

Influence de trois zones écologiques (Beni, Butembo et Rutshuru) sur certaines qualités de la farine et du fougou de sept nouveaux clones de manioc en RD Congo.

Mbusa Kamavu Yves¹

Résumé

Cette étude avait pour objectif d'évaluer les teneurs en matière sèche, en amidon et en acide cyanhydrique dans les racines fraîches de sept clones testés dans trois zones agro-écologiques : Beni, Butembo et Rutshuru sur une période de 3 ans allant de 2017 à 2020.

Au cours de l'essai de la saison de 2018-2019 durant laquelle les analyses ont été réalisées, après un cycle cultural de 12 mois ; les teneurs en matière sèche, en amidon et en acide cyanhydrique ont varié entre les variétés d'un site à un autre. Le taux en MS des racines de manioc a varié dans l'intervalle de 38,88% et 49,35% ; 23,72% et 48,16% ; 24,37% et 47,33% respectivement dans les sites UCG, Kyatsaba et Rutshuru. S'agissant du taux de l'amidon, il a oscillé entre 45,04% et 71,15% ; 47,72% et 63,18% ; 50,56% et 59,44% respectivement dans les sites UCG, Kyatsaba et Rutshuru. Enfin, les variations du taux de l'acide cyanhydrique sont allées de 5 à 25ppm, 25 à 59 ppm et 14 à 36 ppm respectivement dans les sites UCG, Kyatsaba et Rutshuru. Globalement ces valeurs sont proches de celles de 30 à 50 ppm généralement rapportées pour les variétés cultivées dans le monde et classent nos variétés parmi celles dites douces. L'analyse sensorielle des fougous obtenus à partir des différentes farines montre des bonnes caractéristiques pour les clones Kas 8 et Mayombe puis les clones Kas1 et Kas3. Cependant l'ensemble des dégustateurs ont jugé de moindres qualités les fougous faits à base des clones Kas6, Kas2 et Kas7.

Mots clés : Manioc, matière sèche, amidon, Cyanure, qualité de fougou. (pâte).

Abstract

This study aimed to assess dry matter, starch and hydrocyanic acid contents in fresh roots of seven clones tested in three agro-ecological zones: Beni, Butembo and Rutshuru over a 3-year period from 2017 to 2020.

During the 2018-2019 season trial during which the analyses were carried out, after a 12-month crop cycle; dry matter, starch and hydrocyanic acid contents varied between varieties from one site to another. The DM content of cassava roots varied in the range of 38.88% and 49.35% ; 23.72% and 48.16% ; 24.37% and 47.33% respectively in the UCG, Kyatsaba and Rutshuru sites. As for the starch rate, it fluctuated between 45.04% and 71.15% ; 47.72% and 63.18% ; 50.56% and 59.44% respectively in the UCG, Kyatsaba and Rutshuru sites. Finally, the variations in the hydrocyanic acid rate ranged from 5 to

¹ Université Officielle de Semuliki, Email yvesmbusa@gmail.com

25 ppm, 25 to 59 ppm and 14 to 36 ppm respectively in the UCG, Kyatsaba and Rutshuru sites. Overall, these values are close to those of 30 to 50 ppm generally reported for varieties grown in the world and classify our varieties among those called sweet. The sensory analysis of the fufus (cassava bread) obtained from the different flours shows good characteristics for the Kas 8 and Mayombe clones, then the Kas1 and Kas3 clones. However, all the tasters judged the fufus (cassava bread) made from the Kas6, Kas2 and Kas7 clones to be of lower quality.

Keywords: Cassava, dry matter, starch, cyanide, fufu quality.

1. Introduction

À travers le monde, le manioc s'est de plus en plus révélé une culture d'importance à la fois alimentaire, industrielle et commerciale (VERNIER *et al.*, 2018). En région tropicale, sa présence se justifie par sa capacité à donner des rendements acceptables sur des sols moins fertiles (NGOME *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2015). Son importance alimentaire est beaucoup plus perceptible et il fournit plus de 500 calories par jour à environ 70 millions de personnes (SHIGAKI, 2016). Le manioc est principalement cultivé pour ses racines comestibles riches en glucides (BYJU & SUJA, 2020; SCARIA *et al.*, 2024). En plus, ses feuilles fraîches sont consommées comme légume dans certaines régions du monde (FERMONT *et al.*, 2009) et sont une source non négligeable de protéine, calcium et vitamine C (HIDAYAT *et al.*, 2002; LATIF & MÜLLER, 2015; SCARIA *et al.*, 2024). Alors qu'il est utilisé depuis des siècles dans l'alimentation humaine et du bétail (VERNIER *et al.*, 2018), de nos jours, l'usage industriel du manioc, notamment l'industrie pharmaceutique et brassicole, devient de plus en plus grandissant (SCARIA *et al.*, 2024), ce qui augmente substantiellement sa demande. Souvent, la toxicité du manioc liée à la présence des glucosides cyanogénétiques, limite son utilité (HIDAYAT *et al.*, 2002). Parmi les glucosides cyanogénétiques retrouvés dans le manioc les plus importants sont la linamarine et l'acétone cyanhydrine (ASEGBELOYN & ONYIMONYI, 2007). La linamarine est le composé cyanogénétique le plus abondant dans le manioc, et est synthétisée dans les feuilles par N-hydroxylation de la valine et de l'isoleucine avant d'être redistribuée dans les organes de stockage, dont les racines (MCMAHON *et al.*, 1995). Nombreux problèmes de santé sont associés à

l'exposition à l'acide cyanhydrique dans les zones où le manioc constitue l'aliment de base avec une faible supplémentation en protéines (ABRAHAM *et al.*, 2016). C'est notamment les troubles thyroïdiens, les goitres et le retard de croissance chez les enfants qui sont souvent liés à l'intoxication au cyanure d'hydrogène (MBURU *et al.*, 2012). D'autres maladies comme la paralysie spastique irréversible et une neuropathie ataxique tropicale appelée « konzo » font partie des maladies contractées à la suite d'une exposition aiguë ou chronique aux cyanogènes du manioc (CARDOSO *et al.*, 2005a; CUVACA *et al.*, 2015).

La teneur en glucosides cyanogénétiques des racines de manioc dépend de plusieurs facteurs dont les conditions climatiques (BROWN *et al.*, 2016; NJANKOUO NDAM *et al.*, 2019). Néanmoins, les facteurs génétiques (cultivars) seraient les plus déterminants en ce qui concerne le potentiel cyanogénétique de la plupart des variétés cultivées. Des teneurs de l'ordre de 15 à 400 mg de cyanure/kg de poids frais et exceptionnellement 1300 - 2000 mg de cyanure/kg de poids frais ont été reportées dans la littérature (PADMAJA, 1995). Cependant, ces teneurs peuvent varier selon les conditions agroécologiques (NDUNG'U *et al.*, 2012). Ainsi, le déplacement d'un même génotype d'une zone agroécologique à une autre serait susceptible d'altérer son potentiel cyanogénétique (IITA, 1993).

Mis à part l'épineux problème lié à la toxicité du manioc due à la présence des composés cyanogénétiques, la farine produite à partir des racines de manioc pelées peut être utile pour la fabrication d'aliments de boulangerie (AWOYALE *et al.*, 2020; EDUARDO *et al.*, 2013). L'utilisation des farines de manioc dans l'industrie alimentaire est régie par les conditions agro-climatiques (MAWOYO *et al.*, 2017) ou des traitements subis jusqu'au produit final (ISAAC & CHIEDU, 2016). L'amidon est le composant le plus abondant dans la farine de manioc (environ 74 à 85 % du poids sec des racines) (SÁNCHEZ *et al.*, 2009) et ses caractéristiques physicochimiques contribuent largement à la texture et qualités organoleptiques des dérivés alimentaires du manioc (EDUARDO *et al.*, 2013). À part le potentiel génétique inhérent à chaque variété, l'accumulation de l'amidon dans les organes de stockage ainsi que ses propriétés sont susceptibles d'être influencées par les conditions agroécologiques comme la température de croissance, les précipitations ainsi que l'altitude (ASAOKA *et al.*, 1992;

BENESI *et al.*, 2008; CHIJOKE *et al.*, 2021; SANTISOPASRI *et al.*, 2001; TESTER & KARKALAS, 2001). Dans ce contexte, l'introduction de nouveaux cultivars dans une région doit tenir compte non seulement de son potentiel de production ; mais aussi et surtout de son potentiel cyanogénétique, la qualité de son amidon et ses qualités organoleptiques. La présente étude se propose d'évaluer la teneur en glucosides cyanogénétiques, en matière sèche en amidon et en cyanure dans les racines fraîches de cultivars testés dans trois zones agro écologiques, à l'est de la République Démocratique du Congo, ainsi que l'évaluation des qualités organoleptiques des fofous faits en base des farines issues de ces différentes variétés.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Les racines tubéreuses de manioc ayant fait objet d'analyse au cours de cette étude ont été récoltées dans des essais expérimentaux ayant été conduits durant la saison de 2018 et 2019 (Mars 2018 à Mars 2019) en territoire Beni, Butembo et territoire de Rutshuru en province du Nord-Kivu ; en République Démocratique du Congo. Le tableau 1 ainsi que la figure 1 ci-bas illustre les coordonnées géographiques ainsi que la carte représentative des sites.

Tableau 1 : Présentation des coordonnées géographiques des sites d'essais

Site	Coordonnées géographiques du site
Beni (Kyatsaba)	Altitude: 1046 m
	Latitude Nord: 00,31 174 Longitude Est: 029, 16 764
Butembo (UCG)	Altitude: 1765 m
	Latitude Nord: 00,07 452 Longitude Est: 029,16 109
Rutshuru (Kibututu)	Altitude: 1082 m
	Latitude Sud: 01,09194 Longitude Est: 029,43415

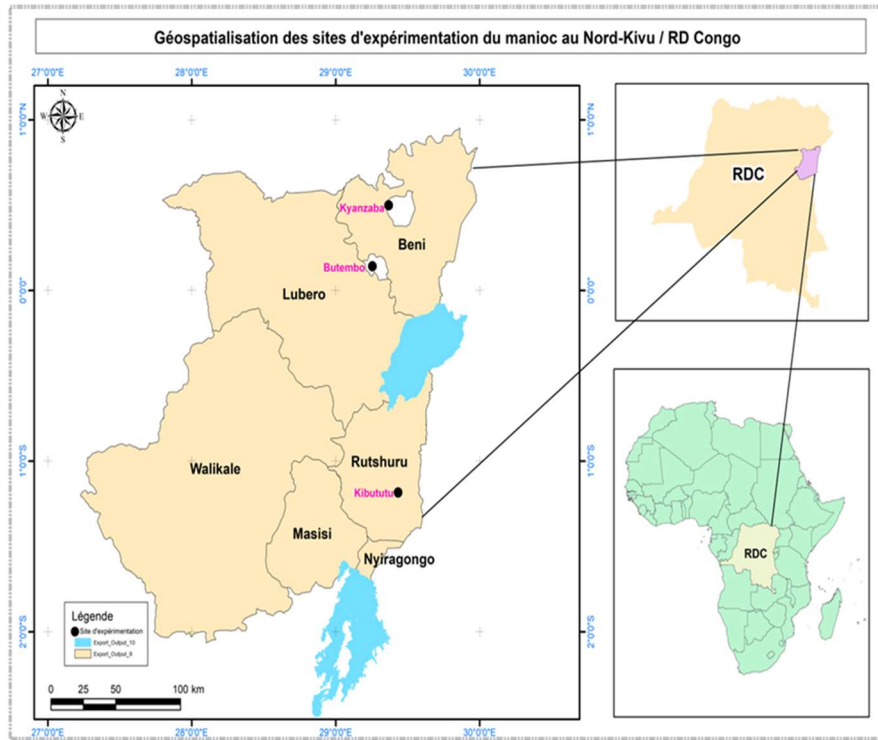


Figure 13: Carte de localisation géographique des sites d'essai

Le territoire de Beni est situé au Nord-Est de la RDC, entre 29° et 30° longitude Est et 0°30' latitude Sud et 1° latitude Nord et s'étend sur 7484 km² dont environ 2000 km² constituent le secteur Nord du Parc National des Virunga. Il est limité au Nord par la province de l'Ituri, à l'Ouest et au Sud par le territoire de Lubero et à l'Est par la République de l'Ouganda. En allant de la plaine vers le sommet de massif de Ruwenzori, on rencontre un climat équatorial, un climat subéquatorial d'altitude et un climat de montagne (VYAKUNO, 2006).

La circonscription de la ville de Butembo est située entre 0°05' et 0°10' de latitude nord et 29° 17' et 29°18' de longitude Est. Elle se trouve à près de 17 km au Nord de l'équateur. Sa superficie planimétrique est estimée à 152 km² (SAHANI, 2011).

Le territoire de Rutshuru quant à lui, s'étend sur 5289 Km² et ses terres sont situées à une altitude variant entre 900 et 4507m pour une altitude moyenne de 1400 m. En territoire de Beni comme en Ville de Butembo et

en territoire de Rutshuru, l'économie est basée sur l'agriculture et le commerce des produits manufacturés (ANONYME, 2015; SAHANI, 2011).

2.2. Matériels

Trois essais consécutifs ont été conduits dans chacune de trois zones écologiques, entre autre les territoires de Beni et Rutshuru, ainsi que la ville de Butembo, sur une période de 3 ans allant de 2017 à 2020. Les matériels végétaux étaient constitués de sept nouveaux clones dont Kas1, Kas2, Kas3, Kas6, Kas7, Kas8 et Mayombe ; trois clones habituellement cultivés ont été pris pour témoin dont « Balulu » pour le territoire de Beni, « Kivutho » pour la ville de Butembo et « Kahunde kisay » pour le territoire de Rutshuru.

2.3. Paramètres mesurés

a) Teneur en matière sèche

Suite à des difficultés d'ordre pratique, les résultats présentés dans cette étude ne concernent que la récolte de la saison de (2018-2019) Pour chacun des cultivars choisis, des échantillons des racines fraîches de manioc ont été récoltés dans les essais installés dans chacune de trois zones d'étude. Pour chaque cultivar, trois racines fraîches étaient sélectionnées, lavées correctement et conservées dans une boîte isotherme jusqu'à leur traitement qui a eu lieu au laboratoire central de l'UCG endéans 24 heures comme recommandé pour éviter toute dégradation. La détermination de la matière sèche des racines s'est réalisée suivant le protocole décrit par DONAT et al. (2018) en procédant au séchage par la voie sèche en étuve ; le poids sec a

été estimée par la formule ci-après : $MS (\%) = 100 * \left(\frac{PS}{PF} \right)$

Avec MS= Matière sèche, Ps= Poids sec et Pf = Poids frais

b) Teneur en amidon

La teneur en amidon des racines de manioc a été déterminée par spectrophotométrie suivant le protocole décrit par NIELSEN (1962). Cette méthode se base sur le principe selon lequel, l'empois d'amidon dissout dans de l'eau distillée réagit avec une solution iodée par changement de

couleur. Cette couleur varie strictement du bleu clair, en passant par le violet, rouge, jaune pâle en fonction de la concentration en amidon de la solution (NIELSEN, 1962). Pour cette fin, des racines de manioc fraîches ont été épluchées et séchées à l'étuve à 50°C pendant 24 heures. Une quantité de 0,1 g de cette farine a été mise en solution. Trois solutions étalons d'amidon pur ont aussi été préparées. Les solutions préparées sont agitées pendant quelques secondes et les absorbances sont déterminées à la longueur d'onde $\lambda=580\text{nm}$ après 10 minutes d'incubation à température ambiante. La courbe d'étalonnage déterminée par les coordonnées des points : A(0,015, y1) ; B(0,01, y2) ; C(0,005, y3), D(0,002, y4), E(0,001, y5) étant : $y = ax+b$, permet de déterminer la concentration de l'amidon x_6 dans la solution d'échantillon en introduisant la valeur de l'absorbance y_6 [point F(x_6 , y_6)] dans la dite équation pour la résoudre. Le pourcentage d'amidon dans le matériel biologique se calcule par la formule suivante : $\%P=X_6 * 10000$. Avec X_6 : Concentration finale de la solution d'échantillon correspondant à l'absorbance y_6 .

c) Teneur en cyanure :

La teneur en glucosides cyanogénétiques a été déterminée par distillation suivant le protocole décrit par ESSERS et al. (1993). Dans un ballon de distillation, cinq grammes de pulpe de manioc frais broyés, puis 20 ml de H_2SO_4 1N sont ajoutés à 50 ml d'eau distillée. La distillation se fait immédiatement après l'ajout de l'acide sulfurique et recueillir le distillat dans 40 ml de NaOH jusqu'à l'augmentation de son volume de 10 ml. Ce distillat est titré avec AgNO_3 0,01N en présence de 10 gouttes de K_2CrO_4 5% jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge-brique légère qui indique le point d'équivalence (ESSERS et al., 1993). La teneur en glucosides cyanogénétiques est estimée suivant la formule :

Teneur en HCN (mg/ 100g) = $((V_t - V_b) \times 0,00027) / (\text{prise}) \times 100 \times 1000$
= $((V_t - V_b) \times 27) / (\text{prise})$. Avec V_t = titre de la solution et V_b = titre du blanc

d) Appréciation de la qualité du fofou

En fonction du produit désiré, il existe diverses techniques de transformation du manioc. Khonde (2001) et IITA (2014) reconnaissent

trois modes de transformation de manioc qui sont couramment utilisées en RDC en partant des racines fraîches. La première concerne la transformation semi-industrielle qui fait recours aux petites unités de transformation. La suivante c'est la transformation artisanale qui utilise des équipements rudimentaires dont les principales actrices sont les femmes. La dernière fait allusion à la transformation familiale, dont le produit est totalement destiné à la consommation familiale, sans but lucratif.

Dans le cadre de cette étude, c'est la méthode artisanale qui a été utilisée en fonction des capacités locales de consommateurs. Le procédé est résumé comme suit : Racines fraîches-Épluchage-Lavage-Rouissage à sec-Découpage- Séchage au soleil- Cosette- Mouture (Farine)-Foufou.

Le foufou a été obtenu en utilisant la même quantité d'eau (1litre), en ébullition. Puis la même mesurette de farine prise de chaque lot de farine selon les différents clones. Une même personne a été utilisée pour malaxer afin d'obtenir un fufu homogène.

La qualité organoleptique de sept cultivars en expérimentation a été appréciée par un panel de dix dégustateurs parmi lesquels les agriculteurs riverains du site de l'essai et les agents commis à la conduite de l'essai. Cette appréciation n'a eu lieu que pour le site de Butembo à cause de certaines difficultés rencontrées à l'éloignement des sites d'essai, le phénomène Covid 19 et l'insécurité. La couleur, le goût, l'élasticité et la texture des pâtes constituent les paramètres sensoriels pris en compte lors de la dégustation des foufous. Chaque paneliste devait apprécier le foufou de chacune des variétés une et une seule fois en lui donnant une cote sur une échelle de 0 à 5 (0 pour très mauvais et 5 excellent).

2.4. Analyses statistiques des données

L'analyse des données sensorielles du foufou de manioc a été réalisé à l'aide du package *SensoMineR* du logiciel R (LE & HUSSON, 2008). En cas de différence significative entre les variétés de manioc pour l'un des paramètres en études, la comparaison deux à deux des clones de manioc en vue de leur ségrégation en fonction de la qualité des foufous produit a été réalisée grâce au test T^2 de *Hotelling* (YÁÑEZ *et al.*, 2010).

Quant aux données de teneurs des racines de manioc en matière sèche, amidon et cyanure, le modèle statistique d'Anova 2 sans répétition des mesures a été utilisé.

3. Résultats

3.1. Teneur en matière sèche, en amidon et en cyanure des racines tubéreuses

Les résultats de l'analyse au laboratoire des teneurs en matière sèche, amidon et cyanure des racines tubéreuses dans les trois sites au cours de la deuxième saison d'expérimentation sont repris dans les tableaux 1 ; 2 et 3 ci-après.

Tableau 2. Synthèse de la teneur en MS, Amidon et HCN

Site	Var	MS	Amidon	HCN
Kyatsaba	Kasanga 1	42,67	58,69	23,36 ^{ab}
	Kasanga 2	40,6	59,32	20,78 ^{ab}
	Kasanga 3	48,16	63,18	28,55 ^{ab}
	Kasanga 6	41,7	58,93	44,16 ^{ab}
	Kasanga 7	23,72	47,72	40,54 ^{ab}
	Kasanga 8	36,15	54,94	46,76 ^a
	Mayombe	38,47	56,09	38,98 ^{ab}
	Moyenne	38,78	56,98	34,73 ^a
Rutshuru	Kasanga 1	30,11	52,3	19,48 ^{ab}
	Kasanga 2	24,37	55,1	14,28 ^{ab}
	Kasanga 3	43,22	56,83	27,26 ^{ab}
	Kasanga 6	37,84	57,31	28,57 ^{ab}
	Kasanga 7	47,33	59,44	28,06 ^{ab}
	Kasanga 8	42,98	51,05	31,18 ^{ab}
	Mayombe	37,19	50,56	22,09 ^{ab}
	Moyenne	37,58	54,66	24,42 ^b
UCG	Kasanga 1	46,35	45,91	15,6 ^{ab}
	Kasanga 2	49,35	50,88	7,79 ^{ab}
	Kasanga 3	43,08	50,48	25,97 ^{ab}
	Kasanga 6	38,88	55,69	12,98 ^{ab}

Site	Var	MS	Amidon	HCN
	Kasanga 7	46,08	71,15	15,58 ^{ab}
	Kasanga 8	44,46	47,17	15,6 ^{ab}
	Mayombe	42,84	45,04	5,19 ^b
	Moyenne	44,43	52,33	14,1 ^c

Les cultivars témoins étant avec des valeurs uniques, n'ont pas fait l'objet d'analyse statistique. Leurs valeurs reprises comme suit : le taux de la matière sèche a été de 46.87, 43.38 et 47.33% respectivement pour Kivutho, Balulu et Kahunde kisay. Quant à la teneur en amidon, ces cultivars locaux ont obtenu respectivement 45.04, 73.52. et 59.28% de la matière sèche. Enfin, en propos de la teneur en HCN, elle a été de 12.98, 59.78 et 36.38 ppm selon le même ordre successif.

Tableau 3. Analyse de la variance pour la teneur en matière sèche

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	p-value
Site	2	187,7	93,83	1,579	0,246
Variété	6	87,9	14,64	0,246	0,952
Erreur résiduelle	12	713,2	59,44		

Tableau 4. Analyse de la variance pour la teneur en amidon

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	p-value
Site	2	75,68	37,839	0,9206	0,4247
Variété	6	210,31	35,051	0,8528	0,5545
Erreur résiduelle	12	493,22	41,101		

Tableau 5. Analyse de la variance pour la teneur en cyanure

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	p-value
Site	2	1489,8	744,9	18,5466	<0,001***
Variété	6	650,51	108,42	2,6994	0,0676
Erreur résiduelle	12	481,96	40,16		

Se référant aux données des tableaux 2 ainsi que les résultats obtenus pour les cultivars locaux ci-haut présentés, il apparaît des variations des valeurs des teneurs en matière sèche, en amidon et en cyanure d'un site à un autre.

La teneur en matière sèche des racines tubéreuses a varié dans les intervalles de 38 à 49% ; 23 à 48% et 24 à 47% respectivement dans les sites UCG, Kytsaba et Rutshuru. En outre pour un même clone testé, il apparaît des variations (dont l'importance dépend de chaque clone) d'un site à un autre, suggérant que ce paramètre puisse en premier lieu dépendre du patrimoine génétique de chaque clone, il est susceptible de subir l'influence des conditions du milieu et de l'interaction patrimoine génétique-milieu. Toutefois l'analyse de la variance au tableau 2 ne montre pas de différences significatives.

La teneur en amidon dans la matière sèche a oscillé dans les intervalles de 45 à 71%, 47 à 73% et 50 à 59% respectivement dans les sites UCG, Kytsaba et Rutshuru. Comme dans le cas de la matière sèche, l'importance de la variation de la teneur en amidon dans la matière sèche, pour un clone déterminé varie d'un site à un autre. Ce constat se justifie de la même manière que dans le cas de la matière sèche.

Quant à la teneur en acide cyanhydrique, elle a varié entre 5 à 25ppm, 25 à 59 ppm et 14 à 36 ppm respectivement dans les sites UCG, Kyatsaba et Rutshuru. Il y a une forte disparité entre les trois sites ; d'un site à un autre pour chacun des clones testés. Une différence significative entre les sites seulement en ce qui concerne la teneur en HCN est confirmé par l'analyse de la variance au tableau 4 ; le site UCG ayant donné la plus basse teneur alors que la plus élevée a été enregistrée à Kyatsaba. Bien que n'ayant pas été consistante, cette tendance a été beaucoup plus influencée par la variété Mayombe au site UCG et Kasanga 8 à Kyatsaba qui ont eu les teneurs les plus basses et les plus élevées en HCN, respectivement.

Ceci conforte l'hypothèse de la dépendance qu'a la composition des racines tubéreuses du patrimoine génétique de chaque clone, des conditions environnementales au moment de l'essai et de l'interaction patrimoine génétique-environnement.

3.2. Qualité de fofou fait à base de la farine de manioc de clones en expérimentation

L'analyse par composantes principales des scores attribués à ces descripteurs de qualité de fofou par le panel de dégustateurs indique que la couleur, l'élasticité et la texture ont contribué positivement à la construction de la première dimension des composantes principales, représentant plus de 60 % de la variance de la distribution des données. Par contre, seule la couleur a eu une contribution négative à la construction de la deuxième composante principale (30,08 % de la distribution de la variance des données). De même, ces analyses indiquent qu'il y a eu une forte corrélation positive entre l'élasticité et la texture du fofou fait à base des farines de ces six cultivars en expérimentation. Par contre, la couleur du fofou s'est avérée négativement corrélée au goût du fou (Figure 2).

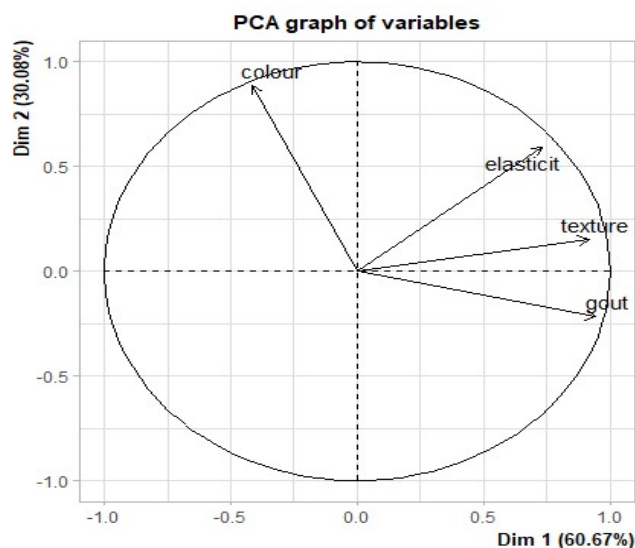


Figure 14 : Analyse à composantes principales (PCA) et corrélation entre les descripteurs de la qualité du fofou à base de farine de sept clones de manioc

Les clones Kas8 et Mayombe ont obtenu des scores au-dessus de la moyenne générale pour tous les descripteurs de qualité du fofou pris en

compte. Par contre les clones Kas3, Kas6 et Kas7 ont obtenu des scores en dessus de la moyenne générale pour tous les descripteurs d'intérêt. Les clones Kas1 et Kas2 ont été appréciées en sens diamétralement opposés. Les descripteurs ayant obtenu un score au-dessus de la moyenne pour l'une se sont retrouvés en dessous de la moyenne générale pour l'autre. Tel est le cas de la couleur et du goût, qui ont obtenu un score au-dessus de la moyenne générale pour le clone Kas1 et en dessous de la moyenne pour le clone Kas2 (Figure 3).

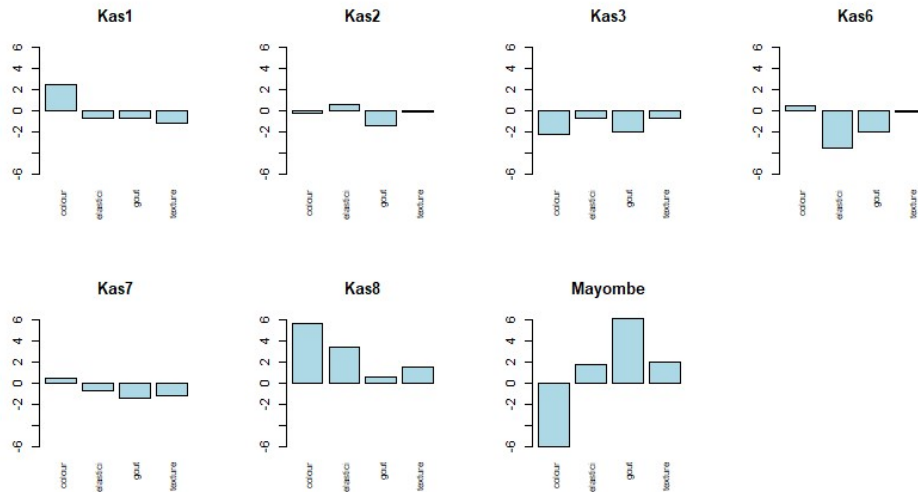


Figure 15: Histogramme de comparaison des scores des descripteurs pour chaque variété

Sur base des descripteurs choisis pour chacune de ces clones, les scores moyens obtenus ont permis de faire leur comparaison. Ainsi, l'élasticité, la couleur et le goût du fougou fait à base de la farine des clones en expérimentation se sont révélés les descripteurs les plus discriminants (p -value $< 0,05$) (Figure 4b). Le score moyen de l'élasticité de fougou issu de la farine du clone Kas8 a été significativement élevé comparativement à celui accordé au fougou issu de la farine du clone Kas6. Les scores de l'élasticité du fougou issu de la farine des clones Kas1, Kas2, Kas3, Kas7 et Mayombe n'ont pas significativement varié entre eux, moins encore avec les deux extrêmes (Kas8 et Kas6). Pour ce qui est de la couleur du fougou, le clone Kas8 a obtenu un score significativement plus élevé que les fougous

des variétés Kas3 et Mayombe qui ont été de couleur plus sombre. Les scores accordés aux fougous des clones Kas1, Kas2, Kas6 et Kas7 n'ont pas significativement varié entre eux ni avec les deux valeurs extrêmes (Figure 4a). Le meilleur score pour le goût de fougou a été attribué à la variété Mayombe alors que le plus faible score a été attribué aux variétés Kas3 et Kas6. Les variétés Kas1, Kas2, Kas7 et Kas8 n'ont pas significativement varié entre elles du point de vue goût de leur fougou.



Figure 16: a) Score moyen accordé à chaque variété en fonction du descripteur pris en compte b) p-value de l'analyse de la variance des scores obtenus par les descripteurs des variétés

L'analyse multidimensionnelle du profil de chaque clone (en fonction de tous les descripteurs à la fois) a permis d'obtenir un nuage de point représentant chacune des variétés avec son ellipse de confiance (Figure 5a). Visiblement, les résultats de la figure 5a montrent que les fougous faits à base des farines des variétés Kas8 et Mayombe se sont substantiellement distingués de ceux faits à base des farines des clones Kas1, Kas3 et Kas6. Cette description visuelle est confirmée par l'analyse des résultats de la comparaison multiple de la qualité de ces fougous par le test T^2 de Hotelling. La qualité des fougous des variétés Kas8 et Mayombe a significativement différé de celle de toutes les autres clones (p-value < 0,05). Ces deux variétés se trouvent aux extrêmes des axes du diagramme des ellipses de confiance parce que n'étant pas appréciées pour les mêmes qualités (Figure 5a). Le fougou de Kas8 était beaucoup plus apprécié pour sa couleur et son

élasticité alors que celui de Mayombe a été beaucoup apprécié pour sa texture et son goût (Figure 4a).

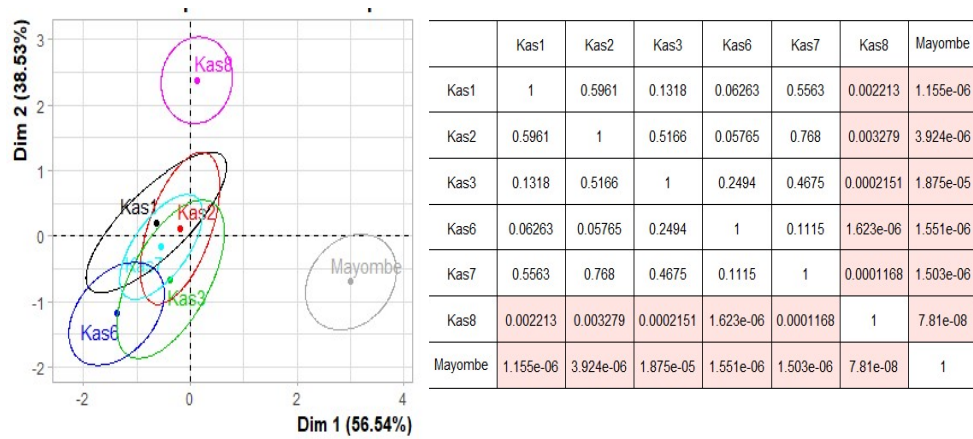


Figure 17: Ellipse de confiance autour des variétés de manioc : a) Nuage des points des variétés b) p-value associés au test T² de Hotteling

4. Discussion

Considérant les trois sites d'essai, la teneur en matière sèche dans les racines des clones testés s'est rangée dans l'intervalle de 23 et 49% ; toutefois, il y a eu des variations sensibles entre ces valeurs d'un site à un autre pour chacun des clones testés. Ces valeurs ne s'écartent pas trop de celles de 20 à 40 % (selon le stade de croissance) rapportées dans la littérature (JOHN *et al.*, 2020; MULUALEM, 2012; NTAWURUHUNGA & DIXON, 2010). En effet, travaillant sur quatre variétés améliorées de manioc, MTUNGUJA *et al* (2016) ont observé que la teneur en matière sèche des racines de manioc augmente entre neuf et douze mois après plantation, avant de baisser à partir du quinzième mois. Nos variétés testées au cours de cette étude ont présenté des valeurs moyennes relativement proches des limites supérieures des intervalles généralement retrouvés ; ce qui dénote d'une bonne qualité de ces racines pour ce paramètre. En effet, la teneur en matière sèche des racines de manioc est l'une des composantes clés du rendement du manioc et serait l'un des facteurs pouvant dicter le choix des

améliorateurs pour la sélection des variétés performantes (AMELEWORK *et al.*, 2022; EDET *et al.*, 2015; EGESI *et al.*, 2007; JOHN *et al.*, 2020; KUNDY *et al.*, 2014; SWAMI *et al.*, 2017). Néanmoins, la sélection des variétés performantes sur base de la seule teneur en matière sèche serait inefficace suite à la faible valeur d'héritabilité au sens large de ce caractère (KUNDY *et al.*, 2015). La faible valeur de l'héritabilité au sens large indique que la teneur en matière sèche des racines de manioc est beaucoup plus influencée par les conditions environnementales (JOHN *et al.*, 2020; SWAMI *et al.*, 2017).

Tenant compte des résultats de trois sites d'essai, la teneur en amidon dans la matière sèche des variétés testées a oscillé dans l'intervalle de 45,04 % à 71,15 % avec, toutefois des variations d'un site à l'autre pour une même variété. Ces valeurs ne s'écartent pas substantiellement de celles généralement rapportées dans la littérature pour d'autres variétés (JOHN *et al.*, 2020; MTUNGUJA *et al.*, 2016; PHONCHAROEN *et al.*, 2019). Néanmoins, ces valeurs ont été substantiellement inférieures à celles de 75 à 85 % reportées pour les variétés de manioc cultivées à basses altitudes en Chine (ZHANG *et al.*, 2020) ou en Thaïland (JANKET *et al.*, 2018). Pour la plupart de variétés de manioc cultivées, l'accumulation de fortes concentrations de matière sèche et d'amidon s'observe lorsque la plante atteint la phase de repos physiologique, correspondant généralement à 12 mois après plantation (MTUNGUJA *et al.*, 2016). Dépasser ce délai, la plante a tendance à diminuer son potentiel photosynthétique et mobiliser ses réserves en nutriments pour le renouvellement de ses organes végétatifs (JOHN *et al.*, 2020). Pour la culture de manioc, cette réallocation des réserves pour assurer la maintenance de la plante se traduit par la réduction et la dénaturation de la qualité de l'amidon contenu dans les racines de réserve, pouvant aller jusqu'à leur lignification (MTUNGUJA *et al.*, 2016; STOOBVOGEL & FRESCO, 1991). Également, les conditions de stress hydriques en début de tubérisation ou à la fin du développement physiologique de la plante induisent une mauvaise répartition des photosynthétats entre les organes de stockage et la biomasse végétative (MTUNGUJA *et al.*, 2016; PHONCHAROEN *et al.*, 2019). Par contre, lorsque les conditions de stress hydrique sont écartées et la température de l'air est optimale pour la culture de manioc (23-25°C) (ANIKWE & IKENGANYIA,

2018), la teneur et le rendement en amidon de la plupart de variétés de manioc sont fortement influencés par la photopériode et l'humidité relative de l'air (JANKET *et al.*, 2018). La teneur en amidon des racines de manioc est efficacement utilisée comme un des excellents indicateurs du potentiel productif des variétés de manioc (NTAWURUHUNGA & DIXON, 2010). Néanmoins, sa corrélation avec les autres caractéristiques de la culture est controversée ; tantôt positive avec la surface foliaire, le nombre de feuilles et l'indice foliaire spécifique (AGAHU *et al.*, 2011; EDET *et al.*, 2015; MTUNGUJA *et al.*, 2016) ; tantôt neutre (NDUWUMUREMYI *et al.*, 2017; NTAWURUHUNGA & DIXON, 2010). Cette inconstance des tendances serait due au fait que la plupart des traits fonctionnels du manioc sont influencés par l'effet interactif du génotype et de l'environnement, pouvant ainsi induire des comportements différents pour une même variété cultivée dans des conditions écologiques différentes (EGESI *et al.*, 2007; MTUNGUJA *et al.*, 2016; NDUWUMUREMYI *et al.*, 2017). Lorsque produit à très basse altitude (<300 m), il a été observé que la teneur en amidon des racines de manioc a été positivement corrélée avec les précipitations et l'altitude mais négativement corrélée avec la température (ZHANG *et al.*, 2020).

La présence des glucosides cyanogénétiques dans les racines et feuilles de manioc constitue une contrainte majeure pour l'utilisation brute de ces produits dans l'alimentation humaine ou animale. Dans les régions carencées en iode, la consommation du cyanure provenant du manioc est susceptible d'amplifier le goitre et le crétinise (DELANGE *et al.*, 1994) et serait la cause première de la maladie du Konzo en Afrique de l'Est, Centrale et Australe (CARDOSO *et al.*, 2005b). Considérant les données de trois sites d'essai, les teneurs en acide cyanhydrique retrouvées dans les racines de manioc des variétés expérimentées au cours de cette étude ont varié dans la fourchette de 5 à 59 mg de HCN/kg de matière fraîche. Ces valeurs sont pour la plus part des variétés testées proches de 30 à 50 ppm généralement rapportées pour les variétés cultivées en Amérique et Asie ; néanmoins des valeurs extrêmes teneurs en HCN variant de 1 à 1550 ppm ont été rapportées selon les espèces cultivées à travers le monde (CARDOSO *et al.*, 2005b). Sur base de la classification de WILSON et DUFOUR (2002), presque toutes nos variétés testées sont à classer parmi les variétés douces (taux de HCN < 50 ppm) requérant juste un minimum de traitement

(ébullition, séchage au soleil, rouissage et fermentation en tas) pour atteindre les doses jugées non létales selon les critères de l'OMS (<10 ppm) (CARDOSO *et al.*, 2005b). La distance génétique entre ces variétés pour ce facteur serait trop faible étant donné que ce paramètre est reconnu être majoritairement sous le contrôle des facteurs génétiques (ARAÚJO *et al.*, 2015; MUIRURI *et al.*, 2023). Tout de même, les stress environnementaux sont aussi susceptibles de stimuler sa synthèse comme mécanisme de défense contre les ravageurs (MTUNGUJA *et al.*, 2016; WILSON & DUFOUR, 2002) ou à la suite d'un stress hydrique prolongé (MUBANGA *et al.*, 2019; TESFAYE *et al.*, 2017). Il a aussi été rapporté que des fortes concentrations en HCN peuvent se retrouver dans les feuilles comparativement aux racines. (CARDOSO *et al.*, 2005b; MONTAGNAC *et al.*, 2009; MUBANGA *et al.*, 2019; MUIRURI *et al.*, 2023; WILSON & DUFOUR, 2002).

La qualité de fofou fait à base des farines de nos variétés testées a été appréciée différemment par les consommateurs. Les variétés Kas8 et Mayombe ont produit des fofous de qualité jugée meilleure par les consommateurs, suivies de Kas1 et Kas3. Les variétés Kas6, Kas2 et Kas7 sont celles ayant été les moins appréciées. Ces résultats corroborent ceux d'EKE *et al.* (2010) qui ont remarqué que les qualités sensorielles du tapioca ont été différemment appréciées selon les variétés utilisées dans leur production. Les pâtes de couleur sombre ont été généralement peu appréciées des consommateurs, faisant ainsi de la couleur de la pâte un critère clé du choix des variétés à cultiver (MUBANGA *et al.*, 2019). Néanmoins, ce facteur est généralement affecté par les procédés de transformation, surtout le mode de traitement et les conditions climatiques lorsque le séchage du produit final se fait au soleil (MONTAGNAC *et al.*, 2009). Toutefois, le brunissement enzymatique ne pourrait être écarté, quant aux raisons de changement de coloration due à certaines réactions biochimiques lors du séchage (SOPHIE, 2007). La forte élasticité du fofou fait à base de la farine de Kas8 dénote d'une forte teneur en amylose et la finesse des grains d'amidon de cette variété comparativement aux autres (MTUNGUJA *et al.*, 2016). Cette allégation s'appuie sur les résultats obtenus chez les variétés enrichies en B-carotène en Tanzanie où les variétés riches en amylose ont eu une viscosité/élasticité finale la plus élevée (MIKIDADI *et al.*, 2023).

5. Conclusion

La présente étude a porté sur l'évaluation des teneurs en matière sèche, en amidon et en acide cyanhydrique des racines fraîches de sept nouveaux clones de manioc et trois clones témoins cultivés dans trois zones agro écologiques. La variété Mayombe, Kas1, Kas2, Kas3, Kas4 et Kas6 ont été les plus appréciées par rapport à leur taux en matière sèche. Toutefois, c'est le site de Butembo/UCG qui a atteint les taux les plus élevés alors que la faible teneur a été obtenue sur le site de Rutshuru. En outre, ces variétés ont figuré parmi celles qui ont eu des teneurs en amidon appréciables avec une faible teneur en acide cyanhydrique. Néanmoins, du point de vue couleur, texture, élasticité et goût, la qualité des fufous à base des farines des variétés Kas2, Kas3, Kas4, Kas6 a été jugée moindre par les consommateurs comparativement aux variétés, Kas7, Kas8, Mayombe et Kas1. Des expérimentations subséquentes doivent s'orienter dans la recherche de l'optimisation de leur rendement en diverses conditions de culture : fertilisation, diversification des zones agroécologiques au-delà de la présente étude.

Références

- Abraham, K., Buhrke, T., & Lampen, A. (2016). Bioavailability of cyanide after consumption of a single meal of foods containing high levels of cyanogenic glycosides: A crossover study in humans. *Archives of Toxicology*, *90*(3), 559-574. <https://doi.org/10.1007/s00204-015-1479-8>
- Agahiu, A. E., Baiyeri, K. P., & Ogbuji, R. O. (2011). Correlation analysis of tuber yield in cassava morphological types grown under nine weed management systems. *Journal of Applied Biosciences*, *48*, 316-3321.
- Amelework, A. B., Bairu, M. W., Marx, R., Owoeye, L., Laing, M., & Venter, S. L. (2022). On-farm multi-environment evaluation of selected cassava (*manihot esculenta crantz*) cultivars in South Africa. *Plants*, *11*(23), 3339. <https://doi.org/10.3390/plants11233339>
- Anikwe, M. A. N., & Ikenganyia, E. E. (2018). Ecophysiology and production principles of cassava (*manihot species*) in southeastern Nigeria. In M. A. N. Anikwe & E. E. Ikenganyia (Éds.), *Cassava*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70828>

- Anonyme. (2015). *Document de la strategie de croissance et de reduction de la pauvretépauvretépauvretépauvrete de seconde generationde seconde generationde seconde generationde seconde generation (DSCR P 2)* (Ministère du Plan).
- Araújo, F. D. C. B. D., Cunha, R. L., Moura, E. F., & Farias, J. T. D. (2015). Chemical characterization of roots of bitter cassava sampled in Pará state, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias*, 58(2), 131-137. <https://doi.org/10.4322/rca.1821>
- Asaoka, M., Blanshard, J. M. V., & Rickard, J. E. (1992). Effects of cultivar and growth season on the gelatinisation properties of cassava (manihot esculenta) starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59(1), 53-58. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740590108>
- Asegbeloyin, J. N., & Onyimonyi, A. E. (2007). The effect of different processing methods on the residual cyanide of `gari`. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(2), 163-166. <https://doi.org/10.3923/pjn.2007.163.166>
- Awoyale, W., Asiedu, R., Kawalawu, W. K. C., Abass, A., Maziya-Dixon, B., Kromah, A., Edet, M., & Mulbah, S. (2020). Assessment of the suitability of different cassava varieties for gari and fufu flour production in Liberia. *Asian Food Science Journal*, 14(2), 36-52. <https://doi.org/10.9734/afsj/2020/v14i230128>
- Benesi, I. R. M., Labuschagne, M. T., Herselman, L., Mahungu, N. M., & Saka, J. K. (2008). The effect of genotype, location and season on cassava starch extraction. *Euphytica*, 160(1), 59-74. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9589-x>
- 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. (2005a). 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>
- Cardoso, A. P., Mirione, E., Ernesto, M., Massaza, F., Cliff, J., Rezaul Haque, M., & Bradbury, J. H. (2005b). 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>
- Chijioke, U., Iro, U. J., Osodeke, S. C., Ogunka, N. P., Okoye, B. C., Abah, S. P., Njoku, D., & Egesi, C. (2021). Influence of genotype and environment on quality attributes of fufu processed from cassava planted in two agro-ecologies of Nigeria. *Nigerian Agricultural Journal*, 53(3), 1-13. <https://doi.org/10.1155/2021/6064545>
- 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>
- Delange, F., Ekpechi, L. O., & Rosling, H. (1994). Cassava cyanogenesis and iodine deficiency disorders. *Acta Horticulturae*, 375, 289-294. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.375.29>
- Edet, M. A., Tijani-Eniola, H., Lagoke, S. T. O., & Tarawali, G. (2015). Relationship of cassava growth parameters with yield, yield related components and harvest time in Ibadan, Southwestern Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(9), 87-92.
- Eduardo, M., Svanberg, U., Oliveira, J., & Ahrné, L. (2013). Effect of cassava flour characteristics on properties of cassava-wheat-maize composite bread types. *International Journal of Food Science*, 2013, e305407. <https://doi.org/10.1155/2013/305407>
- Egesi, C. N., Ilona, P., Ogbe, F. O., Akoroda, M., & Dixon, A. (2007). Genetic Variation and Genotype × Environment Interaction for Yield and Other Agronomic Traits in Cassava in Nigeria. *Agronomy Journal*, 99(4), 1137-1142. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0291>
- Eke, J., Achinewhu, S., & Sanni, L. (2010). Chemical, pasting and sensory properties of tapioca grits from cassava mosaic disease-resistant cassava varieties : Tapioca grits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00378.x>
- 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>

- Hidayat, A., Zuraida, N., & Hanarida, I. (2002). The cyanogenic potential of roots and leaves of ninety nine cassava cultivars. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 3(1), 25-32. <https://doi.org/10.21082/ijas.v3n1.2002.25-32>
- IITA. (1993). *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>
- IITA. (2014). *Research for development to support the cassava industry in the Democratic Republic of Congo (Cassava III) [Final report]*.
- Isaac, G., & Chiedu, C. (2016). Effect of fermentation periods on the physicochemical and sensory properties of gari. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 10(1).
- Janket, A., Vorasoot, N., Toomsan, B., Kaewpradit, W., Banterng, P., Kesmala, T., Theerakulpisut, P., & Jogloy, S. (2018). Seasonal variation in starch accumulation and starch granule size in cassava genotypes in a tropical savanna climate. *Agronomy*, 8(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120297>
- John, K. S., Sreekumar, J., Beegum, S. U. S., More, S. J., Sheela, M. N., & Suja, G. (2020). Physiological efficiency of cassava as influenced by genotypes over period of maturity in the screening of K use efficient genotypes. *JOURNAL OF ROOT CROPS*, 46(2), Article 2. <https://journal.isrc.in/index.php/jrc/article/view/587>
- Khonde, M. (2001). Transformation, Commercialisation et Consommation du Manioc : Une stratégie de sécurité alimentaire à Kinshasa. In M. Kankonde & E. Tollens (Éds.), *Sécurité alimentaire au Congo-Kinshasa : Production, consommation et survie* (Harmattan, p. 173-225).
- Kundy, A. C., Mkamilo, G. S., & Misangu, R. N. (2014). Correlation and path analysis between yield and yield components in cassava (*manihot esculenta crantz*) in Southern Tanzania. *Journal of Natural Sciences Research*, 4(12), 6-10.
- Kundy, A., Mkamilo, R., & Misangu. (2015). Genetic variability among six traits in twelve cassava (*manihot esculenta crantz*) genotypes in Southern Tanzania. *Journal of Natural Sciences Research*, 5(12), 2224-3186.

- Latif, S., & Müller, J. (2015). Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006>
- Le, S., & Husson, F. (2008). Sensominer: A package for sensory data analysis. *Journal of Sensory Studies*, 23(1), 14-25. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2007.00137.x>
- Mawoyo, B., Adebola, P., Gerrano, A. S., & Amonsou, E. O. (2017). Effect of genotypes and growth locations on composition and functional properties of amadumbe flours. *Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3577-3586. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2816-0>
- Mburu, F. W., Swaleh, S., & Njue, W. (2012). Potential toxic levels of cyanide in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown in Kenya. *African Journal of Food Science*, 6(16), 416-420. <https://doi.org/10.5897/AJFS12.058>
- McMahon, J., White, & Sayre, R. (1995). Cyanogenesis in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Experimental Botany*, 46(288), 731-741. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.7.731>
- Mikidadi, A., Peter, W., Esther, M., Heneriko, K., Geoffrey, M., Edward, K., Emanuel, M., Wilfred, A., Richard, E., Phinehas, T., Siraj, K., & Patrick, O. (2023). Pasting properties of high-quality cassava flour of some selected improved cassava varieties in Tanzania for baking. *African Journal of Agricultural Research*, 19(1), 1-7. <https://doi.org/10.5897/AJAR2022.16138>
- Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Processing techniques to reduce toxicity and antinutrients of cassava for use as a staple food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(1), 17-27. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00064.x>
- Mtunguja, M. K., Laswai, H. S., Kanju, E., Ndunguru, J., & Muzanila, Y. C. (2016). Effect of genotype and genotype by environment interaction on total cyanide content, fresh root, and starch yield in farmer-preferred cassava landraces in Tanzania. *Food Science & Nutrition*, 4(6), 791-801. <https://doi.org/10.1002/fsn3.345>
- Mubanga, C. S., Seyoum Workneh, T., Bultosa, G., & Laing, M. (2019). Proximate composition, cyanide contents, and particle size distribution

- of cassava flour from cassava varieties in Zambia. *AIMS Agriculture and Food*, 4(4), 869-891. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.4.869>
- Muiruri, K. S., Fathima, A. A., Muiruri, K. S., & Fathima, A. A. (2023). *Advances in Cassava Trait Improvement and Processing Technologies for Food and Feed*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110104>
- Mulualem, T. (2012). Correlation and path coefficient analysis of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) at Jimma, Southwestern, Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 2(9), 1-7.
- 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>
- Nduwumuremyi, A., Melis, R., Shanahan, P., & Theodore, A. (2017). Interaction of genotype and environment effects on important traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *The Crop Journal*, 5(5), 373-386. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.02.004>
- Ngome, A. F., Amougou, M. F. C., Tata, P. I., Ndindeng, S. A., Mfopou, M. Y. C., Mapiemfu-Lamare, D., & Njeudeng, T. S. (2013). Effects of cassava cultivation on soil quality indicators in the humid forest zone of Cameroon. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 3(6), 451-457. <https://doi.org/10.15580/GJAS.2013.3.030613519>
- Njankouo Ndam, Y., Mounjouenpou, P., Kansci, G., Kenfack, M. J., Fotso Meguia, M. P., Natacha Ngono Eyenga, N. S., Mikhaïl Akhobakoh, M., & Nyegue, A. (2019). Influence of cultivars and processing methods on the cyanide contents of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and its traditional food products. *Scientific African*, 5, e00119. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00119>
- Ntawuruhunga, P., & Dixon, A. G. O. (2010). Quantitative variation and interrelationship between factors influencing cassava yield. *Journal of Applied Biosciences*, 26, 1592-1602.
- 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>

- Phoncharoen, P., Banterng, P., Vorasoot, N., Jogloy, S., Theerakulpisut, P., & Hoogenboom, G. (2019). Growth rates and yields of cassava at different planting dates in a tropical savanna climate. *Scientia Agricola*, 76(5), 376-388. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0413>
- Sahani, M. (2011). *Contexte urbain et climatique des risques hydrologique de la ville de Butembo, Nord-Kivu/ R.D. C* [Thèse de doctorat]. Université de Liège.
- Sánchez, T., Salcedo, E., Ceballos, H., Dufour, D., Mafla, G., Morante, N., Calle, F., Pérez, J. C., Debouck, D., Jaramillo, G., & Moreno, I. X. (2009). Screening of Starch Quality Traits in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Starch - Stärke*, 61(1), 12-19. <https://doi.org/10.1002/star.200800058>
- 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)
- Scaria, S. S., Balasubramanian, B., Meyyazhagan, A., Gangwar, J., Jaison, J. P., Kurian, J. T., Pushparaj, K., Pappuswamy, M., Park, S., & Joseph, K. S. (2024). Cassava (*Manihot esculenta* Crantz)—A potential source of phytochemicals, food, and nutrition—An updated review. *eFood*, 5(1), e127. <https://doi.org/10.1002/efd2.127>
- Shigaki, T. (2016). Cassava : The Nature and Uses. In *Encyclopedia of Food and Health* (p. 687-693). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00124-0>
- SOPHIE, C. (2007). Rôle des produits de la réaction de Maillard dans l'inhibition de l'oxydation enzymatique des phenols et des lipides, Thèse, l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), Sciences de l'aliment, 272p
- Stoorvogel, J. J., & Fresco, L. O. (1991). The identification of agro-ecological zones for cassava in Africa with particular emphasis on soils. *Collaborative Study of Cassava in Africa (COSCA), Working Paper(5)*, 10.
- Swami, B., Babu, B., & Ramajayam, D. (2017). Correlation and path coefficient analysis of cassava (*manihot esculenta crantz*) genotypes.

- International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 549-557. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.066>
- Tesfaye, T., Atnafua, B., Engida, T., Getachew, W. M., Tewodros, M., Wubshet, B., & Mesele, G. (2017). Performance of cassava (*Manihot esculanta*. Cratz) clones in potential and low moisture stressed areas of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 12(20), 1738-1746. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11365>
- Tester, R., & Karkalas, J. (2001). The effects of environmental conditions on the structural features and physico-chemical properties of starches. *Starch - Starke*, 53, 513-519. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200110\)53:10%3C513::AID-STAR513%3E3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200110)53:10%3C513::AID-STAR513%3E3.0.CO;2-5)
- Vernier, P., N'Zue, B., & Zakhia-Rozis, N. (2018). *Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle*. Ed. Quæ. <https://agritrop.cirad.fr/587188/>
- 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. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Tom I* [Thesis,].
- Wilson, W., & Dufour, D. (2002). Why “Bitter” Cassava? Productivity of “Bitter” and “Sweet” Cassava in a Tukanoan Indian Settlement in the Northwest Amazon. *Economic Botany*, 56, 49-57. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2002\)056\[0049:WBCPOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2002)056[0049:WBCPOB]2.0.CO;2)
- Yáñez, S., González, N., & Vargas, J. (2010). Hotelling's T2 control charts based on robust estimators. *Dyna (Colombia) Num.163 Vol.77*, 77.
- 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, 598960. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.598960>
- Zhao, P., Liu, P., Shao, J., Li, C., Wang, B., Guo, X., Yan, B., Xia, Y., & Peng, M. (2015). Analysis of different strategies adapted by two cassava cultivars in response to drought stress : Ensuring survival or continuing growth. *Journal of Experimental Botany*, 66(5), 1477-1488. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru507>