Afrique SCIENCE *15(4) (2019) 232 - 244*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Étude des caractéristiques biochimiques, fonctionnelles et sensorielles de différentes formulations de farine à base de banane plantain (musa ˣ paradisiaca) et du manioc (manihot esculenta) destinées à la préparation du foutou

Brou Lazare YAO[1*], Aman Liliane A. JOUMANI[2], Francis Gustave MESSOUM[3], Kouakou Gains KPAN KPAN[1], Ardjouma DEMBELE[1] et Kablan TANO[4]

[1] Laboratoire d'Appui au développement Agricole (LANADA), Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE), 04 BP 612 Abidjan 04, Côte d'Ivoire
[2] Université de Technologie Tertiaire LOKO, Département Industrie Agro-alimentaire, Laboratoire Sciences et Technologies des Aliments, 05 BP 671 Abidjan 05, Côte d'Ivoire
[3] Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Direction de la Recherche Scientifique et de l'Innovation Technique, BPV 151 Abidjan, Côte d'Ivoire
[4] Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences et Techniques Alimentaires, Laboratoire de Technologie Alimentaire des Produits Tropicaux, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : *lazarealainyao@yahoo.fr*

Résumé

Cette étude porte sur la contribution à la réduction des pertes post-récolte du plantain en Côte d'Ivoire par la fabrication de nouveaux produits. Les travaux de cette présente étude ont été réalisés sur la banane plantain (musa ˣ paradisiaca) des variétés *Corne 1* et *FHIA 21* et les racines de manioc de la variété Bonoua. Des méthodes chimiques ont été utilisées pour la détermination des valeurs phyco-chimiques de différentes formulations de farine. Aussi, une appréciation culinaire de ces farines par la méthode sensorielle a été réalisée. Ainsi, l'analyse des farines à base de banane plantain (*Corne1* et *FHIA 21*) et de manioc (variété Bonoua) a conduit aux taux (%) compris entre 1,13 et 3,93 en protéines. Les taux les plus élevés de matière sèche (94,98 %), de sucres totaux (21,61 %), de sucres réducteurs (11,48 %) et d'amidon (63,12 %) ont été enregistrés dans les formulations de farine de banane de la variété *Corne 1*. Les valeurs les plus élevées de pH (5,57) et d'acidité titrable (12,25 meq/100 g) sont détectées dans les variétés *FHIA 21*. Au niveau sensoriel, les formulations FC2 et FH2 sont les plus appréciées grâce à leur goût sucré. Les résultats des analyses obtenus montrent que les différentes formulations de farine sont une bonne source de nutriments. Ces formulations de farine peuvent se conserver et par conséquent, elles peuvent faire l'objet de valorisation auprès des populations.

Mots-clés : *banane plantain, manioc, foutou, formulation.*

Abstract

Study of the biochemical, functional and sensory characteristics of different plantain banana (musa x paradisiaca) flour and cassava (manihot esculenta) for the preparation of foutou

This study focuses on the contribution to the reduction of post-harvest losses of plantain in Côte d'Ivoire by the manufacture of new products. The work of this study was carried out on the plantain banana (musa x paradisiaca) varieties *Corne 1* and *FHIA 21* and the cassava roots of the Bonoua variety. Chemical methods have been used to determine the phyco-chemical values of different flour formulations. Also, a culinary appreciation of these flours by the sensory method was carried out. Thus, the analysis of flours based on plantain banana (*Corne 1 and FHIA 21*) and cassava (variety Bonoua) led to the rates (%) between 1 , 13 and 3.93 in protein.The highest levels of dry matter (94.98 %), total sugars (21.61 %), reducing sugars (11.48 %) and starch (63, 12 %) were recorded in flour formulations of the variety Corne1. The highest values of pH (5.57) and titratable acidity (12.25 meq / 100 g) are detected in *FHIA 21* varieties. At the sensory level, the FC2 and FH2 formulations are the most appreciated thanks to their sweet taste. The results of the analyzes obtained show that the different flour formulations are a good source of nutrients. These flour formulations can be preserved and therefore they can be valued by the populations.

Keywords : *plantain banana, cassava, foutou, formulation.*

1. Introduction

Le bananier plantain (*Musa spp.*) fait partie de la famille des Musacées. Originaire de l'Asie du Sud-Est, le bananier plantain a suivi des migrations humaines vers la péninsule indienne, les îles du Pacifique et vers l'Afrique où, sous l'influence de l'évolution naturelle et des interventions humaines, il s'est fortement diversifié [1]. Il représente, par ordre d'importance, la quatrième culture vivrière du monde, après le riz, le blé et le maïs [2]. Le plantain est un aliment vital pour beaucoup de pays tropicaux car il est classé comme la denrée alimentaire la moins coûteuse à la production [3]. La Côte d'Ivoire qui est un pays de l'Afrique est autosuffisante en ignames, manioc et bananes plantain. Elle possède également une production importante de riz et de produits maraîchers. La croissance rapide de la population urbaine a permis l'essor de ce "vivrier marchand" : des régions entières du pays sont aujourd'hui spécialisées dans la production, la transformation et la commercialisation du vivrier, donnant un emploi à des milliers de femmes à travers tout le pays, en milieu rural comme en milieu urbain et permet aussi d'éviter les pertes post-recolte [4]. En Côte d'Ivoire, la production annuelle de banane plantain s'élevait à 1 600 000 tonnes en 2012 [5]. Elle est le vivrier le plus consommé avec 53,4 % en milieu urbain et 46,6 % en milieu rural [6]. Ces fruits sont le plus souvent utilisés pour la préparation de certains mets traditionnels tels que *le foutou, l'aloco, le claclo, l'apiti,* etc. et d'autres produits alimentaires dont entre autres la farine protéinée [7]. De nombreuses études entreprises ces vingt dernières années se sont intéressées à la transformation de la banane plantain en farine boulangère, de pâtisserie [8, 9] et en boisson (Jus, bière et vin) [10, 11]. En outre des aliments formulés pour bétail sous forme de farine ou de pulpe a été également conçu à partir de la banane plantain pour élargir le champ d'utilisation de cette denrée [12]. Beaucoup d'efforts ont été consentis par des chercheurs dans le but de contribuer à la conservation et à la transformation de la banane plantain qui demeure un véritable problème pour nos autorités. Mais beaucoup restent encore à faire. Il est donc important de se tourner vers d'autres méthodes de conservation et de transformation de la banane plantain afin de promouvoir cette importante denrée alimentaire. Dans le but de contribuer à la réduction des pertes post-récolte du plantain en Côte d'Ivoire par la mise au point de nouveaux produits, nous nous sommes proposés dans ce travail de produire des formulations de farine à base de banane plantain (musa x paradisiaca) des variétés *Corne 1* et *FHIA 21* et des racines de manioc de la variété Bonoua et d'en étudier les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

Les travaux de cette présente étude ont été réalisés sur la banane plantain *(Musa spp)* des variétés *Corne 1* et *FHIA 21*, et du manioc. Les variétés *Corne 1* et *FHIA 21* ont été récoltées respectivement au 75ème et 70ème jour après l'émergence florale communément appelée intervalle floraison-coupe (IFC). Les régimes de la variété Corne1 et les régimes de la variété *FHIA 21* ***(Figure1)*** ont été récoltés à Azaguié ville située à environ 45 km d'Abidjan.

Corne 1 *FHIA 21*

Figure 1 : *Régimes de banane plantain des variétés Corne 1 et FHIA 21*

Le matériel végétal pour la production de la farine de *foutou* de banane plantain est constitué de doigts verts ou non mûrs (stade 1 ou 2) et mûrs (stade 4 ou 5) de banane plantain des deux variétés (*Corne 1* et *FHIA 21*) et des racines de manioc de la variété *Bonoua* récoltées 8 mois après la plantation. Les racines de manioc ont été achetées au marché de Gonzagueville ***(Figure2)*** dans la commune de Port-Bouet à Abidjan.

Figure 2 : *Racines de manioc (variété Bonoua)*

2-2. Méthodes

2-2-1. Composition de farine à base de banane plantain et de manioc

Notre formulation étant composée de banane plantain (Musa ^{x} paradisiaca) et de manioc (Manihot esculenta), différentes proportions à utiliser pour la fabrication de la farine ont été déterminées. Pour se faire et dans le but d'obtenir une farine de foutou proche des habitudes des consommateurs, une enquête de proximité

auprès de la population de la localité de Tiassalé et d'Agboville a été réalisée. Au cours de cette enquête, il s'est agit d'interroger des personnes produisant et/ou consommant régulièrement du *foutou* de banane) afin d'avoir une estimation des proportions de banane plantain et de manioc entrant dans cette opération. Au total, 400 personnes ont été interrogées lors de cette enquête. Les bananes plantain non mûres ou vertes (stade 1 ou 2) et celles tournantes ou mûres (stade 4 ou 5) ont été utilisées pour la confection des farines de *foutou* avec incorporation de manioc pour l'amélioration de l'élasticité du *foutou*. Le pourcentage d'incorporation de manioc a été de 40 % sur la base des résultats de l'étude de proximité. D'où la formule de production de farine de *foutou* de banane plantain suivante :

Farine de *foutou* de banane = 60 % banane plantain + 40 % de manioc.

Trois différentes formulations de *foutou* en fonction du stade de mûrissement de la banane plantain ont été élaborées à savoir :

- 60 % Banane non mûre + 40 % manioc ;
- 60 % banane mûres + 40 % manioc ;
- 30 % banane non mûres + 30 % banane tournante + 40 % manioc.

Ainsi pour notre étude, six formules représentées dans le ***Tableau 1***, à raison de trois échantillons par variété de banane plantain, ont été constituées.

Tableau 1 : *Différentes formules de farines de foutou*

Farines de C*orne 1*
FC1 = 60 % banane verte + 40 % manioc
FC2 = 60 % banane mûre + 40 % manioc
FC3 = 30 % banane verte + 30 % banane mûre + 40 % manioc
Farine de *FHIA 21*
FH1 = 60 % banane verte + 40 % manioc
FH2 = 60 % banane mûre + 40 % manioc
FH3 = 30 % banane verte + 30 % banane mûre + 40 % manioc

2-2-2. Formulation de la farine de foutou à base de banane plantain et de manioc

➢ *Échantillonnage*

Les échantillons de bananes et de manioc ont été prélevés dans les localités d'Agboville, Tiassalé et d'Abidjan (Gonzagueville). Les régimes de bananes dont les périodes de maturité sont connues ont été récoltés de façon aléatoire sur une parcelle d'un hectare (1 Ha) affectée à chaque variété. Le nombre d'échantillons de la variété *Corne 1* a été de 10 régimes de bananes et celui de la variété *FHIA 21* de 7 régimes de bananes. Celui de manioc a été de 25 tubercules. Les différents échantillons ont été mis dans des caisses en carton et transportés au laboratoire pour analyse.

➢ *Préparation des cossettes de banane plantain et de manioc*

Les matières premières constituées de trente doigts (60 kg de bananes) de banane plantain et 30 kg de racines de manioc ont été nettoyées à l'eau. Les doigts de banane plantain ont été blanchis à l'eau bouillante contenant de l'acide citrique à 8 % (v/p), pendant 10 minutes avant d'être épluchées par contre, les racines de manioc ont été directement épluchées. Les pulpes de banane et de manioc obtenues ont été trempées dans une solution d'acide citrique pour être acidifiées. Ces pulpes de banane plantain et de manioc sont ensuite cuites à l'eau bouillante contenant de l'acide citrique 8 % et du di-sodium dihydrogenopyrophosphate 5 % pendant vingt minutes. Après cuisson complète, les pulpes ont été refroidies pendant 25 min, découpées en dé et séchées dans un séchoir (MINERGY, France) à air chaud à 60 °C pendant 24 heures.

➢ *Préparation de farine de foutou*

Pour chaque échantillon de farine de *foutou*, les proportions requises de cosettes de banane plantain et de manioc ont été pesées. Les différentes cossettes pesées ont été ensuite mélangées puis concassées avec un broyeur à marteaux. Le mélange de cossettes concassées est broyé avec un meunier (forplex, France) contenant un tamis de 50 µm pour obtenir la farine de foutou.

2-2-3. Caractéristiques chimiques des différentes formulations de farines de foutou

➢ *Potentiel d'hydrogène (pH)*

-Le pH des échantillons a été mesuré avec un pH-mètre numérique (HANNA HI2211, Roumanie). Dix grammes de l'échantillon sont dissouts dans 50 mL d'eau distillée par agitation. La solution obtenue est centrifugée à 3000 tours/min pendant 30 min. Le surnageant est recueilli dans un bocal. Le pH est lu sur un écran digital en plongeant directement l'électrode du pH-mètre dans le surnageant recueilli.

➢ *Acidité titrable*

Selon la méthode [13], ce dosage consiste à mesurer l'acidité titrable d'un produit avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), de normalité 0,1N, en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré. Pour ce faire, une masse M de 10 g d'un échantillon de produit finement broyé est délayée dans 50 mL d'eau distillée, puis laissé macérer et le surnageant est filtré; 3 gouttes de phénolphtaléines sont ajoutées à un volume $V_1 = 20$ mL de ce filtrat et le dosage est effectué en versant la solution de NaOH de normalité $N_2 = 0{,}1N$ jusqu'à l'apparition d'une couleur rose. Soit Véq le volume de la solution de NaOH versé, la normalité N_1 du filtrat prélevé est obtenue par la ***Formule*** :

$$N_1 = \frac{N_2 \times V_2}{V_1} \qquad (1)$$

Cette normalité a été convertie en milliéquivalent pour 100 g d'échantillon frais (méq/100g)).

$$\text{Acidité (méq.g/100 g)} = \frac{N_1 \times 10^5}{M} \qquad (2)$$

➢ *Taux de matière sèche*

Le taux de matière sèche a été déterminé par un humidimètre électronique (METTLER TELEDO, France) selon la méthode [14]. En effet, 5 g de chaque échantillon de farine ont été pesés et étalés dans le plateau de l'appareil et refermés. La température de dessiccation est de 150 °C. A la fin de la dessiccation, un bip sonore indique la fin de l'opération et la valeur est enregistrée sur un papier imprimé indiquant la valeur du taux de matière sèche.

➢ *Teneur en protéines*

Les protéines brutes sont déterminées à partir du dosage de l'azote total selon la méthode de Kjeldhal [15]. Elle comprend une phase de minéralisation, suivie d'une phase de distillation et d'une phase de titrage par l'acide sulfurique. D'abord une masse m de 0,5 g de chaque échantillon est pesée dans un matras de minéralisation auquel sont ajoutés successivement 0,5 g du catalyseur (sélénium, sulfate de cuivre ($CuSO_4$) et de sulfate de potassium (K_2SO_4)) et 20 mL d'acide sulfurique concentré. La minéralisation est effectuée à 400 °C pendant 2 h dans un digesteur (BUCHI, France). Après refroidissement du tube à la température ambiante, le minéralisât est transvasé dans une fiole jaugée de 100 mL et complété au trait de jauge avec de l'eau distillée. Ensuite dix (10) mL de NaOH 40 % (p/v) sont ajoutés à 10 mL du minéralisât et le mélange est

placé dans le réservoir du distillateur. L'allonge du réfrigérant du distillateur est ensuite plongée dans un bêcher contenant 20 mL d'acide borique 5 % (p/v) additionné d'un indicateur mixte (rouge de méthyle + vert de bromocrésol). La distillation est effectuée pendant 10 min jusqu'à l'obtention d'un distillat vert ou bleu. Enfin le distillat est dosé par une solution d'acide sulfurique 0,1 N jusqu'au virage au vert. Un blanc est réalisé avec de l'eau distillée. La teneur en protéines totales est exprimée en pourcentage de masse par la ***Formule*** suivante :

$$Protéines\ totales\ (\%) = \frac{(V_1 - V_0) \times 14 \times 6{,}25}{10 \times m_e} \quad (3)$$

V_0: volume (mL) de solution d'acide sulfurique (0,1 N) versé pour l'essai à blanc; V_1: volume (mL) de solution d'acide sulfurique (0,1 N) versé pour l'essai (échantillon); m_e: masse (g) de l'échantillon de farine; 6,25 : Facteur de conversion de l'azote total en protéine.

2-2-4. Extraction et dosage des sucres éthanosolubles

➢ *Technique d'extraction des sucres éthanosolubles*

Les sucres de l'échantillon seront extraits selon la technique décrite par [16]. Un gramme de l'échantillon est dissout dans 10 mL d'éthanol (80 % v/v). La solution est centrifugée pendant 30 min à 3000 tours /min. Le culot est centrifugé deux fois de suite dans 10 mL d'éthanol. Le surnageant, constitue l'extrait qui servira au dosage des sucres réducteurs et totaux.

➢ *Dosage des sucres totaux*

Le taux des sucres totaux a été dosé selon la méthode de [17] utilisant le phénol. Un volume de 0,1 mL de l'extrait est dilué dans 0,9 mL d'eau distillée, ensuite 1 mL de phénol (5 % p/v) est ajouté. Le milieu réactionnel, homogénéisé et porté au bain marin bouillant après ajout de 2 mL d'acide sulfurique concentré, est laissé refroidi pendant 5 min sur la paillasse. La densité optique (D.O) est déterminée à 490 nm au spectrophotomètre (PG INSTRUMENTS, Angleterre) contre un témoin contenant tous les produits, excepté l'extrait. La D.O obtenue est convertie en quantité de sucres totaux grâce à la courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution de glucose (1 mg/mL).

➢ *Dosage des sucres réducteurs*

Le taux des sucres réducteurs a été dosé selon la méthode décrite par [18] utilisant le désoxynitro-salicylique (DNS). Un volume de 0,1 mL de l'extrait est dilué dans 0,9 mL d'eau distillée, ensuite 0,5 mL de DNS y est ajouté. Le spectromètre (PG INSTRUMENTS, Angleterre) a été utilisé pour la détermination des densités optiques à 540 nm des solutions de sucres de concentrations inconnues. Ces densités optiques, rapportées sur la courbe étalon, permettent de déterminer la concentration en sucres réducteurs des échantillons.

➢ *Teneur de l'amidon*

La détermination de la teneur en amidons s'est faite selon la méthode de [18]. Une quantité de 1 g de l'échantillon de farine de *foutou* a été dispersée dans 10 mL d'éthanol (10 % v/v). Après agitation pendant 30 min à l'aide d'un agitateur (J.P. SELECTA, Espagne), le mélange a été centrifugé à 1000 trs / min pendant 5 min. Le surnageant a été décanté et le culot a été lavé avec 10 mL de la solution d'acide sulfurique 1 M et centrifugé pendant 5 min. Le culot obtenu a été dispersé dans 50 mL d'acide sulfurique 1 M et chauffé dans un bain marie bouillant pendant 45 min. Après un refroidissement de 10 min, le contenu a été mis dans une fiole de 100 mL et complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Dix millitres de la solution préparée ont été prélevés, mis dans une fiole et complété à 100 mL avec de l'eau distillée. Le glucose de l'hydrolysat est quantifié selon Dubois *et al.*, (1956) concernant les sucres totaux. La teneur en amidon a été obtenue selon la ***Formule*** suivante :

$$Teneur\ en\ amidon\ (\%) = 0{,}9 \times taux\ de\ glucose \quad (4)$$

2-2-5. Analyse sensorielle des farines de foutou reconstituées

L'analyse sensorielle a consisté à préparer du *foutou* à partir des différents échantillons de farines de *foutou* produites. Puis le foutou reconstituée a été soumis à l'appréciation des panélistes afin de quantifier les différents paramètres.

➢ *Préparation du foutou*

Pour la préparation de notre foutou, le matériel suivant a été utilisé : la farine de *foutou,* un bol pour les mesures, une cuvette, de l'eau chaude, un mortier et un pilon (ou une louche) et des assiettes pour les services. Pour la reconstitution de notre foutou, une cuvette est utilisée, dans laquelle une mesure de foutou a été réservée. Une mesure d'eau tiède est ajoutée progressivement tout en malaxant le mélange. Ensuite une mesure d'eau est ajoutée jusqu'à obtention d'une consistance du foutou souhaitée. La pâte obtenue est lissée à l'aide d'une louche de cuisine de façon à éviter la formation de grumeaux. Enfin, plusieurs pains de foutous sont constitués et servis dans des assiettes de tables. Il faut noter que selon la composition de l'échantillon de farine de *foutou*, la deuxième mesure de l'eau sera utilisée de sorte à obtenir la consistance souhaitée.

➢ *Analyse du foutou reconstitué*

L'analyse sensorielle a été réalisée à partir de la méthode d'analyse descriptive quantitative. Elle consiste à évaluer et quantifier les descripteurs appropriés (couleur, fermeté, adhésivité, aspect lisse, élasticité, saveur sucrée, arôme et appréciation générale) selon une échelle graduée de 1 à 10. L'analyse sensorielle s'est déroulée dans la salle d'analyse sensorielle du laboratoire de la Société Ivoirienne de Technologie Tropicale (I2T). Cette méthode a permis à quinze (15) panelistes formés à I2T et entraînés, de juger les paramètres organoleptiques des trois (03) échantillons de *foutou* de chaque variété de banane plantain. Au cours de la dégustation, chaque paneliste évalue chaque descripteur. Ensuite il attribue une note à chaque descripteur suivant les sensations perçues. La moyenne des notes a permis de construire des courbes des profils sensoriels des différents échantillons de *foutou*.

2-2-6. Analyse statistique

L'exploitation statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica 7.1. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) et le test de Duncan ont été effectués pour comparer les variables analysées sur les différentes farines de *foutou* de banane avec incorporation de manioc. Les différences ont été considérées significatives pour les valeurs de $P \leq 0,05$. Pour déterminer le profil sensoriel des différentes formulations de farines de *foutou* de banane plantain et de manioc, le test descriptif a été effectué. Les analyses statistiques des données ont été effectuées à l'aide de logiciel d'analyse sensorielle TASTEL+ version 2013. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) et le test de Newman Keuls ont été effectués pour comparer les variables analysées sur les descripteurs générés. Les différences ont été considérées significatives pour les valeurs de $P \leq 0,05$.

3. Résultats et discussion

3-2. Résultats

3-2-1. Caractéristiques des produits obtenus

➢ *Compositions biochimiques des formulations de farine à base de banane plantain variété corne 1 et du manioc*

Les résultats d'analyses physico-chimiques des formulations de farine à base de banane plantain de la variété corne 1 et du manioc sont présentés dans le ***Tableau 2***. Ces résultats montent les valeurs de pH et de la

matière sèche sont identiques pour les formulations FC1, FC2 et FC3. Pour les teneurs en amidon, en sucres totaux, en sucres réducteurs et en acidité titrable, des différences significatives ont été observées. Les formulations FC1, FC2 et FC3 ont une teneur comprise entre 35,9 % et 63;12 %. Ces formulations contiennent 14 à 21,61 % de sucres totaux, 1,10 à 11,48 % de sucres réducteurs et possèdent une acidité titrable comprise entre 5,33 et 10,16%. La formulation FC1 possède le taux d'amidon le plus élevé tandis que la formulation FC3 a une valeur élevé de sucres totaux et de sucres réducteurs. Les taux de protéines des différentes formulations à base de banane plantain Corne 1, présentent statistiquement des différences significatives au seuil de 5 %. Ces valeurs en protéines sont comprises entre 1,31 % et 2,18 %. La formulation FC1 a un taux faible en protéines de 1,31 % tandis que les formulations FC2 et FC 3 présentent une valeur de 2,18 %.

- *Compositions biochimiques des formulations de farine à base de banane plantain de variété FHIA 21 et du manioc*

Les résultats d'analyse physico-chimiques des formulations de farine à base de banane plantain *FHIA 21* et de manioc sont présentés dans le ***Tableau 3***. Pour les différentes formulations de farine, le taux d'amidon varie d'une formulation à une autre. Ces taux sont compris entre 43,43 % et 60,76 %. Toutefois la formulation FH1 présente la plus faible teneur en amidon tandis que la formulation FH2 présente la plus forte teneur en amidon. Par ailleurs, le taux d'amidon des différentes formulations varie significativement au seul 5 % selon l'analyse statistique. Concernant les sucres totaux, leur taux dans les différentes formulations est compris entre 10,78 % et 21,30 %. La formulation FH2 a la plus forte teneur en sucres totaux tandis que le plus bas taux de 10,78 % de sucres totaux est observé dans la formulation FH1 constituée de banane verte et de manioc. L'analyse statistique des données a montré qu'il existe des différences significatives entre les valeurs des sucres totaux des différentes formulations. Pour les sucres réducteurs, les taux sont inégaux en fonction des différentes formulations. Ces taux sont compris entre 0,02 % et 2,06 %; la valeur la plus élevée est observé au niveau de la formulation FH2 de 2,06%. Des différences significatives entre ces taux de sucres réducteurs des différentes formulations ont été observées. Pour les taux de protéines, des différences significatives ont été observées. Les valeurs obtenues sont comprises entre 1,13 % et 3,93 % de protéines. La plus forte valeur a été observée dans la formulation FH2. Pour l'acidité titrable, les valeurs sont comprises entre 7,12 et 12,25 meq/100 g. La valeur la plus elevée (12,25 meq/100 g) est observée dans la formulation FH2. Une différence significative entre ces valeurs de l'acidité titrable a été observée. En ce qui concerne la matière sèche et le pH, aucune différence significative n'a été observée pour les taux de matière sèche ainsi que pour les valeurs de pH. Ces valeurs sont comprises entre 93,29 et 93,63 % pour la matière sèche et entre 5,11 et 5.57 pour le pH.

Tableau 2 : *Composition physico-chimiques des différentes formulations de farine à base de banane plantain Corne 1 et du manioc*

Paramètres	FC1	FC2	FC3
Matière sèche (%)	94,98 ± 0,01	92,54 ± 0,01	92,78 ± 0,01
Ph	5,33 ± 0,01	5,13 ± 0,04	5,37 ± 0,11
Acidité titrable (meq/100 g)	5,33 ± 0,58	10,16 ± 0,29	8,50 ± 0,50
Sucres totaux (%)	14,49 ± 0,09	18,13 ± 0,01	21,61 ± 0,06
Sucres réducteurs (%)	1,10 ± 0,01	6,20 ± 0,01	11,48 ± 0,01
Amidon (%)	63,12 ± 0,02	35,29 ± 0,01	46,03 ± 0,03
Protéines (%)	1,31 ± 0,62	2,18 ± 0,62	2,18 ± 0,62

Tableau 3 : *Composition physico-chimiques des différentes formulations de farine à base de banane plantain FHIA 21 et du manioc*

Paramètres	FH1	FH2	FH3
Matière sèche (%)	93,29 ± 0,04	93,31 ± 0,09	93,69 ± 0,02
PH	5,57 ± 0,01	5,11 ± 0,01	5,22 ± 0,00
Acidité titrable (meq/100 g)	7,12 ± 0,18	12,25 ± 0,35	10,00 ± 0,00
Sucres totaux (%)	10,78 ± 0,01	21,30 ± 0,04	20,85 ± 0,03
Sucres réducteurs (%)	0,02 ± 0,00	2,06 ± 0,00	1,63 ± 0,00
Amidon (%)	60,76 ± 0,10	43,43 ± 0,21	47,15 ± 0,27
Protéines (%)	3,06 ± 0,62	3,93 ± 0,62	1,13 ± 0,37

3-2-2. Analyse sensorielle de foutou reconstitué

➢ *Farine de foutou de la variété Corne 1*

Les différentes formulations de *foutou* de la variété *Corne 1* présentent des différences au niveau de certaines de leurs caractéristiques sensorielles étudiées, comme la saveur sucrée et la couleur jaune. Par contre, il n'y a pas de variation significative au niveau de l'aspect lisse, la fermeté et l'élasticité selon l'analyse statistique. Au niveau de la couleur, tous les trois formulations de *foutou* à base de la variété *Corne 1* présentent des variations statistiquement significatives au seuil de 5 %. La couleur jaune est plus prononcée dans la formulation FC2 suivie de FC3 et enfin FC1 en fonction du taux d'incorporation de la banane mûre. Quant à la fermeté des différentes formulations, elles sont généralement identiques dans l'ensemble. En effet, il existe une différence entre les échantillons FC1, FC2 et FC3. Par contre, il n'y a pas de différence entre FC2 et FC1. Pour l'adhésivité des différentes formulations, des différences significatives ont été observées. Les échantillons FC1 et FC3 sont significativement différentes de la formulation FC2. En ce qui concerne la saveur sucrée, les différentes formulations de farine présente une différence significative. La formulation FC2 constitué de banane mûre et de manioc est plus sucrée que les deux autres les formulations (FC1 et FC3) contenant de la banane mûre en plus et/ou de banane verte et de manioc. Pour l'arôme de banane plantain, des différences existent entre les trois farines de *foutou* constituées. La formulation FC2 est la plus aromatisée compte tenu de sa composition à 60 % en banane mûre. L'appréciation générale diffère entre les différentes formulations. La formulation FC2 a été la plus appréciée. Toutes les observations décrites ci-dessus sont représentées sur la ***Figure 3***.

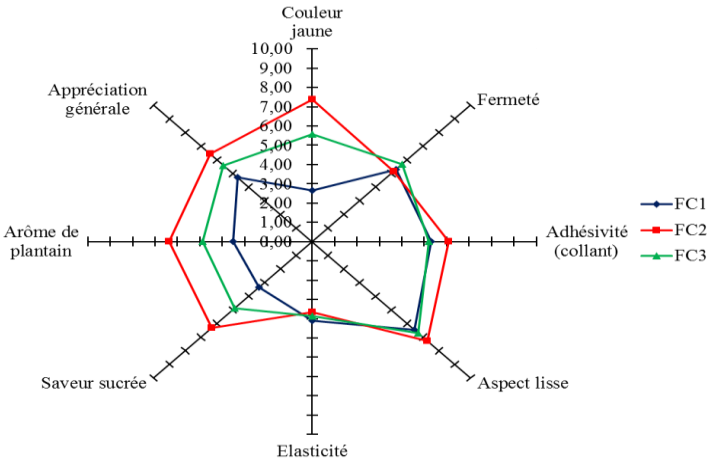

Figure 3 : *Courbes de représentation des profils sensoriels des différents échantillons de farine de foutou de banane plantain de la variété Corne 1*

➢ *Farine de foutou de variété FHIA 21*

Les différentes farines constituées présentent des différences au niveau de certaines caractéristiques sensorielles étudiées, comme la saveur sucrée et la couleur jaune. Cependant, il n'y a pas de variation significative au niveau de la fermeté, l'aspect lisse, l'élasticité et de l'arôme de banane plantain pour les différentes farines composites étudiées selon l'analyse statistique. Au niveau de la couleur, toutes les trois formulations de farines de *foutou* à base de la variété de banane plantain *FHIA 21* présentent des variations statistiquement significatives au seuil de 5 %. La couleur jaune est plus prononcée dans la formulation FH2. Pour l'adhésivité des différentes formulations, des différences significatives ont été observées. La farine FH2 est significativement différente des farines FH1 et FH3. En ce qui concerne la saveur sucrée, les différentes formulations de farine présente une différence significative. La formulation FH2 constituée de banane mûre et de manioc possède une saveur beaucoup plus sucrée que les deux autres formulations (FH1 et FH3). L'appréciation générale diffère entre les différentes farines composées de farine reconstituées. Il existe une différence significative entre les différentes farines reconstituées. Ainsi, la formulation FH2 a été la plus appréciée des trois formulations de farine de la variété de banane *FHIA 21.* L'évolution de ces différents paramètres organoleptiques des formulations de farine de *foutou* composées de la variété *FHIA 21* est représentée sur la ***Figure 4***.

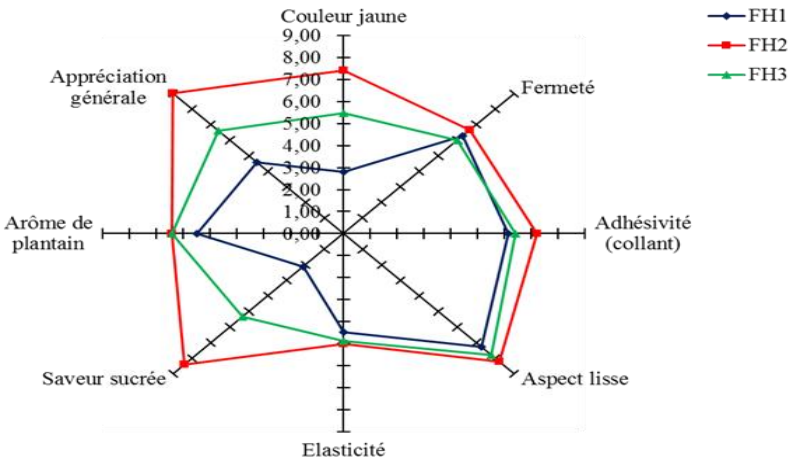

Figure 4 : *Courbes de représentation des profils sensoriels des différents formulations de farine foutou de de banane plantain de la variété FHIA 21*

3-3. Discussion

Les différents résultats des analyses physico-chimiques des formulations de farine de banane plantain des variétés *Corne 1 et FHIA 21* avec incorporation de manioc de la variété *Bonoua*, révèlent des informations intéressantes. En effet, le taux de matières sèches des différents formulations de farine sont comprises entre 92,54 % et 94,98 % pour la variété corne 1 et entre 93,29 % et 93,69 % pour la variété *FHIA 21*. Ces résultats obtenus ont montré qu'il n'ya pas de différence significative entre les taux de matières sèches de formulations de farine des variétés *Corne 1* et *FHIA 21*. Ces taux sont similaires à ceux de [19] sur l'évaluation de la qualité des nouilles produites à partir de la farine de banane plantain non mûre. Aussi, les forts taux de matières sèches des différentes farines de *foutou* pourraient traduire un faible taux d'humidité des farines des deux variétés de banane plantain soumises à notre étude. Ces faibles taux d'humidité de ces différentes farines

composées de *foutou* sont favorables à une conservation de longue durée [20]. Le pH des différentes formulations à base des deux variétés de banane plantain sont compris entre 5,1 et 5,6. Les différentes valeurs de pH des différentes formulations de farine montrent qu'elles sont acides. Ces valeurs de pH obtenues sont similaires à celles rapportées par [21] qui étaient de l'ordre de 4,6 à 6,1 sur les farines de bananes plantain vertes et de [22] qui étaient de 4,18 à 5,77 dans les farines de banane plantain à différents stades de mûrissement. Les teneurs en sucres totaux et réducteurs des différentes formulations de farine contenant des bananes plantain mûres sont plus élevées que celles des formulations de farine contenant des bananes plantain vertes. Ces teneurs sont respectivement de 18,13-21,60 % et 1,63-11,48 %. Cette différence des teneurs en sucres (totaux et réducteurs) dans les différentes farines pourrait être expliquée d'une part par les différentes proportions d'incorporation de banane plantain mûre car au cours du mûrissement des bananes, l'amidon se transforme en sucre et d'autre part sous l'action de la chaleur lors de la cuisson à l'eau, les grains d'amidon soumis à une forte température et un excès d'eau se gonflent puis se gélatinisent et se solubilisent. Ainsi, l'attaque hydrothermique désorganise la structure cristalline de l'amidon des pulpes de bananes plantains libérant l'amylose, l'amylopectine et les sucres solubles [23]. Les teneurs en protéines des différentes formulations de farine de *foutou* à base de deux variétés *(Corne1 et FHIA 21)* de bananes plantain obtenues, sont significativement différentes d'une formulation à une autre en fonction des taux de banane mûre ou verte. Elles sont comprises entre 1,31 % et 2,18 % pour la variété corne 1 et entre 1,13 % et 3,93 % pour la variété *FHIA 21*. Ces teneurs sont inférieures à celles obtenues par [24] sur la farine de banane plantain. Les valeurs de protéines obtenues dans cette étude sont largement supérieures à celles rapportées par [25] dans leurs travaux de formulation d'aliment à base de farine de banane plantain et de maïs fermenté au Nigéria. En ce qui concerne les propriétés fonctionnelles, les informations qui découlent des résultats sont tout aussi importantes. En effet, la différence entre la densité tassée des différentes farines de *foutou* des deux variétés de bananes plantain (*Corne 1, FHIA 21*) est due au fait que la cuisson a réduit les espaces d'air dans la pulpe des bananes (vert ou mûr) et de manioc pour les farines formulées.

Selon [26], les farines issues de la cuisson ont une liaison inter-particule plus élevée, ayant donc pour résultat une densité tassée plus élevée. Cette observation est également en accord avec celles de [27, 28] qui ont montré que la densité tassée de la farine de la pulpe d'*Artocarpus communis* et d'*Artocarpus altilis* respectivement cuite est supérieure par rapport à la pulpe non cuite. Les valeurs de la densité tassée des farines composées de *foutou* de *Corne 1* et *FHIA 21* sont supérieures à celle de la farine d'igname (0,49 à 0,63 g/cm^3) [29]. L'évaluation de la couleur des produits obtenus avec les bananes de la variété *Corne 1* incorporé de manioc n'a pas donné de différence significative avec les produits faits à base des bananes de la variété *FHIA 21* incorporé de manioc. La différence de goût sucré obtenue à l'issu des tests organoleptiques n'est que la résultante de l'inégale teneur de sucres totaux et surtout de sucres réducteurs dans les bananes plantain des variétés *Corne 1* et *FHIA 21* utilisées. Les teneurs des trois sucres identifiés dans le plantain que sont le saccharose, le glucose et le fructose sont élevées dans les variétés *Corne 1* et *FHIA 21* entrainant le goût sucré dans ces différents mets à base de celles -ci. Ces resultats obtenues sont identiques à ceux obtenus par [30] qui ont déterminé les caractères biochimiques des fruits de plantain de la variété Agnrin. En effet, les formulations FC2 et FH2 de banane plantain des variétés *Corne 1 et FHIA 21.* Contiennent 60 % de banane mûre et 40 % de manioc. La fermeté, la tendresse et surtout le goût sucré seraient des critères de choix de formulations de farine de foutou de banane plantain. L'étude des caractéristiques organoleptiques des formulations de farines de *foutou* de banane plantain avec incorporation de manioc des variétés *corne 1* et *FHIA 21* montrent que les formulations FC2 et FH2 sont respectivement les plus appréciées.

4. Conclusion

L'objectif de cette étude est de contribuer à la sécurité alimentaire des populations ivoiriennes par la mise en place dans un premier temps d'une méthode de transformation de banane plantain en farine pour la confection de *foutou* répondant à nos habitudes alimentaires en vue de sa conservation à l'état sec pour réduire les pertes post-récoltes. Cette étude montre que les différentes formulations farines de *foutou* de banane plantain des deux variétés *(Corne 1 et FHIA 21)* ont des caractéristiques biochimiques, fonctionnelles et sensorielles intéressantes. Ainsi,les formulations constituées de 60 % de banane plantain mûre et de 40 % de manioc présentent dans l'ensemble, des propriétés biochimiques et organoleptiques plus remarquables. Les formulations FC2 pour la variété *Corne 1* et FH2 pour la variété *FHIA 21* ont plus été appréciées par les pénalistes.

Remerciements

Les auteurs remercient la direction du Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole(LANDA) et le personnel de tous les laboratoires qui ont contribué à l'élaboration de ce travail de recherche, pour leur assistance et leur expertise dans la fabrication et l'analyse de farine à base de banane plantain et du manioc.

Références

[1] - A. LASSOUDIERE, Le bananier et sa culture. Paris, *Editions Quae*, (2007) 384 p.
[2] - FAO, "L'économie de la banane 1985-2002," (2003) 1 p.
[3] - T. DU MONTCEL, "Plantain bananas In : The Tropical agriculturalist." The Macmillon Press LTD. London. (1993) 103 p.
[4] - A. PERRIN, Etude de la filière banane en Côte d'Ivoire. *Journal Alimenterre*, (2015) 66 p.
[5] - FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2012)
[6] - BNETD, Bureau National d'Etude Technique et de Développement. Rapport final sur le plan directeur du développement agricole, (1998) 12 p.
[7] - K. MOSSO, M. LINGANI, S. ANGBO, K. F. KONAN, A. KAMENAN, *IndustriesAlimentairesetAgricoles.*, 107 (3) (1990) 135 - 138
[8] - J. A. NGALANI, Valorisation du plantain: étude de l'obtention, de la caractérisation et de l'utilisation des farines - Conservation en frais. Thèse de Doctorat d'Etat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, France, (1989) 159 p.
[9] - C. ODURO-YEBOAH, T. JOHNSON PAA-NII, O. E. SAKYI-DAWSON & S. A. BUDU, Actes de l'Atelier "Potentialités à la transformation du manioc en Afrique de l'Ouest" - Abidjan, 4-7 (2007) 183 - 186
[10] - P. O. OGAZI & M. C. JONES, *Nigerian Food Journal*, 8 (1990) 74 - 77
[11] - D. A. OUREGA, B. L .KOFFI, K. F. N'GUESSAN, G. J. NEMLIN, K. TANO & K. M. DJE, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (2) (2015) 666 - 677
[12] - K. G. M. BOUAFOU, B. A. KONAN, K. G. KOUAME et S. K. COULIBALLY, Les produits et les sous-produits du bananier dans l'alimentation animale. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 6 (4) (2012) 180 - 181
[13] - AOAC, Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16, (2000)
[14] - AOAC, Official Methods of Analysis. 13th Edition, Association Official Analytical Chemists, Washington DC, (1980)

[15] - AOAC, Official Method of Analysis Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition, *AOAC International Publisher*, Washington DC, (1990)
[16] - J. MARTINEZ-HERRERA, P. SIDDHURAJU, G. FRANCIS, G. DAVILA-ORTIZ, K. BECKER, *Food Chem.*, 96 (1) (2006) 80 - 89
[17] - M. DUBOIS, K. A. GILLES, J. K. HAMILTON, P. A. REBERS, and F. SMITH, Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. Division of Biochemistry, University of Minnesota, St. Paul, Minn
[18] - F. WITNESS, The Empirical Method Intrudes on Medieval Medicine. *First published*: January-February, (1990). https: // doi.org/10.1002/j.2326-1951.1990.tb0220.x
[19] - M. A. OJURE & J. A. QUADRI, Quality evaluation of noodles produced from unripe plantain flour using xanthan gum. *International Journal of Recent Research and Applied Studies*, 13 (3) (2012) 740 - 752
[20] - F. N. A. ARYEE, I. ODURO, W. O. ELLIS, J. J. AFUAKWA ELSERVIER, *Control food*, (2006) 916 - 922
[21] - EMPERATRÍZ PACHECO-DELAHAYE, RONALD MALDONADO, ELEVINA PÉREZ and MILY SCHROEDER, production and characterization of unripe plantain (*musa paradisiaca* l.) flours. *Journal Interciencia*, 33 (4) (2008) 290 - 295
[22] - H. N. AYO-OMOGIE, E. T. OTUNOLA, Effect of ripening on some physicochemical properties of cooking banana (Musa ABB Cardaba) pulp and flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 45 (12) (2010) 2605 - 2611
[23] - I. BJORCK, N. ASP, D. BIRKHE & I. LUNQUIST, Effects of processing on availability of starch digestion in vitro and in vivo. Extrusion cooking of wheat flours and starch. *Journal of cereal Science*, 2 (1984) 91 - 103
[24] - T. A. ADENIJI, L. O. SANNI, I. S. BARIMALAA & A. D. HART, Nutritional and anti-nutritional composition of flour made from plantain and banana hybrid pulp and peel mixture. *Nigerian Food Journal*, 25 (2) (2007) 68 - 75
[25] - H. N. AYO-OMOGIE & R. OGUNSAKIN, *Food and Nutrition Sciences,* 4 (2013) 844 - 850
[26] - A. O. ITIOLA, Compressional characteristics of three starches and the mechanical properties of their tablets. *Pharmacetical World Journal*, 8 (1991) 91 - 94
[27] - O. M. MAYAKI, J. O. AKINGBALA, G. S. H. BACCUS-TAYLOR & S. THOMAS, *Food Agriculture and Environment*, 1 (2003) 54 - 59
[28] - S. F. OULAÏ, A. P. AHI, K. D. J. KOUASSI, T. J GONNETY, M. B. FAULET, K. M. DJÈ & P. L. KOUAMÉ, *International Journal of Recent Biotechnology*, 2 (4) (2014) 1 - 12
[29] - C-L. HSU, W. CHEN, Y. M. WENG & C. Y. TSENG, *Food Chemistry,* 83 (2003) 85 - 92
[30] - E. ASSEMAND, F. CAMARA, F. KOUAME, V. KONAN, L. P. KOUAME, Caractérisation biochimique des fruits de plantain (Musa paradisiaca L.) variété «Agnrin» de Côte d'Ivoire et évaluation de ses produits dérivés. *Journal of Applied Biosciences,* 60 (2012) 4438 - 4447