

Fortification et substitution de la farine de blé par la farine de Voandzou (*Vigna subterranea* L. verdc) dans la production des produits de boulangerie

Séraphin Koffi DIALLO^{1,2}, SORO Doudjo¹, KONE Kisselmina Youssouf¹, ASSIDJO Nogbou Emmanuel¹, YAO Kouassi Benjamin¹, and GNAKRI Dago²

¹Laboratoire des procédés de Synthèse Industriels de Synthèse de l'Environnement et des Energies Nouvelle (LAPISEN), Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Université Nagui-ABROGOA, Côte d'Ivoire

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study has been led to develop Bambara groundnut in Côte d'Ivoire, legume under used, using it as part of fortification and substitution of wheat for the production of bread flour. The physicochemical characteristics of the flour composed and breads, followed by the sensory analysis of the witness (100% wheat flour) breads and compound bread where wheat flour (FB) is overridden at the rate of 5%, 10%, 15% and 20% by the bambara groundnut seeds were made. Going from 0% to 20% substitution, the chemical composition of the FB/FV breads improves respectively in protein, ash, fibre and fat. FB/FV breads from the rate of substitution have volumes significantly higher than bread witness. Sensory evaluation indicates that there are no significant difference ($p \leq 0,05$) between the light bread and all breads FB/FV. This study would suggest that seeds of bambara groundnut could be properly incorporated into the flour of wheat until the rate of 20%.

Keywords: wheat flour, *Vigna subterranea* L. verdc, bread, degree of substitution.

RÉSUMÉ: La présente étude a été conduite en vue de valoriser le voandzou de côte d'Ivoire, légumineuse sous utilisée, en l'utilisant comme élément de fortification et de substitution de la farine de blé pour la production de pain. Les caractéristiques physico-chimiques des farines composées et des pains, suivie de l'analyse sensorielle des pains témoin (100% farine de blé) et des pain composés où la farine de blé (FB) est substituée aux taux de 5%, 10%, 15% et 20% par celle des graines de voandzou ont été faites. Lorsqu'on passe de 0% à 20% de substitution, la composition chimique des pains FB/FV s'améliore respectivement en protéines, cendres, fibres et en lipides. Les pains FB/FV obtenus aux différents taux de substitution ont des volumes significativement supérieurs à celui du pain témoin. L'évaluation sensorielle indique qu'il n'y a aucune différence significative ($p \leq 0,05$) entre le pain témoin et tous les pains FB/FV. Cette étude suggérerait que les graines de voandzou pourraient être convenablement incorporées à la farine de blé jusqu'au taux de 20%.

MOTS-CLEFS: farine de blé, *Vigna subterranea* L. verdc, pain, taux de substitution.

1 INTRODUCTION

L'insuffisance de protéine dans le monde et particulièrement dans les pays en voie de développement, a dicté la recherche de nouvelles sources de protéine pour substituer ou pour compléter les sources existantes de protéines (Mohammed et al., 2013). Plusieurs plantes alimentaires considérées comme protéines ou sources de protéines, existent dans la nature. Parmi elles, l'on trouve les légumineuses. Les légumineuses en plus de leur haute teneur en protéines, ont l'avantage d'être largement cultivées par les populations rurales. De plus, elles sont utilisées dans divers types d'aliments de grandes consommation et de large distributions (Guthrie, 1971, Fasoyiro et al., 2012) tels que les produits de boulangerie et de pâtisserie.

D'importants espoirs ont été placés dans l'utilisation des farines composées en boulangerie durant ces vingt dernières années dans les pays en développement. En effet, une substitution partielle de la farine de blé par celles de céréales locales telles le sorgho peut constituer une alternative intéressante en termes de coûts bénéfiques par rapport aux grains importés. Les diverses tentatives dans cette voie furent le plus souvent un échec, dû à des faits majeurs tels que l'hostilité de la filière classique (moulin-boulangerie), l'incertitude d'approvisionnement régulier en céréales locales et les habitudes alimentaires des consommateurs. Mais aujourd'hui avec la nouvelle donne économique en Afrique (aggravation de la crise, dévaluation du franc CFA, détérioration des termes d'échange, etc.), tout laisse présager que ces différents obstacles pourraient être franchis en mettant au point un produit acceptable tant sur le plan technologique qu'économique.

Plusieurs auteurs ont en effet travaillé sur le développement des farines composées dans lesquelles une partie de la farine de blé est remplacée par d'autres sources amylacées (Dendy et al., 1973 ; Berthelot, 1990 ; Defloor, 1995).

C'est dans cette optique que se situe ce travail qui a pour objectif la mise au point de pains à partir d'un mélange de farines de blé et de légumineuses : le voandzou. En effet, les légumineuses du genre *Vigna*, telles que le voandzou, font partie des aliments les plus consommés en Afrique au sud de Sahara (Brink et al., 2006).

Le voandzou est une légumineuse indigène annuelle à grain cultivée principalement par les femmes (Touré et al., 2013) comme nourriture de subsistance dans les zones semi-arides de l'Afrique sub-saharienne (FAO, 2001 ; Mkandawire, 2007). Cette légumineuse africaine est riche en protéine végétale et est bon marché.

En Afrique, le voandzou est la troisième légumineuse alimentaire la plus importante en termes de production et de consommation après l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) et le niébé (*Vigna unguiculata* L Walp.) (Linnemann, 1992; Howell, 1994). Dans les pays au sud du Sahara elle est la deuxième légumineuse économiquement importante après le niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walpers]. C'est une plante qui s'adapte bien aux conditions climatiques difficiles (Heller et al., 1997). La plante est cultivée pour ses graines riches en protéine, en glucide et en lipide (Brought et Azam-Ali, 1992). Les graines renferment aussi différents éléments minéraux tels que le calcium, le magnésium et le potassium (Amarteifio et al., 2006). Les protéines contenues dans les graines de voandzou ont une teneur élevée en lysine et leur association avec les céréales dans l'alimentation, constitue un complément nutritionnel pour de nombreuses populations locales qui ne peuvent faire face aux coûts élevés des protéines animales (Massawe et al., 2005).

En Côte d'Ivoire, le voandzou est disponible. Cependant, il est consommé sous des formes traditionnelles et de plus, très peu d'informations sont actuellement disponibles sur l'utilisation de cette légumineuse dans les aliments de grande consommation et de grande distribution. L'objectif de cette étude est de valoriser le voandzou en l'utilisant comme élément de fortification et de substitution de la farine de blé dans la production des produits de pâtisserie et de boulangerie.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les graines de *voandzou* ont été achetées sur le marché d'Ouangolodougou (nord de la Côte d'Ivoire) durant la période de récolte 2012. Elles ont été soigneusement triées, nettoyées et conservées dans une chambre froide afin d'éviter leur détérioration par les bruches.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS DE FARINES

Les graines de voandzou triées et nettoyées ont été trempées à l'eau dans un bac pendant 18 heures. Elles ont été ensuite débarrassées manuellement de leur pellicule, séchées à l'étuve pendant 48h à 40°C puis réduites en farine à l'aide d'un broyeur à marteau contenant un tamis de maille 200µm. La farine obtenue a été ensachée et conservée à température ambiante.

2.2.2 PRÉPARATION DES FARINES COMPOSÉES

Les farines de blé et de voandzou ont été mélangées pour constituer les farines composées dans les proportions suivantes (p/p) 5/95, 10/90, 15/85, 20/80. La farine 100% blé a servi de témoin. Les échantillons de farine de blé et de voandzou ont

été mixés dans un mixer Philips (HR2811 model) pendant cinq minutes à grande vitesse et mis dans des sachets plastiques puis stockés à température ambiante.

2.2.3 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES

2.2.3.1 DETERMINATION DU TAUX DE MATIERE SECHE

Le taux de matière sèche des farines est déterminé par séchage à l'étuve à une température de 105°C jusqu'à un poids constant. Le poids perdu dans chaque cas représente la teneur en eau des farines.

$$Teneur\ en\ eau\ (\%) = \frac{(masse\ de\ l'échantillon - masse\ de\ l'échantillon\ séché)}{masse\ de\ l'échantillon\ initial} \times 100$$

2.2.3.2 DETERMINATION DU TAUX DE CENDRES

Le taux de cendre des farines est déterminé par incinération des échantillons de farines à une température de 600 C dans un four à moufle pendant 8 heures selon la méthode (AOAC, 2005).

$$Taux\ de\ cendres\ (\%) = \frac{masse\ de\ cendres}{masse\ de\ l'échantillon} \times 100$$

2.2.3.3 DETERMINATION DU TAUX DE GLUCIDES

La teneur en glucides a été estimée par la méthode de différence. Il a été calculé en soustrayant de la somme du pourcentage d'humidité, matière grasse, protéine et cendres contenu 100 % de matières selon la méthode (AOAC, 2005).

$$Taux\ de\ glucides(\%) = 100 - (H\ \% + M.G\ \% + P\ \% + C\ \%)$$

2.2.3.4 DETERMINATION DU TAUX DE PROTEINES

Les protéines brutes sont déterminées à partir du dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldhal (AOAC, 2005). Le pourcentage d'azote est calculé selon l'équation suivante :

$$N\ (\%) = \frac{(Ve - Vb) \times N \times 0,0014 \times D}{me \times V} \times 100$$

La protéine brute a été obtenue en multipliant la teneur en azote total correspondant par un facteur convention de 6,25.

$$Taux\ de\ Protéines\ (\%) = \%N \times 6,2$$

2.2.3.5 DETERMINATION DU TAUX DE MATIERES GRASSES (M. G.)

Le taux de matières grasses brutes a été déterminé par la technique d'extraction au Soxhlet selon la méthode l'AOAC (2005). Elle consiste à sécher les échantillons et à extraire la matière grasse par des solvants organiques (éther de pétrole) à 60 à 80° C par reflux durant 6 h. Le pourcentage de la teneur en matière grasse est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de M G (\%)} = \frac{\text{Masse de Matières Grasses}}{\text{Masse de l'échantillon séché}} \times 100$$

2.2.3.6 DETERMINATION DU TAUX DE FIBRES BRUTES

La teneur en cellulose des échantillons est déterminée selon la méthode (AOAC, 2000). Une double hydrolyse acide (200 ml d'acide sulfurique 0,225 N) et alcaline (200 ml de soude 0,3 N) à chaud détruit des protéines et des glucides digestibles contenus dans 3 g d'échantillon est effectuée, puis l'hydrolysate est dégraissé à l'acétone. Le résidu est séché et pesé. Après calcination, le poids des cendres est retranché.

2.2.3.7 DETERMINATION DE LA VALEUR ENERGETIQUE (V E)

La valeur énergétique totale des pains a été calculée selon la méthode de Manzi (1999) à l'aide de la formule, comme le montre l'équation suivante :

$$\text{Valeur Energétique (Kcal)} = [(\% \text{ glucides} \times 4) + (\% \text{ Protéines} \times 4) + (\% \text{ MG} \times 9)]$$

2.2.3.8 DÉTERMINATION DU PH

Pour l'estimation de l'acidité ou l'alcalinité, un échantillon de 20 g est additionné à une solution de 100 mL d'eau distillée bouillante. Après un refroidissement sous agitation continue, la mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH-mètre de type Agimatic-N [26].

2.3 ESSAI DE PANIFICATION

La recette de préparation des pains à partir des échantillons de farines composées de blé et de voandzou est présentée dans le tableau 1. Les échantillons de pains ont été faits selon la méthode de Amani N. G. et Takano H. (1998) modifiée.

Tableau 1 : Recette des pains témoin et test

Ingrédients	Pains	
	Témoin	test
Farines ¹	500	500
sel	1	1
levure	1,5	1,5
eau	65	Variable

Ingrédients exprimés en pourcentage de farine

¹ Farine de blé substituée par 5%, 10%, 15% et 20% de farine de graines de voandzou (sur la base de 14% de taux d'humidité).

Des pains témoins (100% farine de blé) et des pains test où la farine de blé (FB) est substituée à 5%, 10%, 15% et 20% par celle de graines de voandzou ont été faits selon la formule standard de Amani N. G. et Takano H. (1998) avec quelques modifications concernant les teneurs en sel et en levure. (Tableau I). Les différents ingrédients (à l'exception de la levure) ont été pétris. Trois minutes après le début de ce premier pétrissage (frassage) qui se fait à 40 trs/min et qui cinq min, la levure, préalablement délayée dans l'eau, a été ajoutée au reste du mélange. La pâte obtenue, mise au repos pendant cinq min, subit ensuite un deuxième pétrissage qui se fait à 84 trs/min pendant 10 min. C'est le brassage. Le pointage ou première fermentation fait suite au brassage et dure 45 min. La pâte a ensuite été façonnée et moulée avant d'être placée pendant 1 h dans une chambre de fermentation pour l'apprêt. La cuisson, qui se fait à chaleur humide, a lieu à 230°C pendant 30 min dans un four électrique. Sorti du four, le pain est laissé à la température ambiante pour son refroidissement : c'est le ressuage qui précède la détermination des différentes caractéristiques du pain.

2.4 PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

La capacité d'absorption d'eau, l'indice de solubilité à l'eau, la capacité d'absorption d'huile, la densité de la farine ont été évalués. La capacité d'absorption d'eau (CAE) et l'indice de solubilité à l'eau (ISE) ont été déterminés suivant la méthode de Philips, Chinnan, Brach, Miller & McWatters (1988) et Anderson, Conway, Pfeifer & Griffin (1969).

La capacité d'absorption d'huile a été déterminée suivant la méthode de Sosulski (1962).

Le rapport hydrophile-lipophile tel que défini par Njintang, Mbofung & Waldron (2001), a été calculé en faisant le rapport de la capacité d'absorption d'eau sur la capacité d'absorption d'huile. C'est un rapport qui permet d'évaluer l'affinité comparée des farines pour l'eau et pour l'huile.

La densité de la farine a été déterminée suivant la méthode de Okezie & Bello (1988) basée sur la détermination d'une masse de pâte prise dans un volume connu.

2.5 EVALUATION SENSORIELLE DES PAINS

Les pains préparés à partir des farines composées et de 100% blé (témoin) ont été évalués sur la texture, la saveur, l'arôme, la croûte, la mie et l'acceptabilité globale.

Les échantillons ont été jugés par 35 panelistes composés de personnel et d'étudiants de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INPHB) sur une échelle hédonistique de 9 points : 9 (j'aime extrêmement) à 1 (je n'aime pas) comme décrit par KOKO et al., (2012).

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les mesures ont été effectuées en triple et les données ont été sujettes à une analyse de variance pour tester les effets des différents facteurs expérimentaux sur les propriétés mesurées. Le test de Duncan a été utilisé pour classer les traitements au cas où il existerait une différence significative. Toutes ces analyses ont été effectuées à l'aide des logiciels SPSS 17.0. La signification statistique a été définie à 0,05.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau 2 : Résultats analyses physico-chimiques de la farine de blé et des farines composées

Paramètres	Echantillons					
	FB	FV	FC1	FC2	FC3	FC4
Humidité (%)	10,75	07,07±0,35c	8,83±0,51ab	8,29±0,28b	9,26±0,30a	9,16±0,43a
Protéines (%)	12,32	23,31±9,09c	13,07±0,56a	13,91±1,92a	17,93±1,35b	19,00±0,84b
Glucides (%)	6,07	58,73±2,82c	79,91±2,94b	77,43±3,33b	71,63±0,81a	68,93±1,04a
Mat Gr (%)	3,45	7,77±2,85c	6,90±2,38a	7,52±1,52ab	8,29±2,05ab	9,91±1,82b
Cendres (%)	2,29	6,01±2,00b	2,00±0,06c	2,67±0,20a	4,00±0,01a	5,00±1,00ab
Fibres (%)	2,18	4,19±0,01c	1,12±0,05a	1,95±0,05ab	2,36±0,05ab	3,16±0,04bc
pH	6,14	6,85±0,05d	6,30±0,08a	6,35±0,01ab	6,41±0,01bc	6,45±0,01c

Les résultats des analyses physicochimiques des différentes farines composées sont résumés dans le tableau 2. La teneur en protéines de la farine de voandzou (23,31%) est supérieure à celle du blé qui est de 12, 26%. Cette différence de teneur est due au faite que le blé est une céréale alors que le voandzou est une légumineuse. Effet les légumineuses sont naturellement plus riches en protéines que les céréales. La teneur élevée de protéines de cette légumineuse fera de cette plante un excellent supplément naturel pour les aliments qui en sont déficitaire.

A l'analyse de ces résultats, une augmentation de la teneur en protéines, en fibres, cendres et matières grasses est observée au fur et mesure que le taux de substitution augmente. Les teneurs en protéine ont varié respectivement de 13,07 % dans la farine composée FC1 à 19,00 % dans la farine composée FC4. Par contre les teneurs en Matières sèches et en glucides totaux ont diminué. Quant au pH, il a varié très peu et est resté inférieur à 7 malgré l'augmentation du taux de substitution en farine de voandzou. Ces résultats concordent avec ceux de Yetunde et al., 2009, Alozie, Lyam, & Lawal, 2009. Tous les paramètres physicochimiques des farines composées présentent une différence significative ($P < 0,05$) comparés aux

paramètres de la farine de blé. Cette tendance a été relevé par Medoua, 2005 ; Abu-salem et Abou-arab, 2011; Fasoyiro et al., 2010 qui ont substitué la farine de blé par la farine d'igname, de *Cajanus cajan* et de voandzou. Cette substitution serait bénéfique car selon Mensah et Tomkins, 2003, les protéines issues du mélange de la farine de légumineuses et de céréales seraient de qualités que les protéines d'origine animale.

Tableau 3: Propriétés fonctionnelles des farines composées

Paramètres	Echantillons				
	FC1	FC2	FC3	FC4	FV
CAE	96,95±8,65 a	98,47±4,99 a	105,84±1,90 a	116,78±6,92 a	190,36±29,33 b
CAH	93,53±15,67 b	118,60±13,83 a	121,83±16,92 a	123,30±9,76 a	88,83±4,96 b
ISE	34,23±10,40 a	29,93±1,82 a	28,10±2,69 a	32,30±2,43 a	64,63±6,95 b
H/L	1,05±0,11 a	0,84±0,14 a	0,88±0,12 a	0,95±0,12 a	2,14±0,31 b
Den Farines	0,72±0,02 a	0,71±0,05 a	0,67±0,03 b	0,66±0,01 b	0,59±0,03 c

La capacité d'absorption de l'eau des farines joue un rôle important dans le processus de préparation des aliments car elle influence certaines propriétés fonctionnelles et sensorielles. En outre, l'utilisation des farines comme ingrédients alimentaires dépend, dans une large mesure, de leur interaction avec l'eau. Les propriétés fonctionnelles des farines composées de farines de blé et de voandzou à différents proportions et celles de la farine de voandzou sont présentées dans le tableau 3.

Les valeurs de la capacité d'absorption en eau (CAE) des différentes farines oscillent entre 96,95% (FC1) et 190,36% (FV). Quant aux valeurs de l'indice de solubilité dans l'eau (ISE), elles sont comprises entre 28,10% (FC3) et 64,63% (FV). Ces valeurs sont comparables aux valeurs rapportées les farines de certaines légumineuses dépelliculées telles que horse gram (122,6 g/100 g), niébé (128,5 g/100 g) et pois chiches (136,2 g/100 g) (Gob & Prakash, 2006). Toutefois, la valeur de la CAE de la farine de voandzou (FV) était plus élevé que les valeurs rapportées pour les lentilles (97,4 g/100 g) et d'autres variétés de niébé (92 –114 ml/100 g) (Dinia, Kushwah, & Kushwah, 1996 ; Gob & Prakash, 2006). Les valeurs des densités des farines varient de 0,59 à 0,72. Il est connu que les acides aminés polaires des protéines ont une affinité avec les molécules d'eau. Les différences observées entre les Capacités d'Absorption en Eau des farines composées pourraient s'expliquer par la variation de la teneur en farine de voandzou. De plus, la composition en glucides peut également être un facteur qui influence la capacité de rétention d'eau de la farine (Yadahally N. Sreerama et al, 2012). Les Farines avec CAE élevé pourraient être de bons ingrédients de boulangerie pour la fabrication de produit, tel que le pain. En effet, une CAE élevée permet d'ajouter plus d'eau à la pâte, améliorant ainsi sa maniabilité et le maintenir la fraîcheur dans le pain. En outre, le CAE est une propriété essentielle de protéines dans les aliments visqueux, tels que les soupes, les pâtes, les crèmes et les produits de boulangerie. Car elle permet à la farine d'absorber l'eau sans toutefois dissoudre de la protéine, ce qui a pour conséquence d'épaissir et d'augmenter la viscosité des aliments.

L'analyse des résultats montre qu'il existe une différence significative ($p < 0,005$) entre les farines composées et les farines de voandzou d'une part et d'autre part entre ces farines et le farine de blé. La capacité d'absorption en eau, la capacité d'absorption en huile augmentent alors que l'indice de solubilité à l'eau, la densité des farines et le rapport hydrophile lipophile décroissent avec l'augmentation du taux de substitution.

La capacité adsorption d'huile (CAH) des farines alimentaires est importante dans l'industrie alimentaire car elle permet l'absorption l'huile par un processus complexe de la capillarité. La capacité d'un composant alimentaire à piéger l'huile est une caractéristique importante dans les formulations d'aliments gras car elle agirait comme un dispositif de retenue de saveur et exhausteur de sensation en bouche (Khattab, R. Y., et Arntfield, S. D. 2009 ; Yadahally N. Sreerama 2012).

La capacité d'absorption d'huile de farines de voandzou a été étudiée et comparée à celle des farines composées de voandzou et de blé. D'importantes différences dans les capacités d'absorption en huile ont été notées chez les farines

étudiées. La farine de voandzou a la valeur la plus basse (88,83 g/100 g). La CAH augmente avec l'augmentation du taux de substitution. Elle passe de 88, 83g/100g pour la farine brute de voandzou à 123,30g/100g (FC4) (tableau 3).

La capacité d'absorption en huile des farines de légumineuse est corrélée négativement avec la capacité d'absorption de l'eau. Ces résultats sont semblables à ceux rapportées par Naczki, Diosady et Rubin (1985) pour la farine de canola. La CAH de la farine de voandzou est faible comparée à celle des farines composées. Cependant, elle est plus élevée que les valeurs relevées pour les farines de haricots rouges dégraissés (73,83 g/100 g) (Njintang, Mbofung, & Waldron, 2001) et de pois d'Angole (80,7 g/100 g) (Oshodi & Ekperigin, 1989). Cependant elle est égale à celle de niébé (88,3g/100g) et horse gram (82,4g/100g) (Yadahally N. Sreerama 2012).

Tableau 4 : Résultats analyses physicochimiques des échantillons de pain

Paramètres	Echantillons				
	PFB	PFC 1	PFC 2	PFC 3	PFC 4
T H (%)	34,05±1,15 a	40,50±1,50 b	49,65±0,65 c	53,90±1,30 d	58,35±0,65 e
Glucides (%)	72,54±3,06 e	67,62±1,44 d	63,17±0,60 c	59,51±1,54 b	48,54±1,71 a
Protéines (%)	12,96±1,66 a	14,58±0,54 ab	16,78±1,55 bc	18,14±2,09 cd	20,66±1,21 d
Mat Gr (%)	1,70±1,40 b	1,80±0,90 c	1,93±1,00 a	1,95±0,45 a	2,03±0,30 d
fibres(%)	0,30±0,10 a	0,40±0,10 ab	0,55±0,05 bc	0,70±0,10 cd	1,00±0,10 d
Cendres (%)	1,30±0,10 a	1,50±0,10 a	1,90±0,10 b	2,00±0,20 b	3,50±0,30 c
V E (Kcal)	458,10±7,00 c	471,90±4,50 a	478,20±5,20 ab	482,45±1,85 b	498,50±0,70 d
Vol (mm ³)	271,05±27,87 a	630,83±15,39 b	918,84±41,81 c	1457,14±58,22 d	1754,45±51,59 e

Le tableau 4 montre la composition physicochimique des pains composites du blé/voandzou. La teneur en humidité des pains a varié de 34,05 à 58,35% respectivement avec l'échantillon PFB (100 % blé) et PFC4 (80:20) mélange ayant le taux de substitution le plus élevé. Le taux d'humidité, de protéines, de matières grasses, de fibres et de cendres augmente avec la quantité de farine voandzou. Les valeurs sont passées respectivement 12,96% à 20,66% ; de 1,70% à 2,03% ; 0,30 à 1% et 1,30 à 3,5% respectivement pour les protéines, la matière grasse, les fibres et les cendres. Il en est de même pour les valeurs énergétiques qui ont variées de 458,10 Kcal (PFB) à 498,50 Kcal (PFC4). Aussi, les volumes des pains ont-ils augmentés avec le taux de substitution. Ils sont passés de 271,05 mm³(PFB) à 1754,45 mm³(PFC4). Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Méité et al 2008, Yetundé et al. 2009 et Massoad Sadiq et al. 2011 qui ont substitué respectivement la farine de blé par la farine de graines de *Citrullus lanatus*, voandzou et de niébé.

De plus, ces résultats indiquent que, sur le plan de la composition chimique, la substitution FB par FV donne des pains qui non seulement sont plus riches en protéines mais également sont plus énergétiques. El-Soukary F. A (2001) avec les graines de *C. moschata*, Abdel-Kader Z. M (2001) avec celles de fèves (*V. faba*) et ElAdawy T. A. (1995) avec celles de sésame (*Sesamun indicum*) aboutissent aux mêmes résultats. Le mélange de farine de légumineuses (Voandzou) riche en lysine, acide aminé essentiel, absent dans la farine de blé, améliore la qualité protéique des échantillons de pains composés. Les valeurs de volumes obtenues avec les pains témoin et test sont similaires d'une part à celles de pains obtenus après la substitution de la farine de blé par celle de soja (2,40–0,02% à 3,24–0,02%) (Dhingra S. et Jood S. 2002) et d'autre part à celles de pains fabriqués avec les farines de blé de différentes années (2,86–0,38% à 3,37–0,14%) (Svec I. et Hruskova M. 2004).

L'amélioration de volume observée au taux de substitution de la FB par FV pourrait s'expliquer par la présence de matières grasses. En effet, selon CEA (1998), l'ajout de 1% à 2% de matières grasses améliore le volume du pain. En outre, L'augmentation de volume due à l'augmentation du taux de substitution de la farine de blé par de la farine de légumineuses causerait l'affaiblissement le réseau de gluten qui est chargé de conserver les gaz de levage Abou_Zaid (2011).

Tableau 5 : Moyennes des scores de l'analyse sensorielle des échantillons de pain

Paramètres	Echantillons				
	100% F Blé	5 % F V	10 % F V	15 % F V	20 % F V
Texture	7,00 a	7,71 a	7,09 a	6,23 ab	5,77 b
Saveur	6,69 b	5,71 ab	6,00 ab	5,46 a	5,20 a
Arôme	6,86b	5,94 ab	5,91 ab	5,31 ac	4,66 c
Croute	7,14 a	6,65 a	7,14 a	6,86 a	7,11 a
Mie	7,37 ab	6,85 a	7,69b	7,20 ab	7,63 ab
Accep Glob	6,94 a	6,23 a	6,63 a	6,03 a	5,97 a

L'évaluation sensorielle est un critère important pour l'évaluation de la qualité dans le développement de nouveaux produits et pour répondre aux exigences des consommateurs. Tout nouveau produit doit donner satisfaction et plaisir aux consommateurs s'il doit y avoir une partie de leurs habitudes alimentaires. Pour cette raison, le pain préparé à partir de mélanges de farine de blé avec farines de voandzou sont évalués selon divers attributs sensoriels. Les résultats de la présente étude présentés dans le tableau 5 montre qu'il n'y a pas de différence significative pour la couleur de croute, la saveur, et l'acceptabilité globale entre les échantillons de pains composés et le pain témoin (100% Blé). Quant à l'arôme, il existe une différence significative à 20% de substitution, comparé au pain témoin. En général, les échantillons de pains produits à partir des farines composées, sont jugés acceptables.

4 CONCLUSION

Les essais de panification ont montré que les farines de graines de voandzou pourraient être incorporées jusqu'au taux de 20% dans la farine de blé (FB) sans dépréciation notable des caractéristiques physiques et organoleptiques des pains. Des pains produits à la suite de la substitution de FB par FV jusqu'au taux de 20% ont, en plus de leurs teneurs en protéines, leurs teneurs en lipides et en cendres également améliorées. La farine de graines voandzou peut être considérée comme une bonne source de protéines et d'autres nutriments pour la fortification des produits boulangers, notamment du pain. La consommation de pain produit à partir de farine de blé fortifiée avec la farine de voandzou augmentera l'apport en protéines de bonne qualité et en fibre chez les consommateurs. Aussi, cette utilisation va améliorer et diversifier l'utilisation de voandzou et par conséquent, lutter contre les carences protéiques.

REFERENCES

- [1] ABDEL-KADER Z. M [2001]., Enrichment of Egyptian "Balady" bread. Part 2. Nutritional values and biological evaluation of enrichment with decorticated cracked broad-beans flour (*Vicia faba* L.). *Nahrung.*, 45 (2001) 31-34.
- [2] Abou-Zaid Atef, A.M., Mostafa, T. Ramadan et Samia A. AL-Askly (2011) : Utilization of Faba Bean and Cowpea Flours In Gluten Free Cake Production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12): 2665-2672, 2011
- [3] ALOZIE YE. – IYAM, MA. - LAWAL O. – UDOFIA, U. - ANI, IF. 2009. Utilization of Bambara ground flour blends in bread production. In *Journal of Food Technology*. 7(4), 2009, p.111-114.
- [4] Amarteifio J.O., Tibe O. Njogu R.M. (2006). The mineral composition of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L) Verdc) grown in Southern Africa. *African Journal of Biotechnology* 5: 2408-2411.
- [5] Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeiffer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Science Today*, 14, 372-375.
- [6] AOAC (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International 17th Ed.* Published by the Association of Official Analytical Chemists International, Suite 400 2200 Wilson Boulevard, Arlington, Virginia 22201-3301, USA.
- [7] AOAC (2005). *Official method of analysis of the Association of official Analytical Chemist, 5th ad.* AOAC Press, Arlington, Virginia, USA
- [8] Berthelot J. (1990). La panification des céréales tropicales : mise au point de recettes de brios à dominance de maïs ou de mil aisément transférables en Afrique noire. Rapport de fin de programme. Paris : Ministère de la coopération et du développement, 64 p.
- [9] Brink M., Grubben G. J. H., Brink M., Belay G., Agrooh 2006. *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1 : Céréales et légumes secs.* Edition M. Brink 328 p

- [10] Brough SH, Azam-Ali SN, 1992. The effect of soil moisture on the proximate composition of Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.]. *Journal of Science Food and Agriculture* 60: 197-203
- [11] Casimir Anauma KOKO, Ahou KONAN, Fabrice TÉTCHI, Emmanuel ASSIDJO et Georges AMANI (2012). Quality of fermented cassava flour processed into placali. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(1): 415-420, February 2012 Short Communication
- [12] Defloor, I. (1995). Factors governing the breadmaking potential of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour. Ph. D. thesis, University of K.U. Leuven, Belgium, 155 p.
- [13] Dendy DAV., Clarke PA., James AW. (1973). The use of blends of wheat and non wheat flours in breadmaking. In *Composite Flour Program*. Rome: Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations, p. 134.
- [14] Dhingra S. et Jood S. 2002 Dhingra S. et Jood S. (2002) Effect of supplementation on physicochemical, sensory and nutritional characteristics of bread. *Nutr Health.* 16(4): 313-29
- [15] Diwakar, P., Kushwah, A., & Kushwah, H. S. (1996). Effect of processing on the functional properties of some local varieties of horse gram (*Dolichos biflorus* L.) in Madya Pradesh. *Journal of Food Science and Technology (India)*, 33, 150–152.
- [16] El-Adawy TA (1995) Effect of sesame seed proteins supplementation on the nutritional, physical, chemical and sensory properties of wheat flour bread. *Plant Foods for Human Nutrition* 48: 311–326
- [17] EL-SOUKARY F. A. (2001), Evaluation of pumpkin seed products for bread fortification. *Plant Foods Hum Nutr.*, 56 365-384.
- [18] Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (2001). Targeting for nutrition improvement resources for advancing well being. *Food and Nutrition Series*. UN. Rome, Vol IV pp 1-18.
- [19] Fasoyiro Subuola, Yudi Widodo and Taiwo Kehinde (2012). Processing and Utilization of Legumes in the Tropics, Trends in Vital Food and Control Engineering, Prof. Ayman Amer Eissa (Ed.), ISBN: 978-953-51- 0449-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/trends-in-vital-food-and-control-engineering/processing>
- [20] Ferial M. Abu-Salem et Azza A. Abou-Arab (2011): Effect of supplementation of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L.) flour on the quality of biscuits, *African Journal of Food Science* Vol. 5(7), pp. 376-383, July 2011.
- [21] Ghavidel, R. A., & Prakash, J. (2006). Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1189-1195
- [22] Goli AE, Begemann F, Ng NQ, 1997. Characterization and evaluation of IITA's bambara groundnut collection. In Heller J., Begemann E., Mushonga J. (Eds). *Promotion of the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 9. Proceedings of the workshop on conservation and improvement of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.), 14-16 November 1995, IPGRI, Harare, Zimbabwe, p. 101–118
- [23] Guthrie H. A., Froozani M., Shennan A. R., BaTron G. P. (1974). Hyperlipidemia in offspring of iron-deficiency rat. *J. Nutr.*, 104, 1273 - 1278.
- [24] Howell JA, 1994. Commons names given to Bambara groundnut (*Vigna subterranea* Fabaceae) in central Madagascar. *Economic Botany* 45: 217- 221.
- [25] Khatlab, R. Y., et Arntfield, S. D. 2009 Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT - Food Science and Technology* 42 (2009) 1113–1118.
- [26] Linnemann AR, 1992. Bambara groundnut (*Vigna subterranea*). Literature: a revised and updated bibliography. *Tropical Crops Communication* 17 Wageningen Agricultural University, Department of Tropical Crop Science Netherlands 124 p.
- [27] Masood Sadiq Butt, Javaid Iqbal, Ambreen Naz, Hafiz Ansar Rasul Suleria, Mir M. Nasir Qayyum, Faiza Saleem and M. Ahmar Jahangir (2011). Effect of Flour Blending on Bread Characteristics. *Internet Journal of Food Safety*, Vol.13, 2011, p.142-149
- [28] Massawe FJ, Mwale SS, Azam-Ali SN, Roberts JA, 2005. Breeding in Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.]: strategic considerations. *African Journal of Biotechnology* 4(6): 463-471.
- [29] Medoua N. G. J. M. (2005). Potentiels nutritionnel et technologique des tubercules durcis de l'igname *Dioscorea dumetorum* (Kunth) pax : étude du durcissement post -récolte et des conditions de transformation des tubercules durcis en farine- Thèse de Doctorat/PhD, 2005, p. 254
- [30] Meité A, Kouame KG, Amani NG, Kati-Coulibaly, Offoumou A. 2008. Caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des pains fortifiés avec les farines de graines de *Citrullus lanatus*. *J. sci. pharm. biol.*, Vol.9,n°1, pp. 32-43
- [31] MENSAH, P. – TOMKINS, A. 2003. Household-level technologies to improve the availability and preparation of adequate and safe complementary foods. In *Food and Nutrition Bulletin*, vol. 24, 2003, no. 1, p.104–125.
- [32] Mkandawire Ceasar (2007). Review of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc. Production in sub-sahara Africa. *Agricultural journal* 2 (4): 465-470
- [33] Mohammed, I., Ahmed, A.R., Senge, B. (2012): Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industr. Crops Prod.* 36 (1), 196-202.

- [34] N. G. AMANI, H. TAKANO Bread making properties of composites flours using tropical crops. Jistec Report, National Food Research Institute. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Tsukuba, Ibaraki, Japan. (1998).
- [10] Naczki M., Diosady L. L., Rubin L. J. (1985). Functional properties of canola meals produced by a two phases solvent extraction system. *Journal of Food Science*, 50, 1685–1692.
- [35] Njintang NY, Mbofung CMF, Waldron KW. 2001. In vitro protein digestibility and physicochemical properties of dry red bean (*Phaseolus vulgaris*) flour: Effect of processing and incorporation of soybean and cowpea flour. *J Agric Food Chem* 49:2465–71
- [36] Okezie BO, Bello AB (1988). Physico – chemical and functional properties of winged bean flour and isolate, compared with soy isolate. *J. Food Sci.* 53: 450-454
- [37] Oshodi, A. A., & Ekperigin, M. M. (1989). Functional properties of pigeon pea (*Cajanus Cajan*) flour. *Food Chemistry*, 34, 187–191.
- [38] PHILIPS R.D., CHINNAN M.S., BRANCH A.L., MILLER J., MCWATTERS K.H. (1988): Effects of pretreatment on functional and nutritional properties of cowpea meal. *Journal of Food Science*, 53: 805–809.
- [39] Prakash, D., & Misra, P. S. (1988). Protein content and amino acid profile of some wild leguminous seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 38, 61–65
- [40] Sosulski, F. W. (1962). The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, 39, 344-350.
- [41] Svec I et Hruskova M. (2004) Wheat flour fermentation study. *Czech J. Food Sci.* 22: 17–23.
- [42] Yadahally N. Sreerama, Vadakkoot B. Sashikala, Vishwas M. Pratapa, Vasudeva Singh (2011). Nutrients and antinutrients in cowpea and horse gram flours in comparison to chickpea flour: Evaluation of their flour functionality. *Food Chemistry* 131 (2012) 462–468
- [43] Yaya Touré, Mongomaké Koné, Souleymane Silué, Yatty Justin Kouadio (2013). Prospection, collecte et caractérisation agromorphologique des morphotypes de voandzou [*vigna subterranea* (L.) Verdc. (fabaceae)] de la zone savanicole en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal* August 2013 edition vol.9, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- [44] Yetunde Ezinwanyi Alozie, Mary Arikpo Iyam, Olajumoke Lawal Ukpong Udofia et Ime Franklin Ani, 2009. Utilisation of Bambara Groundnut flour blends in bread production, *Journal of Food Technology* 7 (4) 111-114.