

Mise au point d'un procédé de formulation d'une farine infantile à base d'igname (*Discorea cayenensis*) enrichie en protéines par incorporation d'additifs alimentaires d'origine agricole et de pêche

R. H. Gampoula^{1,2,4*}, M. Gadet Dzondo^{1,2,3}, J. E. Moussounga^{1,2,3},^{1,2,4}P. Diakabana, N.P.G Pambou-Tobi^{1,2,3}, Arnaud W.G. Tamba Sompila^{1,2,3}, Roniche Nguie^{1,5}

¹Centre de Recherche et d'Initiation des Projets de Technologie, cité scientifique, route de l'auberge de Gascogne, Brazzaville, R. Congo

²Laboratoire de Bioprocédés alimentaires et médicaux, ENSP-UMNG, BP. 69 Brazzaville, R. Congo.

³Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), Université Marien NGOUABI (UMNG), Brazzaville

⁴EPFRAN-Congo, Pôle d'Excellence en Alimentation et Nutrition, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien NGOUABI, Brazzaville

⁵Unité de Chimie du Végétal et de la Vie, FST-UMNG, BP. 69 Brazzaville, R. Congo.

Résumé : L'objectif de l'étude a consisté à mettre au point un procédé de formulation d'une farine infantile à base d'igname enrichie en protéines par incorporation d'additifs alimentaires. Parmi les 9 formulations testées, la formulation F3 a été sélectionnée relativement à la teneur plus élevée en protéines (14,52%), lipides (7,77%), cendres (3,44%) et à la valeur énergétique (344,49 Kcal/100g) plus élevée provenant en grande partie de la farine du poisson. Les meilleures propriétés fonctionnelles : capacité d'absorption d'eau, indice de solubilité, capacité d'absorption d'huile de cette formulation et la plus forte acidité de farine afférente ont confirmé son choix.

Summary: The aim of study has consisted to bring into focus a formulation process of a infantile flour made from yam enriched into proteins by incorporating of food additives of crops and fishy origin. Among nine tested formulations, formulation F3 was selected in relation to higher grade of proteins (14.52 %), lipids (7.77 %) and ashes (3.44 %), and at energizing value (344.49 Kcal/100g) originating in great party from fish flour. Best functional proprieties, notably water absorption capacity, solubility index, oil absorption capacity and higher acidity relating to flour have confirmed its choice.

Mots clés : Farines infantiles, formulations, besoins nutritionnels, supplémentation

Date of Submission: 10-12-2020

Date of Acceptance: 26-12-2020

I. Introduction

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la malnutrition touche près 90 % d'individus à travers le monde soit 1 milliard de personnes dans les pays en voie de développement [FAO, 2009]. En Afrique Centrale et de l'Ouest, elle cause 35% des décès d'enfants de moins de 5 ans. Au Congo, les enquêtes réalisées notamment à Brazzaville et dans les zones rurales, ont montré que la malnutrition chronique atteint 4470 des enfants du Congo soit 26 % [EDS Congo, 2005].

Les pratiques et la mauvaise qualité nutritionnelle des bouillies, complément indispensable du lait maternel dès l'âge de 4 à 6 mois, étaient en grande partie responsable de cette forte prévalence. Ainsi Soro *et al.*, [2013] affirment qu'en Afrique subsaharienne, les premiers aliments de complément sont le plus souvent des bouillies à base de céréales, racines ou tubercules agrémentées ou non de sucre. Ces régimes principalement basés sur des aliments d'origine végétale apportent des quantités insuffisantes de certains nutriments clés ; notamment le fer, le zinc, le calcium et l'iode, pour couvrir les besoins en nutriments recommandés entre 6 et 24 mois. Face aux limites budgétaires, tous les ménages n'utilisent pas les farines enrichies importés d'autres pays qui occasionnent des coûts colossaux chaque année car le Congo importe à hauteur de 250 milliards de francs CFA en produits manufacturés. Les bouillies de pâte de maïs fermentée sont utilisées pour palier à ce problème [Elenga *et al.*, 2009].

Vigna subterranea L, verdc encore appelé *Voandzou*[Busson et Bergeret,1958]est la troisième légumineuse alimentaire la plus importante en termes de production et de consommation après l'arachide (*Arachishypogaeae*L.) et le niébé (*Vigna unguiculata* L Walp.) [Diallo *et al.*, 2015]. Il contient 14,61 à 20,74 %

de protéines et sa teneur de l'hydrate de carbone varie de 54,05 à 64,50 %. La valeur de l'énergie s'étend de 370,02 à 388,80 Kcal/100 g de farine [Diallo et al., 2015]. Il peut être utilisé pour enrichir certaines farines en protéines [Ponka et al., 2016].

Ce présent travail vise à déterminer un procédé de formulation d'une farine infantile enrichie en protéines à base de la farine d'igname (*Dioscorea cayenensis*) par incorporation de la farine de Voandzou, du maïs (Zeamays) malté et du poisson *Pellonulaleonensis*.

II. Matériel et Méthodes

II.1. Produits agricoles et de pêche

Le matériel végétal employé est constitué : i) de tubercules d'igname (*Dioscorea cayenensis*) achetée au marché du Lycée Thomas Sankara, dans l'arrondissement de Talangai, Département de Brazzaville ; ii) de voandzou (*Vigna subterranea L. verdc*) provenant de la contrée de Djambala, Département des Plateaux lesquels sont utilisés pour enrichir la farine en glucides, protéines et en lipides, et du malt de maïs pour assurer un apport d'enzyme amylasique [Diakabana et al., 2013-2014] et la supplémentation du voandzou en méthionine.

Le poisson *Pellonulaleonensis*, un produit de la pêche dans le fleuve Congo à Nkamba (dans la Province du Congo Central, RDC), communément appelé *nsangu* est employé pour enrichir la farine d'igname en protéines animales, notamment riches en acides aminés essentiels.

II.2. Protocole expérimental

1.2.1. Mise au point des procédés de fabrication des farines de base

Pour la mise au point des procédés de fabrication des diverses farines de base impliquées dans la formulation de la farine infantile, des diagrammes technologiques sont conçus selon les travaux de : Elenga et al., [2009] pour (c), Daouda et al., [2014] pour (a), Diallo et al., [2015] pour (b), Assogba et al., [2018] pour (d) en fonction de différents matériels biologiques afférents (Figure 1).

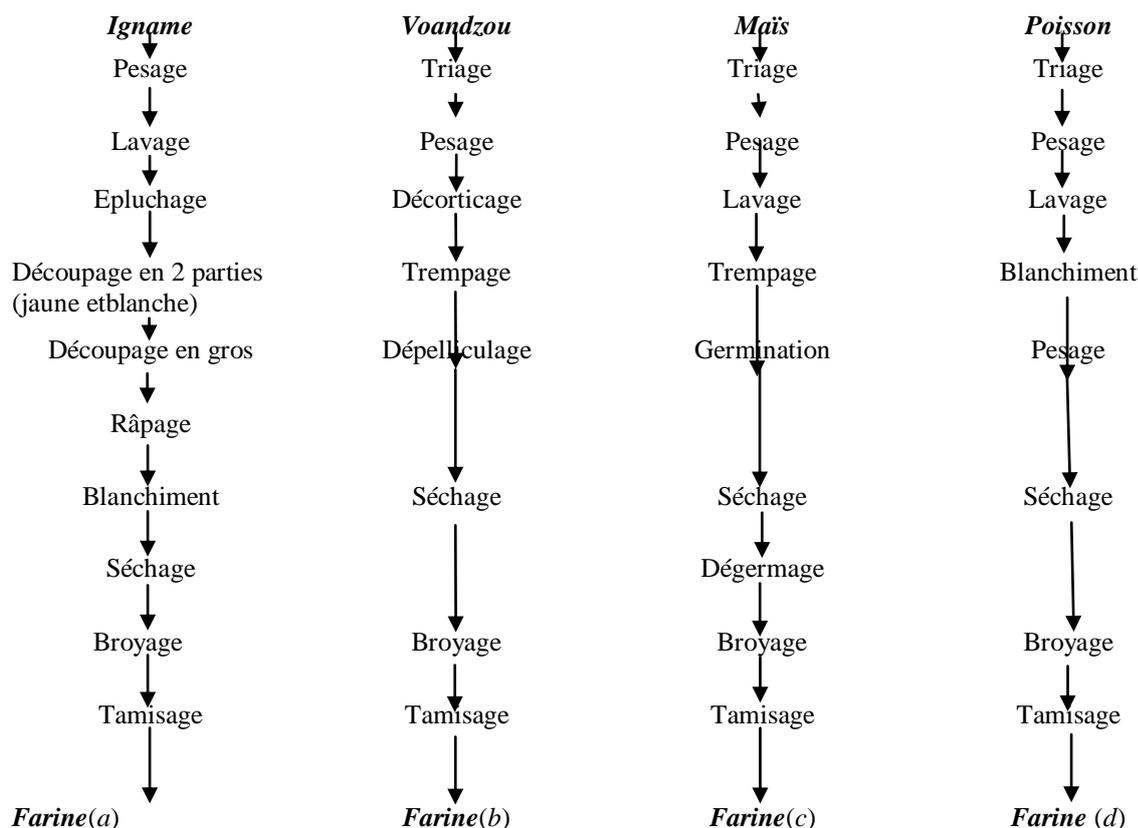


Figure II.1 : Diagrammes technologiques du procédé de fabrication des différentes farines de base (a, b, c et d)

II.2. Analyses physico-chimiques des farines de base

II.2.1. Teneur en eau

La teneur en eau a été déterminée après dessiccation de 10 g d'échantillon de farine à l'étuve (INDERLAB 0 – 250 °C) à 105 °C pendant 24 h.

II.2.2. Teneur en protéines

La teneur en protéines a été déterminée après dosage de l'azote total d'après la méthode de Kjeldahl (VELP SCIENTIFICA DK 6) après minéralisation sulfurique en présence de catalyseur au sélénium. La valeur de la teneur en azote obtenue a été multipliée par 6,25 pour quantifier la teneur en protéines.

II.2.3. Teneur en lipides

L'extraction des lipides s'est faite par le n-hexane en utilisant le soxhlet (PIERRON de 250 mL). Après extraction l'huile obtenue a été placée à l'étuve à 50 °C pour faire évaporer le reste de solvant.

II.2.4. Teneur en cendres

Le taux de cendres est obtenu après incinération du broyat à une température de 450-550 °C dans un four à moufle à chauffage électrique pendant 8h jusqu'à obtention d'une masse constante.

II.2.5. Teneur en glucides

La teneur en glucides a été déterminée selon la méthode suivante [Soro *et al.*, 2013]:

$$\% \text{ Glucides} = 100 - (\% \text{ Eau} + \% \text{ Protéines} + \% \text{ Lipides} + \% \text{ Cendres})$$

II.2.6. Détermination de la valeur énergétique

La valeur énergétique a été calculée à l'aide des coefficients spécifiques d'Atwater pour les protéines, les lipides et les glucides.

$$\text{Valeur énergétique (Kcal)} = [(\% \text{ Glucides} \times 4) + (\% \text{ Protéines} \times 4) + (\% \text{ Lipides} \times 9)]$$

II.2.7. Détermination du pH

Dix (10) grammes de farine ont été délayés dans 100 mL d'eau distillée. L'ensemble a été macéré pendant 30 min. Le mélange obtenu a été centrifugé ou filtré et le pH a été déterminé selon la méthode potentiométrique en utilisant l'électrode d'un pH-mètre.

10 mL du surnageant précédemment obtenu a été prélevé et le pH a été mesuré au moyen d'un pH-mètre (MARTINI instruments). La valeur du pH a été lue directement sur l'écran du pH-mètre [Soro *et al.*, 2013].

II.2.8. Acidité totale

L'acidité totale ou titrable (en mEq/100 g), a été déterminé suivant la méthode colorimétrique décrite par la norme française NF V05-101 [AFNOR, 1974]. On ajoute 50 mL d'eau distillée à une masse (m) de 5 g de farine. Après 5 min d'homogénéisation à l'aide d'un agitateur magnétique (Agitateur magnétique SBS (300 – 1500 tr/min)) et 20 min de centrifugation à 4000 tr/min, on prélève 10 mL du surnageant (V_0) de normalité N_0 que l'on verse dans un erlenmeyer. La titration est ensuite réalisée avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH à $N_1 = 0,1 \text{ N}$) après ajout de 2 gouttes de phénolphaléine. Soit V_1 , le volume de la solution de NaOH versé à l'équivalence.

$$\text{AT (mEq/100 g)} = \frac{N_1 \cdot V_1 \cdot 10^5}{m \cdot V_0}, \text{ Avec : AT= acidité totale, } N_1 = \text{titre de NaOH } 0,1 \text{ N, } m = \text{masse de farine en g, } V_0 = \text{volume du surnageant et } V_1 = \text{volume de la solution de NaOH versé à l'équivalence.}$$

II.2.9. Détermination des propriétés fonctionnelles

a) Capacité d'absorption d'eau

La capacité d'absorption d'eau (CAE) et l'indice de solubilité (IS) ont été évalués selon Phillips *et al.* [1988] et méthodes d'Anderson *et al.* [1969].

1 g de la farine (M_0) a été mélangé à 10 mL d'eau distillée et secouée pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur. Le mélange a été maintenu dans un bain d'eau (37 °C) pendant 30 minutes et centrifugé à 5000 tr/min pendant 15 minutes. Le sédiment résultant (M_2) a été pesé et puis séché à 105 °C au poids constant (M_1).

La CAE a été alors calculée comme suit :

$$\text{CAE} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 ; \text{ Avec: CAE=capacité d'absorption d'eau en \% ; } M_1 = \text{masse de sédiment séché (en g) en g et } M_2 = \text{masse de sédiment résultant (en g).}$$

b) Indice de solubilité dans l'eau

L'indice de solubilité a été déterminé et calculé par la formule suivante :

$$\text{IS} = \frac{M_0 - M_1}{M_1} \times 100, \text{ Avec: IS= indice de solubilité, } M_0 = \text{masse de la farine (en g) et } M_1 = \text{masse de sédiment séché (en g).}$$

c) Capacité d'absorption d'huile

La capacité d'absorption d'huile (CAH) des farines a été analysée selon la méthode de Sosulski, [1962].

1 g de farine (M_0) a été mélangé à 10 ml d'huile. Le mélange obtenu a été secoué pendant 30 minutes sur un agitateur et centrifugé à 4500 tr/min pendant 10 minutes. Le sédiment résultant (M_1) a été pesé.

La CAH a été calculée suivant la formule ci-après :

$$CAH = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100,$$

Avec: CAH= capacité d'absorption d'huile (en %), M0= masse de la farine (en g) et M1= masse du sédiment résultant (en g).

d) Rapport hydrophile-lipophile

Le rapport hydrophile-lipophile 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 [Njintang et al., 2001 et Diallo et al., 2015].

e) Formulations des farines

La formulation des farines testées a été obtenue à partir d'un plan d'expérience réalisée avec le logiciel Minitab 17. Ce qui a permis d'obtenir les compositions présentées dans le tableau 1 suivant.

Tableau n°1 : Proportions pondérales des ingrédients entrant dans la composition des mélanges

N° de mélange	Ingrédients utilisés dans la constitution des différents mélanges			
	Igname (%)	Voandzou (%)	Poisson (%)	Maïs (%)
F1	58	23	13	6
F2	55	25	14	6
F3	48,750	26,750	18,750	5,750
F4	56	25	13	6
F5	55	25	15	5
F6	39,75	28,75	24,75	6,75
F7	56	25	13	6
F8	55	25	14	6
F9	55	24	15	6

II.3. Analyse statistique des résultats

Pour l'analyse des paramètres relatifs à la composition biochimique, aux propriétés fonctionnelles des farines de base et de la formulation de la farine améliorée, la méthode statistique modifiée, basée sur la loi en cloche de Gauss-Laplace a été utilisée [Larrieu, 1984]. Les valeurs statistiques suivantes ont été considérées, notamment : moyenne M, écart-type et coefficient de variation ($\frac{\text{Ecart-type}}{M} \times 100$). Les valeurs moyennes considérées sont celles dont le coefficient de variation est : *i) inférieur ou égal à 0,02% pour le taux d'humidité, la teneur en protéines, en lipides, en cendres, le pH et les glucides de poisson; ii) inférieur ou égal à 10 % pour la capacité d'absorption d'eau (CAE), l'indice de solubilité (IS) et la capacité d'absorption d'huile (CAH).*

III. Résultats

Les paramètres relatifs à la connaissance de la composition et aux propriétés fonctionnelles des farines de base d'une part, et des farines formulées d'autre part ont été évalués moyennant l'utilisation des mesures instrumentales.

III.1. Composition biochimique des farines de base

Les résultats de test de l'expérimentation révèlent la composition biochimique et physicochimique des farines de base analysées (Tableau 2).

Tableau n°2 : Composition biochimique des farines de base

Paramètres biochimiques	Evaluation de la composition biochimique de différentes farines de base obtenues à partir des échantillons d'igname, de voandzou, de malt de maïs et de poisson			
	Igname (<i>Dioscorea cayenensis</i>) PB	Voandzou (<i>Vigna subterranea</i>) VD	Malt de Zea maïs	Poisson <i>Pellonulaloenensis</i>
Humidité (%)	12,01	11,85	6	10,04
Protéines (%)	3,19	17,82	7,02	45,46
Lipides (%)	0,61	9,42	7,36	28,45
Cendres (%)	1,01	3,8	0,4	11,05
Glucides (%)	83,18	58,11	79,04	4,64
VE (kcal/100 g)	350,97	388,5	411,2	456,45

PB = partie blanche ; VD= voandzou de Djambala

Pour les différents échantillons des farines de base analysées, le taux d'humidité est compris entre 6 et 12,01 %.

La teneur en protéines varie entre 3,19 et 45,46 %. La valeur la plus élevée est celle du poisson *Pellonulaleonensis* qui est de 45,46 % suivie de celle du *Voandzou* qui est relativement plus basse (17,82 %).

La teneur en lipides oscille entre 0,61 et 28,45%. La valeur la plus élevée est celle du poisson *Pellonulaleonensis* (28,45 %) suivie de celles du *Voandzou* qui est de 9,42% et du malt de maïs (7,36 %). La teneur en lipides la plus faible reste celle de l'igname évaluée à 0,61 %.

La teneur en cendres la plus élevée est celle obtenue avec la farine du poisson *Pellonulaleonensis* qui est évaluée à 11,05 % suivie de celle avec du *Voandzou* (3,8 %). La teneur en cendres de farine du malt est quantifiée à 0,4 %. La teneur la plus faible reste celle obtenue avec la farine d'igname (1,01 %).

La valeur de la teneur en glucides la plus élevée est celle de la farine d'igname qui est estimée à 83,18 % suivie de la valeur de la farine du malt de maïs (79,04 %) et du *Voandzou* (58,11%). La teneur en glucides la plus faible reste celle du poisson *Pellonulaleonensis* (4,64 %).

La valeur énergétique la plus élevée est celle du poisson *Pellonulaleonensis* (456,45 kcal/100 g) suivie de celle de farine du malt de maïs qui est de 411,2 kcal/100 g. La valeur énergétique de la farine du *Voandzou* est de 388,5 kcal/100 g et la plus faible reste celle avec de l'igname évaluée à 350,97 kcal/100 g.

2.2. Composition biochimique des différentes formulations de farine enrichie

La composition biochimique de diverses formulations testées de farine est appréciée (Tableau 3).

Tableau n°3 : Composition biochimique et physicochimique des formulations F

Formulation	Evaluation de la composition biochimique de différentes formulations de farine enrichie					
	Glucides (%)	Protéines (%)	Lipides (%)	Humidité (%)	Cendres (%)	VE Kcal/100 g
F1	58,49	11,40	5,83	10,14	2,83	332,03
F2	56,73	12,01	6,20	10,04	2,97	330,78
F3	54,12	14,52	7,77	10,19	3,56	344,49
F4	61,81	11,83	5,21	7,73	2,10	341,47
F5	59,08	12,51	5,68	7,67	2,30	337,497
F6	53,10	14,11	6,92	7,50	2,75	331,13
F7	58,06	11,65	5,94	10,14	2,88	332,37
F8	56,99	12,06	6,18	9,98	2,75	331,82
F9	58,09	12,39	5,70	8,80	2,267	333,23
Normes OMS	60 – 70	13	7 – 8	<12	2	400

VE = valeur énergétique

La composition biochimique et physicochimique des formulations varie entre 53,10 et 61,81 % pour la teneur en glucides ; la teneur en protéines oscille entre 11,40 et 14,52 % ; la teneur en lipides varie de 5,83 à 7,77 % ; la teneur en humidité de 7,50 à 10,19 % ; la teneur en cendres entre 2,10 et 3,56 %. Tandis que la valeur énergétique varie entre 330,78 et 344,49 kcal/100 g. L'augmentation de la teneur en protéines des formulations des farines va de pair avec l'augmentation de la teneur en constituant riche en protéines notamment la farine de poisson et de *Voandzou*. Concernant la teneur des glucides, on note que plus le niveau d'emploi de la farine d'igname et de *Voandzou* augmente plus la teneur en glucides augmente.

Dans l'ensemble, ces différentes formulations testées présentent des compositions légèrement proches les unes des autres. Seules la teneur en glucides de F4, la teneur en protéines de F3 et F6, la teneur en lipides de F3 et F6 ainsi que toutes les teneurs en cendres et en humidité sont dans les normes de l'OMS.

III.3. Propriétés fonctionnelles des farines de base

La connaissance des propriétés fonctionnelles des farines de base est appréciée selon des données présentées dans le tableau 4.

Tableau n°4 : Propriétés fonctionnelles des farines de base

Farines de base de :	Propriétés fonctionnelles de farines de base					
	AT (mEq/100 g)	CAE (%)	IS (%)	CAH (%)	H/L	pH
<i>Vigna subterranea</i>	2,1	343,96	52,23	146,16	2,35	6,3

<i>D. cayenensis</i>	2,16	147,8	35,7	56	2,6	6,1
<i>Pellonulaloensis</i>	4,95	293,45	30,95	260	1,13	6,9
Malt de maïs (<i>Zeamays</i>)	11,37	191,58	69,84	93,33	2,05	5,9

CAE : capacité d'absorption d'eau - IS : indice de solubilité - AT : acidité titrable

CAH : capacité d'absorption d'huile - H/L : rapport hydrophile

L'acidité titrable (AT) des différents échantillons de farines de base varie entre 2,1 et 11,37mEq/100 g. La valeur de l'AT la plus élevée est celle du malt de maïs (11,37mEq/100 g). Celle d'échantillon de *Voandzou* est de 2,1 mEq/100 g. La valeur d'AT de l'igname est de 2,16mEq/100 g, et celle du poisson de 4,95 mEq/100 g.

La valeur de CAE des échantillons de farines de base varie entre 147,8 et 343,96 % et la valeur des IS varie entre 35,7 et 69,84. La CAE du *Voandzou* est de 343,96% avec un IS allant de 52,23. Celle d'igname est de 147,8 % avec un IS entre 35,7. La valeur du malt de maïs est de 191,58 % avec un IS de 69,84. La valeur du poisson est de 293,45 % avec un IS de 30,95.

La valeur de CAH des échantillons de farines de base varie entre 56 et 146,16%. La CAH du *Voandzou* est de 146,16 % avec un H/L de 2,35. La CAH de l'igname est de 56% avec un H/L de 2,64. La CAH du malt est de 93,33% avec un H/L de 2,05. Pour le poisson la valeur est de 260% et un H/L de 1,13.

Le pH des différents échantillons de farines de base varie entre 5,9 et 6,9. Pour le *Voandzou* il est de 6,3. La valeur de pH d'igname est de 6,1. Le pH du malt de maïs est de 5,9 tandis que celui du poisson évalué à 6,9.

III.4. Propriétés fonctionnelles des différentes formulations de la farine infantile

Les propriétés fonctionnelles des différentes formulations de la farine infantile ont été présentées dans le tableau 5. Les résultats montrent qu'il y a une diminution de la CAE accompagnée d'une augmentation de IS et de CAH.

Tableau n°5 : Propriétés fonctionnelles des différentes formulations des farines

Farines formulées	Propriétés fonctionnelles des farines formulées					
	CAE	IS	CAH	pH	H/L	AT
F1	80	66,66	60,01	6,5	1,33	2,6
F2	140,20	66,66	80	6,5	1,75	1,23
F3	199,02	100	80,02	5,9	1,99	1,51
F4	90,31	42,85	65,5	6,1	1,37	1,01
F5	120,03	25,00	70,23	6,2	1,70	1,20
F6	170	25	80,04	6,3	2,12	1,11
F7	120,20	25,00	80,1	5,9	1,50	1,45
F8	100,01	42,86	60,13	6,2	1,66	1,30
F9	150	42,85	80	6,2	1,87	0,9

CAE : capacité d'absorption d'eau - IS : indice de solubilité - AT : acidité titrable

CAH : capacité d'absorption d'huile - H/L : rapport hydrophile-lipophile

Le rapport H/L diminue de même que les valeurs de pH.

La capacité d'absorption d'eau des formulations est comprise entre 80±0,00 et 199,02%. Les indices de solubilité varient entre 25 et 100.

La capacité d'absorption d'huile oscille entre 65,5 et 80,1%. La valeur de pH varie entre 5,9 et 6,5.

La valeur du rapport hydrophile/lipophile est comprise entre 1,33 et 2,12, tandis que celle de l'acidité titrable est comprise entre 1,01 et 2,6 mEq/100 g.

III.5. Composition biochimique et physicochimique de la farine infantile sélectionnée

Les résultats relatifs au procédé de formulation révèlent la composition biochimique et physicochimique de la farine infantile sélectionnée (Tableau 6).

Tableau n°6: Composition biochimique et physicochimique de la farine infantile sélectionnée

Formulation	Composition biochimique et physicochimique des formulations F					
	Glucides (%)	Protéines (%)	Lipides (%)	Humidité (%)	Cendres (%)	VE Kcal/100 g
F3	54,12	14,52	7,77	10,19	3,56	344,49
Norme OMS	60 – 70	13	7 – 8	<12	2	400

Par rapport aux normes fiées, la teneur en glucides (54,12 %) est un peu faible, celle des protéines (14,52 %), des lipides dans les normes, le taux d'humidité (10,19 %) respecte les normes, la teneur en cendres (3,56 %) est légèrement supérieure à la norme et la valeur énergétique (344,49 Kcal/100 g) légèrement inférieure à la norme.

III.6. Propriétés fonctionnelles de la farine infantile optimisée

Les critères relatifs à l'optimisation du procédé de formulation montrent les paramètres des propriétés fonctionnelles requises pour une bonne farine infantile (Tableau 7).

Tableau n°7 : Propriétés fonctionnelles de la farine formulée optimisée

Farines formulée	Propriétés fonctionnelles de la farine formulée optimisée					
	CAE	IS	CAH	pH	H/L	AT
F3	199,02	100	80,02	5,9	1,99	1,51

CAE : capacité d'absorption d'eau - IS : indice de solubilité - AT : acidité titrable

CAH : capacité d'absorption d'huile - H/L : rapport hydrophile-lipophile

Les propriétés fonctionnelles de la farine formulée sélectionnée, notamment les valeurs de la capacité d'absorption d'eau, d'indice de solubilité d'eau, et de pH sont respectivement 199,02 %, 100 % et 5,9. Tandis que celles relatives à la capacité d'absorption d'huile et au rapport H/L sont respectivement 80,02 % et 1,99.

IV. Discussion

IV.1. Composition biochimique des farines formulées

Les différentes farines produites par des tests de formulation ont révélé des teneurs en protéines (11,40 et 14,52 %) inférieures à celles de préparation d'igname plus soja dans le ratio 70/30 qui est de 16,99 g/100 gMS et igname plus soja (60/40) qui est 20,92 g/100 gMS obtenues par Soro et al. [2013] en Côte d'Ivoire et d'autres formulations ont des teneurs en protéines similaires ou supérieures à 11,01 % obtenues par Ponka et al., [2016] au Cameroun en mélangeant du soja, le maïs et le poisson fumé.

La teneur en lipides est supérieure aux formulations de Ponka et al. [2016] qui était de 1,13 %.

La valeur énergétique (330,78 et 344,49 kcal/100 g) est inférieure à celle de la farine obtenue avec du maïs germé qui était de 394,34 kcal [Ponka et al. 2016].

Les valeurs de la teneur en cendres (2,10 à 3,56 %) sont similaires à celles des farines de Blé plus Voandzou, dans les ratios 95/5 et 90/10, obtenues par Diallo et al. [2015] en Côte d'Ivoire qui étaient respectivement de 2,00 % et 2,67 %.

La teneur (53,1 à 61,81%) élevée en glucides de ces farines testées fait de ces formulations des farines riches en énergie permettant de couvrir les besoins en énergie du nourrisson et leur teneur en cendres en fait de ces farines un aliment riche en éléments minéraux. Ces farines confectionnées ne contenant pas du sucre soluble, ainsi l'ajout de cet ingrédient lors de la préparation pourra permettre de relever encore sa valeur énergétique. Aussi l'ajout d'autres ingrédients comme la vanille pourra permettre d'améliorer l'arôme et le goût de la bouillie.

Le taux d'humidité (10,19%) est significativement inférieur à 12 % qui constitue une valeur limite à partir de laquelle commencent le développement des micro-organismes sur les produits alimentaires, notamment le développement des moisissures directement lié à l'humidité du produit [Nout et al., 2003].

Le développement microbien a lieu lorsque le taux d'humidité dépasse 12 % environ. Il faudra donc œuvrer à ce que l'humidité du produit soit le plus stable possible au moment de son conditionnement adéquat et qu'il se charge en humidité le plus lentement possible.

Sachant que la durée de conservation dépendra du temps que le produit mettra pour atteindre 12 % d'humidité, ce temps sera fonction de la perméabilité de l'emballage employé et donc de sa nature et de son épaisseur [Mouquet 1998].

IV.2. Propriétés fonctionnelles de farines formulées

La CAE et l'IS des formulations F(2,5,6,7,8 et 9) sont supérieurs à celui des farines de blé substitué par la farine de Voandzou [Diallo et al., 2015] dont la substitution d'une partie de blé par la farine de Voandzou a

permis d'obtenir dans les proportions de 5/95, 10/90, 15/85 et 20/80 respectivement les CAE suivant : 96,95, 98,47, 105,84 % et 116,78 %.

La plupart des IS obtenus avec les formulations contenant la farine de poisson sont supérieurs aux farines de blé substituées par la farine de Voandzou (IS variant entre 29,93 et 34,23 %) et supérieur à celui des farines d'igname et de soja [Soro et al., 2013] qui était compris entre 10,62 et 16,21 %.

La diminution de la valeur de CAE et l'augmentation de IS peuvent s'expliquer par le mélange des différents ingrédients.

La valeur de CAH des farines obtenues par Diallo et al. [2015] est élevée par rapport à celle obtenue avec les farines de poisson (65,5 à 80,1 %) car d'après Diallo et al. [2015], elle varie entre 93,53 et 123,30%. L'augment de la CAH permet s'expliquer l'intérêt de l'incorporation de la farine du poisson.

Le rapport H/L obtenu est supérieur comparé à celui des farines de Diallo et al. [2015] dont les valeurs oscillent entre 0,84 et 1,05 contre 1,37 et 2,12 avec les farines de poisson et de Voandzou.

Cette diminution des propriétés fonctionnelles pourrait être attribuée à la dégradation de l'amidon d'igname par les amylases [Diakabana et al., 2013-2014] qui entraîne l'abaissement du pH. Ce phénomène progressif, dépend de la durée du trempage dans l'eau, de la teneur en matière sèche et de la structure cellulaire des tubercules d'igname et des graines de maïs frais [Akissoe et al., 2003 et 2004]. L'AT des farines formulées étant entre 2,6 à 1,01 mEq/100 g est inférieure à celle des farines d'igname et de soja obtenues par Soro et al. [2013] qui variait autour de 3,25 mEq/100 g.

V. Conclusion

La formulation de la farine d'igname infantile moyennant l'incorporation, en quantité requise, des farines de Voandzou, de malt de maïs et de poisson est d'une grande potentialité nutritionnelle, car elle permet à cette farine formulée d'acquérir un enrichissement adéquat en protéines, en lipides et en énergie nécessaire pour pouvoir lutter contre les maladies protéino-énergétiques.

Références bibliographiques

- [1]. Alozie Y; Akpanabiati M I; Eyong E U; Umoh I B and Alozie G, (2009), Amino Acid Composition of *Dioscorea dumetorum* Varieties, Pakistan Journal of Nutrition 8 (2): 103-105, 2009, ISSN 1680-5194
- [2]. Assogba M H M, Ahounou S G, Bonou G A, Salifou C F A, Dahouda M, Chikou A, Farougou S, Youssao Abdou Karim I. 2018. Qualité de la Chair des Poissons : Facteurs de Variations et Impacts des Procédés de Transformation et de Conservation. International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) ISSN: 2509-0119
- [3]. Daouda K, Fankroma K M, DjeKouakou M, Soumaila D and Kouamé L P. 2014. Effect of Cooking Time on Biochemical and Functional Properties of Flours from Yam "kponan" (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) Tubers. British Journal of Applied Science & Technology 4(23): 3402-3418
- [4]. Diakabana P., Matondo A., Ngaka A. et NGoma-Makouta Cendrine. (2013-2014). Influence du mode de trempage du grain de maïs sur le déroulement du processus traditionnel du maltage de maïs dans la production de boganda, une eau-de-vie du Congo. Annales de l'Université Marien NGOUABI 13-14 (4): 1-12.
- [5]. Diallo KS, Koné KY, Soro D, Assidjo NE, Yao KB, Gnagri D. (2015). Caractérisation biochimique et fonctionnelle des graines de sept cultivars de voandzou [*vigna subterranea* (L.) verdc. fabaceae] cultivés en Côte d'Ivoire, European Scientific Journal September 2015 edition vol.11, No.27 ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- [6]. Diallo S K, Soro, Kone K Y, Assidjo N E, Yao K B, and Gnagri D. (2015). Caractérisation biochimique et fonctionnelle des graines de sept cultivars de voandzou [*vigna subterranea* (L.) Verdc. Fabaceae] cultivés en CÔTE D'IVOIRE. European Scientific Journal September 2015 edition vol.11, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- [7]. Diallo S K, Soro, Kone K Y, Assidjo N E, Yao K B, and Gnagri D. (2015). Fortification et substitution de la farine de blé par la farine de Voandzou (*Vigna subterranea* L, verdc) dans la production des produits de boulangerie. International Journal of Innovation and Scientific Research, ISSN 2351-8014 Vol, 18 No, 2 Oct, 2015, pp, 434-443
- [8]. EDS-Congo. 2005. Ministère du Plan, de l'Aménagement du territoire, de l'Intégration économique et du NEPAD de la République du Congo (EDSCI), 35p Site internet: <http://www.cnsee.org/Données/enquete/PDF/Congo%20EDSC-1.pdf>
- [9]. Elenga M., Massamba J., Kobawila S C., Makosso G V et Siloue T. 2009. Evaluation et amélioration de la qualité nutritionnelle des pâtes et des bouillies de maïs fermenté au Congo. Int. J. Biol. Chem. Sci. 3(6): 1274-1285.
- [10]. Erkan NT, Ulusoy SY, Uretener S G. 2011. The use of thyme and laurel essential oil treatments to extend the shelf life of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) during storage in Ice. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. 6(1): p. 39-48.
- [11]. Falade K, O., ; Olurin T, O., ; Ike, E, A., et O, C, Aworh, Effect of pretreatment and temperature on air-drying of *Dioscorea alata* and *Dioscorea rotundata* slices, J, Food Eng, 80(4) (2007), 1002-1010
- [12]. FAO. Situation mondiale de l'alimentation et l'agriculture. <http://www.fao.org/datalog/inter.htm>, Rome 2009 ; 202p.
- [13]. Köse S. and Erdem ME. 2001. Quality changes of whiting (*Merlangius merlangus* L., N. 1840) stored at ambient and refrigerated temperatures. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. (1) 59-65.
- [14]. Larrieu J. 1984. Utilisation de la statistique en gestion de qualité. In: Biotechnologie, Scriban R coordonnateur. Technique et Documentation Lavoisier, 2^{ème} Edition, Paris : 511-529.
- [15]. Makawa Z, Kapute F, and Valeta J. 2014. Effect of delayed processing on nutrient composition, pH and organoleptic quality of pond raised tilapia (*Oreochromis shiranus*) stored at ambient temperature. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 14 (3).
- [16]. Médale F. 2008. Le poisson : quels enjeux pour sa consommation ? Lettre scientifique de l'Institut Français pour la nutrition. n°130. p20.
- [17]. N'Dri Yao D., Kouassi K N., Erba D., Scazzina F., Pellegrini N and Casiraghi M C, (2015), Nutritive Evaluation of the Bambara Groundnut C12 Landrace [*Vigna subterranea* (L.) Verdc. (Fabaceae)] Produced in Côte d'Ivoire, Int, J, Mol, Sci, 2015, 16, 21428-21441 ; doi :10.3390/ijms160921428

- [18]. Nout R, Hounhouigan JD, Van Boekel T. 2003. Les aliments : Transformation, Conservation et Qualité. Backhus Publishers, CTA, Wageningen, The Netherlands: 268 p.
- [19]. Ponka R., Tchatchoua Nankap E L., Tabot Tambe S et Fokou E. 2016. Composition nutritionnelle de quelques farines infantiles artisanales du CAMEROUN. International Journal of Innovation and Applied Studies. ISSN 2028-9324 Vol. 16 No. 2 Jun. 2016, pp. 280-292
- [20]. Zang B. and S. Deng. 2012. Quality assessment of *Scomber japonicus* during different temperature storage: biochemical, textural and volatile flavor properties. in International conference on artificial intelligence and soft computing. Notes Information Technology 1:1155–116144.

R. H. Gampoula, et. al. "Mise au point d'un procédé de formulation d'une farine infantile à base d'igname (*Discorea cayenensis*) enrichie en protéines par incorporation d'additifs alimentaires d'origine agricole et de pêche." *IOSR Journal of Biotechnology and Biochemistry (IOSR-JBB)*, 6(6), (2020): pp. 24-32.