UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Etude de l'amélioration de la qualité nutritionnelle de la farine du manioc préparée par la fermentation anaérobique : cas d'Ubuzenge

Nimbona, Gilbert; Sous la direction de : Dr. Ir Niyukuri Jonathan

2023-01
UB, FABI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2059

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS

MASTER EN SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS

ETUDE DE L'AMELIORATION DE LA QUALITE NUTRITIONNELLE DE LA FARINE DU MANIOC PREPAREE PAR LA FERMENTATION ANAEROBIQUE : CAS D'INYANGE

Par

NIMBONA Gilbert

Mémoire présenté et défendu publiquement pour l'obtention d'un diplôme de Master en Sciences et Technologie des Aliments

Option : Gestion de la qualité des Produits Agro-Alimentaires

Sous la direction de : Dr. Ir NIYUKURI Jonathan

Bujumbura, Janvier 2023

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Président : NZIGAMASABO Aloys

Directeur : NIYUKURI Jonathan

Secrétaire : Doctorant MUVUNYI Robert

DEDICACES

A Dieu Tout Puissant ;

A mes chers parents ;

A mes chers frères et sœurs ;

A mes oncles ;

A tous ceux qui me sont chers ;

Je dédie ce mémoire

NIMBONA Gilbert

REMERCIEMENTS

Le travail que nous présentons est le fruit de plusieurs collaborations. Mes premiers et sincères remerciements vont à l'endroit du Tout puissant qui m'a prêté vie et santé sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu voir le jour. DIEU, Seigneur Tout Puissant, durant toutes ces années d'études, Tu m'as accompagné et m'as gardé dans ta grâce. Je Te remercie pour tout ce que Tu m'as donné et me donneras encore dans cette vie.

Je trouve aussi une occasion agréable pour exprimer ma sincère gratitude à toute personne morale ou physique qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à remercier plus particulièrement Monsieur Dr. Ir. NIYUKURI Jonathan, Directeur et Promoteur de ce mémoire, pour avoir inspiré et dirigé ce travail malgré ses multiples occupations. Cher encadrant et directeur, je tiens à vous remercier pour m'avoir accueilli et encadré avec bienveillance. Votre simplicité, vos riches conseils, vos encouragements et surtout votre disponibilité, votre expérience et votre compétence m'ont été d'un grand intérêt. Pour tout ce que vous m'avez fait, soyez assuré de ma sincère gratitude et ma profonde reconnaissance.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des acteurs de la filière manioc qui m'ont reçu et ont donné de leur temps pour répondre à mes questions et ainsi contribuer au recueil des informations présentées ici.

Au sein du laboratoire d'analyse des sols et produits agro-alimentaires de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi, j'ai rencontré des amis collègues, toute l'équipe du laboratoire. Je vous demande d'accepter le témoignage de ma reconnaissance pour tous les bons moments, d'entente et d'entraide, que nous avons passés ensemble.

Que toutes les personnes qui m'ont enseigné depuis l'école primaire jusqu'au niveau de master à l'Université du Burundi et spécialement les enseignants du département de sciences et technologie des aliments (STA), trouvent dans ce travail le fruit de leurs efforts.

Enfin, ne pouvant citer tous ceux et celles qui m'ont été d'un apport petit ou grand, je leur adresse mes remerciements les plus sincères.

RESUME

Inyange est l'un des aliments à base de manioc largement consommé au Burundi. Bien qu'il entre dans l'alimentation de base, il semble y avoir peu ou pas d'informations sur sa composition nutritionnelle. Le but de la présente étude était d'évaluer l'influence de la fermentation anaérobie sur la composition chimique du manioc et de constituer une base de données utile qui permettra l'amélioration de la qualité nutritionnelle d'Inyange afin de contribuer à la lutte contre la malnutrition au Burundi. Pour y parvenir, une enquête a été réalisée en province de Makamba du 06 au 10 Juillet 2021 pendant laquelle des échantillons du manioc fermenté ont été collectés afin de subir des analyses physicochimiques au laboratoire d'analyse chimique du Centre National de Technologie Alimentaire (C N T A) et au laboratoire des sols et produits agro-alimentaires de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU). Les teneurs en eau, en aflatoxines et en cyanure d'hydrogène ont été déterminés par les normes AOAC (2019) et ISO 2164 (1975). Les protéines ont été déterminées par la méthode Kjeldahl. Les sucres réducteurs et sucres totaux par la Méthode du réactif de Luff-Schoorl et les minéraux par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA).

A travers toute la province de Makamba, les résultats ont révélé que le taux de consommation de la pâte de manioc s'élève à 96,66% (97%) pendant que le taux de ménages préparant Inyange s'élève à 79,16%. Les résultats des analyses physicochimiques ont montré une réduction significative au niveau des teneurs en acide cyanhydrique, en eau et en protéines elles variaient de 1,24± 0,06 à 1,51±0,03%; 6,49±0,15 à 8,91±0,62% et de 1,48±0,12 à 2,9±0,1%. Une augmentation significative des sucres totaux a été observée et variaient de 4,54±0,15 à 6,09±0,24% tandis que les teneurs en sucres réducteurs (2,62±0,11% à 3,82±0,14%) n'ont pas changé. Quant aux minéraux, il a été remarqué que la fermentation entraîne une diminution significative des teneurs en magnésium, sodium et en zinc. Les teneurs en fer, en calcium, en potassium, en phosphore, en manganèse, ont significativement augmenté et variaient de 332,80±4,57 à 392,33±3,09 mg/kg; 462±8,42 à 740±4,63 mg/kg; 302,46±3,20 à 455,20±5,38 mg/kg ; 622,70±3,87 à 709,64±7,08 mg/kg; 6819,36±6,80 à 8879,86±9,53 mg/kg; 332±5,56 à 527±9,13 mg/kg; 1,41±0,17 à 11,10±0,63 mg/kg; 1,04±0,03 à 1,26±0,07 mg/kg et de 1,38±0,13 à 7,25±0,33 mg/kg respectivement pour le fer, calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, le phosphore, le manganèse, le cuivre et zinc. A la lumière des résultats de ce travail, il faudrait cependant mettre en place un processus de fortification d'Inyange, un levier qui pourra aider à contrecarrer les maladies dues aux carences nutritionnelles.
Mots clés : Manioc, Inyange, qualité nutritionnelle, fortification, Makamba.

ABSTRACT

Inyange is one of the traditional cassava-based foods widely consumed in Burundi. Although it is a staple diet for many populations, there seems to be little or no information on its nutritional composition. The aim of the present study was to evaluate the influence of anaerobic fermentation on the chemical composition (the nutritional value) of cassava and to constitute a useful database which will allow the improvement of the nutritional quality of Inyange in order to contribute to the fight against malnutrition in Burundi. To achieve this, a survey was carried out in Makamba Province from July 06 to 10, 2021 during which samples of fermented cassava were collected in order to undergo physicochemical analyzes at the chemical analysis laboratory of the National Center for Agro-Food Technologies (C N T A) and the laboratory of soils and agro-food products of the Institute of Agronomic Sciences of Burundi (ISABU). The water, Aflatoxins and hydrogen cyanide contents were determined by the AOAC (2019) and ISO 2164 (1975) standards. Proteins were determined by the Kjeldahl method. Reducing sugars and total sugars by the Luff-Schoorl reagent method. The minerals were determined by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).

Throughout Makamba province, the results revealed that the rate of cassava consumption paste is a staple food is 96.66% (97%) while the rate of households preparing Inyange is 79.16%. The results of the physicochemical analyzes showed a significant reduction in the levels of hydrocyanic acid, water and proteins, they ranged from 1.2 ±0.0 to 1.5 ±0.0 mg/kg; 6.4 ±0.0 to 8.9±0.4% and 1.4 ±0.0% to 2.9 ±0.0% . Not all samples contained aflatoxins. Reducing sugars (from 2.6±0.0 to 3.8±0.1%) did not change, but a significant increase in total sugars was observed and ranged from 4.5±0.0 to 6 .0±0.1%. As for minerals, it has been noted that fermentation causes a significant reduction in the magnesium, sodium and zinc contents, while the iron, calcium, potassium, phosphorus and manganese contents have significantly increased and they ranged from 332.8 ±3.6 to 392.33 ±2.2 mg/kg; 462 ±5.7 to 740 ±3.3 mg/kg; 302.4 ±2.4 to 455.2 ±4.4mg; 622.7 ±2.8 to 709.64 ±5.5mg; 6819.3 ±5.6 to 8879.8 ±7 mg/kg; 332 ±4 to 527 ±6.6 mg/kg; 1.4 ±0.1 to 11.1 ± 0.1 mg/kg; 1.0 ±0.0 to 1.2 ± 0.0 mg/kg respectively for iron, calcium, magnesium, sodium, potassium, phosphorus, manganese and copper. In the light of the results of this work, it is however necessary to set up a process of fortification of Inyange, a lever which can help to counteract diseases due to nutritional deficiencies.

Keywords: Cassava, Inyange, nutritional quality, fortification, Makamba.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY i
DEDICACES ii
REMERCIEMENTS iii
RESUME iv
ABSTRACT v
TABLE DES MATIERES vi
LISTE DE TABLEAUX ix
LISTE DES FIGURES x
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS xi
AVANT-PROPOS xiii
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE 4
I.1. Généralités sur le manioc 4
I.1.1. Introduction 4
I.1.2. Origine, description et distribution géographique du manioc 4
I.1.3. Composition chimique 5
I.1.4. Importance économique et nutritionnelle du manioc 6
I.1.5. Applications technologiques du manioc 6
I.1.6. Transformation du manioc 7
I.1.6.1. Nécessité de transformations du manioc 7
I.1.6.2. Les techniques de transformation du manioc 7
I.1.6.3. Détoxification du manioc par de fermentation anaérobique 8
I.2. Besoins nutritionnels et apports quotidiens de l'homme 10
I.2.1. Besoins en macronutriments 10
I.2.1.1. Besoins en protéines 10
I.2.1.2. Besoins en lipides 10
I.2.1.3. Besoins en glucides 10
I.2.2. Besoins en quelques micronutriments 10
I.2.2.1. Besoins en fer 10
I.2.2.2. Besoins en zinc 11
I.2.2.3. Besoins en cuivre 11
I.2.2.4. Besoins en manganèse 11
I.2.2.5. Besoins en calcium 12
I.2.2.6. Besoins en magnésium 12
I.2.2.7. Besoins en potassium et de sodium 12

I.2.2.8. Besoins en phosphore 13
I.2.2.9. Besoins en manganèse 13
I.3. Fortification des aliments 13
I.3.1. Procédés de fortification 13
I.3.2. Les fortifiants des farines avec différents nutriments 14
I.3.2.1. Les fortifiants en fer 14
I.3.2.2. Les fortifiants en calcium et en magnésium 15
I.3.2.3. Les fortifiants en sodium et en potassium 15
I.3.2.4. Les fortifiants en zinc 15
I.3.3. Fortification des farines par utilisation du matériel végétal 16
I.3.4. Les exigences relatives aux niveaux de vitamines et de minéraux dans la farine de manioc fortifiée au Burundi 16
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES 17
II. 1. Présentation du milieu d'étude 17
II.2. Population cible 17
II.3. Matériel 18
II.4. Méthodes de collecte des données et des échantillons 18
II.4.1. Collecte des données 18
II.4.2. La collecte des échantillons 19
II.5. Les méthodes d'analyses chimiques 20
II.5.1. Détermination de la teneur en acide cyanhydrique glucoside 20
II.5.2. Détermination de la teneur en eau 20
II.5.3. Détermination de la teneur en aflatoxines 20
II.5.4. Détermination des teneurs en sucres totaux (TST) et teneurs en sucres réducteurs (TSR) 21
II.5.5. Analyse de la teneur en protéines (TPr) 21
II.5.6. Détermination de la teneur en éléments minéraux 21
II.6. Analyse des données 21
CHAPITRE III: PRESENTATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS 22
III.1. Présentation et discussions des résultats de l'enquête 22
III.1.1. Analyse de la fréquence de consommation journalière de la pâte du manioc 22
III.1. 2. Analyse statistique de la consommation de la pâte de manioc dans la province de Makamba 22
III.1.3. Analyse de la fréquence de préparation du manioc par la méthode de fermentation anaérobique 23
III.2. Résultats et discussions d'analyses physico-chimiques 24
III.2.1.Analyse de la composition physicochimique d'Inyange produit dans la province de Makamba 24
III.2.1.1. Teneurs en eau 25
III.2.1.2. Teneurs en acide cyanhydrique 25

III.2.1.3. Teneurs en aflatoxines 26
III.2.1.4. Teneurs en protéines 26
III.2.1.5. Teneurs sucres totaux 26
III.2.1.6. Teneurs en sucres réducteurs 27
III.2.1.7. Teneurs en fer 27
III.2.1.8. Teneurs en calcium 28
III.2.1.9. Teneurs en magnésium 28
III.2.1.10. Teneurs en potassium 29
III.2.1.11. Teneurs en sodium 29
III.2.1.12. Teneurs en phosphore 30
III.2.1.13. Teneurs en manganèse 30
III.2.1.14. Teneurs en cuivre 30
III.2.2. Analyse de la composition nutritionnelle d'Inyange produit dans la commune de Vugizo 33
III.2.3. Analyse de la composition nutritionnelle d'Inyange produit dans la commune de Makamba 34
III.3. Comparaison des collines au niveau de la composition physico-chimique par classification de la composante principale (ACP) 35
III.4. Formule de fortification de la farine manioc destinée aux femmes enceintes 36
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 38
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 40
ANNEXE 51

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Exigences relatives aux niveaux de vitamines et de minéraux dans la farine de manioc fortifiée au Burundi 16

Tableau 2 : Résultats d'Analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des communes de la province de Makamba 31

Tableau 3 : Résultats d'analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des collines de la commune de Mabanda 32

Tableau 4 : Résultats d'analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des collines de la commune de Vugizo 33

Tableau 5 : Résultats d'analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des collines de la commune de Makamba 34

Tableau 6 : La quantité des nutriments à ajouter dans la farine de manioc Inyange destinée aux femmes enceintes 37

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Transformation traditionnelle d'Inyange 9
Figure 2 : Localisation géographique de la Province de Makamba 17
Figure 3 : Fréquence de consommation journalière de la pâte du manioc 22
Figure 4: Taux de consommation de la pâte de manioc dans la province de Makamba 23
Figure 5: Taux moyen de détoxification du manioc par fermentation anaérobique 24
Figure 6 : Analyse groupée de neuf collines de la province de Makamba selon la composition physico-chimique d'Inyange.....36

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

% : Pourcentage

^{0}C : degré Celsius

AOAC : Association of official analytical chemists

ARN : Acide ribonucléique

Ca : Calcium

CNTA : Centre National de Technologie Alimentaire.

CSS : Conseil Supérieur de la Santé

Cu : cuivre

ENSNSAB : Enquête Nationale sur la Situation Nutritionnelle et la Sécurité Alimentaire au Burundi

et al. : Et ses collaborateurs

FAO : Food and Agriculture Organisation /Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation

Fe : Fer

G : gramme

HCN : Cyanure d'Hydrogène

ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi.

K : potassium

Kg : kilogramme

MAG : Malnutrition Aigüe Globale

mg : milligramme

Mg : magnésium

Mn : manganèse

Na : Sodium

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : phosphore

PAM : Programme Alimentaire Mondiale

Ppm : parties par million

RDC : République Démocratique du Congo

sp : Espèce

TST : Teneur en sucres totaux

TSR : Teneurs en sucres réducteurs

SAA : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

Zn : Zinc

µg : microgramme

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire entre dans le cadre de l'obtention d'un diplôme de master en Sciences et Technologies des Aliments, option de Gestion de la Qualité des Produits Agro-alimentaires. L'idée de cette étude est venue du fait que Inyange est l'un des aliments à base de manioc largement consommé au Burundi mais qu'il semble y avoir peu ou pas d'informations sur sa composition nutritionnelle.

La présente étude vise à évaluer l'influence de la fermentation anaérobique sur la composition chimique du manioc et de constituer une base de données utile qui permettra l'amélioration de la qualité nutritionnelle d'Inyange afin ce dernier soit un aliment complet capable de contribuer à la lutte contre les maladies liés au déséquilibre alimentaire qui, actuellement, constituent des problèmes majeurs pour la santé de la population plus particulièrement dans la province de Makamba et dans tout le pays en général.

C'est pourquoi le sujet est intitulé « **Etude de l'amélioration de la qualité nutritionnelle de la farine du manioc préparée par la fermentation anaérobique : cas d'Inyange**»

Des difficultés n'ont pas manqué au cours de cette étude surtout ceux liés aux moyens financiers qui étaient insuffisants, le manque du matériel de laboratoire spécialisé pour la détermination d'autres éléments tels que les teneurs en vitamines. D'où la présente étude a été effectuée que dans la seule province de Makamba seulement et les teneurs en vitamines n'ont pas été déterminées.

INTRODUCTION GENERALE

Au Burundi comme partout ailleurs dans le monde, l'alimentation est une préoccupation quotidienne de la population. Par ailleurs, l'agriculture constitue une ressource territoriale historique majeure qui contribue au bien-être humain en produisant, entre autres, de la nourriture, des matières premières et de l'emploi (Agbodan & al., 2020; Conway & Gary, 2003 ; Abou & al., 2018; Terrier & al., 2020). Elle contribue au développement économique du pays et reste en général, l'activité principale des populations.

Plus de 80 % de la population burundaise s'occupe de l'agriculture et les principales préoccupations sont axées sur les disponibilités de l'alimentation et la satisfaction des besoins socio-économiques (Marivoet & al., 2022; ISTEEBU, 2019 ; Hubert, 1996) et dans une moindre considération sur les qualités nutritionnelles des denrées alimentaires. Les cultures vivrières occupent une place importante (ISTEEBU, 2019); les tubercules nous ont intéressés et le manioc nous a pris une attention particulière.

Le manioc (*Manihot esculenta*) est l'une des cultures vivrières les plus cultivées et les plus consommées dans de nombreuses régions du monde. Sa principale qualité en tant qu'aliment de base pour l'homme est qu'il constitue une source énergétique peu coûteuse mais abondante (Agre & al., 2015; Philippe & al., 2018; Trèche, 1996; Parmar et al. 2017; Sahoré & al., 2007; Kakes, 1990). Au Burundi, le manioc occupe une place importante car sur le plan alimentaire, il reste le deuxième tubercule le plus consommé dans le pays derrière la pomme de terre (Nzigamasabo & Zhou, 2006c; ISTEEBU, 2019). Bien que le manioc fournisse des calories adéquates lorsqu'il est consommé comme aliment, des preuves expérimentales montrent qu'il transmet plusieurs symptômes de carence nutritionnelle lorsqu'il est consommé sans suppléments protéiques adéquats. Les composés cyanhydriques présents dans le manioc et sa faible teneur surtout en protéines et en sels minéraux limitent ses applications alimentaires (Balagopalan & al., 2018; Hawashi & al., 2020 ; Panghal & al., 2021 ; Roger, 2004; Chavez et al., 2000; Montagnac & al., 2009).

La transformation des racines de manioc, comme dans la plupart des pays d'Afrique centrale, implique la fermentation. La fermentation a été et est utilisée comme méthode de traitement rentable et efficace pour détoxifier les produits à base de manioc et les enrichir en nutriments (Nzigamasabo & Nimpagaritse, 2009; Hawashi & al., 2020). Bien que la fermentation contribue à l'amélioration des qualités texturales, de la composition nutritionnelle et dans la réduction du

taux de composés cyanhydriques, les produits à base de manioc et surtout la farine montrent des insuffisances en nutriments indispensables à la santé de l'homme (Lancaster et al., 1982).

Or les carences en nutriments constituent un problème de santé publique. Leurs conséquences sont néfastes sur la santé des populations tandis que ses coûts pour la société sont considérables (Ohanenye et al., 2021; Samir et al., 2018; Berger Jacques, 2003; Aguenaou, 2007). Tout en restant réparties, plus de 98 % des personnes souffrant de malnutrition résident dans des régions en développement. L'Afrique subsaharienne représente plus de la moitié des cas mondiaux de malnutrition en micronutriments (Ohanenye et al., 2021).

Au Burundi, la consommation alimentaire des ménages reste une problématique avec une consommation pauvre et limitée suivie d'une faible consommation d'aliments riches en micronutriments. Actuellement, le Burundi connaît une situation de sécurité alimentaire et nutritionnelle alarmante (ISTEEBU, 2018; Nkurunziza , 2022; Marivoet & al., 2022).

La forte incidence de la malnutrition protéino-calorique et des maladies nutritionnelles dans les pays en développement nécessite des mesures efficaces pour améliorer la qualité et la quantité des régimes alimentaires (Balagopalan et al., 2018). L'une des stratégies les plus efficaces pour contribuer à l'éradication de la malnutrition est l'enrichissement des aliments consommés de façon à rendre accessible ces micronutriments aux groupes cibles (FAO, 2006; Ohanenye et al., 2021; Das et al., 2013; Panghal et al., 2021; Mannar & van Ameringen, 2003; Nutrition Service of the World Food Program, 2006).

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif global de notre travail par une contribution à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de la farine du manioc préparée par la fermentation anaérobique (**Inyange** ou **Ubuzenge**) et plus spécifiquement de :

- L'évaluation de la place qu'occupe le manioc en général et la farine de manioc préparée par fermentation anaérobique en particulier dans l'alimentation de base de la population de la province de MAKAMBA;
- La détermination de la composition chimique du manioc préparé par fermentation anaérobique;
- Elaboration d'une formule de fortification de la farine de manioc Ubuzenge en vue d'un meilleur positionnement vis-à-vis des autres denrées alimentaires.

Ainsi notre travail s'articule autour de 3 chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur le manioc, son importance nutritionnelle, économique et ses applications technologiques. Il relate également les besoins nutritionnels et apports quotidiens de l'homme mais aussi la fortification des aliments;
- Le second chapitre, qui porte sur l'enquête et analyses des échantillons, matériel et méthodes, mais également il définit les critères de choix du site de notre travail ;
- Le troisième chapitre présente les résultats des analyses d'enquête faite sur terrain et celles faites au laboratoire ainsi que leur interprétation.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur le manioc

I.1.1. **Introduction**

Le manioc est une plante, dont ses tubercules servent de nourriture et se présente comme l'une des plantes vivrières les plus importantes par sa production et sa consommation à travers le monde (Parmar et al., 2017; Yao et al., 2015; Roger, 2004; Gmakouba et al., 2018). Le manioc constitue donc une denrée de première nécessité pour une population d'environ 800 millions de personnes dans les zones tropicales et subtropicales dont 500 millions en Afrique l'utilisent comme aliment de base (Philippe et al., 2018).

Sa production est en constante augmentation à un rythme supérieur à celui des céréales ; Cela est dû au fait qu'elle est une plante facilement cultivable, peu exigeante en intrants et que sa récolte s'étale sur une longue période, facilitant ainsi un accès régulier des populations à cette matière première (Philippe et al., 2018; Trèche, 1996). Son importance vient de ses racines tubérisées riches en amidon et de ses feuilles riches en protéines. La racine est consommée soit directement sous forme de manioc frais, soit sous forme de farine. Selon sa teneur en acide cyanhydrique, sa consommation peut être directe ou faire appel à des opérations unitaires et à des procédés de transformation plus ou moins complexes tels que le rouissage, fermentation et broyage sous forme de pâte, de farine, de fécule, etc (Nielsen et al., 2007; O'Brien et al., 1992 ; Gidamis et al., 1993; Padmaja et al., 1994; Temegne et al., 2016).

I.1.2. Origine, description et distribution géographique du manioc

Le manioc est une Euphorbiacée originaire de l'Amérique du Sud et peut-être de Bolivie. Il a été importé du Brésil au 16ème siècle vers l'Afrique et Madagascar (Millward & Jackson, 2004).

Le manioc se propage par voie végétative (boutures de la tige), il est aussi susceptible de se reproduire par voie asexuée (Pinton et al., 2002). Le manioc s'accommode de terres médiocres, procure toujours un rendement, s'adapte aux conditions climatiques sévères, est peu sensible aux maladies et aux attaques des prédateurs (Ceballos et al., 2006; Trèche, 1996; El-Sharkawy, 1993). Bien que le manioc soit connu pour croître et produire dans les sols pauvres, sa culture nécessite une richesse minimale en éléments nutritifs du sol pour un rendement acceptable (Temegne et al., 2016).

Les divers cultivars de manioc se répartissent généralement en deux groupes importants, selon la teneur des tubercules en glucosides cyanogénétiques : d'une part, la variété amère, dans laquelle les glucosides cyanogénétiques se répartissent à forte dose dans tout le tubercule, et d'autre part, la variété douce dans laquelle les glucosides se confinent à faible dose. Le manioc doux a une teneur en glucosides cyanogéniques qui est inférieure à 50mg/kg de matière fraîche alors que le manioc amer a une teneur en glucosides cyanogéniques supérieure à 50mg/kg de matière fraîche (Philippe et al., 2018). La récolte annuelle n'est pas obligatoire : les tubercules peuvent être conservés dans le sol plusieurs mois ce qui a un intérêt pendant la période de soudure (Trèche, 1995).

I.1.3. Composition chimique

Comme les autres plantes à racines et tubercules, le manioc est principalement une source de glucides qui représentent environ 40 % de sa composition immédiate en matière sèche (Philippe et al., 2018; Okezie & Kosikowski, 1983 ; Kawano et al., 1987).

A côté des glucides, d'autres nutriments tels que les lipides, les protéines, les minéraux et les vitamines existent en concentrations variables dans la racine du manioc (Okezie & Kosikowiski, 1983). Le manioc est raisonnablement riche en calcium (16–35 mg/100 g) et en vitamine C (15–45 mg/100 g), bien qu'il soit pauvre en protéines (1- 4,33 %), les lipides (0,3-0,53 %) (Montagnac et al., 2009; Charles et al., 2004 ; Kawano et al., 1987; Okezie & Kosikowski, 1983). Dans 100 g de la racine de manioc fraiche, il y a 271 mg de potassium, 21mg de magnésium, 2-6 mg de cuivre, 1,4 - 4,1 mg de zinc, 76-213 mg de sodium et 3,00 – 10,00 mg de manganèse et 27mg de phosphore (Bradbury, 2006; Salvador et al., 2014; Montagnac et al., 2009). Cependant des valeurs nettement plus élevées ont été trouvées dans le manioc frais par Nzigamasabo & Zhou (2006b) au cours de leur étude comparative sur les changements en nutriments et anti-nutriments à Ikivunde et Inyange, deux produits burundais à base de manioc traditionnellement transformés où dans 100 g de la racine de manioc fraiche, il y avait 681 mg de potassium, 670 mg de magnésium, 22,01 mg de zinc, 800 mg de sodium et au niveau du fer il y avait 1,48 mg/100g. Cela montre qu'il a eu des variations au niveau des teneurs en nutriments ; ce qui justifient les travaux des auteurs ayant montré que la composition chimique du manioc varient avec de nombreux facteurs tels que : la variété plantée, son âge, les pratiques culturales, le climat, le lieu de culture et le procédé de préparation.

I.1.4. Importance économique et nutritionnelle du manioc

Les tubercules en général et le manioc en particulier jouent un rôle important dans la sécurité alimentaire des ménages. Le manioc se classe parmi les aliments les plus énergétiques en Afrique et en Amérique latine (Philippe et al., 2018; Gmakouba et al., 2018).

Dans la majorité des pays producteurs du manioc, il est avant tout une culture vivrière cultivée pour l'autoconsommation. C'est au fil du temps et en fonction des opportunités que la culture du manioc a acquis une dimension commerciale, ses dérivés entrant dans le commerce transfrontalier, surtout avec le Nigeria, le Niger, le Gabon, la Guinée Equatoriale et la France (Philippe et al., 2018; Parmar et al., 2017). Le manioc reste une des toutes premières cultures vivrières en Afrique tropicale et un atout contestable pour les régions de moins en moins autosuffisante sur le plan alimentaire; il contribue de manière significative à la nutrition et aux moyens de subsistance de plus de 800 millions de personnes et des milliers de transformateurs et de commerçants à travers le monde (Philippe et al., 2018; Nzigamasabo & Zhou, 2006b ; El-Sharkawy, 1993).

I.1.5. Applications technologiques du manioc

En plus de servir d'aliment de base à des millions de personnes dans les régions tropicales et subtropicales, le manioc peut être utilisé comme matière première dans la fabrication d'aliments transformés, d'aliments pour animaux et de produits industriels tels que : cossettes pour l'alimentation animale, amidon pour le papier, le textile et l'agro-alimentaire, produits de fermentations dont le bioéthanol, acide lactique, farine panifiable, etc. (Balagopalan et al., 2018 ; Philippe et al., 2018; Okezie & Kosikowiski, 1982).

La farine fermentée du manioc est un produit fini à forte valeur énergétique et acceptable qui pourrait substituer la farine de blé dans la fabrication du pain. L'amidon aigre présente des propriétés spécifiques; il est apte à la panification et permet le gonflement sans additif lors de la cuisson au four. Des études, menées par le Cirad et le CIAT, ont montré que la combinaison de variétés de manioc adaptées (dont l'amidon a une faible teneur en amylose) et le couplage de la fermentation lactique et du séchage au soleil confèrent à l'amidon aigre de manioc cette aptitude à l'expansion. De plus l'éthanol obtenu par la fermentation de l'amidon pourrait substituer totalement le pétrole (Philippe et al., 2018).

I.1.6. Transformation du manioc

I.1.6.1. Nécessité de transformations du manioc

La nécessité de détoxification du manioc constitue l'une des préoccupations majeures de tout procédé de transformation du manioc tant pour l'alimentation humaine qu'animale mais aussi pour des applications industrielles (Hahn, 1989; Padmaja, 1995). D'après Kobawila et al. (2005)**,** selon le taux de libération de l'acide cyanhydrique sur des racines fraiches épluchées, les variétés de manioc peuvent être classées comme suit : Variétés inoffensives (moins de 50 mg/kg); variétés modérément toxiques (entre 50 à 100 mg HCN/kg) ; variétés fortement toxiques (plus de 100 mg/kg).

Les racines de manioc sont très périssables et ne pourrissent que dans les 3 à 4 jours qui suivent la récolte car ce sont des organes de réserve vivants dont le métabolisme et la respiration continuent après la récolte (Degnon et al., 2018; Yao et al., 2015; Hahn, 1989; Yao et al., 2006). Avec teneur en humidité de 70%, le transport des racines de la campagne à zones urbaines pour leur commercialisation est très difficile et coûteux (Degnon et al., 2018; Hahn, 1989). Il est nécessaire donc de transformer le manioc en divers produits qui contiennent moins de cyanure avec une meilleure appétence et valeur nutritionnelle, ayant également une durée de conservation accrue, faciles et moins cher à transporter (Hahn, 1989; Kakou et al., 2017; Padmaja, 1995; O'Brien et al., 1992).

I.1.6.2. Les techniques de transformation du manioc

Eu égard à sa brève durée de vie après-récolte et de sa teneur en cyanure, différentes technologies aussi variables les unes que les autres sont utilisées en fonction des régions, des habitudes alimentaires et des produits à obtenir. Les techniques sont multiples et font intervenir une combinaison de méthodes dont l'épluchage, le lavage, le découpage, le trempage, le broyage, le râpage, le séchage, la cuisson et la fermentation, etc. Généralement, ces techniques visent à réduire la toxicité et à améliorer l'appétence du manioc (Krabi et al., 2015; Falade et Akingbala, 2011; Kimaryo et al., 2000; Padmaja, 1995; Padmaja et al., 1994; Nzigamasabo & Zhou, 2006b).

Au Burundi, la préparation de plusieurs produits traditionnels du manioc exige l'utilisation des ferments traditionnels. Le manioc est traditionnellement transformé en divers produits tels que : Akambaranga, Inyange, Ikivunde, Imikembe, Ubuswage et Isombe (Nzigamasabo & Zhou, 2006a).

En RDC, les racines tubéreuses de manioc sont consommées fraiches, bouillies, frites ou après transformation sous plusieurs formes dont le fufu ou ugali, la chikwangue, le malemba, le lituma, gari et l'oyoko. Les feuilles de manioc, qui contiennent 6 à 8 % des protéines brutes, sont utilisées dans plusieurs recettes (Trèche, 1996).

En Afrique de l'Ouest, la racine de manioc est utilisée principalement dans l'alimentation humaine sous diverses formes artisanales et industrielles, elle est aussi employée pour l'alimentation du bétail. Plusieurs produits dérivés du manioc sont commercialisés, parmi lesquels le gari, l'attiéké, les cossettes, l'amidon, le tapioca, le fufu, la farine brute, etc. (Diallo et al., 2013; Assanvo et al., 2006; Kakou et al., 2017). Cependant, dans certains pays comme le Sénégal, le manioc n'a pas encore connu un réel développement dans l'alimentation de base de sa population car les potentialités d'utilisation alimentaire du manioc ne sont pas assez connues (Diallo et al., 2013).

I.1.6.3. Détoxification du manioc par de fermentation anaérobique

La fermentation joue un rôle très important dans la production de plusieurs aliments. Elle est un processus important dans la préparation de nombreux produits à base de manioc en Afrique. Bien qu'un nombre limité de techniques soient utilisées, la fermentation reste la méthode la plus utilisée et elle est responsable de la stabilité du produit, du développement de la saveur et de l'élimination du cyanure (Westby, 1994).

La fermentation sèche est pratiquée dans certaines parties de l'Afrique pendant la saison de sécheresse et dans le Pacifique sud comme moyen de réduire le cyanure. Les racines de manioc sont couvertes en tas jusqu'à ce que les moisissures se développent et que les racines ramollissent (Padmaja, 1995; Balagopalan et al., 2018; Muzanila et al., 2000).

Au Burundi, la technique de fermentation anaérobique (sèche) est beaucoup plus utilisée dans la préparation du manioc et permet d'obtenir un produit fermenté appelé Inyange ou Ubuzenge résultant essentiellement de l'activité des moisissures. Les racines de manioc sont épluchées, lavées et coupées en petits morceaux et puis ils sont séchés au soleil pendant une journée ou deux jours. Ils sont mis en tas et recouverts de paille. La fermentation dure au moins cinq jours. La fin de la fermentation est marquée par l'apparition de moisissures à la surface des morceaux de manioc et le moelleux de la racine. Une saveur attrayante se développe pendant la fermentation. Les morceaux fermentés sont séchés au soleil après avoir gratté le moule, après quoi ils sont pilés dans un mortier en bois avec un pilon (actuellement on utilise des moulins)

et tamisés pour obtenir une farine de couleur légèrement foncée appelée Inyange (Figure 1). Les moisissures impliquées dans la fermentation sont responsables de la couleur et de la saveur de la farine (Hahn, 1989; Nzigamasabo & Zhou, 2006a). En plus de la réduction du taux de cyanure, la fermentation du manioc entraîne des changements perceptibles au niveau physique, caractéristiques biochimiques et fonctionnelles, mais également à l'amélioration de ses qualités texturales (Hahn, 1989; Padmaja et al., 1994).

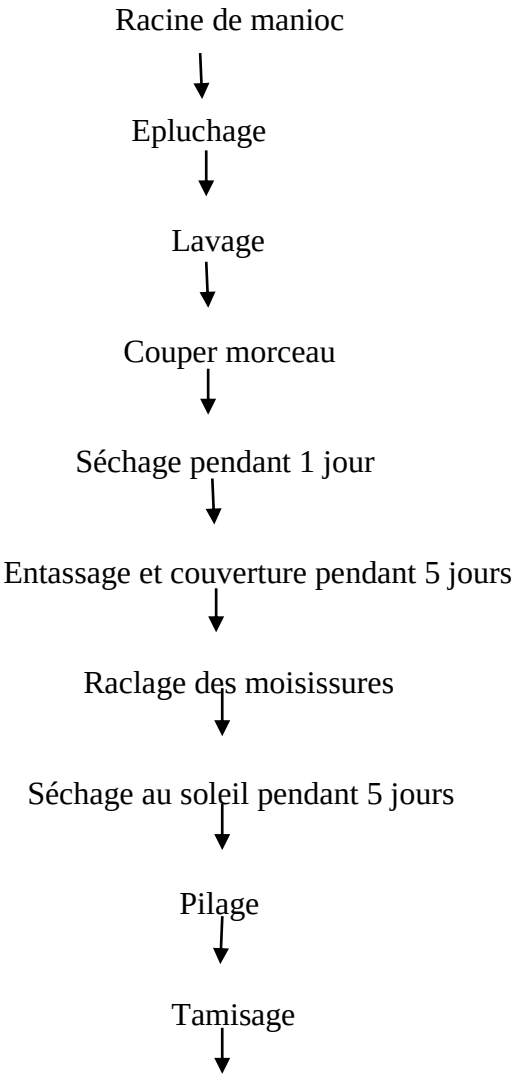


Figure 1 : Transformation traditionnelle d'Inyange

I.2. Besoins nutritionnels et apports quotidiens de l'homme

I.2.1. Besoins en macronutriments

I.2.1.1. Besoins en protéines

Les protéines sont des constituants fondamentaux des tissus, elles ont un rôle structurel, enzymatique, immunologique et métabolique. (Szekely, 2009; Cynober et al., 2000). Elles sont donc des substances indispensables pour la formation et le développement de l'organisme ainsi que pour la régénération des tissus. Les besoins protéiques chez la personne adulte sont de 0,8 g/kg/jour et de 1 g/kg/jour chez la personne âgée (Misset & Desport, 2020).

I.2.1.2. Besoins en lipides

Les lipides communément appelés « graisses ou matières grasses » sont des nutriments énergétiques par excellence. Ils participent à la formation du système nerveux et des membranes cellulaires du cerveau, et sont aussi indispensables pour que l'organisme soit capable d'absorber certaines vitamines (A, D, E, et K). Ils ont un rôle structural constituant l'architecture membranaire et fonctionnelle participant à la régulation de la transmission intracellulaire (CSS , 2009; Szekely, 2009). La recommandation en matière de lipides est la suivante: l'ingestion ne devrait pas atteindre plus de 30-35 % de l'énergie totale ingérée.

I.2.1.3. Besoins en glucides

Les glucides appelés aussi hydrates de carbone sont la principale source d'énergie de l'organisme. Ils ont un rôle énergétique de courte durée. Toute fonction physiologique nécessite de l'énergie et le glucose est la source la plus rentable pour les activités physiques et intellectuelles (Szekely, 2009; Martin, 2001). L'apport total en glucides devrait couvrir au moins 55 % de l'apport total en énergie

I.2.2. Besoins en quelques micronutriments

I.2.2.1. Besoins en fer

Le fer joue un rôle majeur en tant que constituant de l'hémoglobine, une protéine des globules rouges en charge du transport de l'oxygène des poumons vers les cellules de l'organisme.

Les besoins en fer étant donné qu'il doit faire objet d'une attention particulière dès le bas âge car il permet l'augmentation de la masse musculaire et des globules rouges (De Luca, 2019).

Milman (2020) a montré que l'apport en fer recommandé dans les différents pays varie de 14,8 à 30 mg/jour mais également selon l'état physiologique et l'âge de l'individu.

I.2.2.2. Besoins en zinc

Le zinc est essentiel pour la croissance, le développement et le maintien de la fonction immunitaire, ce qui renforce la prévention et la guérison de maladies infectieuses ; il est aussi un antioxydant jouant plusieurs rôles spécifiques dans la défense anti-radicalaire de l'organisme (Walker et al., 2005; Hambidge, 2000; Favier & Hininger-Favier, 2005; Lönnerdal, 2000). Chez une femme enceinte, il est un oligo-élément actif lors de l'embryogenèse, de la différenciation des cellules et de leur prolifération. Les besoins journaliers d'une femme enceinte sont estimés à 14 mg, soit une augmentation de 4 mg par rapport aux besoins normaux d'une femme adulte (Costello & Osrin, 2003), 1,6 à 3,6 mg/j pour les enfants et 4 à 5 mg/j pour les adultes (Ekissi et al., 2020).

I.2.2.3. Besoins en cuivre

Le cuivre est un oligo-élément qui joue un rôle vital dans divers métabolismes dont la qualité des cartilages, la minéralisation des os, la synthèse et la régulation des peptides neurotransmetteurs, l'immunité et le métabolisme du fer, au niveau du métabolisme oxydatif du glucose et est donc à ce titre essentiel au fonctionnement du myocarde. Les besoins en cuivre sont fonction de l'état habituel des réserves en cet élément et des capacités à les mobiliser (CSS, 2009).L'apport alimentaire recommandé est de 1,5 à 3,0 mg pour les adultes (Pettersson & Rasmussen, 1999) et sa biodisponibilité alimentaire est beaucoup plus influencée par la quantité de l'élément présente dans l'alimentation que par sa composition (CSS, 2009). Les besoins en cuivre sont de 2 mg par jour, soit une augmentation de 0,5 mg par rapport à ceux d'une femme adulte (Costello & Osrin, 2003).

I.2.2.4. Besoins en manganèse

Le manganèse est impliqué de manière plus ou moins spécifique dans certaines voies métaboliques et participe à plusieurs fonctions biologiques relatives à la constitution du squelette et des cartilages, au métabolisme lipidique, à la régulation de la glycémie ou encore à l'activité cérébrale et nerveuse. L'apport moyen de manganèse est compris entre 2 et 9 mg/jour pour une personne de 70 kg en moyenne (Bjørklund et al., 2017; CSS, 2009; Aschner, 2000).

I.2.2.5. Besoins en calcium

Le calcium intervient dans des fonctions physiologiques clés telles que la coagulation sanguine, l'excitabilité neuromusculaire, la transmission synaptique, la contraction musculaire, la perméabilité membranaire, la libération d'hormones et en tant que signal clé intracellulaire. Il a aussi un effet protecteur contre le cancer du côlon et du rectum. Les différentes fonctions du calcium expliquent que les besoins soient couverts avec rigueur chez les jeunes enfants en pleine croissance car il joue un rôle fondamental dans la croissance du squelette pendant l'enfance et assure une masse minérale osseuse nécessaire durant la vie adulte (De Luca, 2019; Dansou et al., 2000; CSS, 2009; Power et al., 1999; Huffman et al., 1998). L'apport quotidien recommandé pour le calcium est de 340 à 1200 mg/j et 900mg/j respectivement pour les enfants et les adultes et un faible apport peut compromettre les os (CSS, 2009).

I.2.2.6. Besoins en magnésium

Le magnésium joue un rôle fondamental dans la croissance du squelette pendant l'enfance et assure une masse minérale osseuse nécessaire durant la vie adulte et permet aussi le maintien de l'homéostasie du sodium, du calcium, et du potassium. Les ions magnésium participent au métabolisme énergétique, à la synthèse des protéines et des acides nucléiques, jouent un rôle de stabilisation des membranes cellulaires et indispensables pour le transfert de l'influx nerveux et pour la contraction musculaire (Laires et al., 2004; Nielsen et al., 2007; de Luca, 2019). Le magnésium joue un rôle important chez une femme enceinte car il permet d'améliorer le poids de naissance et de réduire l'incidence des naissances prématurées (Huffman et al., 1998; Salle, 2002). Les apports recommandés pour le magnésium est de 80 à 410 mg/j pour enfant et 420 à 460 mg/j pour adulte (Szekely, 2009; CSS, 2009).

I.2.2.7. Besoins en potassium et de sodium

Les ions de potassium et de sodium jouent un rôle prépondérante dans la stabilisation du pH du corps et dans le transfert de l'influx nerveux puisque le potassium pénètre plus facilement dans la cellule que le sodium et initie un bref échange sodium-potassium à travers les membranes cellulaires qui facilite la conduction de l'influx nerveux (Pohl et al., 2013). L'apport quotidien recommandé pour le potassium est de 800 à 5000 mg/j pour enfant et 3000 à 4000 mg/j pour adulte tandis que celui du sodium pour un adulte est de 2000 mg/jour (Mente et al., 2018).

I.2.2.8. Besoins en phosphore

Le phosphore est un micronutriment essentiel, ce qui signifie que le corps ne peut pas le fabriquer en quantité suffisante par lui-même mais doit être apporté par l'alimentation (Calvo & Uribarri, 2013). Les apports nutritionnels conseillés en phosphore sont de 800mg/j (Potier et al., 2003).

I.2.2.9. Besoins en manganèse

Le manganèse est un nutriment essentiel à la formation des os. Il a également un rôle au niveau des réactions liées au métabolisme des acides aminées, des glucides et du cholestérol. Le manganèse est un oligo-élément essentiel à l'homme, cofacteur d'enzymes importantes dans la lutte contre le stress oxydant (Aschner, 2000 ; Ekissi et al., 2020).L'apport moyen de manganèse est compris entre 2 et 9 mg/jour pour une personne de 70 kg en moyenne (Bjørklund et al., 2017; Aschner, 2000).

I.3. Fortification des aliments

I.3.1. Procédés de fortification

La fortification concerne l'enrichissement d'aliments de base destinés à l'ensemble de la population ou d'aliments préférentiellement consommés par les groupes à risque (Hurrell, 1997; Tounkara et al., 2017; FAO, 2006). Cela veut dire que la fortification d'un aliment devrait trouver un meilleur compromis entre biodisponibilité et effets organoleptiques indésirable. Bien que l'enrichissement des aliments tienne certaines promesses pour réduire la malnutrition en micronutriments, les stratégies largement utilisées nécessitent souvent un traitement compliqué et des technologies qui ne sont pas facilement disponibles, ce qui peut augmenter le coût de la nourriture pour les familles à faible revenu (Ohanenye et al., 2021).

Le procédé d'enrichissement doit être simple et l'aliment enrichi acceptable par le consommateur en terme de propriétés organoleptiques, de sécurité et de prix (Ohanenye et al., 2021). Il est donc nécessaire d'avoir accès à et d'utiliser des fortifiants qui sont bien absorbés mais qui n'affectent pas les propriétés sensorielles des aliments. Dans la plupart des cas, il est préférable d'utiliser des véhicules alimentaires qui sont transformés de manière centralisée et d'avoir le soutien de l'industrie alimentaire (FAO, 2006).

Le taux d'enrichissement dépend des besoins nutritionnels des groupes cibles, de la consommation de l'aliment enrichi, de la biodisponibilité du fortifiant et de la législation des

pays. Des études d'efficacité en condition contrôlées et en conditions réelles sont nécessaires afin d'évaluer l'impact et l'absence de toxicité de l'aliment enrichi (FAO, 2006 ; Ohanenye et al., 2021). La mise en place d'un système de suivi du programme et de contrôle de qualité du produit, notamment de sa concentration adéquate en micronutriments de sa production à sa consommation, permet non seulement d'assurer l'efficacité et la pérennité du programme mais également d'envisager les ajustements nécessaires au cours de son développement (Ohanenye et al., 2021).

I.3.2. Les fortifiants des farines avec différents nutriments

I.3.2.1. Les fortifiants en fer

Pour enrichir différents produits alimentaires avec le fer, différentes formes de fer peuvent être utilisées :

Pour les fortifiants en fer peu solubles dans l'eau, mais solubles dans l'acide dilué, le fumarate ferreux est la source de fer la plus populaire et la moins chère par mg; il a une teneur en fer de 33 % et une disponibilité relative de 100 % (FAO, 2006) . Le fumarate ferreux est utilisé dans l'enrichissement du maïs (Jan et al., 2019), des farines de blé et des céréales infantiles (Ohanenye et al., 2021). Les autres composés de fer qui sont peu solubles dans l'eau mais solubles dans les acides dilués à savoir le suc gastrique sont : le succinate ferreux et saccharate ferrique.

Pour les fortifiants en fer solubles dans l'eau, les sulfates ferreux (à la fois le FeSO 4 .7H 2 O hydraté et le FeSO 4 sec) ont les teneurs en fer les plus élevées, la biodisponibilité relative la plus élevée et le coût le plus bas par mg de fer (FAO, 2006). En raison de ces facteurs, les sulfates ferreux sont les fortifiants en fer solubles dans l'eau les plus utilisés dans l'enrichissement des aliments. L'acide éthylènediaminetétraacétique de fer sodique (NaFeEDTA) est aussi utilisé dans cette catégorie de fortifiants.

Pour les fortifiants en fer qui sont insolubles dans l'eau et peu solubles dans les acides dilués, les plus utilisés sont les composés de phosphate ferrique, tels que l'orthophosphate ferrique et le pyrophosphate ferrique, qui sont principalement utilisés dans l'enrichissement (Martínez-Navarrete et al., 2002; Ohanenye et al., 2021; Davidson et al., 1994).

I.3.2.2. Les fortifiants en calcium et en magnésium

La farine de blé a été enrichie en calcium pour la première fois au Royaume-Uni en 1943 afin de restituer le calcium perdu lors de la mouture. Aujourd'hui, il est obligatoire d'ajouter 940 à 1560 mg de carbonate de calcium/kg aux farines blanches et brunes (mais pas complètes) moulues au Royaume-Uni. Aux États-Unis, l'ajout de calcium à la farine est facultatif depuis le début des années 1940. Le sulfate de calcium, le carbonate, le chlorure, le phosphate, l'acétate ou le lactate conviennent tous à l'enrichissement des farines de blé (FAO, 2006).

Une étude qui visait de mettre en évidence l'influence des ions calcium et magnésium sur les propriétés rhéologiques de la farine de blé notamment leurs effets sur l'absorption de l'eau par utilisation de deux additifs dont le sulfate de calcium ($CaSO4.2H_2O$) et le sulfate de magnésium ($MgSO_4.7H_2O$) a montré que les ions calcium augmentent l'absorption de l'eau tandis que les ions magnésium diminuent l'absorption hydrique. Ainsi, les teneurs ont passé de 0 à 1.3g/100g et de 0 à 1,34g/100g de la farine de blé respectivement pour le calcium et le magnésium (Sehn et al., 2015).

I.3.2.3. Les fortifiants en sodium et en potassium

Hong et al. (2002) ont montré l'efficacité d'alginate de sodium ($C_6H_7NaO_6$**)** dans la farine des nouilles composites d'orge et de blé pour favoriser l'interaction protéine-amidon et ainsi contribuer à une structure uniforme et compacte, ce qui améliorait les propriétés rhéologiques de la pâte et les propriétés de texture de cet aliment. L'enrichissement en potassium peut se faire par l'ajout de l'iodate de potassium (KIO_3) comme un composé fortifiant (Nyumuah et al., 2012) et celui de phosphores peut se faire par l'ajout de de phosphate de potassium (KH_2PO_4) comme fortifiant de la farine (Lara, 2021).

I.3.2.4. Les fortifiants en zinc

Les composés de zinc couramment utilisés dans les fortifications sont le sulfate, le gluconate, l'oxyde, le chlorure et le stéarate. Parmi ceux-ci, le sulfate de zinc et l'oxyde de zinc sont les meilleurs candidats pour les programmes d'enrichissement, en raison de leur coût relativement faible par rapport aux autres composés de zinc. En tant que composés blancs ou incolores, les fortifiants de zinc ont moins de chances de provoquer des changements physiques, bien qu'ils ne soient pas facilement solubles et puissent donner des goûts désagréables aux produits alimentaires (Ohanenye et al., 2021). L'oxyde de zinc est le moins cher des fortifiants de zinc

et, par conséquent, est le plus largement utilisé malgré sa solubilité réduite (Lopez et al., 2002 ; Dimkpa et al., 2019).

I.3.3. Fortification des farines par utilisation du matériel végétal

A côté des composés chimiques, le matériel végétal peut être utilisé. L'incorporation du soja, d'haricot blanc et d'arachides dans la farine de manioc pourrait être utilisée dans la fortification. Le choix de ce matériel végétal pourrait s'expliquer non seulement du fait de sa contribution en élément nutritif dans les formulations, mais aussi pour des raisons techniques surtout l'arachide (Anton et al., 2009 ; Huma et al., 2008). La fortification par l'utilisation des champignons comestibles est également possible comme l'ont montrée Tounkara et al. (2017).

I.3.4. Les exigences relatives aux niveaux de vitamines et de minéraux dans la farine de manioc fortifiée au Burundi

Le tableau 1 montre les exigences relatives aux niveaux de vitamines et de minéraux dans la farine de manioc fortifiée au Burundi tandis que le tableau 2 montre différents composés qui pourraient être utilisés dans la fortification de la farine de manioc en général.

Tableau 1 : Exigences relatives aux niveaux de vitamines et de minéraux dans la farine de manioc fortifiée au Burundi

Nutriment	**Compose du fortifiant**	**Niveau recommandé au niveau de l'usine (mg/kg)**	**Spécifications (mg/kg)**	
			Min	**Max**
Vitamine A	Vitamine A (R palmitate	1±0,4	0,6	1,4
Vitamine B1	Mononitrate de thiamine	6,5± 2,9	3,6	9,4
Vitamine B2	Riboflavine	4±1,8	2	5,8
Niacine	Niacinamide	30±13,4	14,9	43,4
Vitamine B6	Pyrodoxine	5±2,5	2	7,5
Acide folique	Acide folique	1,2±0,5	0,6	1,7
Vitamine B12	Vitamine B12	0,015±0,007	0,007	0,015
Zinc	Oxyde de zinc	49±16	33	65
Fer	Fer	31±10	21	41
	Sodium de fer EDT A	20±10	10	30

Source : Décret n° 100/68 du 18 Mars 2015 portant règlementation de la fortification des aliments au Burundi.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II. 1. Présentation du milieu d'étude

La province de Makamba est l'une des 18 provinces que compte le Burundi, elle se situe à 4 degré 13′ de latitude sud et $29^0$80′ de longitude Est. Elle est délimitée au nord-Est par la province de Rutana et au nord-Ouest par la province de Bururi et celle de Rumonge. Elle est frontalière à la Tanzanie, Région de Kigoma au Sud et Sud-Est et de la RDC à l'ouest. Elle couvre une superficie de 1960 km^2. Elle est territorialement découpée en 6 communes dont Kayogoro, Kibago ,Mabanda, Makamba, Nyanza-Lacet Vugizo.

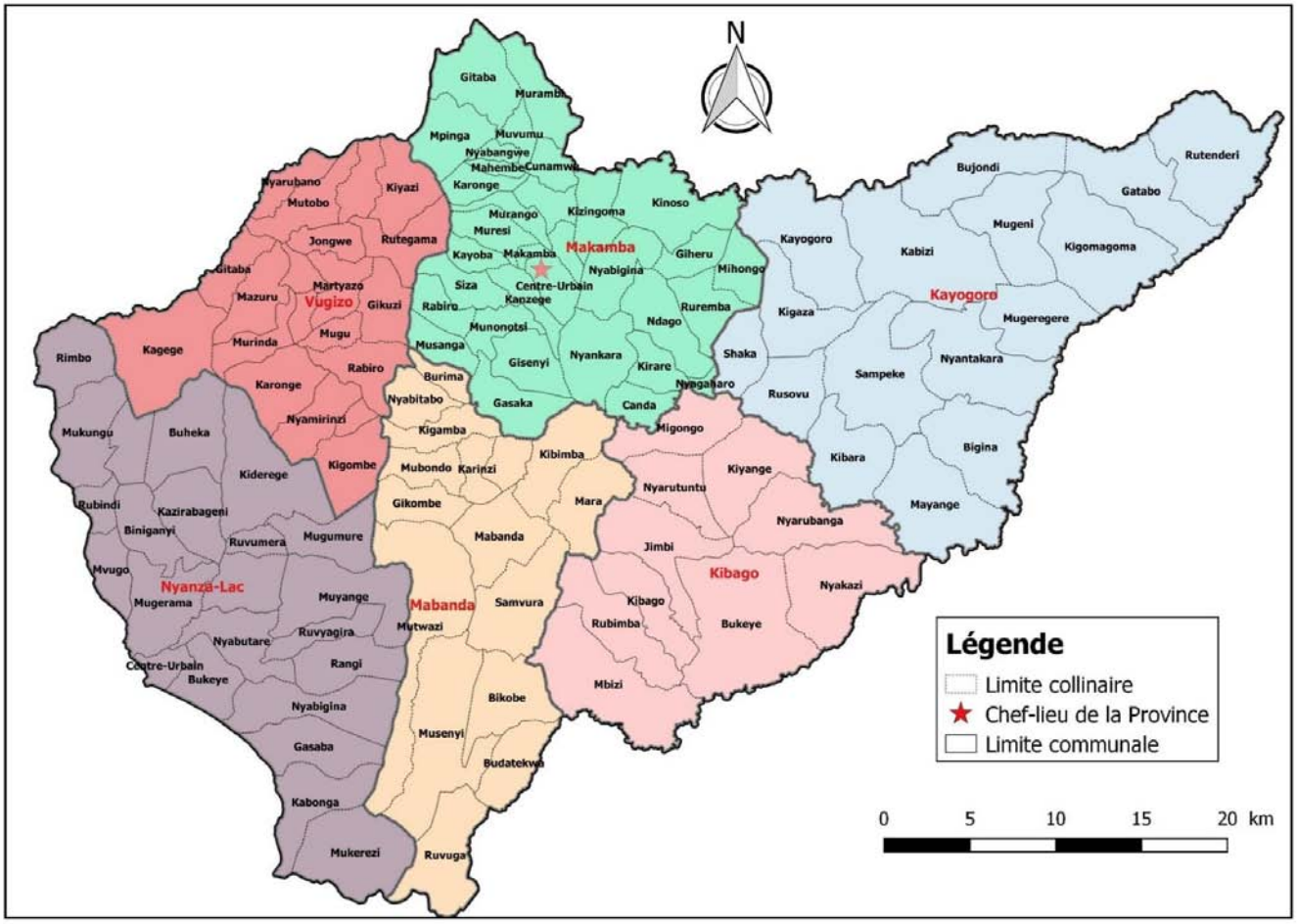


Figure 2 : Localisation géographique de la Province de Makamba

II.2. Population cible

L'enquête s'est déroulée sur toute l'étendue de la province de Makamba auprès des agriculteurs et consommateurs du manioc en vue de déterminer les statistiques de base sur la culture, la

transformation et la consommation du manioc par rapport aux autres denrées alimentaires de base.

II.3. Matériel

Le matériel utilisé a été constitué des fiches d'enquête, de matériels d'échantillonnage ainsi que le matériel de laboratoire dont les principaux constituants de ce dernier étaient:

- Broyeur mécanique
- Incubateur
- Le ballon Spectromètre d'Absorption Atomique
- Spectromètre d'Absorption Atomique
- HPLC
- pH-mètre
- Fioles jaugées
- Four
- Creuset
- Tamis Balance
- Erlenmeyers
- Appareil à distiller

II.4. Méthodes de collecte des données et des échantillons

II.4.1. Collecte des données

La partie expérimentale a commencé par une enquête qui a été conduite dans la province de Makamba. Un questionnaire d'enquête a été élaboré et a servi à collecter des données relatives aux informations ci-après :

- Les denrées alimentaires de base pour la province de Makamba ;
- Les principales raisons de cultiver le manioc à Makamba ;
- Les variétés de manioc cultivées à Makamba ;
- La variété la plus productive ;
- La méthode d'exploitation du manioc ;
- La fréquence de consommation des produits dérivés du manioc par jour et par semaine ;
- Les aliments d'accompagnement des produits dérivés du manioc ;
- Les modes de préparation du manioc ;
- La durée de préparation ;

- Les aliments d'accompagnement des produits à base du manioc ;
- Les produits dérivés du manioc les plus préférés et les raisons de préférence de ces derniers.

Pour avoir des échantillons représentatifs, toutes les communes de la province de Makamba ont subi l'enquête et parmi lesquelles trois collines par commune ont été tirées de façon aléatoire; étant donné que la province de Makamba a été choisie par la méthode non probabiliste. Elle est donc une province susceptible d'avoir une grande production et consommation des produits à base de manioc au Burundi. Au total, 1200 ménages ont été enquêtés du 06 au 10 Juillet 2021 en proportion de 200 ménages pour chaque commune suivant la formule d'Ardilly (2006) :

$\mathbf{n = \frac{C}{c}}$ avec n = la taille de l'échantillon

C = coût total alloué à l'étude

c = coût total attaché à l'enquêté

II.4.2. La collecte des échantillons

Les échantillons ont été collectés dans les communes susceptibles d'avoir une grande production et consommation d'Inyange. Cela a conduit à repérer les principales communes où la méthode de fermentation anaérobique est beaucoup pratiquée à travers toute la province de Makamba à savoir : Mabanda, Vugizo, Makamba parmi lesquelles trois collines ont été prises par commune dont Musenyi, Mara, Kayogoro, Murinda, Mazuru, Kagege, Canda, Gisenyi, Mihongo respectivement pour les communes Mabanda, Vugizo et Makamba. Ces échantillons ont été prélevés auprès des ménages producteurs et consommateurs du manioc qui pratiquent la fermentation anaérobique.

Après avoir collecté les échantillons, ces derniers ont été acheminés au laboratoire de microbiologie à la Faculté d'Agronomie et de Bio-ingénierie à Bujumbura où ils ont été conservés et subis un séchage pendant 3 jours. Après leur séchage, ils ont été acheminés au laboratoire d'analyse chimique du Centre National de Technologie Alimentaire (C N T A) et au laboratoire des sols et produits agro-alimentaires de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) en vue d'effectuer les analyses physico-chimiques.

II.5. Les méthodes d'analyses chimiques

II.5.1. Détermination de la teneur en acide cyanhydrique glucoside

La cyanure d'hydrogène a été déterminée selon la méthode décrite par la norme ISO 2164: 1975 (ISO 2164, 1975). La teneur en acide cyanhydrique glycosidique, a été exprimée en milligrammes sur 100 g d'échantillon et est égale à :

$$0{,}54\ (V_0\text{-}V_1)\ \times\ \frac{250}{100}\ \times\ \frac{100}{m} = 135\ \ (V_0\text{-}V_1)/m$$

Où :

m est la masse, en g, de la prise d'essai

V0 est le volume, en ml, de la solution de nitrate d'argent 0,1 N utilisée pour la détermination.

V1 est le volume, en ml, de la solution de nitrate d'argent 0,1 N utilisée pour l'essai à blanc.

II.5.2. Détermination de la teneur en eau

Selon par la méthode AOAC (2019), les échantillons ont été pesés (P0) à l'aide d'une balance de précision. Ils ont été séchés dans une étuve à 105ºc pendant 24 h et à la sortie de l'étuve les échantillons ont été refroidis dans un dessiccateur et pesés (PI) ; le pourcentage de a été déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{(P0-P1)\times 100}{P0}$$

II.5.3. Détermination de la teneur en aflatoxines

Les aflatoxines ont été déterminées selon la méthode AOAC (2019) comprenant les étapes d'extraction, de purification sur colonne d'immuno-affinité et de quantification à l'aide d'un étalonnage après analyse par Chromatographie Liquide Haute Performance (CLHP) muni d'un détecteur de fluorescence, d'une pompe à vide, d'un injecteur automatique, d'une colonne. La détection biologique des aflatoxines ont été détectées par l'inhibition de la croissance d'E. Coli C600 sur un substrat nutritif en inhibant la croissance d'E. Coli C600 sensible sur une gélose agar en suivant leur diffusion.

II.5.4. Détermination des teneurs en sucres totaux (TST) et teneurs en sucres réducteurs (TSR)

Les TST et TSR des échantillons ont été déterminées par la Méthode du réactif de Luff-Schoorl telle que décrite par Taufik et Guntarti (2016).Les résultats ont été exprimés en % de sucres totaux et réducteurs par 100g d'échantillon (% de TST /100g et % de TSR sucres réducteurs/100g).

II.5.5. Analyse de la teneur en protéines (TPr)

Les protéines ont été déterminées à partir du dosage de l'azote total, selon la méthode de Kjeldahl comme décrite par Obadina et al.(2006). Les résultats ont été obtenus en multipliant l'azote total par 6,25 (coefficient de conversion de l'azote en protéines) et ont été exprimés en % de protéines par 100g d'échantillon (% de protéinés/100g).

II.5.6. Détermination de la teneur en éléments minéraux

Les teneurs en éléments minéraux ont été déterminées selon la méthode officielle AOAC (2019). La méthode de digestion des échantillons par voie sèche a été d'usage où 10 g de prise d'essai de chaque échantillon et pour chaque élément ont été pesés, séchés, broyés et utilisés au cours des analyses. La teneur des éléments est obtenue par dosage au spectrophotomètre d'adsorption atomique (AAS). Les résultats ont été exprimés en mg pour 1000 g d'échantillons (mg/1000g).

II.6. Analyse des données

Les analyses statistiques des résultats obtenus ont été effectuées à l'aide de la statistique 20 d'IBM SPSS. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée, pour calculer les différences significatives au niveau des données au seuil $\alpha = 0,05$. L'ANOVA a été complétée par le test de comparaison multiple de Duncan, pour déceler les niveaux de différence et les résultats ont été exprimés sous forme de valeurs moyennes ± erreur standard (SE). Analyse de clustering hiérarchique (HCA) a été appliqué pour classer les collines selon la composition physico-chimique de leurs échantillons à l'aide du logiciel R.

CHAPITRE III: PRESENTATION ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

III.1. Présentation et discussions des résultats de l'enquête

III.1.1. Analyse de la fréquence de consommation journalière de la pâte du manioc

Comme le graphique 1 le montre, la majorité de la population de Makamba mange la pâte de manioc au moins une fois par jour c'est-à-dire 7 fois par semaine ; elle est toujours présente dans les plats des ménages enquêtés ; ce qui pourrait conduire à des situations de la malnutrition si le menu journalier n'est pas supplémenté par un apport protéinique et en minéraux suffisants. La fréquence de consommation journalière de la pâte du manioc pourrait avoir une liaison avec les résultats de l'Enquête Nationale sur la Situation Nutritionnelle et la Sécurité Alimentaire au Burundi de 2019 qui classait la province de Makamba parmi les provinces les plus touchés par la malnutrition aigüe globale (MAG) *(ISTEBU, 2019)*.

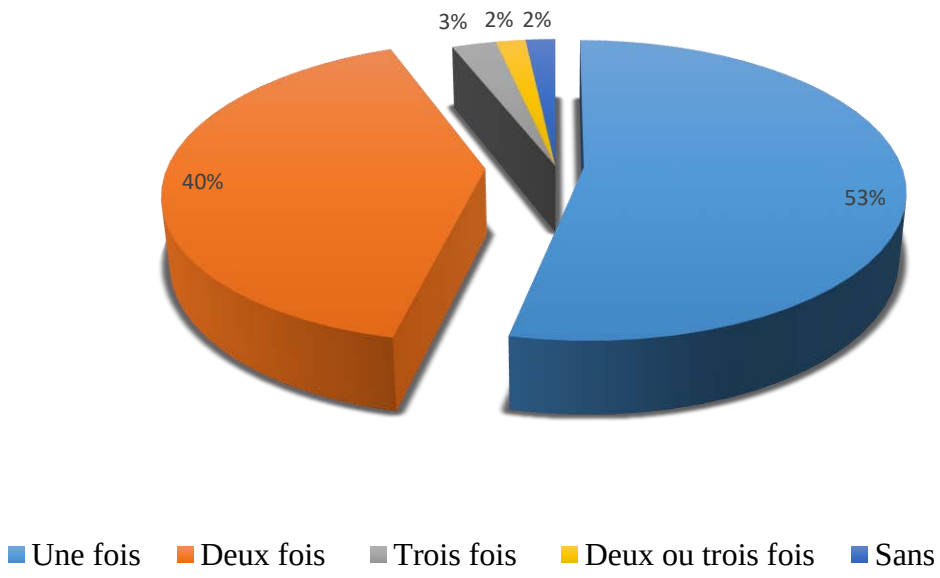


Figure 3 : Fréquence de consommation journalière de la pâte du manioc

III.1. 2. Analyse statistique de la consommation de la pâte de manioc dans la province de Makamba

Si on veut attribuer le même taux de consommation de la pâte de manioc à chaque commune de la Province de Makamba, chacune aurait un taux s'élevant à 96,66%. La valeur de la médiane est de 97,5%, elle se situe dans l'intervalle de confiance (95%) de la moyenne, cela signifie que la majorité des communes de la Province de Makamba, ont un taux de consommation de la pâte

de manioc qui gravite autour de la moyenne. Donc la médiane et la moyenne sont statistiquement équivalentes. D'une commune à une autre la différence moyenne du taux de consommation de la pâte de manioc est de 4,08% (écart type). De ce qui précède, on peut constater que la pâte de manioc est un aliment de base dans la province de Makamba. Les résultats ci-haut vérifient des données littéraires qui stipulent que le manioc constitue une denrée de première nécessité dans les zones tropicales et subtropicales et en particulier en Afrique où la population l'utilise comme aliment de base (Philippe et al., 2018).

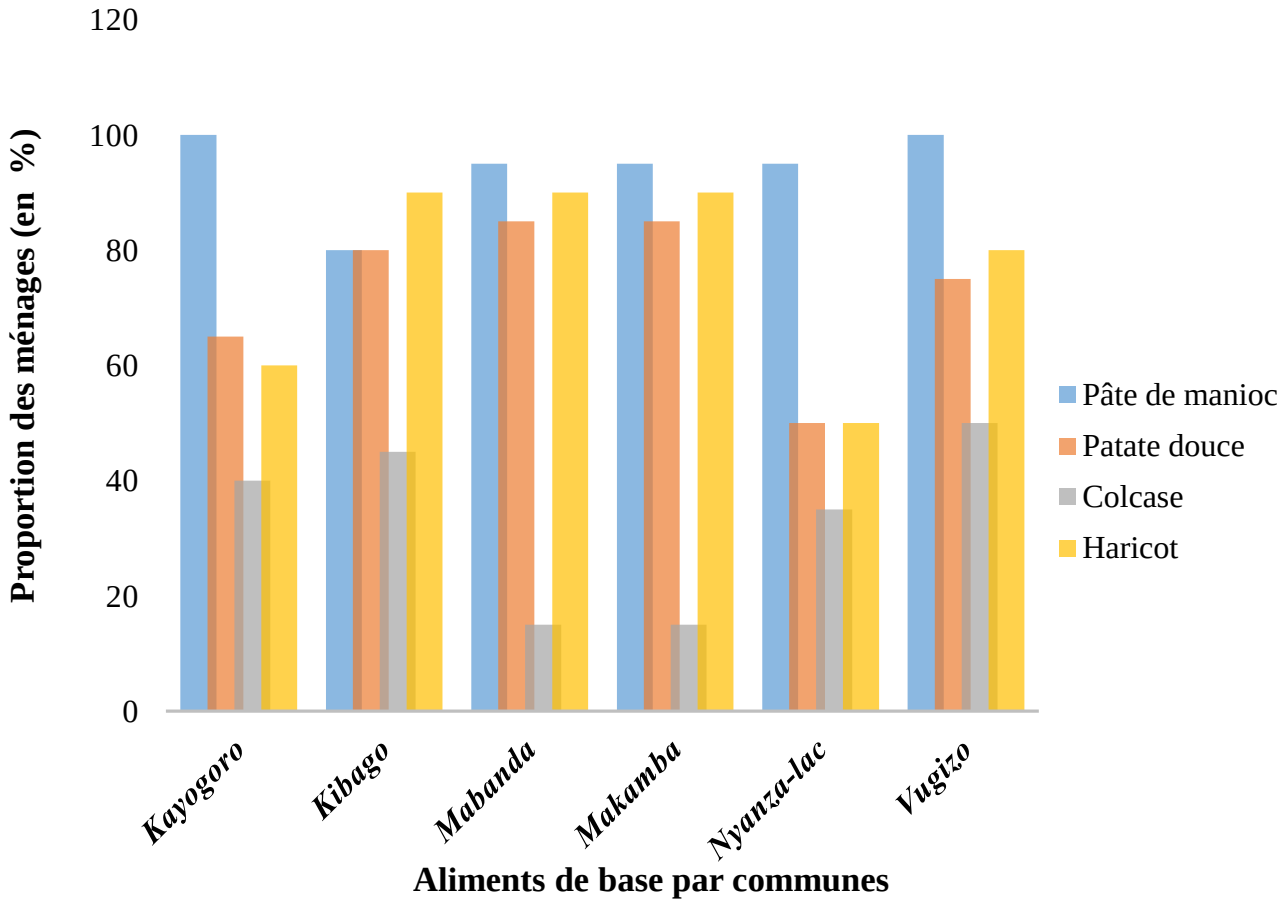


Figure 4: Taux de consommation de la pâte de manioc dans la province de Makamba

III.1.3. Analyse de la fréquence de préparation du manioc par la méthode de fermentation anaérobique

Concernant la préparation d'Inyange, les résultats ont montré que 79,16% des enquêtés utilisent la fermentation anaérobique comme méthode de détoxification du manioc. Ce qui montre que ce type de fermentation est beaucoup plus pratiqué par rapport aux autres méthodes de

détoxication sous l'influence des principales raisons telles que: les habitudes alimentaires, la composition nutritionnelle, la facilité de préparation et son coût bon marché.

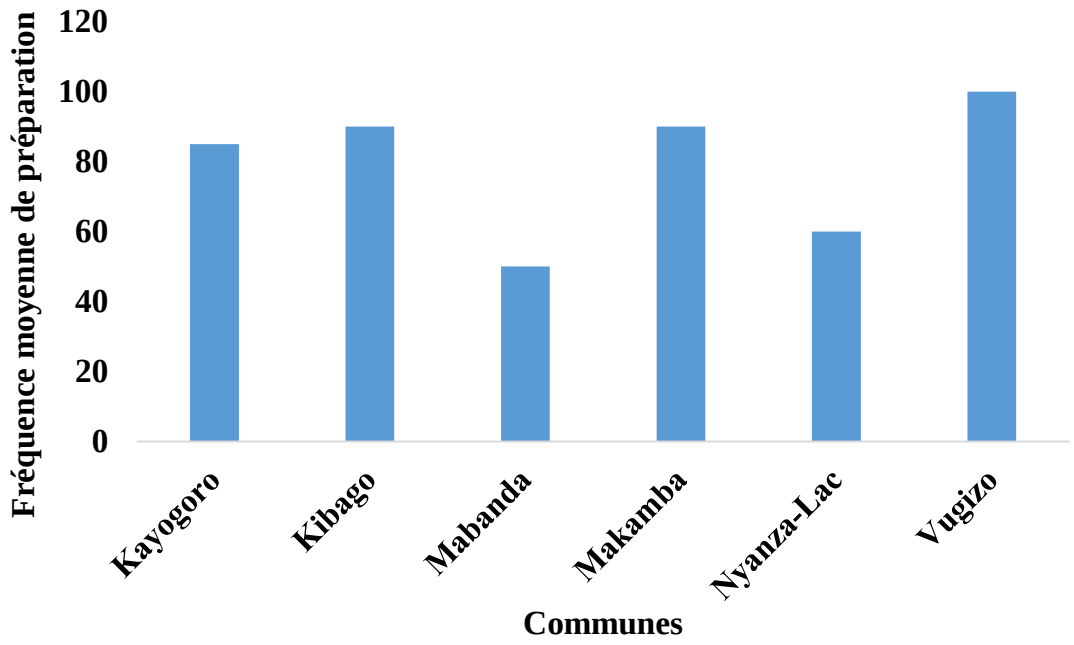


Figure 5: Taux moyen de détoxification du manioc par fermentation anaérobique

III.2. Résultats et discussions d'analyses physico-chimiques

III.2.1.Analyse de la composition physicochimique d'Inyange produit dans la province de Makamba

Les résultats d'analyses de la composition physico-chimique d'Inyange sont présentés dans le tableau 2. La fermentation des racines de manioc dans Inyange a entraîné une diminution significative des teneurs en cyanure d'hydrogène, en eau, en protéines, en zinc, en sodium, en magnésium, tandis que les teneurs en fer, en calcium, en potassium, en phosphore, en manganèse, ont augmenté d'une manière significative. Les résultats ont aussi montré des différences significatives ($P < 0,05$) entre les groupes d'échantillons de manioc et ces variations pourraient s'expliquer par le fait que la durée de fermentation et celle de séchage ne sont pas les même et qui variaient selon les ménages et selon les lieux. Les variations entre les échantillons pourraient également s'expliquer par le fait que les échantillons provenaient des communes de régions naturelles différentes. Ces résultats corroborent les conclusions d'études qui stipulent que la composition chimique du manioc varie avec de nombreux facteurs tels que : son milieu de culture, son procédé de préparation mais également son âge, ses pratiques culturales, le climat Okezie & Kosikowski (1983); Temegne et al.(2016); Philippe et al., (2018).

III.2.1.1. Teneurs en eau

Au niveau des teneurs en eau, les teneurs moyennes différaient d'une commune à une autre et cette différence était significative ($p < 0,05$). La teneur moyenne la plus élevée s'est observée dans les échantillons en provenance de la commune de Vugizo (8,91±0,62%) tandis que celle la moins élevée a été observée dans les échantillons en provenance de la commune de Mabanda (6,49±0,15%). Cette variation de la teneur en eau d'une commune à une autre serait due à la durée de séchage du manioc après la fermentation qui peut varier selon les ménages. Le séchage permet de stabiliser le produit fini en réduisant considérablement sa teneur en eau, critère essentiel pour son stockage et sa conservation dans des conditions contrôlées jusqu'à sa commercialisation et sa consommation ultérieures (Philippe et al., 2018; Padmaja, 1995; Balagopalan et al., 2018). Nos résultats sont supérieurs à celles enregistrées par Charles et al. (2004) mais inférieures aux résultats enregistrés par (Muzanila et al., 2000) ; ce pourrait s'expliquer par des différences au niveau de la durée de séchage après la fermentation.

III.2.1.2. Teneurs en acide cyanhydrique

Les teneurs moyennes en acide cyanhydrique des échantillons variaient de 1,24± 0,06 à 1,51±0,03 mg/kg. Les résultats ont montré que les échantillons en provenance de Mabanda (1,35±0,22 mg/kg) et de Vugizo (1,51±0,03mg/kg) différaient significativement ($P<0,05$). Néanmoins, les teneurs moyennes des échantillons en provenance des communes de Mabanda et de Makamba ne différaient pas significativement ($P<0,05$). Cette variation de la teneur en acide cyanhydrique pourrait s'expliquer par la durée de fermentation et la durée de séchage après la fermentation qui peuvent varier selon les ménages. Elle s'expliquerait également par le fait que les échantillons analysés ne provenaient pas du manioc ayant le même taux de composés cyanogéniques. Des résultats nettement supérieurs (15,4 ± 0,91 mg/kg et 87,3 ± 2,51 mg/kg r) ont été enregistrés dans l'Inyange et dans le manioc frais par Nzigamasabo & Zhou (2006b). Par ailleurs, ces résultats étaient en dessous du niveau de sécurité recommandé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et celui du Codex Alimentarius stipulant que la limite de sécurité pour les cyanogènes dans le manioc ne doit pas dépasser 10 mg d'équivalents de cyanure par kilogramme de poids sec (Rosling , 1994). Cela montre le degré de l'efficacité de la fermentation du manioc et la consommation d'Inyange sans danger du cyanure.

III.2.1.3. Teneurs en aflatoxines

Les résultats ont montré que tous les échantillons ne contenaient pas d'aflatoxines. D'après ces résultats, on peut affirmer que les moisissures responsables de la fermentation sèche (anaérobique) du manioc ne produisent pas des aflatoxines. Néanmoins, les résultats trouvés étaient différents de ceux trouvés par (Yandju et al., 1995). Ainsi, les résultats de cette étude montrent l'utilisation et la consommation du manioc fermenté par voie sèche (Inyange) sans danger d'aflatoxines. Nonobstant, des facteurs comme le climat, une mauvaise conservation et un mauvais stockage du manioc fermenté offrent de meilleures conditions au développement et à la prolifération de certaines moisissures responsables des aflatoxines (Joachim et al., 2020). C'est pourquoi la conservation du manioc fermenté doit tenir compte des facteurs qui pourraient permettre une multiplication facile et rapide des moisissures.

III.2.1.4. Teneurs en protéines

Le test de comparaison a montré que les échantillons analysés différaient significativement ($P < 0,05$) au niveau des teneurs moyennes en protéines et ces dernières variaient de 1,48±0,12 à 2,9±0,1%. La teneur la plus élevée s'est observée dans les échantillons en provenance de la commune de Vugizo (2,94±0,15%) et celle la moins élevée a été observée dans échantillons en provenance de la commune de Makamba (1,48±0,12%). Des teneurs similaires ont été également enregistrées par des auteurs comme Charles et al.(2004); Muzanila et al.(2000) et Kawano et al.(1987). Toutefois, des teneurs supérieures (4,91±0,2) dans l'Inyange ont été enregistrées par Nzigamasabo & Zhou (2006b). La racine de manioc fraiche a une composition en protéines (4,33± 0,46) inférieure à celle d'Inyange; ce qui montre que la fermentation a un impact sur la teneur en protéines de ce dernier. Cette augmentation de la teneur en protéines par rapport au manioc frais serait due à la croissance des moisissures lors de la fermentation du manioc (Philippeet al., 2018). Les valeurs trouvées sont inférieures aux besoins quotidiens. Inyange n'est pas donc une bonne source de protéines; d'où la nécessité de l'enrichir.

III.2.1.5. Teneurs sucres totaux

Les teneurs moyennes en sucres totaux des échantillons ont montré des différences considérables ($P < 0,05$) pour les échantillons de toutes les communes et elles variaient de 4,54±0,15 à 6,09±0,24%. La teneur moyenne la plus élevée s'est observée dans les échantillons en provenance de la commune de Mabanda (6,09±0,24%) et celle la moins élevée a été observée dans échantillons en provenance de la commune de Vugizo (4,54±0,15%). Cette variation pourrait s'expliquer par le fait que les échantillons analysés provenaient des lieux

différents mais également à des différentes durées de fermentations qui varient selon les ménages. Odunfa et al. (1989) ont enregistrés des résultats supérieurs à ces derniers. La diminution de la concentration totale en sucres observée peut être due à la conversion des sucres en acides organiques ou peut être le résultat des microorganismes de fermentation ou d'une hydrolyse. Les résultats montrent qu'Inyange a une faible teneur en sucres totaux. Les sucres contenus dans les tubercules de manioc frais comprennent l'ose de malt, le saccharose, le glucose et le fructose (Charles et al., 2005); Onyenwoke & Simonyan, 2014)

III.2.1.6. Teneurs en sucres réducteurs

Au niveau des teneurs moyennes en sucres réducteurs, les échantillons ont montré des différences considérables ($P<0,05$) pour les échantillons de manioc de la commune de Mabanda avec ceux des communes de Vugizo et Makamba. Par contre, Il n'y a pas de différences considérables ($P<0,05$) pour les échantillons en provenance de la commune de Vugizo et ceux de Makamba. Les teneurs variaient de 2,62±0,11% à 3,82±0,14%. La teneur la plus élevée en sucres réducteurs s'est observée dans les échantillons en provenance de la commune de Mabanda (3,82±0,14%) tandis que la teneur la moins élevée a été observée dans les échantillons en provenance de la commune de Makamba. Des résultats similaires ont été enregistrés par Nzigamasabo & Zhou (2006b) dans le manioc frais. Toutefois, tous les échantillons présentaient des teneurs en sucres réducteurs plus élevées que celles (0,019%) rapportées par des auteurs : Gómez et al. (1985); Zvauya & Muzondo, (1995) pour le manioc frais et ceux enregistrés (0,034 ± 0,0) par Nzigamasabo & Zhou (2006b) dans Inyange. Des teneurs nettement plus élevées (6,16 à 6,94%) ont été enregistrées par Muzanila et al. (2000). La production de sucre serait le résultat de la dégradation de l'amidon comme l'ont montrée Odunfa et al.(1989). En outre, la réduction de la consommation d'aliments sucrés est conseillée dans le monde entier dans le cadre de régimes alimentaires plus sains pour aider à réduire le risque d'obésité et les troubles liés à l'obésité et l'OMS recommande qu'il faudrait limiter la quantité de sucres libres dans l'alimentation à 10 % de la quantité totale de calories (Stanner & Spiro, 2020); ce qui montre que Inyange pourrait participer à la prévention des maladies telles que le diabète.

III.2.1.7. Teneurs en fer

Les teneurs moyennes en fer variaient de 332,80±4,57 à 392,33±3,09 mg/kg avec des différences significatives ($p< 0,05$) entre les échantillons dans toutes les communes. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans la commune de Mabanda tandis que celles les plus basses ont été trouvées dans la commune de Makamba. Elles étaient 392,33±3,09 mg/kg;

363,72±4,87 mg/kg et 332,80±4,57 mg/kg respectivement pour les communes de Mabanda, Vugizo et Makamba. Des résultats similaires ont été enregistrés par Charles et al.(2005) mais ils étaient inférieurs aux résultats enregistrés par Hawashi et al. (2020) et nettement plus élevés à ceux enregistrés dans l'Inyange (30,2 ± 1,3 mg/kg) et dans le manioc frais (14,8 ± 0,11 mg/kg) par Nzigamasabo & Zhou (2006b) mais aussi à ceux de Bradbury (2006); Montagnac et al. (2009). La fermentation des racines de manioc dans Inyange entraîne une augmentation significative du fer. Sachant que l'apport en fer recommandé varie de 14,8 à 30 mg/jour (Milman, 2020); Inyange est une bonne source de fer et peut contribuer au bien-être des consommateurs pour couvrir les besoins en fer.

III.2.1.8. Teneurs en calcium

Au niveau des teneurs moyennes en calcium, les résultats ont montré des différences significatives (P<0,05) entre les échantillons et les teneurs en calcium variaient de 462±8,42 à 740±4,63mg/kg. Cependant, les échantillons présentaient des teneurs en calcium plus élevées que celles qui ont été enregistrées (170 ± 0,07 mg/kg) par Nzigamasabo & Zhou (2006b) et celles de Charles et al.(2005) ; Hawashi et al. (2020). Ces résultats sont également supérieurs ceux enregistrés dans le manioc frais (240 ± 0,01 mg/kg) par Charles et al.(2004) et Nzigamasabo & Zhou (2006b) et cela montre que la teneur en calcium augmente significativement au cours de la fermentation, d'où son impact positif sur la teneur en calcium. Néanmoins, les valeurs enregistrées sont inférieures aux besoins quotidiens car l'apport quotidien recommandé (340 à 1200 mg/j et 900mg/j respectivement pour les enfants et les adultes) et un faible apport peut compromettre les os (CSS, 2009). On remarque bien que la consommation d'Inyange ne pourrait pas être recommandée chez les personnes souffrant d'hypocalcémie. Le calcium est un élément essentiel dans de nombreuses fonctions vitales de l'organisme (coagulation du sang, maintien de la pression artérielle, la construction et le maintien des os et des dents, cofacteur dans le processus enzymatique) (De Luca, 2019 ; Dansou et al., 2000; Power et al., 1999; Huffman et al., 1998). Une fortification d'Inyange en calcium est donc de besoin pour ses consommateurs.

III.2.1.9. Teneurs en magnésium

Les teneurs en magnésium entre les échantillons variaient significativement (p < 0,05) et elles variaient de 302,46±3,20 à 455,20±5,38 mg/kg. Les moyennes de la teneur en magnésium étaient de 302,46±3,20mg ; 455,20±5,38 mg et 401,84±6,91 mg respectivement pour les communes de Mabanda, Vugizo et Makamba. Des résultats similaires ont été enregistrés par

Charles et al.(2005); Hawashi et al.(2020) mais également similaires à ceux trouvés par Nzigamasabo & Zhou (2006b) dans l'Inyange (410 ± 0,01 mg/kg). Toutefois, Ils étaient plus élevés que ceux de Salvador et al.(2014), Hawashi et al.(2020) dans les tubercules de manioc frais. Des valeurs supérieures (670 ± 0,03 mg/kg) ont été à enregistrées par Nzigamasabo & Zhou (2006b) dans le manioc frais; ce qui serait due à l'influence de la durée de fermentation du manioc. Ainsi, les valeurs enregistrées sont inférieures aux apports recommandés car celui recommandé pour le magnésium est de 80 à 410 mg/j pour enfant et 420 à 460 mg/j pour adulte (Szekely ,2009; CSS, 2009); il faut cependant fortifier Inyange en magnésium.

III.2.1.10. Teneurs en potassium

Au niveau des teneurs en potassium, les résultats ont montré que les échantillons différaient significativement ($P<0,05$) et les teneurs moyennes variaient de 6819,36±6,80 à 8879,86±9,53 mg/kg. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans la commune de Makamba tandis que celles les plus basses ont été trouvées dans la commune de Vugizo. De tels résultats similaires (8600±0,1 mg/kg) ont été enregistrées par Nzigamasabo & Zhou (2006b) alors que des valeurs plus élevées ont été enregistrées par Charles et al.(2005). Les valeurs trouvés montrent qu'il y a une augmentation de la teneur en potassium car elles sont supérieures que celles enregistrées dans le manioc frais par des auteurs comme : Salvador et al. (2014); Hawashi et al. (2020) et Nzigamasabo & Zhou (2006b). L'apport quotidien recommandé pour le potassium est de 800 à 5000 mg/j pour enfant et 3000 à 4000 mg/j pour adulte (Szekely, 2009; CSS, 2009); Inyange constitue donc une bonne source de potassium.

III.2.1.11. Teneurs en sodium

Les valeurs des teneurs moyennes en sodium variaient de 622,70±3,87 à 709,64±7,08 mg/kg, avec des différences significatives ($p < 0,05$) entre en provenance de la commune de Mabanda (622,70±3,87 mg/kg) et de Vugizo (709,64±7,08 mg/kg). Cependant, les échantillons en provenance des communes de Mabanda et de Makamba (691,17±48,19 mg/kg) ne différaient pas d'une manière significative. Toutefois, ils sont inférieurs à ceux du manioc frais (800 mg/kg) enregistrés par Nzigamasabo & Zhou (2006b); ce qui montre donc qu'il y a une diminution de la teneur en sodium. Ainsi, les résultats de ce travail sont nettement plus élevées que celles enregistrées par Charles et al. (2005),Hawashi et al. (2020) dans le manioc fermenté et Nzigamasabo & Zhou (2006b) dans l'Inyange (400 ± 0,0). La moyenne recommandée par l'OMS pour l'apport en sodium pour un adulte est de 2000 mg/jour (Mente et al., 2018) et elle est supérieure aux valeurs trouvées; d'où Inyange nécessite une fortification en sodium.

III.2.1.12. Teneurs en phosphore

Au niveau des teneurs moyennes, les résultats ont montré des différences significatives (P<0,05) entre les échantillons et les teneurs moyennes variaient de 332±5,56 à 527±9,13 mg/kg. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans la commune de Mabanda tandis que celles les plus basses ont été trouvées dans la commune de Vugizo. Des valeurs inférieures ont été rapportées dans le manioc frais par Montagnac et al. (2009) mais supérieures à celles enregistrées par Charles et al. (2005). Cela montre une augmentation significative de la teneur en phosphore après le traitement du manioc par la fermentation anaérobique. les teneurs enregistrées ne parviendraient pas à couvrir les apports journaliers en phosphore car les apports nutritionnels conseillés en phosphore sont de 800 mg/j (Potier et al., 2003).

III.2.1.13. Teneurs en manganèse

Les résultats au niveau des teneurs moyennes variaient de 1,41±0,17 à 11,10±0,63 mg/kg et les moyennes présentaient des différences significatives (P<0,05) entre les échantillons. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans la commune de Mabanda tandis que celles les plus basses ont été trouvées dans la commune de Makamba. Ces résultats sont supérieurs à ceux enregistrés par Santelli et al.(2006). Au cours de la fermentation anaérobique la teneur en manganèse a considérablement augmenté car les valeurs de Salvador et al.(2014) qui ont montré que dans 100 g de la racine de manioc fraiche traité contient 3,384 mg de manganèse. L'apport moyen de Manganèse est compris entre 2 et 9 mg/jour pour une personne de 70 kg en moyenne (Bjørklund et al., 2017; Aschner, 2000); Inyange est donc une bonne source de manganèse.

III.2.1.14. Teneurs en cuivre

Les résultats ont montré que les échantillons différaient significativement (P<0,05) et les teneurs moyennes des échantillons variaient de 1,04±0,03 à 1,26±0,07 mg/kg. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans la commune de Mabanda tandis que celles les plus basses ont été trouvées dans la commune de Vugizo. Des valeurs similaires ont été enregistrées par Salvador et al. (2014) et Montagnac et al. (2009). Cela montre que la fermentation anaérobique n'affecte pas significativement la teneur du manioc en cuivre. Inyange ne pourra donc pas constitue une bonne source de cuivre car l'apport alimentaire recommandé est de 1,5 à 3,0 mg par jour pour les adultes (Pettersson & Rasmussen, 1999); d'où sa fortification en cuivre.

III.2.1.15. Teneurs en zinc

Les résultats ont montré qu'il y avait de différences significatives au niveau des teneurs moyennes en zinc (P<0,05) et elles variaient de 1,38±0,13 à 7,25±0,33 mg/kg. Des valeurs similaires ont été enregistrées par Salvador et al.(2014) et Montagnac et al.(2009). Par contre, Hawashi et al.(2020) ont enregistré des résultats plus élevés que ceux de cette étude. Inyange n'est pas donc une bonne source de zinc pour couvrir les besoins nutritionnels car les besoins journaliers d'une femme enceinte sont estimés à 14 mg, soit une augmentation de 4 mg par rapport aux besoins normaux d'une femme adulte (Costello & Osrin, 2003) et 1,6 à 3,6 mg/j pour les enfants et 4 à 5 mg/j pour les adultes (Ekissi et al., 2020).

Tableau 2 : Résultats d'Analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des communes de la province de Makamba

Paramètres	**Communes**		
	Mabanda	**Vugizo**	**Makamba**
L'eau (%)	6,49 ±0,15^{b}	8,91±0,62^{a}	8,59±0,17^{a}
HCN (mg/kg)	1,35±0,22^{b}	1,51±0,03^{a}	1,24±0,06^{b}
Protéines (%)	2,15±0,11^{b}	2,94±0,15^{a}	1,48±0,12^{c}
Sucres totaux (%)	6,09±0,24^{a}	4,54±0,15^{c}	5,53±0,28^{b}
Sucres réducteurs (%)	3,82±0,14^{a}	2,67±0,05^{b}	2,62±0,1^{b}
Fer (mg/kg)	392,33±3,09^{a}	363,72±4,87^{b}	332,80±4,57^{c}
Calcium (mg/kg)	740±4,63^{a}	462±8,42^{c}	673±8,20^{b}
Magnésium (mg/kg)	302,46±3,20^{c}	455,20±5,38^{a}	401,84±6,91^{b}
Sodium (mg/kg)	622,70±3,87^{b}	709,64±7,08^{a}	691,17±48,19^{a}
Potassium (mg/kg)	7458,24±8,31^{b}	6819,36±6,80^{c}	8879,86±9,53^{a}
Phosphore	527±9,13^{a}	332±5,56^{c}	502±7,92^{b}
Manganèse (mg/kg)	11,10±0,63^{a}	3,98±0,40^{b}	1,41±0,17^{c}
Cuivre (mg/kg)	1,26±0,0^{a}	1,04±0,03^{c}	1,19±0,07^{b}
Zinc (mg/kg)	7,25±0,33^{a}	1,38±0,13^{c}	4,08±0,31^{b}

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions avec Ecart types (moyenne ± E.T). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05). Les moyennes dans la même ligne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement.

III.2.2. Analyse de la composition physicochimique d'Inyange produit dans la commune de Mabanda

Les résultats de la composition nutritionnelle d'Inyange dans les collines Musenyi, Mara et Kayogoro sont présentés dans les tableaux 3. Les résultats d'analyse de la composition en macronutriments d'Inyange produit au niveau des collines de la commune de Mabanda ont montré que les moyennes ne différaient pas significativement (P < 0,05). Pour les éléments minéraux, les résultats ont montré que les moyennes ne différaient pas significativement (P < 0,05) à l'exception du potassium, calcium et phosphore pour les collines Musenyi, Mara et Kayogoro où les moyennes étaient significativement différentes.

Tableau 3 : Résultats d'analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des collines de la commune de Mabanda

Paramètres	**Collines**		
	Musenyi	**Mara**	**Kayogoro**
L'eau (%)	6,48 ±0,09^{a}	6,48±0,04^{a}	6,50±0,30^{a}
HCN (mg/kg)	1,35±0,03^{a}	1,50±0,20^{a}	1,20±0,20^{a}
Protéines (%)	2,15±0,15^{a}	2,19±0,12^{a}	1,10±0,01^{a}
Sucres totaux (%)	6,09±0,08^{a}	6,22±0,26^{a}	5,95±0,06^{a}
Sucres réducteurs (%)	3,81±0,02^{a}	3,93±0,07^{a}	3,70±0,20^{a}
Fer (mg/kg)	392,33±2,01^{a}	394,46±2,63^{a}	390,20±3,98^{a}
Calcium (mg/kg)	740,00±2^{ab}	744,00±4,49^{a}	736,00±3^{b}
Magnésium (mg/kg)	302,46±2,26^{a}	304,45±3,51^{a}	300,46±2,24^{a}
Sodium (mg/kg)	622,70±2,26^{a}	624,90±4,43^{a}	620,50±0,40^{a}
Potassium(mg/kg)	7458,24±8,02^{ab}	7466,24±8,68^{a}	7450,24±2,06^{b}
Phosphore	527,00±8^{ab}	535,00±7,93^{a}	519,00±9^{b}
Manganèse (mg/kg)	11,10±0,80^{a}	11,40±0,57^{a}	10,80±0,80^{a}
Cuivre (mg/kg)	1,26±0,03^{a}	1,31±0,07^{a}	1,21±0,03^{a}
Zinc (mg/kg)	7,25±0,06^{a}	7,51±0,19^{a}	6,98±0,47^{a}

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions avec Ecart type (moyenne ± E.T). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05). Les moyennes dans la même ligne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement (à P< 0,05).

III.2.2. Analyse de la composition nutritionnelle d'Inyange produit dans la commune de Vugizo

Les résultats de la composition physicochimique d'Inyange produit au niveau des collines Murinda, Mazuru et Kagege de la commune Vugizo sont présentés dans le tableau 4. Les résultats d'analyse de la composition en macronutriments ont montré que les moyennes ne différaient pas significativement (P < 0,05) à l'exception de la teneur en eau, sucres réducteurs, et phosphore pour les collines de Murinda, Mazuru et Kagege. Quant aux éléments minéraux, les résultats ont montré que les moyennes ne différaient pas significativement (P < 0,05) à l'exception du magnésium, sodium, potassium, cuivre et phosphore pour les collines Murinda, Mazuru et Kagege où les moyennes différaient d'une manière significative.

Tableau 4 : Résultats d'analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des collines de la commune de Vugizo

Paramètres	**Collines**		
	Murinda	**Mazuru**	**Kagege**
L'eau (%)	8,91±0,05^{b}	9,62±0,01^{a}	8,20±0,17^{c}
HCN (mg/kg)	1,51±0,02^{a}	1,54±0,03^{a}	1,48±0,03^{a}
Protéines (%)	2,94±0,04^{a}	2,98±0,04^{a}	2,90±0,24^{a}
Sucres totaux (%)	4,54±0,04^{a}	4,58±0,04^{a}	4,50±0,24^{a}
Sucres réducteurs (%)	2,67±0,05^{ab}	2,62±0,02^{a}	2,72±0,00^{a}
Fer (mg/kg)	363,72±3,38^{a}	367,24±5,55^{a}	360,20±0,16^{a}
Calcium (mg/kg)	462,00±2^{a}	466,00±11,43^{a}	458,00±4,89^{a}
Magnésium (mg/kg)	455,20±5^{ab}	460,20±1,46^{a}	450,20±2,93^{b}
Sodium (mg/kg)	709,64±3,44^{ab}	716,88±3,60^{a}	702,40±2,87^{b}
Potassium(mg/kg)	6819,36±4,56^{ab}	6826,31±3,21^{a}	6812,39±1,56^{b}
Phosphore	332,00±2^{ab}	337,00±4,89^{a}	327,00±2,44^{b}
Manganèse (mg/kg)	3,98±0,07^{a}	4,06±0,02^{a}	3,90±0,65^{a}
Cuivre (mg/kg)	1,04±0,02^{ab}	1,07±0,04^{a}	1,01±0,00^{b}
Zinc (mg/kg)	1,38±0,05^{a}	1,46±0,03^{a}	1,30±0,13^{a}

Les résultats sont les moyennes de trois répétitions avec Ecart type (moyennes ± E.T). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05). Les moyennes dans la même ligne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement (P< 0,05).

III.2.3. Analyse de la composition nutritionnelle d'Inyange produit dans la commune de Makamba

Les résultats de la composition physicochimique au niveau des collines Canda, Gisenyi et Mihongo de la commune Makamba sont présentés dans le tableau 5. Les résultats d'analyse de la composition en macronutriments ont montré que les moyennes ne différaient pas significativement (P < 0,05). Quant aux éléments minéraux, les résultats ont montré que les moyennes ne différaient pas significativement à l'exception sodium, potassium, calcium, cuivre et Manganèse où les moyennes différaient d'une manière significative.

Tableau 5 : Résultats d'analyse de la composition physico-chimique d'Inyange en fonction des collines de la commune de Makamba

Paramètres	**Collines**		
	Canda	**Gisenyi**	**Mihongo**
L'eau (%)	8,59±0,09^{a}	8,68±0,06^{a}	8,50±0,40^{a}
HCN (mg/kg)	1,24±0,03^{a}	1,28±0,06^{a}	1,20±0,10
Protéines (%)	1,48±0,06^{a}	1,56±0,06^{a}	1,40±0,20^{a}
Sucres totaux (%)	5,53±0,21^{a}	5,55±0,64^{a}	5,50±0,30^{a}
Sucres réducteurs (%)	2,62±0,04^{a}	2,64±0,11^{a}	2,60±0,20^{a}
Fer (mg/kg)	363,72±4,76^{a}	367,24±4,78^{a}	360,20±4,36^{a}
Calcium (mg/kg)	462,00±1,33^{a}	466,00±5^{a}	458,00±4^{a}
Magnésium (mg/kg)	401,84±1,80^{a}	405,08±3,02^{a}	398,60±12,14^{a}
Sodium (mg/kg)	691,17±96,33^{a}	692,03±1,78^{a}	690,29±2,26^{b}
Potassium(mg/kg)	8879,86±4,30^{ab}	8889,12±6,70^{a}	8870,60±6,54^{b}
Phosphore	502,00±4^{a}	507,00±4^{a}	497,00±12^{a}
Manganèse (mg/kg)	11,10±0,05^{a}	11,40±0,03^{a}	1,21±0,03^{c}
Cuivre (mg/kg)	1,04±0,03^{ab}	1,07±0,06^{a}	1,30±0,04^{a}
Zinc (mg/kg)	1,41±0,07^{b}	1,61±0,05^{a}	1,21±0,03^{c}

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions avec Ecart type (moyenne ± E.T). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$). Les moyennes dans la même ligne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement ($P< 0,05$).

III.3. Comparaison des collines au niveau de la composition physico-chimique par classification de la composante principale (ACP)

Comme la figure le montre, d'âpres l'analyse par arbre hiérarchique ascendant construit avec la distance « euclidean » et le critère de « ward », on a obtenu un dendrogramme de quatre groupes.

Le premier groupe est un singleton (colline de Mara). Cette colline se présente comme une exception par rapport aux autres collines parce que les échantillons qui y provenaient avaient des valeurs plus élevées que ceux d'autres collines; tels que: la teneur en sucres totaux (6,22±0,26 %), la teneur en fer (394,46±2,63 mg/kg), la teneur en phosphore (535,00±7,93 mg/kg) et la teneur en Zinc (7,5±0,1 mg/kg), tandis que les teneurs les plus faibles en magnésium (304,45±3,51 mg/kg) et en sodium (624,90±4,43 mg/kg) ont été trouvé également sur cette colline surtout par rapport aux troisième et quatrième groupes. Ils forment donc un groupe homogène.

Le deuxième groupe est formé par les collines de Kayogoro et Musenyi. Les échantillons en provenance des collines de Kayogoro et Musenyi ont une composition physico-chimique très similaires ; d'où ces ils forment un deuxième groupe homogène.

Le troisième groupe est formé par les collines de Mihongo, Gisenyi et Canda. Les échantillons en provenance des collines de Gisenyi et Canda ont une composition physico-chimique très proche tandis que ceux qui provenaient de la colline de Mihongo avaient une composition physico-chimique très proche de celle du sous-groupe formé par les collines Gisenyi et Canda; d'où ces trois collines forment un groupe homogène.

Le quatrième groupe est composé par les collines de Mazuru, Murinda et Kagege. Les échantillons en provenance des collines de Mazuru et Murinda ont une composition physico-chimique très proche tandis que ceux qui provenaient de la colline de Kagege avaient une composition physico-chimique très proche de celle du sous-groupe formé par Mazuru et Murinda. Donc les échantillons en provenance de ces trois collines avaient une composition physico-chimique qui est proche d'où ils constituent un groupe homogène.

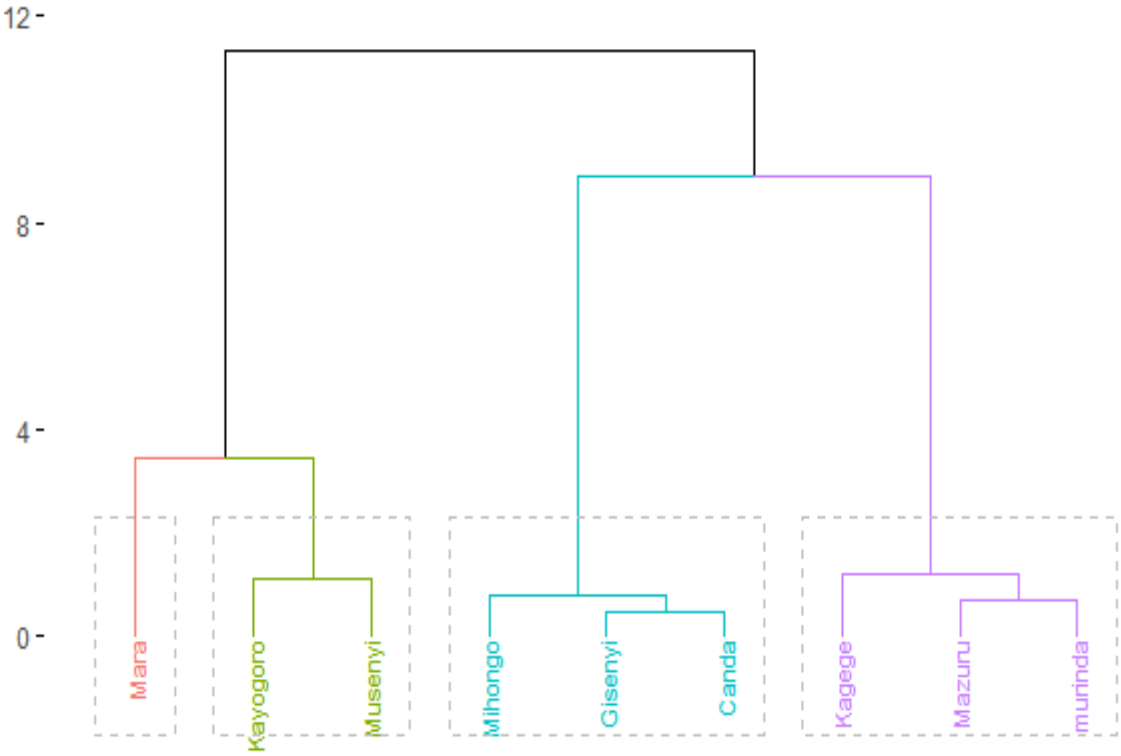


Figure 6 : Analyse groupée de neuf collines de la province de Makamba selon la composition physico-chimique d'Inyange

III.4. Formule de fortification de la farine manioc destinée aux femmes enceintes

L'augmentation du métabolisme de base observée au cours de la grossesse est source de besoins énergétiques. La constitution de l'organisme fœtal et des annexes ainsi que la préparation des glandes mammaires à la lactation nécessitent des apports importants de nutriments (Boufettal et al., 2010). C'est ainsi qu'une attention particulière devrait être accordée à l'alimentation des femmes enceintes, outre l'apport énergétique et protidique, à ce qui concerne les apports en micronutriments (Lecerf, 2010); une attention particulière devant être aussi portée à la vitamine B9, la vitamine C, la vitamine D, au fer, au calcium, au magnésium, au potassium et d'oligo-éléments (Boufettal et al., 2010; Huffman et al., 1998; Lecerf, 2010).

C'est ainsi qu'une formule de fortification d'Inyange destinée aux femmes enceintes serait utile à toute personne qui désirerait œuvrer dans le domaine de transformation du manioc notamment dans la transformation et fortification d'Inyange.

En prenant un repas à base de pâte de manioc par jour et que cette dernière constitue 70% de la quantité de son repas et que une autre proportion est contenue dans les aliments d'accompagnement, une femme enceinte peut manger en moyenne 250g de farine de manioc

par un seul repas. Le tableau suivant montre une quantité des nutriments à ajouter dans la farine de manioc Inyange destinée aux femmes enceintes :

Tableau 6 : La quantité des nutriments à ajouter dans la farine de manioc Inyange destinée aux femmes enceintes

Nutriments	**Besoins quotidiens**	**Composition de la farine du manioc (par 250g)**	**Quantité à ajouter (par 250g)**
Protéines (g)	70	1,53±0,5	47,7
Fer (mg)	60	90,725	Pas d'ajout
Calcium (mg)	130	156,25	753,75
Magnésium (mg)	400-480	96,62	239,38
Sodium (mg)	4000	168,625	2631,375
Potassium (mg)	2100	1929,775	170,225
Phosphore (mg)	9100	113,4	796,6
Manganèse (mg)	3,5	1,35	Pas d'ajout
Cuivre (mg)	1,4	0,275	1,125
Zinc (mg)	15	20,6	9,45
Vitamine C (mg)	130	45	46
Vitamine A (mg)	0,8	0	0,56
Thiamine	3	0,087	2,013
Riboflavine	1,6	0,048	1,072
Niacine (mg)	17	0,854	11,046
Vitamine B6 (mg)	2,5	0,088	1,662

Source : Elaboration de l'auteur de ce travail

N.B : Les données sur les besoins nutritionnels d'une femme enceinte ayant fait l'objet de la mise en place de cette formule ont été tirées des travaux des auteurs ci-après : OMS, (1998) (CSS, 2009); Boufettal et al. (2010); Huffman et al. (1998) et Lecerf (2010) tandis que celles du manioc sur les vitamines ont été tirées des travaux des auteurs tels que : Bradbury, (2006); Montagnac et al. (2009a) et Parmar et al. (2017).

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L' enquête menée dans les différentes communes de la province de Makamba, nous a permis de collecter les données utiles sur la préparation et la consommation des produits dérivés du manioc. Le manioc et ses divers produits entrent dans les denrées alimentaires de base sur l'ensemble des ménages enquêtés. Les résultats obtenus ont révélé que le taux de consommation de la pâte de manioc est beaucoup plus élevé que celui des autres denrées alimentaires tandis qu'Inyange est l'une des préparations qui occupe une place considérable dans de nombreux ménages.

Cette étude a permis également de déterminer l'influence de la fermentation anaérobique sur la qualité nutritionnelle du manioc. Les résultats des analyses ont montré que la fermentation anaérobique influe d'une manière significative sur la composition physicochimique.

Dans l'ensemble, quelques soient les sites d'échantillonnage, la fermentation anaérobique du manioc contribue d'une part, à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de manioc et d'autre part, elle la réduit considérablement. Elle a entraîné une diminution significative des teneurs en cyanure d'hydrogène, en eau, en protéines, en zinc, en sodium, en magnésium, tandis que les teneurs en fer, en calcium, en potassium, en phosphore et en manganèse, ont augmenté significativement. Des faibles teneurs en sucres totaux et réducteurs ont été également observées; ce qui montre qu'Inyange serait une bonne denrée alimentaire surtout pour les diabétiques. Les résultats de la teneur en cyanure étaient en dessous du niveau de sécurité recommandé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et celui du Codex Alimentarius ; ce qui montre le degré de l'efficacité de la fermentation du manioc et l'utilisation d'Inyange sans danger du cyanure. La composition chimique d'Inyange montre aussi qu'elle est une bonne source du fer et du manganèse mais pauvre en d'autres éléments surtout les protéines, le sodium, le magnésium, le calcium, le potassium, le phosphore, le cuivre et le zinc par rapport aux besoins nutritionnels de l'homme. Pour cela, notre étude suggère la nécessité d'un enrichissement approprié d'Inyange en ces éléments pour en faire un aliment équilibré de sorte qu'il participe à la réduction de la malnutrition pour la population de la province de Makamba mais aussi pour tout consommateur d'Inyange à travers le territoire national.

Pour pallier aux problèmes des carences en nutriments, la fortification des aliments de base dont le manioc et plus particulièrement ses dérivés devrait être du ressort de tout industriel œuvrant dans le domaine de transformation agro-alimentaire et des autorités nationales puisque

le type et les quantités d'éléments nutritifs essentiels à ajouter et les aliments à enrichir seront fonction des problèmes nutritionnels à résoudre, des caractéristiques des populations cibles et des habitudes alimentaires. C'est ainsi qu' une formule de fortification de la farine d'Inyange destinée aux femmes enceintes a été mise en place en tenant compte des exigences relatives au niveau des vitamines et des minéraux de la farine de manioc fortifiée du décret portant réglementation de la fortification des aliments au Burundi et pourra aider les industriels désirants produire et mettre sur le marché la farine d'Inyange fortifiée à travers tout le pays et plus particulièrement la province de Makamba. Le manioc pourrait être transformé industriellement, ce qui générerait des revenus non seulement pour les agriculteurs et transformateurs du manioc mais également pour les bénéficiaires d'emploi sans oublier l'économie nationale à travers les taxes. Les résultats de cette étude vont permettre à tous les intervenants du secteur agricole, de la sécurité alimentaire et de la nutrition de disposer d'une base de données afin de mener à bien leur mission de lutte contre la malnutrition à travers la province de Makamba mais également à travers tout le pays entier.

A la lumière des résultats de cette, l'amélioration de la valeur nutritionnelle d'Inyange devrait donc faire l'objet d'une attention particulière de la part des décideurs politiques et des chercheurs ; il serait souhaitable d'émettre des recommandations ci-après :

Aux chercheurs de :

- Mener une étude mettant en évidence la composition en vitaminique d'Inyange ;
- Mener une étude approfondie mettant en évidence l'influence d'Inyange sur les indices de la nutrition auprès des ménages de la province de Makamba.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abou, M., Yabi, I., Yolou, I., & Ogouwale, E. (2018). Caractérisation des systèmes de production sur les sites d'aménagements hydro-agricoles dans le doublet Dangbo-Adjohoun au sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *12*(1), 462. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.36.

Agbodan, K. M. L., Akpavi, S., Agbodan, K. A., Kanda, M., Amegnaglo, K. B., Adrou-Aledji, A., Batawila, K., & Akpagana, K. (2020). Agromorphological description and determination of the antioxidant potential of underutilized and newly introduced varieties of maize, cassava, cowpea and pepper in the Maritime-East region of Togo. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, *20*(3), 15936–15953. https://doi.org/10.18697/AJFAND.91.18625

Agre, A., Kouchade, S., Odjo, T., Dansi, M., Nzobadila, B., Assogba, P., Dansi, A., Akoegninou, A., & Sanni, A. (2015). Diversité et évaluation participative des cultivars du manioc (Manihot esculenta Crantz) au Centre Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *9*(1), 388. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.33.

Aguenaou, H. (2007). La malnutrition invisible ou la « faim cachée » au Maroc et les stratégies de lutte. *Biomatec Echo*, *5*(2), 158–164.

Amoa-Awua, W. K. A., Appoh, F. E., & Jakobsen, M. (1996). Lactic acid fermentation of cassava dough into agbelima. *International Journal of Food Microbiology*, *31*(1–3), 87–98. https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)00967-1.

Anton, A. A., Gary Fulcher, R., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (Phaseolus vulgaris L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, *113*(4), 989–996. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.050

Aschner, M. (2000). Manganese: Brain transport and emerging research needs. *Environmental Health Perspectives*, *108*(SUPPL. 3), 429–432. https://doi.org/10.1289/ehp.00108s3429.

Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Behi, Y. E. N., Coulin, P., & Farah, Z. (2006). Microflora of traditional starter made from cassava for "attiéké" production in Dabou (Côte d'Ivoire). *Food Control*, *17*(1), 37–41. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.006.

Balagopalan, C., Padmaja, G., Nanda, S. K., & Moorthy, S. N. (2018). Cassava in food, feed and industry. In *CRC Press*. https://doi.org/10.1201/9781351070430.

Berger Jacques. (2003). Enrichissement des aliments en micronutriments : élément d ' une

stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments , en particulier en fer , dans les pays en développement. *Production et Fortification Dans Les Petites Industries Agroalimentaires*, 563–576.

Bjørklund, G., Chartrand, M. S., & Aaseth, J. (2017). Manganese exposure and neurotoxic effects in children. *Environmental Research*, *155*(February), 380–384. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.003

Boufettal H, Khair M , Noun M, Hermas S, S. N. (2010). Supplémentation de la femme enceinte. *Journal Marocain Des Sciences Médicales*, *17*(1), 9–13.

Bradbury, J. H. (2006). Simple wetting method to reduce cyanogen content of cassava flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, *19*(4), 388–393. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.012

Calvo, M. S., & Uribarri, J. (2013). Public health impact of dietary phosphorus excess on bone and cardiovascular health in the general population. *American Journal of Clinical Nutrition*, *98*(1), 10. https://doi.org/10.3945/ajcn.112.053934

Ceballos, H., Sánchez, T., Chávez, A. L., Iglesias, C., Debouck, D., Mafla, G., & Tohme, J. (2006). Variation in crude protein content in cassava (Manihot esculenta Crantz) roots. *Journal of Food Composition and Analysis*, *19*(6–7), 589–593. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.11.001.

Charles, A. L., Chang, Y. H., Ko, W. C., Sriroth, K., & Huang, T. C. (2004). Some physical and chemical properties of starch isolates of cassava genotypes. *Starch/Staerke*, *56*(9), 413–418. https://doi.org/10.1002/star.200300226.

Charles, A. L., Sriroth, K., & Huang, T. C. (2005). Proximate composition, mineral contents, hydrogen cyanide and phytic acid of 5 cassava genotypes. *Food Chemistry*, *92*(4), 615–620. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.024.

Chavez, A. L., Bedoya, J. M., Sánchez, T., Iglesias, C., Ceballos, H., & Roca, W. (2000). Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves. *Food and Nutrition Bulletin*, *21*(4), 410–413. https://doi.org/10.1177/156482650002100413.

Conway Gordon and Gary Toenniessen. (2003). Agriculture: Science for African Food Security. *Science*, *299*(5610), 1187–1188. https://doi.org/doi:10.1126/science.1081978

Costello, A. M. D. L., & Osrin, D. (2003). Fetus and Infant Micronutrient Status during Pregnancy and Outcomes for Newborn. *The Journal of Nutrition, Supplement*, 1757S-1764S. https://academic.oup.com/jn/article-abstract/133/5/1757S/4558579

CSS(Conseil Supérieur de la Santé). (2009). *Recommandations nutritionnelles pour la*

Belgique, (C. S. de la S. 2009. (ed.)).

Cynober, L., Alix, E., Arnaud-Battandier, F., Bonnefoy, M., Brocker, P., Cals, M.-J., Cherbut, C., Coplo, C., Ferry, M., Ghisolfi-Marque, A., Kravtchenko, T., Lesourd, B., Mignot, C., & Patureau Mirand, P. (2000). Apports nutritionnels conseillés chez la personne âgée. *Nutrition Clinique et Métabolisme, 14*, 3–60. https://doi.org/10.1016/s0985-0562(00)80002-3

Dansou, P., Akplogan, B., & Avalla C-Omer, W. (2000). Apport énergetique et calcique dans l'alimentation des adolescents de la ville de Porto-Novo (République du Bénin). *Médecine d'Afrique Noire*, *47 (8/9)*, 357–361.

Das, J. K., Salam, R. A., Kumar, R., & Bhutta, Z. A. (2013). Micronutrient fortification of food and its impact on woman and child health: a systematic review. *Systematic Reviews, 2*, 67. https://doi.org/10.1186/2046-4053-2-67.

Davidsson, L., Kastenmayer, P., & Hurrell, R. F. (1994). Sodium iron EDTA [NaFe(III)EDTA] as a food fortificant: The effect on the absorption and retention of zinc and calcium in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, *60*(2), 231–237. https://doi.org/10.1093/ajcn/60.2.231.

De Luca, A. (2019). Besoins nutritionnels de l'adolescent. *Journal de Pediatrie et de Puericulture*, *32*(4), 171–180. https://doi.org/10.1016/j.jpp.2019.06.001

Degnon, G. R., Konfo, T. R. C., Adjou, S. E., & Dahouenon-Ahoussi, E. (2018). Evaluation des conditions de production, de la qualité physico-chimique et microbiologique des cossettes de manioc (Manihot esculanta Crantz) dans la commune de Bassila (Nord-Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *12*(3), 1528. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i3.36.

Diallo, Y., Gueye, M. T., Sakho, M., & Darboux, P. G. (2013). Importance nutritionnelle du manioc et perspectives pour l'alimentation de base au Sénégal (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, *17*(4), 634–643. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/165566/1/Diallo.BASE.2013.pdf

Dimkpa, C. O., Singh, U., Bindraban, P. S., Elmer, W. H., Gardea-Torresdey, J. L., & White, J. C. (2019). Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. *Science of the Total Environment*, *688*, 926–934. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.392

Ekissi, A. C., Kan Kouame, B., Koko, C. A., Yao-Kouame, A., & Kati-Coulibaly, S. (2020). Détermination des minéraux des feuilles du théier de savane (lippia multiflora). In

Afrique SCIENCE (Vol. 16, Issue 2).

EKISSI Alice Christine, Benjamin, K., Casimir, K., Anauma, K., Albert, Y.-K., & KATI-COULIBALY, S. (2020). Détermination des minéraux des feuilles du théier de savane (lippia multiflora). *Afrique SCIENCE*, *16*(2), 139–149.

El-Sharkawy, M. A. (1993). Drought-Tolerant Cassava for Africa,Asia, and Latin America. *BioScience*, *43*(7), 441–451. https://doi.org/doi:10.2307/1311903.

Falade, K. O., & Akingbala, J. O. (2011). Utilization of Cassava for food. *Food Reviews International*, *27*(1), 51–83. https://doi.org/10.1080/87559129.2010.518296.

Favier, M., & Hininger-Favier, I. (2005). Zinc et grossesse. *Gynecologie Obstetrique et Fertilite*, *33*(4), 253–258. https://doi.org/10.1016/j.gyobfe.2005.03.011.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. (2006). *Guidelines on food fortification with micronutrients*.

Gidamis, A. B., O'Brien, G. M., & et Poulter, N. H. (1993). Cassava detoxification of traditional Tanzanian cassava foods. *International Journal of Food Science & Technology*, *28*(2), 211–218. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb01266.x.

Gmakouba, T., Koussao, S., Traore, E. R., Kpemoua, K. E., & Zongo, J.-D. (2018). Analyse de la diversité agromorphologique d'une collection de manioc (Manihot esculenta Crantz) du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *12*(1), 402. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.32.

Gómez, G., Valdivieso, M., & Noma, A. T. (1985). The influence of cultivar and plant age on the chemical composition of field-grown cassava leaves and roots. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, *35*(2), 109–119. https://doi.org/10.1007/BF01092126.

Hahn, S. K. (1989). An overview of African traditional cassava processing and utilization. *Outlook on Agriculture*, *18*(3), 110–118. https://doi.org/10.1177/003072708901800303.

Hambidge, M. (2000). Zinc and health: Current status and future directions: Human Zinc Deficiency. *Journal of Nutrition*, *130*(5 SUPPL.), 1344–1349.

Hawashi, M., Widjaja, T., & Gunawan, S. (2020). Solid-State Fermentation of Cassava Products for Degradation of Anti-Nutritional Value and Enrichment of Nutritional Value. *New Advances on Fermentation Processes*. https://doi.org/10.5772/intechopen.87160.

Hubert J.P. (1996). Etude de la diversification des activités des activités des exploitants agricoles sous la pression demographique et foncière. cas du Burundi. *Tropicultura*, *14*(1), 17–23.

Huffman, S. L. D., Jean Baker, M. P. H. J., Shumann, M. A., Elizabeth, M. H. S., & Zehner,

R. (1998). *Promouvoir des suppléments de multiples vitamines/minéraux pour les femmes en âge de procréer dans les pays en développement*. www.linkagesproject.org.

Huma, N., Anjum, F. M., Sehar, S., Issa Khan, M., & Hussain, S. (2008). Effect of soaking and cooking on nutritional quality and safety of legumes. *Nutrition and Food Science*, *38*(6), 570–577. https://doi.org/10.1108/00346650810920187

Hurrell, R. F. (1997). Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutrition Reviews*, *55*(6), 210–222. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01608.x.

ISO 2164, 1975. International organization for standardization.ISO, 1975.ISO: 2164: (1975). *Determination of glycosidic hydrocyanic acid*.

ISTEEBU. (2019). *Enquête Nationale sur la Situation Nutritionnelle et la Sécurité Alimentaire au Burundi (ENSNSAB), Décembre 2018. Bujumbura, Burundi : Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi.*

Jan, Y., Malik, M., Yaseen, M., Ahmad, S., Imran, M., Rasool, S., & Haq, A. (2019). Vitamin D fortification of foods in India: present and past scenario. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, *193*(April). https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2019.105417

Joachim, U. di M., Thaddée.2, M. N., & Lelo, et M. (2020). Inhibition du développement de l'Aspergillus flavus par l'acide acétique: Analyse de trois expériences réalisées à Kinshasa- RD Congo. *Journal of Animal & Plant Sciences*, *45*(1), 7809–7821. https://doi.org/https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v45-1.5.

Kakes, P. (1990). Properties and functions of the cyanogenic system in higher plants. *Euphytica*, *48*(1), 25–43. https://doi.org/10.1007/BF00028958.

Kakou, A. C., Boli, Z. B. I. A., Kambire, O., Koussemon, M., & Koffi, N. R. (2017). Cinetique De Fermentation De Trois Methodes De Production De Ferments De Racines De Manioc. *European Scientific Journal, ESJ*, *13*(33), 473. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n33p473.

Kawano, K., Fukuda, W. M. G., & Cenpukdee, U. (1987). Genetic and Environmental Effects on Dry Matter Content of Cassava Root 1. *Crop Science*, *27*(1), 69–74. https://doi.org/10.2135/cropsci1987.0011183x002700010018x.

Kobawila, S. C., Louembe, D., Keleke, S., Hounhouigan, J., & Gamba, C. (2005). Reduction of the cyanide content during fermentation of cassava roots and leaves to produce bikedi and ntoba mbodi, two food products from Congo. *African Journal of Biotechnology*, *4*(7), 689–696. https://doi.org/10.5897/ajb2005.000-3128.

Krabi, E. R., Assamoi, A. A., Ehon, A. F., Diawara, B., Niamké, L. S., & Thonart, P. (2015). Production D ' Attieke (Couscous a Base De Manioc Fermente) Dans La Ville D 'Abidjan. *European Scientific Journal*, *11*(15), 277–292.

Laires, M. J., Moreira, H., Monteiro, C. P., Sardinha, L., Limão, F., Veiga, L., Gonçalves, A., Ferreira, A., & Bicho, M. (2004). Magnesium, insulin resistance and body composition in healthy postmenopausal women. *Journal of the American College of Nutrition*, *23*(5), 510S-513S. https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719391.

Lancaster, P. A., Ingram, J. S., Lim, M. Y., & Coursey, D. G. (1982). Traditional cassava-based foods: Survey of processing techniques. *Economic Botany*, *36*(1), 12–45. https://doi.org/10.1007/BF02858697.

Lara Naim Chehade. (2021). *The effect of bread fortification with phosphorus and lysine on postprandial glycaemia and lipidemia*. AMERICAN UNIVERSITY OF BEIRUT.

Lönnerdal, B. (2000). Zinc and Health : Current Status and Future Directions Dietary Factors Influencing Zinc Absorption 1. *The Journal of Nutrition*, *130*(February), 1378–1383.

Lopez, D., Romaña, D. E., Brown, K. H., & Guinard, J.-X. (2002). JFS: Sensory and Nutritive Qualities of Food Sensory Trial to Assess the Acceptability of Zinc Fortificants Added to Iron-fortified Wheat Products. *Journal of Food Science*, *67*.

M. G. Venkatesh Mannar and Marc van Ameringen Abstract. (2003). Role of public-private partnership in micronutrient food fortification. *Food and Nutrition Bulletin*, *24*(4), 151–154. https://doi.org/10.1177/15648265030244s113

Marivoet, Wim, W. J., & Ulimwengu, J. et C. A. (2022). *Typologie spatiale pour identifier les goulets d ' é tranglement de la sécurité alimentaire et nutritionnelle au Burundi*.

Martin, A. (2001). The "apports nutritionnels conseillés (ANC)" for the French population. *Reproduction Nutrition Development*, *41*(2), 119–128. https://doi.org/10.1051/rnd:2001100

Martínez-Navarrete, N., Camacho, M. M., Martínez-Lahuerta, J., Martínez-Monzó, J., & Fito, P. (2002). Iron deficiency and iron fortified foods - A review. *Food Research International*, *35*(2–3), 225–231. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00189-2.

Mente, A., O'Donnell, M., Rangarajan, S., McQueen, M., Dagenais, G., Wielgosz, A., Lear, S., Ah, S. T. L., Wei, L., Diaz, R., Avezum, A., Lopez-Jaramillo, P., Lanas, F., Mony, P., Szuba, A., Iqbal, R., Yusuf, R., Mohammadifard, N., Khatib, R., … Yusuf, S. (2018). Urinary sodium excretion, blood pressure, cardiovascular disease, and mortality: a community-level prospective epidemiological cohort study. *The Lancet*, *392*(10146),

496–506. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31376-X.

Millward, D. J., & Jackson, A. A. (2004). Protein/energy ratios of current diets in developed and developing countries compared with a safe protein/energy ratio: implications for recommended protein and amino acid intakes. *Public Health Nutrition*, *7*(3), 387–405. https://doi.org/10.1079/phn2003545.

Milman, N. T. (2020). Dietary Iron Intake in Pregnant Women in Europe: A Review of 24 Studies from 14 Countries in the Period 1991-2014. *Journal of Nutrition and Metabolism*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/7102190.

Misset, B., & Desport, J. C. (2020). Nutrition and healing. *Actualites Pharmaceutiques*, *59*(601), 20–22. https://doi.org/10.1016/j.actpha.2020.10.006.

Montagnac, J. A., Davis, C. R., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *8*(3), 181–194. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x.

Muzanila, Y. C., Brennan, J. G., & King, R. D. (2000). Residual cyanogens, chemical composition and aflatoxins in cassava flour from Tanzanian villages. *Food Chemistry*, *70*(1), 45–49. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00062-5.

Nielsen, F. H., Milne, D. B., Klevay, L. M., Gallagher, S., & Johnson, L. A. (2007). Dietary magnesium deficiency induces heart rhythm changes, impairs glucose tolerance, and decreases serum cholesterol in post menopausal women. *Journal of the American College of Nutrition*, *26*(2), 121–132. https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719593.

Nkurunziza, H. (2022). Comportement alimentaire comme facteur de la malnutrition chez les quinze conducteurs des taxi-vélos au Burundi. *Ecole Doctorale de l'Université Du Burundi*, 124–136. https://revues.acaref.net/wp-content/uploads/sites/3/2021/10/Hilaire-NKURUNZIZA.pdf.

Nutrition Service of the World Food Program. (2006). Micronutrient fortification: WFP experiences and ways forward. *Food and Nutrition Bulletin*, *27*(1), 67–75. https://doi.org/doi:10.1177/156482650602700110.

Nyumuah, R. O., Hoang, T. C. C., Amoaful, E. F., Agble, R., Meyer, M., Wirth, J. P., Locatelli-Rossi, L., & Panagides, D. (2012). Implementing large-scale food fortification in Ghana: lessons learned. *Food and Nutrition Bulletin*, *33*(4 Suppl), 293–300. https://doi.org/10.1177/15648265120334s305.

Nzigamasabo, A., & Nimpagaritse, A. (2009). Traditional fermented foods and beverages in

Burundi. *Food Research International*, *42*(5–6), 588–594. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.021

Nzigamasabo, A., & Zhou, H. M. (2006a). Comparative study on nutrient and anti-nutrient changes in Ikivunde and Inyange, two Burundian traditionally processed cassava products. *Journal of the Science OfFood and Agriculture*, *86*, 1878–1886. https://doi.org/10.1002/jsfa

Nzigamasabo, A., & Zhou, H. M. (2006b). Functional and chemical properties of ikivunde and inyange, two traditionally processed burundian cassava flours. *Journal of Food Biochemistry*, *30*(4), 429–443. https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2006.00073.x.

Nzigamasabo, A., & Zhou, H. M. (2006c). Traditional cassava foods in Burundi - A review. *Food Reviews International*, *22*(1), 1–27. https://doi.org/10.1080/87559120500379761.

O'Brien, G. M., Mbome, L., Taylor, A. J., & Poulter, N. H. (1992). Variations in cyanogen content of cassava during village processing in Cameroon. *Food Chemistry*, *44*(2), 131–136. https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90325-V.

Obadina, A. O., Oyewole, O. B., Sanni, L. O., & Abiola, S. S. (2006). Fungal enrichment of cassava peels proteins. *African Journal of Biotechnology*, *5*(3), 302–304. https://doi.org/10.5897/AJB05.360.

Odunfa, S., Oyewole, O. B., & Ayo Odunfat, S. (1989). Effects of fermentation on the carbohydrate, mineral, and protein contents of cassava during "fufu" production. *Journal of Food Composition and Analysis*, *2*(2), 170–176. https://doi.org/10.1016/0889-1575(89)90078-1

Ohanenye, I. C., Emenike, C. U., Mensi, A., Medina-Godoy, S., Jin, J., Ahmed, T., Sun, X., & Udenigwe, C. C. (2021). Food fortification technologies: Influence on iron, zinc and vitamin A bioavailability and potential implications on micronutrient deficiency in sub-Saharan Africa. *Scientific African*, *11*, e00667. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00667.

Okezie, B. O., & Kosikowski, F. V. (1983). Cassava as a food. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *17*(3), 259–275. https://doi.org/10.1080/10408398209527349.

OMS. (1998). *Apports de sécurité en vitamine A pendant la grossesse et l'allitement*.

Onyenwoke, C. A., & Simonyan, K. J. (2014). Cassava post-harvest processing and storage in Nigeria : A review. *African Journal of Agricultural Research*, *9*(53), 3853–3863. https://doi.org/10.5897/AJAR2013.8261

Padmaja, G. (1995). Cyanide Detoxification in Cassava for Food and Feed Uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *35*(4), 299–339. https://doi.org/10.1080/10408399509527703.

Padmaja, G., George, M., Moorthy, S. N., Bainbridge, Z., Plumb, V., Wood, J. F., & Powell, C. J. (1994). Nutritional Evaluation of the Starchy Flour Obtained from Cassava Tubers on Fermentation with a Mixed-Culture Inoculum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *42*(3), 766–770. https://doi.org/10.1021/jf00039a033.

Panghal, A., Munezero, C., Sharma, P., & Chhikara, N. (2019). Cassava toxicity, detoxification and its food applications: a review. *Toxin Reviews*, *40*(1), 1–16. https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1560334.

Parmar, A., Sturm, B., & Hensel, O. (2017). Crops that feed the world: Production and improvement of cassava for food, feed, and industrial uses. *Food Security*, *9*(5), 907–927. https://doi.org/10.1007/s12571-017-0717-8.

Pettersson, R., & Rasmussen, F. (1999). Daily intake of copper from drinking water among young children in Sweden. *Environmental Health Perspectives*, *107*(6), 441–446. https://doi.org/10.1289/ehp.99107441.

Philippe Vernier, Boni N'Zué, N. Z.-R. (2018). *Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle Quae CTA Presses agronomiques de Gembloux*. https://agritrop.cirad.fr/587188/1/9782759227082.pdf.

Pinton, F., Pinton, F., & Weber, M. M. (2002). Manioc et biodiversité : exploration des voies d ' un nouveau partenariat. *NSS , Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS*, *10*(2), 18–30.

Pohl HR, Wheeler JS, M. H. (2013). Sodium and Potassium in Health and Disease. Interrelations Between Essential Metal Ions and Human Diseases. *Metal Ions in Life Sciences*, *13*, 29–47. https://doi.org/doi:10.1007/978-94-007-7500-8_2.

Potier de Courcy G , Frelut ML , J Fricker, A Martin, H. D. (2003). Besoins nutritionnels et apports conseillés pour la satisfaction de ces besoins. *Encycl Méd Chir*, *10-308-A-1*(January 2003), 32.

Power, M. L., Heaney, R. P., Kalkwarf, H. J., Pitkin, R. M., Repke, J. T., Tsang, R. C., & Schulkin, J. (1999). The role of calcium in health and disease. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *181*(6), 1560–1569. https://doi.org/10.1016/S0002-9378(99)70404-7.

Roger Djoulde Darman. (2004). *Mise au point d ' un ferment mixte destiné à la bioconversion*

des tubercules de manioc cyanogène [Université de Ngaoundéré.]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00007487v2.

Rosling H. (1994). Measuring Effects in Humans of Dietary Cyanide Exposure From Cassava. *Human Health and Nutrition*, *375*, 271–284. https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.375.27.

Sahoré, D. A., Nemlin, G. J., & Kamenan, A. (2007). Changes in nutritional properties of yam (Dioscorea spp .), plantain (Musa spp .) and cassava (Manihot esculenta) during storage. *Tropical Science*, *47*(2), 81–88. https://doi.org/DOI: 10.1002/ts.200

Salle, B. (2002). Les besoins en calcium et vitamine D durant la grossesse et la lactation. *Sciences Des Aliments*, *22*(6), 659–674. https://doi.org/10.3166/sda.22.659-674.

Salvador, E. M., Steenkamp, V., & McCrindle, C. M. E. (2014). Production, consumption and nutritional value of cassava (Manihot esculenta, Crantz) in Mozambique: An overview. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, *6*(3), 29–38. https://doi.org/10.5897/jabsd2014.0224.

Samir S. Basta, D. Sc., Soekirman, M. S. , Darwin Kryadi, M.D. and Nevin S. Scrimshaw, Ph., M. D. (2018). Iron deficiency of adult males anemia and the productivity in Indonesia1 '. *The American Journal OfClinicaJ Nutrition*, *32*(4), 916–925. https://doi.org/doi:10.1093/ajcn/32.4.916

Santelli, R. E., De Almeida Bezerra, M., De Santana, O. D., Cassella, R. J., & Ferreira, S. L. C. (2006). Multivariate technique for optimization of digestion procedure by focussed microwave system for determination of Mn, Zn and Fe in food samples using FAAS. *Talanta*, *68*, 1083–1088. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.07.010

Sehn, G. A. R., De Cássia Nogueira, A., Almeida, E. L., Chang, Y. K., & Steel, C. J. (2015). Fortification of wheat dough with calcium and magnesium ions affects empirical rheological properties. *Cereal Chemistry*, *92*(4), 405–410. https://doi.org/10.1094/CCHEM-01-15-0002-R.

Stanner, S. A., & Spiro, A. (2020). *Public health rationale for reducing sugar : Strategies and challenges*. 253–270. https://doi.org/10.1111/nbu.12460

Szekely, C. (2009). Recommandations nutritionnelles chez une personne âgée bien portante. *Traité de Nutrition de La Personne Âgée*, *1*, 103–107. https://doi.org/10.1007/978-2-287-98117-3_13.

Taufik, I. I., & Guntarti, A. (2016). Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia potato (Ipomoea batatas l .) using luff schoorl and anthrone method. *Jurnal Kedokteran Dan*

Kesehatan Indonesia, *7*(5), 219–226.

Temegne, N. C., Ngome Ajebesone, F., & Fotso Kuate, A. (2016). Influence de la composition chimique du sol sur la teneur en éléments nutritifs et le rendement du manioc (Manihot esculenta Crantz, Euphorbiaceae) dans deux zones agro-écologiques du Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *9*(6), 2776. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.21.

Terrier, M., Gasselin, P., Blanc, J. Le, Terrier, M., Gasselin, P., Le, J., & Assessing, B. (2010, July). Assessing the sustainability of activity systems to support agricultural households ' projects P ROCEEDINGS Building sustainable rural futures T h e a d d e d va lu e o f s y s t e m s a p p r o a c h e s. *9. European IFSA Symposium*, 812–822. https://hal.inrae.fr/hal-02753353.

Tounkara, L. S., Sow, M. S., Beye, C., Ly, A. F., Sambe, M., Ndiaye, Y., & Seck, M. A. (2017). Fortification des farines tropicales par l'introduction de protéines végétales et de champignons comestibles. *Agronomie Africaine Sp.*, *29*(2), 37–45.

Trèche, S. (1996). *MODALITÉS DE TRANSfORMATION dans les différentes zones écologiques du Congo*. 717–730.

Walker, C. F., Kordas, K., Stoltzfus, R. J., & Black, R. E. (2005). Interactive effects of iron and zinc on biochemical and functional outcomes in supplementation trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, *82*(1), 5–12. https://doi.org/10.1093/ajcn/82.1.5.

Westby, A. (1994). Importance of Fermentation in Cassava Processing. In *Acta Horticulturae* (Issue 380, pp. 249–255). https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.380.39.

Yandju D.L, M. K. . et M. B. (1995). *Les moisissures toxinogènes impliquées dans le ramollissement des racines tubéreuses du manioc en fermentation sèche*. 368–373.

Yao, A. K., Michel, D., Sika, K., Blei, H., & Irié, Z. B. (2015). Nouvelle technique de transformation de la pulpe de manioc (manihot esculenta crantz) sous forme de granules conservables sur une longue période. *European Scientific Journal*, *11*(24), 1857-7881.

Yao, K. J., Koffi, R. A., & Aboua, F. (2006). Composition of dehydrated attiéké powder. *Tropical Science*, *46*(4), 224–226. https://doi.org/10.1002/ts.182.

Zvauya, R., & Muzondo, M. I. (1995). Reduction of cyanide levels in cassava during sequential sundrying and solid state fermentation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *46*(1), 13–16. https://doi.org/10.3109/09637489509003380.

ANNEXE

Questionnaire d'enquête sur le manioc

Date de l'enquête: _____ / _____ / 2021

N° de l'enquêté: …….

Commune : ……..

Colline : ……

I. Le manioc

1. Quelles sont les principales denrées alimentaires que vous consommer?

- **……**
- **……**
- **……**
- **……**
- **……**

2. Pourquoi cultivez-vous le manioc?

- Autoconsommation ☐
- Vente ☐
- Autres ☐

3. Quelles sont les variétés de manioc que vous cultivez?

- Douce ☐
- Amère ☐

3.1. Laquelle est plus productive ?

- Douce ☐
- Amère ☐

4. Pour chaque type de champ, le manioc est cultivé:

- Seul ☐
- Associé ☐

II. Consommation du manioc

1. Combien de fois consommez-vous de la pâte du manioc ou toute autre forme de manioc ?

- Par jour ……fois
- Par semaines……fois

2. Quelles sont les différentes modalités de préparation du manioc ?

Kambaranga ☐ Fermentation (Inyange) ☐ Rouissage(Ikivunde) ☐

Autres ☐

3. Quelle est la durée de chaque préparation ?

- Kambaranga) : ……jours ;
- Fermentation (Inyange) ……jours ;
- Rouissage (Ikivunde): ……jours.

4. Quels sont les aliments accompagnés **?**

- **……**
- **……**
- **……**
- **……**

5. Quelle est le produit fini le plus préféré ?

- Ikivunde) ☐
- Inyange ☐
- Kambaranga ☐