	4,0207	0,02*
Site*Traitement	30	1386,4	46,21	9,0998	<0,001***
Erreurs résiduelles	94	477,4	5,08		

Pris singulièrement, les racines de manioc récoltées au site de Maboya se sont révélées significativement riche en matière sèche (53,4 %), suivies de celles récoltées à Kirumba (48 %) et celles de Bingo (40,6 %), dont les teneurs en matière sèche sont restées significativement différentes. Entre les traitements, seules les parcelles ayant été traitées au NPK6, NPK7, NPK8, NPK9, PK1, PK2 et NP2 ont produit des racines dont la teneur en matière sèche est significativement la plus élevée. Par ailleurs, les parcelles témoins et celles ayant été traitées au NP1 ont produit des racines de manioc avec la plus significativement faible teneur en matière sèche (Figure 1).

**Figure 7. Teneur en matière sèche des racines de manioc par traitement**

3.2. Teneur en acide cyanhydrique des racines de manioc

La concentration en acide cyanhydrique dans les racines de manioc a été significativement influencée par des interactions entre le site et le traitement (Tableau 4). Pour illustration, les valeurs les plus significativement élevées de la teneur en acide cyanhydrique dans les racines de manioc ont été obtenues sur les parcelles témoins ainsi que celles traitées au NPK3, NPK5, NPK9, NP1, NP3 et PK2 au site de Bingo.

Au site de Maboya par contre, les teneurs en acide cyanhydrique les plus significativement élevées ont été enregistrées sur les racines de manioc issues des parcelles ayant été traitées au NPK5, PK2 et NP2. Enfin, Kirumba a produit des racines de manioc à une teneur en acide cyanhydrique significativement élevée sur les parcelles traitées au PK1 ainsi que celles portant toutes les doses de NPK, excepté le NPK3 et NPK4.

La plus faible concentration en acide cyanhydrique a été obtenue sur les racines de manioc produites sur les parcelles témoins de Kirumba ainsi que celles ayant été traitées au NP1 (Tableau 8). La teneur en acide cyanhydrique des racines récoltées au cours de la première et troisième années a été significativement plus élevée (6,4 et 6,7 mg/100g de matière sèche, respectivement) que celle de la deuxième année (5,7 mg/100g de matière sèche).

Tableau 12. Analyse de la variance de la teneur en acide cyanhydrique des racines de manioc

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fvalue	Pr(>F)
Site	2	92,75	46,373	41,429	<0,001***
Traitement	15	116,17	7,744	6,9187	<0,001***
Année	2	22,71	11,354	10,1439	<0,001***
Site*Traitement	30	352,01	11,734	10,4827	<0,001***
Erreurs résiduelles	94	105,22	1,119		

Entre sites, il s'est observé que le site de Bingo s'est significativement démarqué de deux autres sites par la teneur en acide cyanhydrique de racines de manioc qui a été la plus élevée (7,4 mg/100g de matière sèche)

comparativement à celle enregistrée à Kirumba (5,8 mg/100g de matière sèche) ou à Maboya (5,6 mg/100g de matière sèche).

Par contre, entre les traitements, seules les parcelles ayant été traitées au NPK3 et NPK5 ont produit des racines de manioc dont la teneur en acide cyanhydrique est significativement élevée comparativement aux autres. Les traitements PK3, NP1 et NP2 ont produit des racines de manioc dont la teneur en acide cyanhydrique est la plus significativement faible et comparable à celle des racines issues des parcelles témoins (Figure 2).

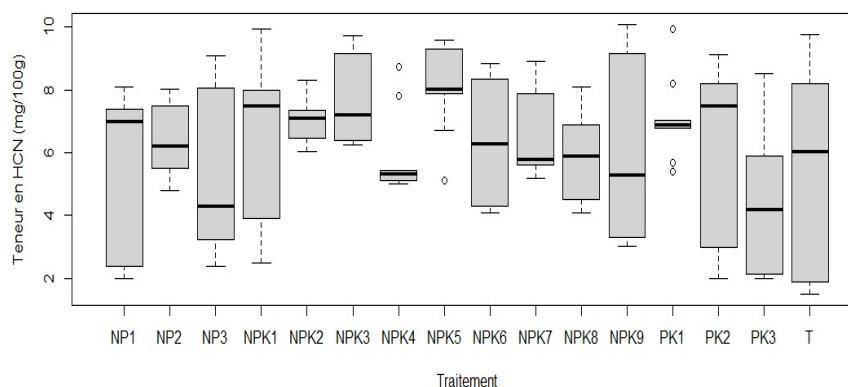


Figure 8: Teneur en acide cyanhydrique des racines de manioc par traitement

3.3. Teneur en azote des racines de manioc

La teneur en azote total des racines de manioc a été significativement influencée par des effets interactifs entre le site et le traitement (Tableau 5). La teneur en azote des racines de manioc est restée significativement élevée pour les racines récoltées sur les parcelles traitées au NPK7, NPK8 et NPK9 au site de Kirumba. Par contre, les parcelles témoins de Kirumba et Maboya ont produit des racines de manioc avec la plus faible teneur en azote (Tableau 8).

Tableau 13. Analyse de la variance de la teneur en azote des racines de manioc

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fvalue	Pr(>F)
Site	2	20,3501	10,1751	266,8516	<0,001***
Traitement	15	10,8613	0,7241	18,9899	<0,001***
Année	2	0,1457	0,0729	1,9112	1
Site*Traitement	30	12,7904	0,4263	11,1814	<0,001***
Erreurs résiduelles	94	3,5842	0,0381		

Entre les sites expérimentaux, Kirumba a produit des racines de manioc dont la teneur en azote a été la plus significativement élevée (1,5 %), suivi du site de Bingo (1,03 %) et enfin le site de Maboya (0,6 %). Pour les traitements par contre, les parcelles ayant reçu les traitements NPK7, NPK8 et NPK9 ont produit des racines dont la teneur en azote est significativement la plus élevée, tandis que les parcelles témoins ont produit les racines de manioc les plus significativement pauvres en azote (Figure 3).

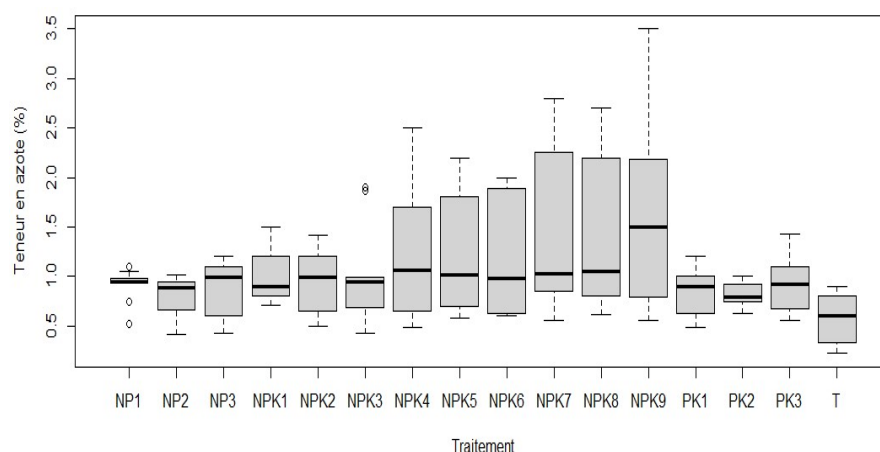


Figure 9. Teneur en azote des racines de manioc par traitement

3.4. Teneur en phosphore des racines de manioc

La teneur en Phosphore des racines de manioc a été significativement influencée par les interactions entre le site et le traitement (Tableau 6). Les

plus fortes teneurs en phosphore dans les racines de manioc ont été enregistrées dans les racines récoltées sur les parcelles ayant été traitées au NPK8 et NPK9 à Kirumba, alors que les traitements témoins de Maboya et Bingo ont produit les racines de manioc les plus significativement pauvres en phosphore (Tableau 8).

Tableau 14. Analyse de la variance de la teneur en phosphore

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fvalue	Pr(>F)
Site	2	3,6874	1,84372	21,3927	<0,001***
Traitement	15	12,282	0,8188	9,5006	<0,001***
Année	2	0,3118	0,15591	1,809	1
Site*Traitement	30	10,3574	0,34525	4,0059	<0,001***
Erreurs résiduelles	94	8,1013	0,08618		

La teneur en phosphore des racines de manioc a été plus élevée à Kirumba (2,3mg/100g) comparativement aux deux autres sites (1,97 mg/100g) ; respectivement. Parmi les traitements par contre, les parcelles traitées au NPK8 et NPK9 ont produit des racines de manioc avec la teneur en phosphore la plus élevée. La teneur en phosphore des racines de manioc issues des parcelles ayant été traitées au NPK1, NPK2 et NPK3 n'a pas différé et a été comparable à celle des parcelles témoins, étant la plus faible (Figure 5).

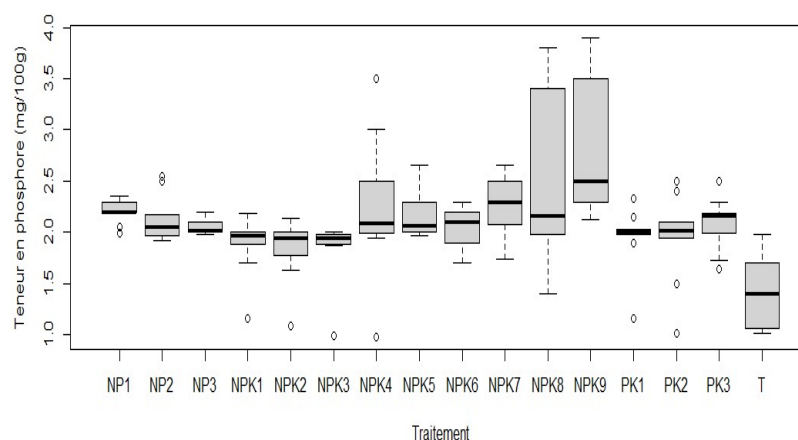


Figure 10. Teneur en phosphore des racines de manioc par traitement

3.5. Teneur en potassium des racines de manioc

La teneur en potassium des racines de manioc a été influencée par des effets interactifs entre le site et le traitement (Tableau 7). Les parcelles de Kirumba traitées au NPK7, NPK8 et NPK9 ont produit des racines de manioc dont la teneur en phosphore est significativement la plus élevée comparativement à tous les autres traitements. Les valeurs plus faibles de la teneur en potassium des racines de manioc ont été enregistrées sur les racines de manioc récoltées sur les parcelles témoins de tous les trois sites d'expérimentation (Tableau 8).

Tableau 15. Analyse de la variance de la teneur en potassium

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fvalue	Pr(>F)
Site	2	262,01	131,007	55,4861	<0,001***
Traitement	15	1690,34	112,689	47,7282	<0,001***
Année	2	53,22	26,612	11,271	1
Site*Traitement	30	347,16	11,572	4,9012	<0,001***
Erreurs résiduelles	94	221,94	2,361		

La teneur en potassium des racines de manioc permet de classer les sites dans un ordre décroissant plaçant Kirumba en tête avec une teneur en potassium de 35mg/100g, suivi de Bingo et Maboya qui ont produit des racines dont la teneur en potassium est de 33,6 et 31,7mg/100g ; respectivement. Les parcelles ayant été traitées au NPK7, NPK8 et NPK9 ont produit des racines de manioc avec la teneur en potassium la plus significativement élevée, alors que les parcelles témoins ont produit les racines les plus pauvres en potassium (Figure 6).

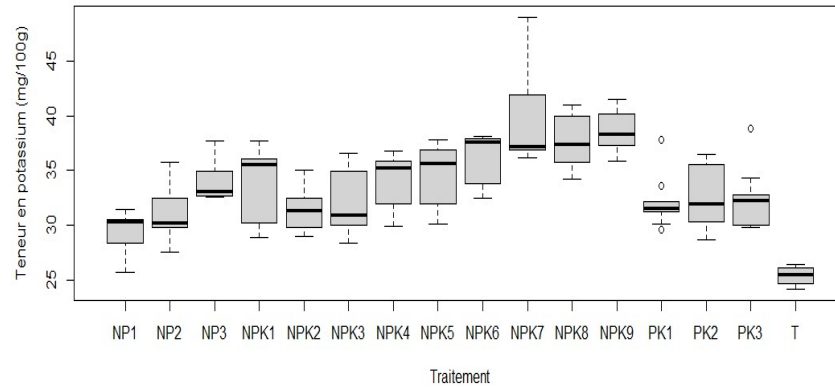


Figure 11. Teneur en potassium des racines de manioc par traitement

Tableau 16. Effet des doses séquentielles d'engrais sur teneur en HCN, N, P et K des racines de manioc (Moyenne $\pm$ Erreur standard)

Site	Traitement	MS (%)	HCN (mg/100g)	N(%)	P (mg/100g)	K (mg/100g)
BINGO	NP1	41,5(0,42) ^{cde}	7,83(0,12) ^a	0,96(0,01) ^{def}	2,24(0,03) ^{ab}	27,15(1,9) ^{cd}
	NP2	46,23(0,15) ^{ab}	6,37(0,16) ^a	0,94(0,01) ^b	1,95(0,01) ^{ab}	29,07(1,89) ^{bcd}
	NP3	37,85(0,29) ^{ef}	8,42(0,20) ^a	1,04(0,02) ^{def}	2,04(0,02) ^{ab}	35,1(2,51) ^{ab}
	NPK1	38,51(0,58) ^e	7,43(0,20) ^a	0,9(0,03) ^f	1,95(0,02) ^{ab}	36,58(1,09) ^a
	NPK2	38,24(0,62) ^e	7,02(0,37) ^a	1,07(0,04) ^{de}	1,56(0,14) ^{ab}	31,79(3,06) ^{abc}
	NPK3	39,73(1,17) ^e	7,72(0,46) ^a	0,97(0,01) ^{ef}	1,62(0,18) ^{ab}	31,68(2,48) ^{abc}
	NPK4	33,27(0,14) ^{fg}	7,28(0,59) ^a	1,11(0,06) ^{de}	2,5(0,45) ^a	35,55(0,52) ^{ab}
	NPK5	38,37(0,42) ^e	8,53(0,53) ^a	1,12(0,06) ^{de}	2,38(0,12) ^a	34,84(2,52) ^{ab}
	NPK6	40,31(0,12) ^{de}	7,11(0,82) ^a	0,96(0,06) ^{def}	1,9(0,09) ^{ab}	37,72(0,45) ^a
	NPK7	50,74(0,34) ^a	6,54(0,6) ^a	1,08(0,04) ^{de}	1,92(0,07) ^{ab}	37,54(0,85) ^a
	NPK8	39,55(0,28) ^e	5,97(0,30) ^a	1,13(0,05) ^{de}	1,7(0,13) ^{ab}	35,6(1,35) ^{ab}
	NPK9	45,44(0,38) ^{bc}	8,08(1,11) ^a	1,35(0,09) ^{bcd}	2,21(0,03) ^{ab}	37,66(0,54) ^a
	PK1	44,77(0,90) ^{bcd}	6,94(0,04) ^a	1,03(0,05) ^{ab}	2,15(0,06) ^{ab}	33,74(3,51) ^{abc}
	PK2	41,93(0,40) ^{bcd}	7,53(0,22) ^a	0,95(0,01) ^f	2,04(0,02) ^{ab}	34,15(3,36) ^{ab}
	PK3	42,44(0,32) ^{bcd}	6,87(0,48) ^a	1(0,03) ^{def}	2,33(0,05) ^{ab}	34,77(3,5) ^d
	T	31,54(0,46) ^g	8,95(0,26) ^a	0,86(0,02) ^f	1,09(0,03) ^b	24,98(0,7) ^d
	Total Bingo	40,65(0,40) ^c	7,41(0,12) ^a	1,03(0,01) ^b	1,97(0,04) ^b	33,62(0,34) ^b
MABOYA	NP1	51,46(1,26) ^a	6,4(0,35) ^{bcd}	0,73(0,07) ^{ef}	2,18(0,04) ^{ab}	30,04(1,53) ^c
	NP2	53,51(0,67) ^a	7,84(0,10) ^{ab}	0,57(0,05) ^{ef}	2,07(0,03) ^{ab}	30,02(0,22) ^c
	NP3	53,97(0,59) ^a	4,37(0,17) ^{ef}	0,54(0,03) ^f	2,03(0,01) ^{ab}	32,9(0,5) ^{bc}
	NPK1	50,41(1,57) ^a	3,02(0,25) ^{fg}	0,78(0,02) ^{ef}	1,89(0,06) ^{ab}	29,54(0,66) ^c
	NPK2	53,65(0,68) ^a	7,17(0,09) ^{abc}	0,59(0,03) ^f	1,97(0,02) ^{ab}	30,51(1,97) ^c
	NPK3	54,66(0,46) ^a	6,49(0,13) ^{bcd}	0,57(0,05) ^f	1,94(0,02) ^{ab}	29,63(1,3) ^c
	NPK4	58,08(0,71) ^a	5,25(0,05) ^{de}	0,58(0,03) ^f	2,06(0,04) ^{ab}	30,63(1,16) ^c
	NPK5	53,92(0,57) ^a	7,94(0,02) ^{ab}	0,65(0,02) ^{ef}	1,99(0,01) ^{ab}	31,21(1,06) ^c
	NPK6	53(0,83) ^a	4,17(0,04) ^{efg}	0,61(0,01) ^{ef}	2,16(0,05) ^{ab}	33,07(0,67) ^{bc}
	NPK7	53,52(0,73) ^a	5,57(0,12) ^{de}	0,69(0,05) ^{ef}	2,26(0,05) ^{ab}	36,77(0,51) ^{ab}
	NPK8	55,04(0,28) ^a	4,29(0,07) ^{ef}	0,69(0,03) ^{ef}	2,16(0,10) ^{ab}	36,68(1,46) ^{ab}
	NPK9	50,06(1,73) ^a	3,18(0,05) ^{fg}	0,71(0,04) ^{ef}	2,52(0,06) ^a	37,2(1,3) ^a
	PK1	49,78(1,77) ^{ab}	6,46(0,22) ^{bcd}	0,57(0,03) ^f	1,73(0,16) ^{ab}	32,12(1,26) ^c
	PK2	56,96(0,54) ^a	8,72(0,17) ^a	0,71(0,03) ^{ef}	1,49(0,16) ^b	30,39(1,63) ^c
	PK3	49,25(1,89) ^b	2,67(0,34) ^g	0,62(0,02) ^{ef}	1,79(0,06) ^{ab}	31,37(2,55) ^c
	T	57,48(0,51) ^a	6,06(0,09) ^{cd}	0,38(0,06) ^f	1,33(0,09) ^b	25,25(1,05) ^d
	Total Maboya	53,42(0,31) ^a	5,6(0,16) ^b	0,63(0,01) ^c	1,97(0,03) ^b	31,71(0,27) ^c
KIRUMBA	NP1	38,9(0,60) ^d	2,13(0,08) ^c	1,04(0,02) ^{def}	2,22(0,07) ^{bc}	30,57(0,21) ^{ef}
	NP2	49,87(1,24) ^{abc}	5,1(0,12) ^{abc}	0,93(0,03) ^{ef}	2,41(0,07) ^{bc}	34(1,67) ^{cde}
	NP3	50,29(0,42) ^{ab}	2,89(0,15) ^c	1,08(0,06) ^{def}	2,11(0,04) ^{bc}	33,93(1,62) ^{cde}
	NPK1	50,92(0,29) ^a	8,91(0,36) ^a	1,35(0,05) ^{cdef}	1,8(0,19) ^c	35,53(0,6) ^{cd}
	NPK2	47,93(0,22) ^{abc}	6,83(0,24) ^{ab}	1,26(0,08) ^{cdef}	1,98(0,06) ^{bc}	31,43(1,22) ^{de}
	NPK3	43,69(1,12) ^{cd}	8,75(0,45) ^a	1,57(0,18) ^{cde}	1,95(0,02) ^{bc}	35,78(0,85) ^{cd}
	NPK4	49,3(0,55) ^{abc}	5,15(0,07) ^{abc}	2,09(0,13) ^{abc}	2,18(0,10) ^{bc}	35,9(0,9) ^{cd}
	NPK5	50,07(0,07) ^{ab}	7,89(0,81) ^a	2,05(0,07) ^{abc}	2,16(0,04) ^{bc}	37,3(0,46) ^{bc}
	NPK6	50,45(0,24) ^{ab}	7,72(0,41) ^a	1,93(0,02) ^{bcd}	2,1(0,07) ^{bc}	37,87(0,25) ^{bc}
	NPK7	50,15(0,47) ^{ab}	7,5(0,55) ^{ab}	2,52(0,09) ^{ab}	2,58(0,03) ^b	44,63(3,82) ^a
	NPK8	48,5(0,91) ^{abc}	7,07(0,32) ^{ab}	2,5(0,09) ^{ab}	3,53(0,08) ^a	40,63(0,55) ^{ab}
	NPK9	52,46(0,84) ^a	7,82(0,73) ^a	2,93(0,23) ^a	3,67(0,07) ^a	40,67(0,72) ^{ab}
	PK1	48,7(0,32) ^{abc}	7,84(0,76) ^a	0,96(0,04) ^{ef}	1,97(0,02) ^{bc}	30,61(1,33) ^{ef}
	PK2	48,12(0,38) ^{abc}	2,64(0,19) ^c	0,81(0,02) ^{ef}	2,33(0,07) ^{bc}	33,5(2,97) ^{cde}
	PK3	44,2(0,83) ^{bcd}	3,58(0,43) ^{bc}	1,19(0,13) ^{cdef}	2,14(0,02) ^{bc}	31,54(1,32) ^{de}
	T	44,531,09) ^{bcd}	1,74(0,07) ^c	0,5(0,07) ^f	1,88(0,05) ^c	26,07(0,35) ^f
	Total Kirumba	48(0,32) ^b	5,85(0,22) ^b	1,54(0,06) ^a	2,31(0,05) ^a	35(0,39) ^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.

3.6. Analyse Factorielle Mixte (AFM) des facteurs testés et la teneur en HCN et NPK du manioc

L'analyse factoriel mixte des données relatives à la teneur en HCN et PNK des racines de manioc telle qu'influencée par les doses séquentielles d'engrais montre que le site et les traitements sont les seuls facteurs aléatoires et fixes, respectivement, ayant influencé la distribution des données.

Les traitements ainsi que la teneur des racines de manioc en K, N et P sont les facteurs ayant le plus contribué à la première composante de l'AFM. Pour la deuxième composante par contre, c'est la teneur en matière sèche et en acide cyanhydrique qui ont eu une importante contribution (Figure 7a). Les paramètres observés sont corrélés entre eux. Une corrélation positive s'observe entre la teneur en phosphore et potassium du manioc, alors que la teneur en matière sèche est négativement corrélée à la teneur en acide cyanhydrique (Figure 7b).

Le deuxième axe de l'AFM sépare les valeurs élevées des paramètres sous étude de celles qui sont faibles. Les résultats de la figure 7c montre que les traitements NPK4, NPK5, NPK6, NPK7, NPK8 et NPK9 ont induit une forte teneur en HCN et NPK dans les racines de manioc. Cette tendance est beaucoup plus perceptible au site de Kirumba que dans les sites de Maboya et Bingo. Au site de Maboya, une légère hausse de la teneur en HCN et NPK des racines est associée aux traitements NP2, NP3, PK2 et PK3, alors que le site de Bingo n'a connu cette légère hausse que pour les parcelles traitées au NP1, PK1, NPK1 et NPK2 (Figure 7c).

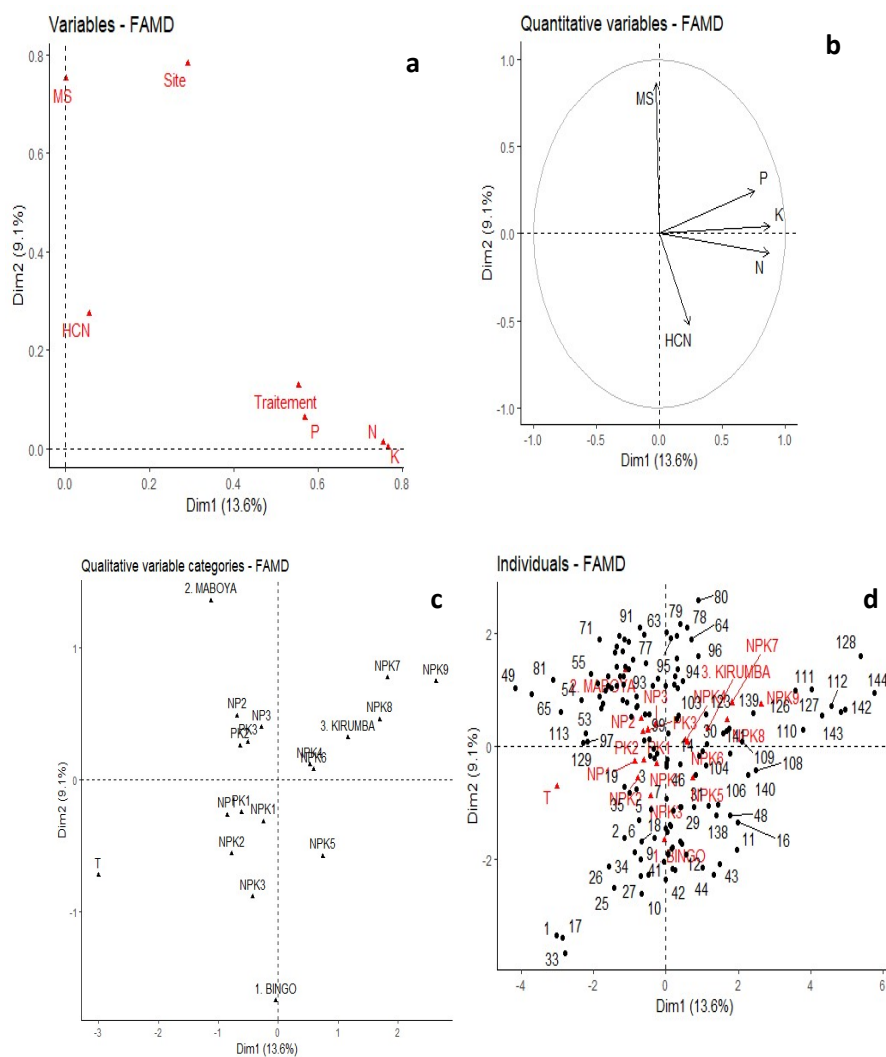


Figure 12. Analyse Factorielle Mixte (AFM) des facteurs mis en jeu et des paramètres observés. MS = Matière Sèche, HCN = Acide Cyanhydrique, P = Phosphore, N = Azote, K = Potassium

4. Discussion

4.1. Influence des fractions d'engrais NPK sur la teneur en matière sèche des racines de manioc

Une tendance à la hausse des estimations de la teneur en matière sèche (variant entre 38 et 58 %) a été observée avec l'augmentation des doses de N. Ceci a été observé dans la présente étude pour toutes les fractions de K et est en accord avec Ukaoma et Ogbonnaya (2013) en ce sens que la fertilisation à l'azote doit être proportionnellement et efficacement associée aux doses de P et de K pour éviter une baisse significative des rendements.

Par conséquent, un excès de N ou l'ajout de N seul peut favoriser une plus grande production de biomasse végétale au détriment de la tubérisation, car l'ajout de N peut favoriser la croissance végétative tout en limitant simultanément la translocation des glucides vers le tubercule (Cuvaca et al., 2015). La texture du sol avec une faible capacité de rétention des nutriments (sol sablonneux) à Bingo par rapport à Maboya ou Kirumba peut avoir entraîné un lessivage des nutriments (K) du sol et également favorisé la dénitrification. Cela pourrait avoir induit une accumulation limitée des photosynthétats dans les racines de manioc comme ce fut le cas pour une étude au Mozambique par Cuvaca et al. (2015).

Les valeurs de la teneur en matière sèche observées dans la présente étude sont inférieures à celles rapportées par Howeler (2012) qui a observé que la fertilisation de la variété de manioc MCol 22 augmentait la production totale de matière sèche au moment de la récolte de 65 % et l'accumulation de matière sèche dans les racines de 71 %. Cependant, Biratu et al. (2022) ont constaté que, bien qu'elles ne soient pas statistiquement différentes, la teneur en matière sèche du tubercule de manioc augmentait avec l'augmentation des niveaux d'application d'engrais minéraux.

4.2. Influence des fractions d'engrais NPK sur la teneur en HCN des racines de manioc

La concentration de HCN du manioc, influencée par différentes combinaisons des doses d'engrais N, P et K, ont différé entre les sites

expérimentaux, étant plus élevée à Bingo (7,41 mg/kg) qu'à Maboya (5,6 mg/kg) et Kirumba (5,85 mg/kg). Cette différence de site en ce qui concerne la concentration en HCN est en accord avec les résultats de Ndung'u et al. (2012) suggérant que les effets interactifs entre les sites (S) et génotypes (G) démontrent que les génotypes réagissaient différemment aux variations des conditions environnementales.

La concentration de HCN dans les racines fraîches de manioc a varié de 1,74 mg/100g à Kirumba à 8,9 mg/100g à Bingo et ces valeurs sont incluses dans la fourchette du niveau typique de HCN signalé comme étant présent dans les tubercules de manioc, allant de 0,01 à 15,5mg/100g (Cardoso et al., 2005) et/ou jusqu'à 20 mg/100g (Padmaja, 1995). Ceci suggère qu'un traitement rigoureux du tubercule doit être entrepris afin d'amener sa concentration en HCN à la limite de sécurité de 10 mg/100g (Padmaja, 1995).

L'augmentation des dose d'engrais potassique en présence de faibles doses d'azote a induit une augmentation de la concentration en HCN des tubercules de manioc, ce qui est en contradiction avec les résultats de De Bruijn (1973) qui a constaté que la concentration de HCN dans les tubercules de manioc augmentait avec l'azote, diminuait avec le K et ne changeait pas avec la fertilisation au P. De même, l'Institut de Recherche et de Développement Agricole des Caraïbes (1992) a signalé une concentration en HCN et une amertume plus élevées dans les tubercules de manioc en raison de l'accroissement des doses de N par rapport à celui de K.

Après correction de la fertilité du sol, Imbakumbili et al. (2020) ont constaté que les niveaux de HCN des racines de certaines variétés de manioc pourraient être réduits en améliorant un ou une combinaison des nutriments phosphore, zinc et potassium dans les plantes ainsi qu'une application modérée d'engrais NPK (50 kg N + 10 kg P + 50 kg K /ha) (Imakumbili et al., 2020).

Pourtant, l'application des doses croissantes d'engrais azotés sur les sols déficients en azote est susceptible d'augmenter son absorption par la plante (Adiele et al., 2021). L'absorption plus élevée de N par ces plantes serait la raison de l'augmentation de la teneur en HCN des tubercules de manioc. En fait, les changements dans l'état nutritionnel des plantes influencent les

processus métaboliques du manioc, comme ceux impliquant la production de glucosides cyanogéniques (Imakumbili et al., 2020).

A l'instar des résultats de la présente étude, El - Sharkawy et Cadavid (2000) ont remarqué que l'application isolée d'engrais K (100 kg/ha) sur des sols pauvres en K a entraîné une baisse significative de la teneur en HCN dans les racines (2,54 mg/100 g) par rapport au manioc non fertilisé (3,90 mg/100g) (El-Sharkawy & Cadavid, 2000). Cependant, Cuvaca et al. (2015) n'ont trouvé aucune différence significative concernant la concentration de HCN dans les tubercules de manioc avec l'ajout d'engrais N, P, K en raison de plusieurs facteurs biotiques (une nappe phréatique élevée tout au long de la saison de culture) et abiotiques (absence de maladies et matériel végétal de bonne qualité).

De même, Biratu et al. (2022) n'ont pas trouvé de tendance claire de la teneur en HCN des tubercules de manioc lorsque le niveau d'engrais augmente et ont donc conclu que la concentration de HCN dans les tubercules de manioc semble être fonction de la physiologie de la culture ou éventuellement de la variété de manioc plutôt que l'environnement ou les conditions dans lesquelles la culture est conduite (Biratu et al., 2022).

La différence entre les résultats de la présente étude et ceux de Cuvaca et al. (2015) et Biratu et al (2022) réside dans les conditions climatiques qui ont prévalu pendant les essais. Pour ces études antérieures (Biratu et al., 2022 ; Cuvaca et al., 2015), les températures élevées et les précipitations erratiques pendant la phase de maturation du manioc auraient occulté l'effet des engrais sur le pouvoir anticyanogénétique du manioc (Padmaja, 1995).

4.3. Influence des fractions d'engrais sur la teneur en NPK des racines de manioc

Les concentrations en N, P et K dans les racines de manioc ont augmenté avec des niveaux d'application d'engrais azotés plus élevés (90 kg/ha) à tous les niveaux d'application de potassium (NPK7, NPK8 et NPK9). La teneur en NPK des racines de manioc rapportée dans la présente étude est similaire à celle rapportée par Adiele et al. (2021) (N entre 3,2 et 16 mg/g ; P entre 0,6 mg/100g et 2,2 mg/100g et K entre 2,7 et 13 mg/g) et Howeler et Cadavid (1983) (N entre 2,7 mg/g ; P entre 0,9 mg/g et 6 mg/g et K entre 3,4 mg/100g et 11 mg/100g).

Dans leurs études, Howeler (2012) et Adiele et al (2021) ont constaté que les concentrations de nutriments dans les racines de manioc variaient considérablement selon les différents tissus, selon l'emplacement de ces tissus dans la plante (partie supérieure, moyenne ou inférieure), et avaient généralement tendance à diminuer avec l'âge de la plante.

Conclusion

Au cours de la présente étude, la teneur en matière sèche a été négativement corrélée à la teneur en acide cyanhydrique. Ceci suggère que tous les facteurs pouvant contribuer à l'accroissement de la teneur à matière sèche sont à privilégier. S'agissant des facteurs du sol pouvant affecter la qualité du manioc récolté, les macronutriments NPK ont joué un rôle important dans la définition de la qualité des tubercules de manioc.

Ainsi, les doses croissantes de potassium en présence de faibles doses d'azote ont associé une teneur élevée en HCN dans les racines de manioc. Cette tendance a été plus prononcée à Kirumba que dans les sites de Maboya et Bingo. Au site de Maboya, une légère hausse de la teneur en HCN et NPK des racines n'a été associée qu'à l'application séparée de l'azote ou potassium (NP ou PK).

À la lumière de ces observations, il y a lieu de croire qu'une dose d'azote de 90 kg/ha associée à 120 kg/ha de potassium serait un compromis idéal pour produire des racines de manioc de qualité supérieure si le phosphore n'est pas limitant. Néanmoins, la charge financière qu'impose une telle formulation, ne peut que la rendre très peu accessible aux petits producteurs. D'où la nécessité de combiner les engrais minéraux avec la matière organique disponible en champ pour combler les déficits.

Références bibliographiques

ADIELE, J. G., SCHUT, A. G. T., EZUI, K. S., PYPERS, P., & GILLER, K. E. (2021). Dynamics of N-P-K demand and uptake in cassava. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00649-w>

- 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>
- BIRATU, G. K., ELIAS, E., & NTAWURUHUNGA, P. (2022). Does the application of mineral and organic fertilizer affect cassava tuber quality? An evidence from Zambia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100339. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100339>
- 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>
- BROWN, A. L., CAVAGNARO, T. R., GLEADOW, R., & MILLER, R. E. (2016). Interactive effects of temperature and drought on cassava growth and toxicity : Implications for food security? *Global Change Biology*, 22(10), 3461-3473. <https://doi.org/10.1111/gcb.13380>
- BYJU, G., & SUJA, G. (2020). Chapter Five—Mineral nutrition of cassava. In D. L. SPARKS (Éd.), *Advances in Agronomy* (Vol. 159, p. 169-235). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.08.005>
- CARDOSO, A. P., MIRIONE, E., ERNESTO, M., MASSAZA, F., CLIFF, J., REZAUL HAQUE, M., & BRADBURY, J. H. (2005). Processing of cassava roots to remove cyanogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(5), 451-460. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.04.002>
- CUVACA, I. B., EASH, N. S., ZIVANOVIC, S., LAMBERT, D. M., WALKER, F., & RUSTRICK, B. (2015). Cassava (*manihot esculenta* crantz) tuber quality as measured by starch and cyanide (hcn) affected by nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer rates. *Journal of Agricultural Science*, 7(6), p36. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n6p36>
- DE BRUIJN, G. H. (1973). The cyanogenic character of cassava (*Manihot esculenta*). In B. NESTEL & R. MACINTYRE (Éds.), *Proceedings of an interdisciplinary workshop London, England, 29-30 January 1973* (IDRC-OLOe, p. 43-48). IDRC-OLOe.
- EL-SHARKAWY, M., & CADAVID, L. F. (2000). Genetic variation within cassava germplasm in response to potassium. *Experimental Agriculture*, 36, 323-334. <https://doi.org/10.1017/S0014479700003045>
- ESSERS, S. A. J. A., BOSVELD, M., VAN GRIFT, R. M. D., & VORAGEN, A. G. J. (1993). Studies on the quantification of specific

- cyanogens in cassava products and introduction of a new chromogen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63(3), 287-296. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740630305>
- 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>
- HOWELER, R. (2012). Dry matter accumulation and nutrient absorption and distribution during the growth cycle of cassava. In R. Howeler (Éd.), *The cassava handbook : A reference manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailan* (Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- HOWELER, R. H., & CADAVID, L. F. (1983). Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. *Field Crops Research*, 7, 123-139. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(83\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0378-4290(83)90017-5)
- IITA. (1993). *IITA Crop Improvement Division : Root and Tuber Improvement Program Archival Report (1989-1993); part 1. cassava breeding, cytogenetics and histology vol. 2. Germplasm enhancement* [Report]. IITA. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/98789>
- IMAKUMBILI, M. L. E., SEMU, E., SEMOKA, J. M. R., & ABASS, A. (2020). Plant tissue analysis as a tool for predicting fertiliser needs for low cyanogenic glucoside levels in cassava roots : An assessment of its possible use. *PloS one*, 15(2), e0228641. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228641>
- LUNDQUIST, P. (1992). *Determination of cyanide and thiocyanate in humans* (Linköping University). Linköpings universitet. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-25684>
- MENSAH, A. A. (2013). *Comparative evaluation of physicochemical and functional properties of cassava flour from different fertilizer protocols* [Thèse de Master]. Kwame Nkrumah University of Science and Technology.
- NDUNG’U, J. N., WACHIRA, F. N., KINYUA, M. G., LELGUT, D. K., OKWARO, H., NJAU, P., & OBIERO, H. (2012). Influence of the

- environment on cassava quality traits in central rift Valley of Kenya. *American Journal of Plant Sciences*, 03(10), 1504-1512. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.310181>
- OKALEBO, R. J., GATHUA, K. W., & WOOPER, P. L. (2002). *Laboratory methods of soil and plant analyses : A working manual* (Second edition). TSBF-CIAT and SACRED Africa.
- OKOTH, O. J., & YERMIYAHU, U. (2021). Improvement in cassava yield per area by fertilizer application. In A. FREDIANSYAH (Éd.), *Cassava—Biology, Production, and Use*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97366>
- OMONDI, J. O., & YERMIYAHU, U. (2021). Improvement in cassava yield per area by fertilizer application. In A. FREDIANSYAH (Éd.), *Cassava : Biology, Production, and Use* (IntechOpen). BoD – Books on Demand.
- PADMAJA, G. (1995). Cyanide detoxification in cassava for food and feed use. *Critical reviews in food science and nutrition*, 35, 299-339. <https://doi.org/10.1080/10408399509527703>
- SANTISOPASRI, V., KUROTJANAWONG, K., CHOTINEERANAT, S., PIYACHOMKWAN, K., SRIROTH, K., & OATES, C. G. (2001). Impact of water stress on yield and quality of cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 13(2), 115-129. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(00\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(00)00058-3)
- UKAOMA, A., & OGBONNAYA, I. (2013). Effect of inorganic mineral nutrition on tuber yield of cassava (*Manihotesculentacrantz*) on marginal ultisol of south eastern Nigeria. *Academia Journal of Agricultural Research*, 1(9), 172-179.
- VERNIER, P., N'ZUÉ, B., & ZAKHIA-ROZIS, N. (2018). *Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle* (Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux). éditions Quæ. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2708-2>
- VYAKUNO, K. E. (2006). *Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC. Rapport entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Tome I* [Thèse de doctorat]. Université de Toulouse II.

- XIE, X., MACHIKOWA, T., & WONPRASAID, S. (2020). Fertigation based on a nutrient balance model for cassava production in two different textured soils. *Plant Production Science*, 23(4), 407-416. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1743189>
- ZHANG, Y., NIE, L., SUN, J., HONG, Y., YAN, H., LI, M., YOU, X., ZHU, L., & FANG, F. (2020). Impacts of environmental factors on pasting properties of cassava flour mediated by its macronutrients. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2020.598960>