



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Elaboration d'une Farine infantile composée à base d'ingrédients locaux de Côte d'Ivoire : quelles stratégies d'enrichissement en acides gras polyinsaturés oméga 3 ?

Grodji Albarin GBOGOURI *, Mandoué Stephanie BAMBBA, Dogoré Yolande DIGBEU and Kouakou BROU

Laboratoire de Nutrition et Sécurité Alimentaire, Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Technologies des Aliments, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801, Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

**Auteur correspondant ; E-mail : albaringrodji@yahoo.fr*

RESUME

En Côte d'Ivoire, les farines infantiles fabriquées localement sont de qualité moindre et ne sont pas toujours conformes aux normes recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé. Cette étude propose des stratégies de formulation de farines infantiles enrichies en acides gras oméga 3 et de valeur nutritionnelle conforme aux normes internationales. La méthode matricielle de formulation a été utilisée pour générer des proportions d'ingrédients à mélanger pour trois formules dont une Formule témoin (FT), des Formules F1 enrichie au Soja (F1S) et F2 enrichie en huile de maquereau (F2HP). Toutes les formules présentent des compositions nutritionnelles (Glucides, protéines, lipides et énergie) conformes aux normes de l'OMS avec des fortes teneurs en calcium (1400 -1787,4 mg/100g), en magnésium (1960,3 - 2373,8 mg/100g, en fer (48,8-64,0 mg/100g). L'ajout de farine complète de soja et d'huile de maquereau ont contribué à un enrichissement en acide gras polyinsaturés oméga 3, respectivement de 390 mg/100g de F1S et 2790 mg/100 g de F2HP. Nous notons la prédominance de l'acide docosahexaénoïque pour le F2HP et de l'acide linoléique pour le F1S. Cette stratégie de formulation pourrait être utilisée pour produire des farines infantiles à haute valeur nutritive.
© 2019 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Farine infantile, enrichissement, acides gras oméga 3, acide docosahexaénoïque, malnutrition

Elaboration of composite infant Flour with local ingredients of Côte d'Ivoire: What strategies of enrichment in essential omega 3 fatty acids?

ABSTRACT

In Côte d'Ivoire, locally made infant flours were low quality and they do not always meet the criteria for composition recommended by the World Health Organization. This study suggests formulation strategies of infant flours with required nutritional quality using local ingredients and enriched in omega 3 fatty acids. The matrix method of formulation was used to generate proportions of ingredients (millet, corn, soybean, bean, and mackerel oil) to be mixed to obtain required nutrient content. Three formulae of which a witness Formula (FT), F1 Soy- rich Formula (F1S) and F2 enriched with fish oil (F2HP) were performed with fixed proportions ingredients. All formulae displayed required nutritional composition (carbohydrates, proteins, lipids and

energy) according to WHO criteria, with high content of the calcium (1400 -1787.4 mg/100g), the magnesium (1960.3 – 2373.8 mg/100g, the iron (48.8-64.0 mg/100g of flour). The addition of the soy flour and mackerel oil was contributed to PUFA omega 3 enrichment of 390 mg/100g of F1S and 2790 mg/100 g of F2HP. It can be notice the ascendancy of the docosahexaenoic acid for the F2HP and the linolenic acid for the F1S. This formulation strategy could be locally used to produce a high nutritional value infant flour.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Infant flour, fortification, fatty acid omega 3, docosahexaenoic acid, malnutrition

INTRODUCTION

La malnutrition et les carences en micronutriments sont encore très présentes dans de nombreux pays en développement (UNICEF, 2008). La malnutrition infantile est l'une des principales causes de problème de santé publique et de bien-être social dans les pays en voie de développement. En Afrique, de plus en plus de travaux scientifiques s'intéressent à la formulation des farines infantiles locales qui sont conformes aux recommandations internationales (Gnahé et al., 2009 ; Brou et al., 2009 ; Zannou-Tchoko, 2010 ; Kayode et al., 2012 ; Kouassi Kunimboa et al., 2015 ; Fogny et al., 2017) En effet, une alimentation inadéquate est un problème de santé publique. Brown et al., (2000) ont montré que les carences nutritionnelles sont particulièrement sévères chez les enfants de 6 à 24 mois, au moment où leurs besoins nutritifs dépassent ce qu'ils peuvent obtenir du lait maternel ou des plats familiaux traditionnels.

Selon l'enquête de INS et ICF (2012) en Côte d'Ivoire, environ 30% des enfants de moins de cinq ans souffrent d'un retard de croissance, dont 12% souffrant de la forme sévère. Selon la classification de l'OMS, cette prévalence place la Côte d'Ivoire à la limite entre le groupe des pays avec une situation nutritionnelle dite précaire et ceux avec une situation nutritionnelle dite sérieuse pour le retard de croissance (WHO, 2000). Les données de l'enquête nutritionnelle de 2011 basée sur la méthodologie SMART confirment ces résultats avec une prévalence nationale du retard de croissance de 27% dont la limite supérieure est de 29% lorsqu'on tient compte des fluctuations d'échantillonnage.

De manière générale, les enfants vivant dans les zones rurales sont plus à risque que les enfants vivant dans les zones urbaines. En effet les données de l'enquête démographique et de santé de 2011/12 (INS et ICF, 2012) ont permis d'estimer un taux de retard de croissance de 21% en milieu urbain et de 35% en milieu rural, soit 15 points de pourcentage plus élevé. Par ailleurs, les garçons sont plus affectés que les filles, avec respectivement des taux de prévalence du retard de croissance de 33% et de 27%.

En Côte d'Ivoire, les aliments de complément industriels pour enfants vendus dans les supermarchés et les grandes enseignes commerciales sont inaccessibles à une grande partie de la population car vendus à des prix très élevés. Les farines infantiles traditionnelles faites maison accessibles à tous, ont une très faible valeur nutritive et causent des problèmes de malnutrition et de carences nutritionnelles. Outre les carences en fer, en vitamine A, en iode et en calcium observées chez les enfants à partir de cet âge, la couverture des besoins en acides gras essentiels, importante pour le développement cognitif de l'enfant pose souvent problème. La teneur du lait maternel pouvant également être réduite en cas d'apports insuffisants chez la mère (Brenna et al., 2007). L'acide linoléique (C18:2n-6) et l'acide α -linoléique (C18:3n-3) sont les acides gras essentiels précurseurs des 2 grandes familles des omégas 3 et 6. Chez l'homme, les acides gras à très longues chaînes, l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA) ne peuvent être synthétisés que lorsque l'alimentation est pourvue de ces acides gras précurseurs. L'essentialité de ces acides gras a été

découverte en soumettant à des jeunes rats à un régime dépourvu en lipides (Burr et Burr, 1929). Les sources des acides gras polyinsaturés sont certaines graines oléagineuses (soja, colza, arachide etc.) et les huiles de poissons d'eaux froides (saumon, maquereau, sardine etc.).

Les effets bénéfiques des acides gras polyinsaturés omégas 3 et 6 chez le nourrisson et l'enfant ont été démontrés dans de nombreux travaux. Ces molécules jouent un rôle dans le développement de la vue (Koo, 2003; Lauritzen et al., 2004). Des études ont montré qu'il existait une corrélation positive entre les taux de DHA du lait maternel et le développement de la vue chez les nourrissons nourris au lait maternel (Innis et al., 2001 ; Jorgensen et al., 2001). Lau et al., (2013) ont montré que l'incorporation des acides gras polyinsaturés omégas 3 et 6 dans le régime alimentaire favorisait le développement d'un squelette sain et réduisait ainsi le risque de développer l'ostéoporose plus tard. Les acides gras omégas 3 et 6 jouent aussi un rôle dans le développement neurologique et le fonctionnement du cerveau (Belkind-Gerson et al 2008 ; Innis, 2008 ; Ryan, et al., 2010).

Les résultats obtenus par Mitchell et al., (1987) et Stevens et al., (1995) suggèrent que la supplémentation en acides gras omégas 3 et 6 peut réduire le trouble d'hyperactivité avec déficit de l'attention chez l'enfant. L'augmentation de la consommation des acides gras polyinsaturés omégas 3 et 6 par le biais des aliments de complément enrichis pourrait donc affecter positivement la santé du nourrisson et de l'enfant et contribuer ainsi à l'amélioration de l'alimentation de l'enfant. A ce jour, les méthodes utilisées pour l'enrichissement des aliments en acides gras omégas 3 et 6 sont d'abord celles qui emploient des huiles de poisson (kolanowski et al., 2007 ; Horn et al., 2012). Les acides gras polyinsaturés omégas 3 et 6 sont très oxydables, leur utilisation nécessite des précautions rigoureuses pour préserver les caractéristiques sensorielles, organoleptiques et sanitaires des aliments (Frankel, 2005). En

Afrique, particulièrement en Côte d'Ivoire, ces acides gras polyinsaturés sont peu valorisés et il n'existe pas de farines infantiles locales enrichies en acides gras polyinsaturés omégas 3 et 6.

L'objectif du présent travail est de proposer des stratégies de formulation de farines infantiles de qualité nutritionnelle requise à partir d'ingrédients locaux et enrichis en acides gras omégas 3 et 6 de diverses sources alimentaires.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Matériel végétal

Les matières premières végétales utilisées pour la formulation de la farine infantile sont :

les grains de mil, les grains de maïs jaune (*Zea maïs*), les grains de soja jaune (*Glycine max*), les grains de haricot blanc (*Phaseolus vulgaris*).

Sources d'acides gras oméga 3 et 6

Les sources d'omégas 3 et 6 utilisées pour l'enrichissement des différentes farines formulées sont :

- Le poisson entier de maquereau (*Scomber scombus*) a été acheté au port de pêche d'Abidjan et immédiatement transportée dans une glacière contenant de la glace. L'huile de maquereau, extraite par voie aqueuse assistée par des protéases commerciales.
- La farine de grains de soja entier a été produite au Laboratoire de Nutrition et de Sécurité Alimentaire de l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire).

Antioxydants et enzymes

La vitamine E (antioxydant) utilisée pour la stabilisation de l'huile de poisson, a été achetée chez Polychimie Côte d'Ivoire.

L'Alcalase 2.4L est la protéase utilisée pour extraire l'huile de poisson. L'Alcalase 2.4 L est une enzyme alimentaire, endopeptidase provenant de *Bacillus licheniformis*. Elle a été fournie par Novo Nordisk (Bagsvaerd, Denmark).

Méthodes

Préparation des matières premières

Extraction de l'huile de maquereau par voie enzymatique

L'hydrolyse a été réalisée dans un réacteur agité thermostaté de 1 litre (BiolaFitte) selon Gbogouri et al. (2006). L'échantillon de poisson initialement broyé, est mis en suspension dans l'eau distillée. L'enzyme Alcalase 2,4 L est ajoutée à 5 g pour 100 g de protéines de poisson, l'hydrolyse a lieu à 60 °C à pH 8. La technique du pH-stat utilisée consiste à maintenir le pH constant par ajout automatique de soude 4 N lors de la réaction enzymatique. La réaction a été mise en œuvre pendant 2 heures sous agitation constante à 450 tr/min et l'huile libérée est recueillie après centrifugation (2000 × g) du milieu réactionnel. L'huile a été conditionnée dans une boîte avec 0,02 g/100 g de vitamine E.

Farines de céréales

Les farines de céréales ont été obtenues selon la méthode décrite par Gnahé et al. (2009).

Mil : un kilogramme de grains de mil ont été triés pour enlever les pierres, les matériaux étrangers, les insectes, les grains endommagés. Après un séchage à l'étuve à 65 °C pendant 48 h, les grains ont été refroidis dans un dessiccateur. Ils ont été ensuite broyés avec un broyeur à marteau (Forplex, France) contenant un tamis de 150 µm de diamètre pour obtenir les farines.

Maïs germé : un kilogramme de grains de maïs sont triés pour enlever les pierres, les matériaux étrangers, les insectes et les grains endommagés. Pour les faire germer, les grains de maïs ont été trempés dans l'eau pendant 24 h et étalés sur une nappe pendant 3 jours sur une paillasse. Les grains non germés ont été écartés et les grains germés ont été séchés à l'étuve à 65 °C pendant 72 h. Il est ensuite procédé à un refroidissement dans un dessiccateur pendant 30 min puis à un autre tri suivi du dégermage et enfin à un broyage à l'aide d'un broyeur à marteau de type Forplex.

On obtient une farine de taille de grains d'environ 200 µm après passage au tamis et une torréfaction pendant 10 min à 60 °C.

Farine de légumineuses : soja et haricot blanc

Une quantité de 1 kg de grains de soja a été triée et lavée. Les grains ont ensuite été blanchis pendant environ 15 min à 55 °C. Les téguments des grains ont été éliminés par trempage à l'eau froide. Les grains ont été refroidis puis égouttés à l'aide d'une passoire avant d'être séchés à l'étuve à 65 °C. Le séchage se terminait lorsque les grains prenaient un aspect concassant. Les grains ont ensuite été refroidis dans un dessiccateur pendant 30 min puis broyés en farine à l'aide d'un broyeur à marteau de type Forplex. On a obtenu une farine de taille égale à environ 180 µm après tamisage avec un tamis (200 µm) de laboratoire en inox. La farine a ensuite été torréfiée pendant 10 min à 60 °C pour améliorer les qualités de conservation.

Stratégie de formulation des farines

Trois types de farines dont la farine témoin (FT), la farine 1 (F1-soja), la farine 2 (F2-huile de poisson) ont été formulés à partir de mélanges de diverses proportions de farines individuelles de mil, de soja et de haricot blanc, de maïs germé, du sucre et de l'huile de poisson maquereau. La stratégie de formulation des farines FT, F1-soja (F1S), F2-huile de poisson (F2HP) est réalisée à l'aide d'un système de formulation assisté par le logiciel Excel, en utilisant un système de calcul basé sur la méthode de formulation matricielle. A partir d'une liste d'ingrédients alimentaires, cette méthode permet de trouver la solution conduisant à couvrir au moins les besoins de deux nutriments avec au moins deux ingrédients (Olusayo et al., 2013 ; Afolayan et Afolayan, 2008). Le système d'équation utilisé est le suivant :

$$\begin{cases} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n = b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n = b_2 \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n = b_n \end{cases}$$

Avec a = les teneurs de nutriments (glucides, protéines, lipides et énergie)

X = les proportions d'ingrédients à mélanger

b = les besoins à satisfaire.

Ainsi les différentes valeurs de macronutriments (en g/100 g de farine : protéines, glucides, lipides) et d'énergie (en Kcal/100 g de farine) sont calculées automatiquement en fonction des formules de calculs élaborés sur le logiciel Excel.

L'utilisation de cette méthode permet de formuler une farine infantile qui respecte les recommandations relatives à la teneur en nutriments (glucides, protéines et lipides) (WHO, 2002).

Essai d'enrichissement par ajout de farine de soja

La farine complète de soja constitue une source importante d'acides gras polyinsaturés essentiels (Lecerf, 2011). Elle a été ajoutée aux autres ingrédients dans la formule F1S à 16 g pour 100 g du mélange total.

Essai d'enrichissement en acides gras oméga 3 par ajout d'huile de poisson maquereau

Pour cette stratégie d'enrichissement, l'huile de maquereau, source importante d'acides gras oméga 3 (Gbogouri et al., 2018), a été utilisée. L'huile de maquereau a été obtenue par extraction enzymatique d'échantillon de têtes de maquereau broyé. L'huile a été stabilisée par ajout de 0,02 g de vitamine E pour 100 g d'huile et ensuite incorporée au taux de 4% pour l'enrichissement en oméga 3 de la farine.

Analyses physico-chimiques des farines

L'analyse physicochimique des farines a été réalisée afin d'obtenir les formulations cibles à l'aide de l'utilisation du bilan de matière. La matière sèche, les cendres, les matières grasses brutes, les glucides totaux, les protéines brutes et les éléments minéraux des échantillons ont été déterminés suivant les méthodes AOAC (1990).

Analyse de la composition en acides gras

Préparation des esters méthyliques

Les esters méthyliques d'acides gras ont été préparés par le réactif au tri-fluorure de bore à la concentration de 14% dans du méthanol, BF₃/MetOH. 100 mg d'échantillon sont pesés dans un tube à essai à vis de 10 mL. On y a ajouté 1,5 mL d'hexane et 1,5 mL BF₃ / MetOH. Le tube est fermé hermétiquement sous azote, agité énergiquement, puis chauffé à 100 °C pendant 1 h. Après refroidissement à température ambiante, on a ajouté 1 mL d'hexane et 0,5 mL d'eau distillée puis le mélange a été agité sous azote. Deux phases se sont séparées après repos. La phase supérieure a été récupérée dans un autre tube mis sous azote. 5 mL d'hexane ont été ajoutés pour concentrer les esters méthyliques adaptés à l'analyse chromatographique en phase gazeuse.

Analyse par chromatographie en phase gazeuse

L'analyse des esters méthyliques a été réalisée sur un chromatographe en phase gazeuse de marque HP 6890 séries GC system. Cet appareil est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme et d'une colonne capillaire HP-5 (Cross-Linked 5% PH ME Siloxane) de longueur 30 cm ; épaisseur du film 0,25 µm ; 0,32 mm de diamètre interne, garnie de 5% de diphenyl et de 95% de dimethyl polysiloxane non polaire, avec une programmation de température du four croissante de 60 à 325 °C à raison de 1°C/min. La température de l'injecteur est réglée à 275 °C et celle du détecteur à 325 °C. La pression de l'azote utilisée comme gaz vecteur varie de 6,90 à 47,6 Kpa. Le débit est maintenu à 1 cm/min et le temps mort est de 1 min 15 s (hydrogène 40 cm/sec).

L'identification des pics a été réalisée en utilisant des substances de référence (esters méthyliques) et ceci par comparaison des distances de rétention de chaque pic du chromatogramme avec celles obtenues des étalons (Standard PUFA 1 & 2 de source animale, SUPELCO USA). Le calcul de la composition en acides gras en g/100 g de farines a été réalisé selon Greenfield et

Southgate (2007) avec des facteurs de conversion des acides gras (Weihrauch et al., 1977).

Analyse statistique

Les analyses statistiques des données ont été effectuées à l'aide des logiciels STATISTICA 7.1 (StatsoftInc, Tulsa-USA Headquarters) et XLSTAT-Pro 7.5.2 (Addinsoft Sarl, Paris-France). Les comparaisons entre les variables dépendantes ont été déterminées au moyen de l'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs et du test de Duncan. La signification statistique a été définie à $p = 0,05$.

RESULTATS

Caractéristiques physicochimiques des ingrédients

La composition biochimique des farines des ingrédients entrant dans la composition des formules montre une différenciation (Tableau 1). Les teneurs en protéines, lipides, fibres et en hydrates de carbone varient de 5,42% à 9,87%, de 0,60% à 8,88%, de 0,43% à 6,81% et de 73,23% à 81,47% respectivement. La valeur énergétique de ces farines variait de 352,96 Kcal à 420,84 Kcal. Les résultats ont montré que la farine de maïs a donné des teneurs élevées en matière sèche (95,62 %), en protéines (9,87%), en lipides (8,88%) et une valeur énergétique élevée (420,84 Kcal). La farine de mil a enregistré la plus forte teneur en cendres (2,11%) alors que la farine de sorgho est plus riche en fibres (6,81%). Quant aux farines de soja, elles enregistrent les plus fortes teneurs en protéines (40% pour le soja et 28% pour le haricot) et en cendres. En tenant compte de l'ensemble des caractéristiques, l'analyse a révélé une différence significative au seuil de 5% d'une céréale à l'autre.

Composition nutritionnelle des formules de farines infantiles composées

L'utilisation de la méthode matricielle a permis de générer des formules infantiles présentant des compositions chimiques présentées dans le tableau 2. Nous

pouvons constater dans chaque formule, des mélanges composées de céréales, de protéagineux, de sources d'acides gras oméga 3 et de sucre. Ces types de farines avec plusieurs ingrédients sont qualifiées de farines composées. L'analyse de ces formules révèle des compositions similaires en macronutriments même si on peut remarquer quelques fois des différences significatives ($p < 0,05$) (Tableau 3). Ainsi les carbohydrates varient entre 68,17 et 72,5%, les protéines entre 12,23 et 13,75%, les lipides entre 6,10 et 9,86% et l'énergie entre 400 et 414 Kcal/100 g de farine. La formule Témoin (FT) contient le plus d'hydrates de carbone (72,5%) par rapport aux formules enrichies qui contiennent plus de lipides (9,75% pour F1-soja (F1S) et 9,86% pour F2-huile de poisson (F2HP). Aussi, il y a une présence remarquée de minéraux tels que le calcium (1400 à 1787,4 mg/100 g), le magnésium (1960,3 à 2373,8 mg/100g) et le fer dans les farines composées contenant le haricot (FT : 64,0 et F2HP 62,08 mg/100 g de farine) contre 48,8 mg/100 g de farine pour F1S contenant le soja. Ces valeurs sont largement au-delà des apports recommandés pour 100 g d'un aliment de complément fortifié (Tableau 3).

Composition en acides gras des farines formulées

Le Tableaux 4 présente la composition en acides gras des farines composées à base de céréales. Au total, 5 acides gras ont été identifiés dans la farine témoin (FT) et la farine comprenant le soja (F1S) alors que la farine F2 enrichie en huile de poisson en contient 12 dont les omégas 3 à longues chaînes EPA (acide éicosapentaénoïque) et DHA (acide docosahexaénoïque). La teneur en acides gras saturés totale est similaire pour les trois formules FT, F1S et F2HP qui est de 1400 à 1500 mg/100 g de farine, avec une prédominance de l'acide palmitique qui est de 1200 mg/100 g dans FT, de 1100 mg /100 g dans F1S et de 850 mg dans 100 g de F2HP.

En revanche, les trois formules (FT, F1S et F2HP) ont des teneurs importantes d'acides gras polyinsaturés qui varient de 3010 mg/100 g de farine pour le FT, de 3840 mg/100 g pour le F1S et 3620 mg /100 g de farine pour le F2HP. Le facteur discriminant est que le FT et F1S sont plus riches en acide linoléique (C18:3n6) avec des teneurs respectives de 2820 mg/100 g de farine et de 3450 mg/100 g de farine. En revanche pour la farine F2HP complétementée en huile de poisson maquereau, ce sont les acides gras polyinsaturés oméga 3 à longues chaînes, l'acide stéaridonique

(C18:4n3), l'acide éicosapentaénoïque (C20:5n3), l'acide docosapentaénoïque (C22:5n3) et l'acide docosahexaénoïque (C22:6n3) qui sont les importants. Il faut aussi noter la présence très remarquée de l'acide arachidonique (à 680 mg/100 g de farine) dans la F2HP alors qu'il est absent dans les deux autres formules FT et F1S. Les rapports $\omega 6/\omega 3$ des huiles des farines composées sont de 14,1 pour le FT, de 8,97 pour la farine F1S (complétementée en soja) et d'un rapport faible de 0,3 pour la farine F2HP enrichie en huile de poisson.

Tableau 1 : Caractéristiques physicochimiques des farines des ingrédients (g/100 g de farine).

Constituants	Mil	Maïs germé	Soja	Haricot
Matière sèche	93.13 ± 0.05 ^a	92,03 ± 0,00 ^a	94,9 ± 0,2 ^a	91,03 ± 0,00 ^a
Cendres	2,22 ± 0,07 ^b	1,67 ± 0,3 ^b	4,56 ± 0,1 ^a	5,44 ± 0,1 ^a
Lipides	8,59 ± 0,01 ^b	7,09 ± 0,5 ^b	23,09 ± 0,2 ^a	0,55 ± 0,00 ^c
Protéines	8,22 ± 0,25 ^c	9,60 ± 0,1 ^c	40,03 ± 0,1 ^a	28,00 ± 1,2 ^b
Glucides totaux	74,10 ± 0,20 ^a	73,67 ± 0,2 ^a	27,22 ± 0,00 ^c	57,04 ± 0,6 ^b
Fibres	0.906 ± 0,00 ^c	0,43±0,00 ^c	5,91 ± 0,05 ^b	8,92 ± 0,01 ^a

Les chiffres suivis du même exposant sur une ligne ne diffèrent pas significativement au seuil $P > 0,05$.

Les valeurs sont les moyennes ± les écarts types de trois mesures (n=3).

Tableau 2 : Caractéristiques des formulations générées avec l'équation matriciel.

Formule	Ingrédient	Proportion générée (g)
FT	Mil	52
	Maïs germé	8
	Haricot blanc	30
	Sucre	5
F1S	Mil	68
	Maïs germé	10
	Soja	16
	Sucre	6
F2HP	Mil	52
	Mais germé	8
	Haricot blanc	30
	Huile de poisson	4
	Sucre	6

FT ; Farine non enrichie. F1S : farine enrichie avec la farine de soja. F2HP : Farine enrichie avec de l'huile de poisson maquereau.

Tableau 3 : Composition nutritionnelle des farines composées élaborées.

Constituants	FT	F1S	F2HP	Pour 100 g*
Glucides (% MS)	72,5 ± 4,02 ^a	68,54 ± 0,50 ^b	68,17±0,60 ^b	Nd
Protéines (% MS)	13,75 ± 0,12 ^a	12,23 ± 0,10 ^a	13,29±0,20 ^a	6-11
Lipides (% MS)	6,10 ± 0,08 ^b	9,75 ± 0,34 ^a	9,86±0,02 ^a	12,7
Fibres (% MS)	3,76 ± 0,02 ^a	3,02 ± 0,02 ^a	4,61 ± 0,01 ^a	Nd
Cendres (% MS)	2,12 ± 0,04 ^a	2,76 ± 0,04 ^a	2,45 ± 0,02 ^a	Nd
Energie (Kcal/100 g)	400,0 ± 4,5 ^a	410,0 ± 5,0 ^a	414,6±3,5 ^a	440
Micronutriments				
(mg/100 g)				
Phosphore	285,0 ± 4,0 ^b	326,6 ± 1,1 ^a	294,0±1,0 ^b	150-200
Calcium	1400,1 ± 31,81 ^b	1787,4 ± 69,65 ^a	1405,12±41,86 ^b	200-400
Sodium	303,0 ± 1,5 ^c	348,3 ± 3,73 ^a	319,02±1,47 ^b	Nd
Magnésium	1960,33 ± 15,81 ^b	2373,88 ± 23,81 ^a	1975,43±19,81 ^b	80-120
Fer	64,02 ± 3,20 ^a	48,75 ± 1,77 ^b	62,08±2,25 ^a	14
Zinc	33,40 ± 0,81 ^a	30,48 ± 2,05 ^a	30,50±0,71 ^a	8,3

Les valeurs sont les moyennes ± les écarts types de trois mesures (n=3). La même lettre inscrite en indice dans une même ligne indique qu'il n'y a pas de différence significative au seuil 5% entre les échantillons pour le paramètre concerné.

Nd : non déterminé

FT ; Farine non enrichie. F1S : farine enrichie avec la farine de soja. F2HP : Farine enrichie avec de l'huile de poisson maquereau

*Apport recommandé pour 100 g de farine infantile fortifiée pour nourrisson de 6 à 23 mois (Lutter et Dewey, 2003)

Tableau 4 : Teneur en acide gras des farines infantiles formulés (mg/100 g de farine).

Acides gras	FT (mg)	F1S (mg)	F2HP (mg)
Acide myristique (C14 :0)	Nd	Nd	390 ± 10 ^a
Acide palmitique (C16:0)	1200 ± 10 ^a	1100 ± 20 ^a	850 ± 5 ^b
Acide palmitoléique (C16:1)	traces	traces	690 ± 10 ^a
Acide stéarique (C18:0)	300 ± 20 ^a	300 ± 10 ^a	170 ± 10 ^b
Acide vaccénique (C18:1n7)	Nd	Nd	320±30 ^a
Acide oléique C18:1n9	1250±20 ^c	1650±30 ^a	1470±10 ^b
Acide linoléique (C18:2n6)	2820± 10 ^b	3450 ± 10 ^a	150 ± 10 ^c
Acide linoléique (C18:3n3)	Traces	340 ± 10 ^b	Traces
Acide stéaridonique (C18:4n3)	200± 2 ^b	50± 5 ^a	1090 ± 10 ^a
Acide arachidonique (C20:4n6)	Nd	Nd	680±12 ^a
Acide éicosapentaénoïque (C20:5n3)	0 ^b	0 ^b	780 ± 20 ^a
Acide docosapentaénoïque (C22:5n3)	0 ^b	0 ^a	100 ± 10 ^a
Acide docosahexaénoïque (C22:6n3)	0 ^b	0 ^b	820 ± 10 ^a
Total acides gras saturés	1500	1400	1410
Total acide gras mono insaturés	1250	1650	2700
Total Acide gras polyinsaturés	3010	3840	3620
Total Acide gras polyinsaturé oméga 3	200	390	2790
Total Acide gras polyinsaturé oméga 6	2820	3500	830
Rapport oméga 6/oméga 3	14,1	8,97	0,30

Les valeurs sont les moyennes ± les écarts types de trois mesures (n=3). La même lettre inscrite en indice dans une même ligne indique qu'il n'y a pas de différence significative au seuil 5% entre les échantillons.

FT ; Farine non enrichie. F1S : farine enrichie avec la farine de soja. F2HP : Farine enrichie avec de l'huile de poisson maquereau.

DISCUSSION

L'élaboration d'un aliment de complément sain et de qualité respectant les critères internationaux requiert une technicité et une expertise pour la prise en compte de plusieurs paramètres tant technologiques, microbiologiques et nutritionnels. Cela nécessite d'appliquer les méthodes de formulation adaptées. Une farine infantile doit renfermer les macronutriments et les micronutriments en quantité et en qualité nécessaires pour la croissance harmonieuse de l'enfant.

Dans la présente étude, le principe du mélange d'ingrédients divers est utile pour répondre à cette exigence. Pour les trois formules élaborées, enrichies ou pas, l'un des premiers objectifs était de mettre au point une farine équilibrée en nutriments conformément aux critères de l'OMS (WHO, 2002). En effet, chaque ingrédient apporté dans la formule doit contribuer à résoudre une exigence nutritionnelle. Ainsi dans les différentes formules, le mil et/ou le maïs sont des sources d'énergie et d'hydrates de carbone. La germination du maïs permet d'apporter le complexe enzymatique nécessaire à rendre la bouillie plus fluide et à booster la digestion du nourrisson (Gnahé et al, 2009). Selon cet auteur, la contribution d'une céréale germée dans une formulation ne devrait pas dépasser 10 à 12% afin de maintenir une fluidité et un densité énergétique adéquates de la bouillie infantile. Dans la présente étude, les légumineuses telles le soja et le haricot ont pour but premier, de contribuer à relever la teneur en protéines, le sucre de canne contribue à améliorer le goût et l'huile pour améliorer l'apport énergétique. Ces résultats sont comparables à ceux de Kouassi Kunimboa et al (2015) qui a formulé des farines composées à partir de mélange de céréales (maïs et sorgho) de légumineuses (soja) en utilisant les techniques de germination et de fermentation.

La valeur nutritive des farines infantiles FT, F1S et F2HP composées à base de céréales, montre bien une composition

nutritionnelle conforme aux valeurs requises par l'Organisation Mondiale de la Santé. En effet, selon l'OMS (WHO, 2002), une farine infantile destinée à compléter le lait maternel doit apporter 68% d'hydrates de carbone, 13% de protéines, 7% de lipides et 400 Kcal pour 100 g de farine. Par comparaison, la composition des farines infantiles de la présente étude (FT, F1S et F2HP) est conforme à la qualité recommandée par l'OMS. De plus, ces farines composées ont un potentiel nutritionnel important au regard des teneurs en micronutriments. En effet, 100 g des farines infantiles formulées dans le cadre de cette étude comparées aux valeurs recommandées, apportent 5 fois plus de calcium, 4 à 5 fois plus de fer, 20 fois plus de magnésium, 4 fois plus de zinc que les apports recommandés (Lutter et Dewey, 2003). Ces teneurs en éléments minéraux (magnésium, calcium, fer, sodium) sont supérieures à celles trouvées par Kouassi Kunimboa et al. (2015). Ces résultats montrent bien la qualité indéniable des farines infantiles formulées dans le cadre de cette étude. Il est connu l'importance du fer dans le statut anémique de l'enfant. Après 6 mois, tous le fer doit provenir des aliments de complément. Dewey, (2001), note qu'à l'âge de 9 à 11 mois, 97% des besoins en fer doivent être comblés par les aliments de compléments. Le fer contenu dans les aliments de complément a généralement une faible biodisponibilité en raison de leur teneur en phytate. Ainsi selon Lynch and Stoltzfus (2003), un aliment de complément fortifié devrait apporter une quantité suffisante de fer pour s'assurer que l'apport recommandé de 11 mg/jour est atteint pour les enfants de 6 à 23 mois. Vu le niveau de présence des éléments minéraux précédemment cités, nous pouvons déduire que ces farines peuvent couvrir les besoins en ces éléments minéraux.

Concernant la composition en acides gras des farines, le nombre d'acides gras total détectés est lié à la source d'enrichissement utilisée. Pour le F1S où la farine complète de soja est la source d'enrichissement et FT (non

enrichie) seulement 6 acides gras ont été détectés. Cela s'explique par le fait que les huiles végétales contiennent généralement moins de 10 acides gras. Et la farine F2HP, qui a bénéficié d'un enrichissement avec l'huile de poisson maquereau, présente 12 acides gras. Cela est dû à la présence d'acides gras à longue chaîne (supérieur à C20) dans les huiles de poisson (Khoddami et al., 2009 ; Gbogouri et al., 2006, 2018). Concernant les acides gras oméga 3, des quantités très importantes d'acides gras polyinsaturés (AGPI) sont présentes dans les farines FT (3010 mg/100 g de farine), F1S (3840 mg/100 g de farine) et F2HP (3620 mg/100 g de farine). Mais pour ce qui concerne particulièrement la teneur en AGPI n-3, l'on en retrouve à 200 mg dans 100 g de farine témoin (FT) (soit 3,47% des acides gras totaux), 390 mg dans 100 g de F1S (soit 5,66% des acides gras totaux) et 2740 mg dans 100 g de F1HP (soit 35,44% des acides gras totaux). Il ressort que la farine F2HP enrichie en huile de poisson maquereau contient plus d'acides gras oméga 3 grâce à la présence d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne à savoir l'acide stéaridonique (C18:4n3), l'acide éicosapentaénoïque (C20:5n3), l'acide docosapentaénoïque (C22:5n3) et l'acide docosahexaénoïque (C22:6n3). Au regard des Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) de EPA+DHA des enfants qui est de 125 mg/j (AFSSA 2015), ces farines formulées enrichies pourront couvrir les besoins des enfants. En effet, Gbogouri et al (2018) ont montré que l'huile de maquereau est riche en acides gras polyinsaturés notamment l'EPA (entre 6,99 et 7,56% des acides gras totaux) et le DHA (entre 11,26 et 15,86% des acides gras totaux).

Alors que pour la farine F1S, enrichie en farine complète de soja, ce sont l'acide linoléique (C18:3n3) et l'acide stéaridonique (C18:4n3) qui sont les oméga 3 responsables de l'enrichissement. La présence du DHA et de l'EPA est un atout pour le développement

des enfants d'après des travaux de Koo (2003) selon lesquels une supplémentation en DHA dans les formules infantiles améliore l'acuité visuelle et l'intelligence de l'enfant dans la première année de sa vie.

Conclusion

L'alimentation complémentaire à l'âge de 6 à 24 mois en Afrique, particulièrement en Côte d'Ivoire, présente des délicatesses dépendant généralement du niveau d'instruction des mères et aux revenus familiaux limités. Cela ne permet pas l'acquisition des farines infantiles de bonne qualité nutritionnelle et expose les enfants au risque de malnutrition, notamment le retard de croissance et les carences en micronutriments.

Cette étude propose des stratégies pour élaborer, à partir d'ingrédients disponibles localement, des farines infantiles composées respectant des normes de qualité requises par l'OMS. Aussi, vu l'importance des acides gras essentiels (AGPI n-3) dans la croissance harmonieuse et la santé de l'enfant, des voies d'enrichissement ont été proposées. Ainsi la farine complète de soja a permis d'enrichir avec l'acide linoléique (C18:3n3) et l'huile de poisson a permis d'enrichir principalement avec l'acide stéaridonique (C18:4n3), en acide éicosapentaénoïque (C22:5n3) et l'acide docosapentaénoïque (C22:6n3). L'huile de poisson et la farine complète de soja ont donc été utilisées avec succès pour réaliser les essais d'enrichissement applicables par les ménages ou par les petites unités de fabrication locales.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Directeur de l'Institut de Technologie Tropical (I2T d'Abidjan, Côte d'Ivoire) de nous avoir permis réaliser ces travaux dans leurs locaux.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

GAG est le principal investigateur de la recherche dans sa conception méthodologique, pour les protocoles et les analyses. MSB a participé à la réalisation des travaux de laboratoires, à la collecte des données. DYD a relu et apporté ses contributions au travail. KB est le chef de l'équipe qui coordonne les travaux du Laboratoire. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit.

REFERENCES

- Afolayan MO, Afolayan M. 2008. Nigeria Oriented Poultry Feed Formulation Software Requirements. *Journal of Applied Sciences Research*, **4**(11) : 1596-1602.
- AFSSA. 2015. Apports en acides gras de la population vivant en France. Comparaison aux apports nutritionnels conseillés définis en 2010. Rapport d'étude. 192p.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*, (15th Edn). Association of Official Analytical Chemists: Washington, United States; 774 p.
- Belkind-Gerson J, Carreon-Rodriguez A Contreras-Ochoa CO, Estrada Mondaca S, M.S. Parra Cabrera M.S. 2008. Fatty acids and neurodevelopment. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, **47**: S7-S9.
- Brenna JT, Varamini B, Jensen RG, Diersen-Shade DA, Boettcher JA, Arteburn LM. 2007. Docosahexanoic and arachidonic and arachidonic acid concentration in human breast milk worldwide. *American Journal of Clinical Nutrition*, **85**(6): 1457-1464.
- Brown KH, Luther CK. 2000. Potential of processed complementary food in the improvement of early childhood nutrition in Latina America. *Food and Nutrition Bulletin*, **21**(1): 5-11.
- Brou K, Kouadio EJP, Due EA, Kouame SK, Tano K, Dago G. 2009. Effects of processing method and blend on some physicochemical properties and digestibility of flours made from selected cereals and legumes. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**(5): 1151-1160.
- Burr GO, Burr MM. 1929. A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. *J. Biol. Chem.*, **82**: 345-367.
- Dewey KG. 2001. Nutrition, growth, and complementary feeding of the breastfed infant. *Pediatric Clinic of North America*, **48**: 87-104.
- Fogny NF, Yann Madode EM, Flora Laleye FT, Amoussou-Lokossou Y, Polycarpe Kayode AP. 2017. Formulation de farine de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(6): 2745-2755.
- Frankel EN. 2005. *Lipid Oxidation* (2nd edn). The Oily Press-PJ Barnes & Associates: Bridgwater, UK; 470 p.
- Gbogouri GA, Linder M, Fanni J, Parmentier M. 2006. Analysis of lipids extracted from salmon (salar) heads by commercial proteolytic enzymes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, **9**: 766-775.
- Gbogouri GA, Waze AMAB, Gonnety TJ, Linder M. 2018. Enzymatic Extraction and Characterization of Lipid Fraction Highly Rich in Omega-3 Fatty Acids from Mackerel (*Scomber scombrus*). *American Journal of Food and Nutrition*, **6**(3): 76-82. DOI: 10.12691/ajfn-6-3.
- Gnahé DA, Kunimboa AAK, Gbogouri GA, Brou K, Gnagri D. 2009. Reholological and nutritional characteristic of weaning mush prepared from mixed flours of taro (*Colocasia esculentus* Schott); Pigeon pea (*Cajanus cajan*) and malted Maize (*Zea mays*). *Pakistan Journal of Nutrition*, **8** (7) : 1032-1035.
- Greenfield H, Southgate DAT. 2007. *Données sur la Composition des Aliments, Production, Gestion, Utilisation*, Burlingame BA, Charrondiére UR (Éds).

- Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture : Rome.
- Horn AF, Green-Petersen D, Nielsen NS, Andersen U, Hyldig G, Jensen LS, Horsewell A, Jacobsen C. 2012. Addition of fish oil to cream cheese affects lipid oxidation sensory stability and microstructure. *Agriculture*, **2**(4) : 359-375.
- INS et ICF. 2012. Enquête Démographique Et De Santé Et à Indicateurs Multiples De Côte d'Ivoire 2011-2012. Calverton, Maryland, USA : Institut National de la Statistique et ICF International.
- Innis SM. 2008. Dietary omega 3 fatty acids and the developing brain. *Brain Res.*, **1237**: 35– 43.
- Innis SM, Gilley J, Werker J. 2001. Are human milk long chain polyunsaturated fatty acids related to visual and neural development in breast-fed infants? *Journal of Pediatrics*, **139**(4): 532-538.
- Kayode APP, Akogou FUG, Amoussa-Hounkpatin W, Hounhouigan JD. 2012. Effets des procédés de transformation sur la valeur nutritionnelle des formulations de bouillies de complément à base de sorgho. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(5): 2192-2201. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.25>
- Khoddami A, Ariffin AA, Bakar J, Ghazali HM. 2009. Fatty acid profile of the oil extracted from fish waste (Head, Intestine and Liver) (*Sardinella lemuru*). *World Applied Science Journal*, **7**: 127– 131.
- Jorgensen MH, Hernell O, Hughes EL, Michaelsen KF. 2001. Is there a relation between docosahexaenoic acid concentration in mothers' milk and visual development in term infant? *Journal of Pediatric Gastroenterology and nutrition*, **32** (3): 393-296.
- Kolanowski W. 2005. Bioavailability of omega-3 PUFA from foods enriched with fish oil – a mini review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, **14/55** (4): 335–340.
- Kolanowski W, Jaworska D, Laufenberg G, Weiãssbrodt J. 2007. Evaluation of sensory quality on foods fortified with omega 3 PUFA by addition of fish oil powder. *European Food Research and Technology*, **225** (5-6): 715-721.
- Koo WW. 2003. Efficacy and safety of docosahexaenoic acid and arachidonic acid addition to infant formulas: can one buy better vision and intelligence? *J Am Coll Nutr.*, **22**:101–107.
- Kouassi Kunimboa AAA, Agbo EA, GA Dago, Gbogouri AG, Brou DK, Dago G. 2015. Comparaison des caractéristiques nutritionnelles et rhéologiques des bouillies infantiles préparées par les techniques de germination et de fermentation. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **9** (2): 944-953.
- Lau BYY, Cohen DJA, Ward WE, Ma DWL. 2013. Investigating the role of Polyunsaturated fatty acids in bone development using animal model. *Molecules*, **18** (1), 14203-14227.
- Lauritzen L, Jorgensen MH, Mikkelsen TB, Skovgaard IM, Straarup E, Olsen SF, Hoy C, Michaelsen KF. 2004. Maternal fish oil supplementation in lactation: effect on visual acuity and n-3 fatty acid content of infant erythrocytes. *Lipids*, **39**(3): 195-206.
- Lecerf JM. 2011. Les huiles végétales : particularités et utilités. *Médecine des Maladies Métaboliques*, **5**(3) : 257-262. DOI: [MMM-06-2011-5-3-1957-2557-101019-201104369](https://doi.org/10.1019-201104369)
- Lutter CK, Dewey KG. 2003. Proposed nutrient composition for fortified complementary foods. *J. Nutr.*, **133**: 3011S-3020S.
- Lynch S, Stoltzfus R. 2003. Iron and ascorbic acid: proposed fortification levels and recommended iron compound. *J. Nutr.*, **133**: 2979S–2984S.
- Mitchell EA, Aman MG, Turbott SH, MANKU M. 1987. Clinical characteristics and serum essential fatty acid levels.

- Experimental Medicine and Biology*, **439**: 175-182.
- Olusayo OE, Olusesan AB, Adesola AG. 2013. Review of Livestock Feed Formulation Techniques. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, **3**(4): 60-77.
- Ryan AS, Astwood JD, Gautier S, Kuratko CN, Nelson EB, Salem NJ. 2010. Effects of long chain polyunsaturated fatty acid supplementation on neurodevelopment in childhood: A review of human studies. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, **82**: 305–314.
- Stevens LJ, Zentall SS, Deck JL, Abate ML, Watkins BA, Lipp SR, Burgess JR. 1995. Essential fatty acid metabolism in boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Clinical Nutrition*, **62**(4): 761-768.
- UNICEF. 2008. Rapport : la situation des enfants dans le monde. La malnutrition : causes, conséquences et solutions. New York, Etats Unis, 164p.
- WHO. 2000. The World Health report 2000: Health Systems: Improving Performance. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO. 2002. Global Strategy for Infant and Young Child Feeding. Doc A55/15. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Weihrauch JL, Posati LP, Anderson BA, Exler J. 1977. Lipid conversion factors for calculating fatty acid content in food. *Journal of American Oil Chemist Society*, **54**: 36-40.
- Zannou Tchoko V, Ahui-Bitty L, Kouame K, Bouaffou K, Dally T. 2011. Utilisation de la farine de maïs germée source d'alpha amylase pour augmenter la densité énergétique des bouillies de sevrage à base de manioc et de son dérivé, l'attiéké. *Journal of Applied Biosciences*, **37** : 24772484.