

Evaluation des propriétés antioxydantes et biologiques de farines infantiles à base d'igname/soja/sources végétales de minéraux

SORO Soronikpoho¹, ELLEINGAND Fattoh Eric², KOFFI Mourifié Gabriel², KOFFI Ernest¹

¹Laboratoire de Biochimie et Sciences des Aliments, UFR Biosciences, Université Félix HOUPHOUËT BOIGNY de Cocody. (UFHB) 22 Bp 582 Abidjan 22, République de CÔTE D'IVOIRE.

²Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse et de l'Environnement et des Énergies Nouvelles (LAPISEN). Département Génie Chimique et Agro Alimentaire (GCAA), Institut National Félix HOUPHOUËT BOIGNY (INP-HB) BP 1313 Yamoussoukro, République de CÔTE D'IVOIRE.

Email address of corresponding author: soronik@yahoo.com

Original submitted in on 3rd June 2014. Published online at www.m.elewa.org on 31st August 2014. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v80i1.12>

RESUME

Objectif : L'objectif visé par cette étude a été d'évaluer la capacité des farines infantiles formulées à être utilisées contre les carences nutritionnelles et comme aliments fonctionnelles. Les densités des farines infantiles en nutriments et en micronutriments clés, ont été déterminées. Aussi les propriétés antioxydantes et biologiques des farines infantiles formulées à base d'igname, soja et sources végétales de minéraux, ont été évaluées.

Méthodologie et résultats : La méthode consiste à étudier dans quelle mesure l'ajout du soja (*Glycine max*) prétraité, de pulpe de baobab (*Androsyonia digitata*), de pulpe ou graines de néré (*Parkia biglobosa*) et feuilles de *Ceratoteca sesamoides*, modifie les teneurs en protéines, en fer et en zinc des formulations. En outre, les propriétés antioxydantes et inhibitrices de l' α -amylase respectives des extraits méthanoliques et enzymatiques des farines infantiles formulées ont été évaluées. Les résultats de cette dernière étude, ont indiqué des densités en protéines des farines infantiles formulées, comprises entre $4,6 \pm 0,03$ g/100kcal et $6,44 \pm 0,26$ g/100kcal. Les densités des farines en fer varient entre $1,53 \pm 0,05$ mg/100kcal et $5,59 \pm 0,18$ mg/100kcal. Les densités en zinc des farines varient entre $0,85 \pm 0,17$ mg/100kcal et $1,12 \pm 0,16$ mg/100kcal. Sur le plan nutritionnel, les densités en protéines, en minéraux (fer, zinc et phosphore) et en vitamines (caroténoïdes, vitamines C) des farines infantiles formulées contenant les complexes de minéraux malt de mil et du ceratoteca sesamoides (MCS) et MNB, sont pour la plupart comparables ou supérieures à celles des farines de commerce (FARINOR® et NESTLE®) et sont en conformité avec les recommandations pour les farines infantiles. En plus, l'incorporation dans les farines d'igname / soja, de farine MNB et MCS a augmenté fortement les capacités à piéger le radical DPPH libre des extraits méthanoliques des farines et de leurs bouillies. Aussi, les farines infantiles contenant du MNB et MCS, ont des pouvoirs antioxydants et inhibiteurs de l'activité α -amylasique plus élevés.

Conclusion et application : En tenant compte des propriétés biologiques (pouvoirs antioxydants et propriétés inhibitrices de l' α -amylase) mises en évidence, l'utilisation des farines infantiles formulées contenant du MCS et MNB, dans la nutrition préventive serait envisageable. Aussi ces farines, en apportant des micronutriments et des composés photochimiques bons pour la santé, pourraient être bénéfiques pour lutter à la fois contre la malnutrition et contre les maladies dégénératives non transmissibles (cancer, obésité).

Mots clés : farines infantiles, sources de minéraux, aliments fonctionnels, nutrition

Evaluation of antioxidant and biological property of yam, soy and minerals based infant flours

ABSTRACT

Objectif: The objective of this study was to evaluate the ability of infant foods formulated to be used against nutritional deficiencies. For that nutritional and functional characteristic of composite infant flours formulated using fermented yam, soybean and pretreated pulp of fruit or vegetables were assayed.

Methodology and results : The method used consisted of studying how soybean (*Glycine max*), baobab pulp (*Andersonia digitata*), Nere pulp or seeds (*Parkia biglobosa*) and *Ceratoteca sesamoides* leaves additionally modified the nutritional qualities and functional characteristic of complementary foods prepared from fermented yam. The results obtained show that, protein densities ranged from 4.6 ± 0.03 to 6.44 ± 0.26 g/100kcal. Iron densities ranged from 1.53 ± 0.05 to 5.59 ± 0.18 mg/100 kcal. Zinc densities ranged from 0.85 ± 0.17 to 1.12 ± 0.16 mg/100 kcal. Protein and minerals (iron, zinc and phosphorus) and vitamins (carotenoid and vitamin C) densities in most formulated complementary foods, containing MCS and MNB were comparable or higher than the value of commercial flours (FARINOR® and NESTLE®) and were in conformity with the standard recommended relating to complemented food intended for the infant and young children. In addition, incorporation into yam flour / soy flour, MNB and MCS has greatly increased the ability to trap free radical DPPH methanol extracts of flour and their porridge. Also, infant foods containing MNB and MCS have antioxidant powers and inhibitors of higher α -amylase activity.

Conclusion and application: Taking into account the biological properties (antioxidant powers and inhibitory properties of α -amylase) the use of infant foods made containing MCS and MNB in preventive nutrition could be considered. These meals provide micronutrients and good photochemical compounds for health, could be beneficial in the fight against both malnutrition and against non-communicable degenerative diseases like cancer and obesity.

Key word: Infant flour, minerals sources, functional food, nutrition

INTRODUCTION

Les pénuries alimentaires généralisées ont entraîné la persistance de la faim et de la malnutrition, particulièrement parmi les groupes de populations à faibles revenus des pays en voie de développement (FAO, 2009). Ce problème est plus important chez les enfants de moins de cinq ans dans les pays en développement et dans ceux de l'Afrique en particulier à cause des conditions socio-économiques favorables à installation de la malnutrition (UNICEF, 2004). Dans les pays de l'Afrique subsaharienne, au problème de disponibilité des aliments (Ruel et al., 2003), s'ajoute les carences en protéines, en vitamines A, en fer, en zinc et en acide folique. La malnutrition engendre une mortalité infantile élevée, des maladies caractérisées par un retard de croissance physique, intellectuel et des séquelles permanentes (FAO, 2009 ; Camara et al., 2009). Cependant, la disponibilité alimentaire peut entraîner une autre forme de malnutrition infantile, celle due à un apport excessif de nutriments. Dans ce cas, les enfants sont confrontés à l'obésité. La plupart des études montrent, une augmentation du risque d'obésité pendant l'enfance et l'adolescence

surtout chez les enfants nourris au biberon. Aussi, les pratiques alimentaires pendant la petite enfance et le contact précoce avec des protéines de lait de vache sont indiqués comme facteurs qui contribuent à augmenter la survenue du diabète de type I (Turck et al., 2005). Le surpoids et l'obésité concernent de plus en plus d'enfants dans les pays en développement, ce qui pourrait constituer dans l'avenir un nouveau problème de santé publique (EDSCI-III, 2012). En Côte d'Ivoire, Le pourcentage d'enfants dont le poids-pour-taille se situe au-dessus de deux écarts types de la médiane des Normes OMS de la croissance de l'enfant adoptées en 2006, sont en situation de surpoids ou sont atteints d'obésité (OMS, 2006). Alors que 6 % des enfants souffrent d'émaciation, à l'opposé, 3 % des enfants sont trop gros. La proportion d'enfants présentant un surpoids ou obèse est la plus faible dans la région du Centre et la plus élevée dans la région du Centre-Ouest (EDSCI-III, 2012). Outre les soins de santé, les stratégies adoptées pour éradiquer la malnutrition infantile consistent en la recherche de nouvelles ressources végétales riches en protéines et en

micronutriments pour la formulation des farines infantiles (FAO/OMS, 2008). Il faudrait aussi, au cours de la période de sevrage, que les aliments donnés à l'enfant en complément du lait maternel apportent des protéines et des micronutriments, mais aussi des composés photochimiques bons pour la santé. Cela pourraient être bénéfiques pour lutter à la fois contre la malnutrition et contre les maladies nutritionnelles (cancer, obésité, diabète de type I,) (Yang *et al.*, 2006). La formulation de ce type de farines infantiles recouvre la problématique d'utilisation des ressources végétales locales. Plusieurs produits comme le soja, les fruits et légumes sont reconnus pour leurs fortes teneurs en protéines, en micronutriments ou en vitamine A, en vitamine C et en composés photochimiques (Sandberg, 2002, Yang *et al.* 2006 ; Mona *et al.*, 2011). Chaque année, la mort de 2,7 millions de personnes est attribuée à une consommation insuffisante de fruits et légumes. Celle-ci se classe

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal : Le matériel végétal utilisé est constitué de :

- différentes farines composées à base de tubercules d'igname (*Dioscorea alata* et *Dioscorea cayenensis*), de graines de soja germées ou non (*Glycine max*) et de grains de malt de mil séchés, de pulpe de pain de singe (*Adansonia digitata*), de graines et pulpe de Néré (*Parkia biglobosa*), et de poudre des feuilles de *Cerathote casesamoides*.

Chacun de ces produits végétaux a été collecté au cours de la période de grande disponibilité.

- deux farines infantiles industrielles connues et commercialisées en Côte d'Ivoire ; Cérélac (Céréale infantile lactée de NESTLE®) et FARINOR® (Céréale infantile lactée de PKL).

Méthodes

Traitement du matériel végétal : Chaque produit végétal acheté, a été trié, soigneusement lavé et désinfecté par trempage avec une solution diluée d'hypochlorite de sodium 8°Chl [eau de Javel 8°Chl à 50mL / 30L (v/v)] pendant 20 minutes. Il a été ensuite rincé à grande eau de robinet. Les tubercules d'igname

parmi les 10 premiers facteurs de risque de mortalité (Ezzati *et al.*, 2002). Une augmentation de l'utilisation et de la consommation des fruits et légumes serait donc indispensable pour réduire l'incidence des carences nutritionnelles. Cela permettra de promouvoir une meilleure nutrition et santé familiale (Yang *et al.*, 2006). Cependant, les enfants, du fait de leurs aliments qui sont des bouillies fluides, n'ont pas facilement accès aux fruits et légumes. Pourra-t-on utiliser les pulpes de fruits ou les légumes feuilles pour la formulation de farines infantiles de haute qualité nutritionnelle et présentant des caractéristiques d'aliments fonctionnelles ?

La présente étude a pour objectif principal d'évaluer la possibilité d'utiliser les farines infantiles : igname/soja/sources de minéraux dans la lutte contre la malnutrition et comme aliment fonctionnelle dans la prévention des maladies nutritionnelles.

ont été épluchés, découpés, trempés ensuite précuites pendant 30 minutes. Les graines de soja et les grains de mil ont été trempés pendant 7 heures et germés à une température d'environ 30°C ± 2°C pendant 72 heures. La farine composite (Néré/baobab ; 6/4) a été humidifiée dans une proportion masse / eau (m/v ; 2/1). Chaque produit végétal, prétraité a été ensuite fermenté dans un sac en polyéthylène pendant 72 heures à une température variant entre 30±2°C. Après la fermentation, chaque produit végétal a été séché à moins de 65°C pendant 7 heures en continu dans un séchoir (MINERGY ATIE PROCESS, 81666 PONT DE L'ARN-FRANCE). L'épaisseur de la couche d'étalement sur les claies du séchoir était d'environ 1 cm. Chaque produit traité, a été emballé en paquet de 2 kg dans des sacs en polyéthylène et conservée dans une salle à moins de 25°C (Figure 1, 2et 3). Les tigelles de *Cerathoteca sesamoides* ont été plongées dans un bain d'eau bouillante pendant 15 minutes et mises à égoutter au soleil. Les folioles ont été ensuite détachées des tigelles et séchées au soleil pendant 48 heures à 40°C±5 C.

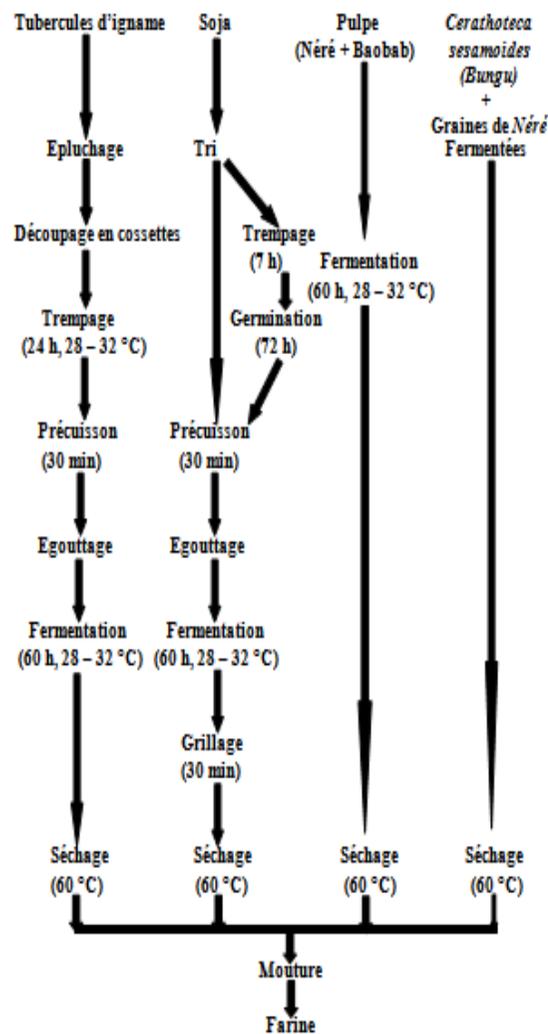
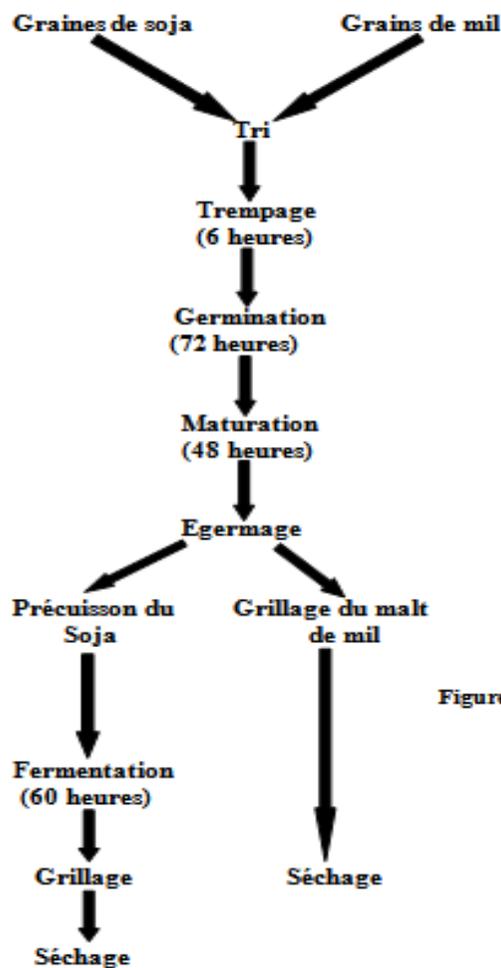


Figure 1 : Diagramme de fabrication des farines



Figure

Figure 2: Diagramme de préparation des germes de soja et du malt de mil

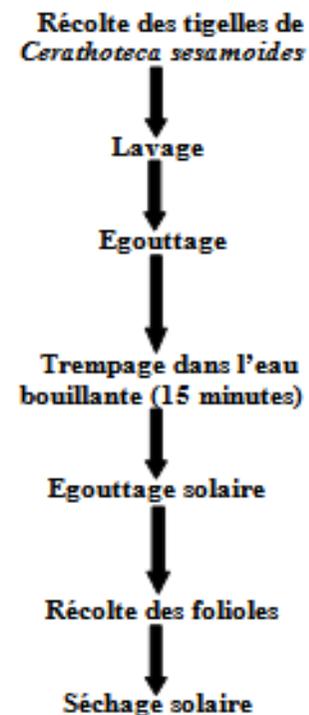


Figure 3: Diagramme de préparation des feuilles de C. cesamoides

Formulation des farines infantiles et leurs

abréviations : Les mélanges des produits végétaux traités précédemment ont été moulus dans un moulin (Forplex). On obtient des farines composées de granulométrie inférieure à 250 µm à base d'igname (55 ; 60 ou 70%), de soja germés ou non (30%), de malt de mil (10%) et d'un mélange de farine de baobab et Néré (5%) ou de graines de Néré et de feuilles de *Cerathoteca sesamoides* (5%). Les différentes farines formulées ont été codifiées comme ci-dessous :

BbSG : Farine composée d'igname Bète bète + soja germé ;

BbSNG : Farine composée d'igname Bète bète + soja non germé ;

BbSGM : Farine composée d'igname Bète bète+soja germé +malt de mil ;

BbSNGM : Farine composée d'igname Bète bète + soja non germé + malt de mil ;

BbSGMCS : Farine composée d'igname Bète bète + soja germé + malt de mil + *C. sesamoides* ;

BbSNGMCS : Farine composée d'igname Bète bète + soja non germé + malt de mil + *C. sesamoides* ;

BbSGMNB : Farine composée d'igname Bète bète + soja germé + malt de mil + Néré + baobab ;

BbSNGMNB : Farine composée d'igname Bète bète + soja non germé + malt de mil + Néré + baobab ;

KpSG : Farine composée d'igname Kponan + soja germé ;

KpSNG : Farine composée d'igname Kponan + soja non germé ;

KpSGM : Farine composée d'igname Kponan + soja germé + malt de mil ;

KpSNGM : Farine composée d'igname Kponan + soja non germé + malt de mil ;

KpSGMCS : Farine composée d'igname Kponan + soja germé + malt de mil + *C. sesamoides* ;

KpSNGMCS : Farine composée d'igname Kponan + soja non germé + malt de mil + *C. sesamoides* ;

KpSGMNB : Farine composée d'igname Kponan + soja germé + malt de mil + Néré + baobab ;

KpSNGMNB : Farine composée d'igname Kponan + Soja non germé + malt de mil + Néré + baobab ;

E17 : Farine infantile lactée (blé-soja) : Témoin 1

E18 : Farine infantile lactée (céréale-lait) : témoin 2

Dosage des protéines brutes et des minéraux :

Les teneurs en protéines totales (N×6,25) des échantillons ont été déterminées suivant la méthode de Kjeldahl après la détermination de l'azote totale (AOAC, 1990). Les teneurs en minéraux ont été déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique (AOAC, 1990). Les teneurs en phosphore ont été obtenues avec le dosage des orthophosphates par la méthode à l'acide ascorbique et le réactif combiné (APHA, 1995).

Teneur en lysine disponible : La méthode de Obi (1982) a été utilisée pour le dosage. Elle consiste à mettre la farine en présence de carbonate de sodium, de trinitrobenzène sulfonique (TNBS), d'acide chlorhydrique concentré et à lire l'absorbance à 346 nm. Pour cela, 10 mg de farine ont été introduits dans un tube à tête rodée auquel 1 mL d'eau distillée a été ajoutée. Le mélange a été incubé au bain marie bouillant pendant 10 minutes et refroidi. 1 mL de NaHCO₃ (4%, p/v), pH 8,5 a été ensuite ajouté et l'ensemble a été placé dans un bain marie à 40°C et agité pendant 15 minutes. 1 mL de TNBS à 1% (p/v) a été ajouté au mélange qui a été une fois de plus incubé à 40°C pendant 2 heures. 3 mL de HCl concentré (12N) ont été incorporés au contenu du tube qui a été bouché et laissé à l'étuve à 120°C pendant 1 heure. Après refroidissement à température ambiante, 5 mL d'eau distillée ont été introduits dans chaque tube puis le mélange a été filtré avec du papier filtre whatman n°1 pour éliminer les particules insolubles. Le filtrat de chaque tube a été lavé 3 fois avec 3×10 mL d'éther diéthylique qui a été à chaque fois évaporé dans de l'eau chaude pendant au moins 5 minutes. La densité optique (DO) a été lue à 346 nm contre le blanc. Le blanc a été préparé de la même manière que les échantillons à la différence que l'HCl concentré a été ajouté avant TNBS. La concentration en lysine disponible a été calculée en utilisant le coefficient d'absorption spécifique du TNBS-lysine ($\epsilon=1,46 \times 10^4$ / mole / cm). La quantité de lysine en % MS a été déterminée par la relation :

$$QLys = \frac{DO \times PM_{Lys} \times m}{\epsilon \times MS} \times 100$$

PM_{Lys} = 146,2 m : masse de l'échantillon analysé MS : matière sèche de l'échantillon

Dosage de la vitamine C : L'acide ascorbique ou vitamine C a été extraite en présence d'une solution d'acide métaphosphorique / acide acétique et dosé par le 2,6-dichlorophénol indophénol étaloné par la vitamine C standard de concentration connue (Poncrac et al., 1971). Une quantité (10 mL) d'acide (métaphosphorique / acide acétique) a été ajoutée à 1 g de farine et le mélange a été agité pendant 30 minutes puis filtré sur papier whatman n°1. 3 mL du filtrat ont été titrés par le 2,6-dichlorophénol indophénol jusqu'à l'apparition d'une coloration rose champagne persistante. Le volume de 2,6-dichlorophénol indophénol (V_e) versé a été noté. Une solution d'acide métaphosphorique-acide acétique a été titrée également par le 2,6-dichlorophénol indophénol. Le volume versé (V_o) a été noté. Une solution de vitamine C à 1 mg/mL préparée juste avant le dosage a été

aussi titrée par le 2,6-dichlorophénol indophénol dans les mêmes conditions. Le volume versé V_s a été noté. Chaque dosage a été effectué en triple.

$$C = \frac{(V_e - V_o) \times 20 \times 100}{(V_s - V_o) \times 10}$$

C : Concentration de la vitamine C de l'échantillon (mg/100mL).

V_e : Volume (mL) de 2,6-dichlorophénol indophénol (2,6-DCPIP) versé pour neutraliser la solution de l'échantillon (mL).

V_s : Volume de DCPIP versé pour neutraliser la solution standard de vitamine C (mL)

V_o : Volume de DCPIP versé pour neutraliser la solution d'acide métaphosphorique/acide acétique en mL.

Dosage de la β -carotène et de la vitamine A : Le dosage des caroténoïdes a été effectué suivant la méthode décrite par Aké et al. (2001). Cette méthode a été modifiée comme ci-dessous :

Extraction : Une quantité de 5 mL d'hexane a été ajoutée à un mélange constitué par 1 g de farine, 2,5 mL d'éthanol 96GL et 0,1 mL d'hydroquinone alcoolique (20 g d'hydroquinone dans 100 mL d'éthanol 95GL). L'ensemble, rendu homogène après agitation ferme au vortex, a été transvasé dans des godets puis centrifugé à 3000 tours/min à 4°C pendant 20 min. Le surnageant a été recueilli dans des tubes à essai et protégé de la lumière par du papier aluminium.

Dosage de la β -carotène : Une quantité (4 mL) du surnageant a été prélevée, dans une cuve, pour la lecture de la densité optique à 450 nm au colorimètre de marque Spectronic 20 D+.

Une gamme étalon de β -carotène a été parallèlement préparée à partir d'une solution mère de 10 mg / mL. La quantité de β -carotène de chaque échantillon, a été obtenue à partir de l'équation de régression établie à l'aide de la gamme étalon.

Détermination des teneurs en vitamines A : Les teneurs en vitamines A des farines, ont été déterminées en divisant les teneurs en β -carotène (déterminées) par 12 (Borel et al., 2005).

Dosage des phénols totaux

Préparation de l'extrait : Les phénols totaux ont été extraits trois fois dans un mélange de 2 g de farine et 10 mL de solution acétone-eau (4:1) glacé, incubé à 60°C dans un bain-marie agité à 200 rpm, pendant 30 min, ensuite centrifugé à 2000 trs/min pendant 20 minutes à 4°C. Les surnageants (S1, S2 et S3) ont été filtrés avec une seringue filtrante de porosité 0,45 μ m. L'extrait final (mélange des surnageants S1, S2 et S3) a été concentré à 5 mL à l'aide d'un rotavapor à 40°C,

ensuite dilué dans une fiole jaugée de 25 mL avec de l'eau distillée.

Dosage : Le dosage des polyphénols a été effectué suivant la méthode spectrophotométrique utilisant le réactif de Folin ciocalteu (Cisco et al., 2009).

Courbe d'étalonnage : Le phénol standard utilisé dans cette méthode a été l'acide gallique (Acide 3-4-5-trihydroxybenzoïque). À partir d'une solution mère aqueuse préparée d'acide gallique de concentration massique 0.5 mg/L, des solutions filles d'acide gallique ont été préparées de concentration allant de 0.02 mg/L jusqu'à 0.1 mg / L (0 ; 0,02 ; 0,04 ; 0,06 ; 0,08 ; 0,1 mg / mL). Une courbe d'étalonnage a été établie avec cette gamme de concentrations de solutions filles.

$$Q = \frac{q \times 100 \times F}{m \times MS} \times 100$$

m : masse de l'échantillon (g)

MS : taux de matière sèche de l'échantillon

F : facteur de dilution

Préparation de l'extrait d'échantillon pour analyse :

Une quantité aliquote de 500 μ L de chaque extrait et de chaque solution fille a été pipetée dans un tube à essai. Puis 500 μ L de Folin Ciocalteu (1N) ont été ajoutés. 3 minutes plus tard, 1 mL de carbonate de sodium (Na_2CO_3 , 75g / L) ont été ajoutés. L'ensemble a été incubé au bain marie à 40°C pendant 40min, ensuite à l'obscurité à la température ambiante pendant 2 heures. Le développement d'une couleur bleue a été obtenu après incubation à l'obscurité. L'absorbance a été mesurée à 760 nm avec un UV-Spectrophotomètre contre un blanc (préparé à partir de l'eau distillée). Les résultats [exprimés en Equivalent Acide Gallique (EAG / mL)] ont été rapportés à l'équation du courbe étalon dont l'équation de régression est $DO = 2,6963q + 0,0386$, avec $r^2 = 0,9971$. q étant la teneur en composés phénoliques déterminée à partir de l'équation de régression, la teneur (Q) en composés phénoliques des échantillons analysés (% MS) a été déterminée par la relation :

Dosage des tanins : Le dosage des tanins a été effectué dans le même extrait que les polyphénols par la méthode de précipitation à la caséine (Seigler et al., 1986).

Préparation des échantillons : A 6 mL d'aliquote de l'extrait de chaque échantillon ont été ajoutés 12 mL d'eau distillée, 1g de caséine en poudre et le mélange a été agité pendant 3 heures. Un blanc a été préparé avec 18 mL d'eau distillée et 1 g de caséine. Les mélanges ont été filtrés avec du papier filtre Whatman n°1. Chaque bécher utilisé a été soigneusement rincé avec 10 mL d'eau distillée et le filtrat a été ajusté à 25

mL. Un aliquote de 0,5 mL de chaque filtrat a été prélevé pour la détermination des polyphénols comme précédemment.

Détermination de la teneur en tanins : La quantité de tanins a été déterminée par la différence entre la quantité de polyphénols et celle obtenue après fixation des tanins sur la caséine. q étant la quantité de tanins pour chaque extrait d'échantillon, la teneur (Q) en tanins de l'échantillon analysé (% MS) est calculée par la relation :

$$Q = \frac{q \times 100 \times F}{m \times MS} \times 100$$

F : facteur de dilution

m : masse de l'échantillon (g) MS : taux de matière sèche de l'échantillon

Dosage des flavonoïdes : Le dosage des flavonoïdes a été effectué après une triple extraction par un mélange acétone / eau / acide acétique (70 / 28 / 2 : v / v / v) (Zhishen *et al.*, 1999, Kim *et al.*, 2003).

Extraction : Une quantité de 0,5 g d'échantillon a été mise en suspension dans 10 mL du mélange acétone / eau / acide acétique (70 / 28 / 2 : v / v / v), puis centrifugé à 3000 trs/min pendant 30 minutes, à 4°C. Le surnageant (S1) a été recueilli et conservé dans de la glace à 4°C. Le culot a été remis deux fois en suspension dans 10 mL du solvant et il a été à chaque fois centrifugé comme précédemment. Les surnageants S2 et S3 ont été recueillis et le culot a été éliminé. L'extrait final a été obtenu en mélangeant les surnageants S1, S2 et S3. L'ensemble des surnageants obtenus a été concentré dans un volume d'environ 5 mL à l'aide d'un rotavapor à 40°C.

La courbe d'étalonnage : A partir de la solution mère de la quercétine (utilisée comme étalon pour tracer la courbe d'étalonnage), préparée dans le mélange acétone / eau / acide acétique (70 / 28 / 2 : v / v / v) de concentration massique 1 g / L, des solutions filles de concentrations allant de 0.1 à 0.8 g/L ont été préparées. Dans une fiole jaugée de 25 mL, 1 mL de chaque dilution de la solution de quercétine a été introduit. Ensuite, 5 ml d'eau distillée puis 0.3 mL d'une solution de nitrite de sodium NaNO₂ (5%) (m/v) ont été introduits. Après 5 minutes, 0.6 mL de solution de trichlorure d'aluminium AlCl₃ (10 %) (m/v) a été introduit. 6 minutes après, 2 mL de soude (NaOH, 1M) ont été additionnées. L'ensemble a été complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée, suivi d'une légère agitation afin d'homogénéiser la solution. Le changement de coloration (du jaune vers le rose) qui absorbe dans le visible à 510 nm a été obtenu après incubation à l'obscurité, à la température

ambiante pendant 60 minutes. L'absorbance a été mesurée à 510 nm à UV-Spectrophotomètre contre un blanc, préparé à partir de l'eau distillée. A partir des valeurs des absorbances obtenues pour les solutions filles de quercétine, la courbe d'étalonnage de la quercétine a été tracée.

Préparation de l'extrait d'échantillons pour analyse : Un aliquote de 1 mL de l'extrait a été préparé comme précédemment. Après le développement de la couleur rose, l'absorbance a été mesurée à 510 nm contre le blanc. Les résultats ont été rapportés à l'équation de la courbe d'étalonnage dont l'équation de régression est $DO = 0,6444q - 0,0061$, avec $r^2 = 0,9988$. Les résultats ont été exprimés en milli équivalent quercétine par millilitre (mEQ/mL). q étant la quantité de flavonoïde, la teneur (Q) en flavonoïdes des échantillons analysés (% MS) a été calculée par la relation :

$$Q = \frac{q \times 100 \times F}{m \times MS} \times 100$$

m : masse de l'échantillon (g) MS : taux de matière sèche de l'échantillon F : facteur de dilution

Évaluation de l'activité biologique des farines

Préparation des extraits enzymatiques des farines : Les extraits enzymatiques ont été préparés suivant la directive de Lonstaff *et al.*

(1991). Une quantité de 500 mg de farine a été incubée avec 10 mL de solution physiologique (9g de NaCl / L) à 4°C pendant 1 heure. Le mélange a été ensuite centrifugé à 1500 trs / min pendant 20 minutes, le surnageant a été récupéré dans un tube ependorf et conservé à 4°C.

1 mL de l'extrait enzymatique a été minéralisé pour la détermination de la teneur en protéines par la méthode de kjeldahl (AOAC, 1990).

Les résultats ont été exprimés en mg Protéines / mL d'extrait.

Évaluation de l'action des extraits de farine sur l' α -amylase

Les inhibiteurs de l' α -amylase ont été dosés suivant la méthode de Piergiovanni (1992) utilisant l'iode et l'amidon. 2 mL de l'extrait enzymatique ont été mélangés avec 50 μ L d'amylase pancréatique (30 μ g / mL dans 0,05M de tampon tris-HCl pH 6,9 contenant 0,01M de CaCl₂). Le mélange a été incubé à 30°C pendant 60 minutes. 2 mL de tampon tris-HCl 0,05M (pH 6,9 contenant 0,01M de CaCl₂) et 2 mL d'amidon (10 mg / mL) ont été ensuite ajoutés dans le milieu réactionnel. La réaction s'est déroulée à 30 °C pendant 20 minutes. La réaction a été stoppée par refroidissement dans un bain de glace. 120 μ L du milieu réactionnel ont été additionnés à 4 mL d'iode (50

mg d'iode et 500 mg d'iodure de potassium dans un litre de HCl 0,05 M). L'absorbance a été lue à 565 nm pour l'évaluation de l'amidon résiduel. Un mélange de tampon et d'amidon (2 mL chacun) a été incubé avec et sans enzyme pour servir comme 0% et 100% d'inhibition respectivement. Une unité d'inhibiteur a été définie comme la quantité d'extrait qui inhibe l'activité de 1 µg d'amylase

Évaluation de l'activité antioxydante des farines

Préparation des extraits méthanoliques : Un mélange de farine et de méthanol dans une proportion (1:5 ; w/v) a été incubé à 55°C et agité pendant 2 heures à 100 rpm. Le mélange a été ensuite filtré sur papier Whatman n°1. Le filtrat a été concentré par évaporation du méthanol (Lateef et al., 2008).

Évaluation de la capacité à piéger le radical DPPH : Cette activité a été déterminée selon la méthode de Shimada et al. (1992) et Mensor et al. (2001). 2 mL de l'extrait méthanolique ou du standard (acide ascorbique et α-tocophérol) à une concentration de 2 mg / mL ont été ajoutés à 1 mL de solution méthanolique de DPPH (0,3 mM). Le mélange a été agité et gardé à la température de la salle (30 ± 1°C), à l'abri de la lumière pendant 30 minutes. Le blanc de chaque solution a été préparé en combinant 2 mL de l'extrait méthanolique et 1 mL de méthanol sans DPPH. Cependant 1 mL de DPPH méthanolique et 2 mL de méthanol servent de contrôle. Les absorbances des solutions obtenues ont été mesurées à 517 nm. Le pourcentage d'inhibition du DPPH a été calculé selon l'équation :

$$\text{Capacité à piéger le radical DPPH (\%)} = \left[\frac{1 - (\text{absorbance de l'échantillon} / \text{absorbance du Control})}{1} \right] \times 100\%$$

Évaluation de l'oxydation du système β-carotène / acide linoléique : L'activité antioxydante basée sur l'oxydation couplée de la β-carotène et de l'acide linoléique a été évaluée par la méthode modifiée de Berghofer et Juntachote (2005). 2 mg de β-carotène sont dissous dans 20 ml de chloroforme. 3 mL de cette solution ont été mélangés avec 40 mg d'acide linoléique et 400 mg Tween 20 dans un bêcher de 150 mL. Le chloroforme a été retiré, ensuite 100 mL d'eau oxygénée déionisée ont été ajoutés dans l'émulsion de β-carotène et vigoureusement mélangés jusqu'à une parfaite homogénéisation. 3 mL de cette solution

RÉSULTATS

Les résultats (Tableau 1) montrent que les densités en protéines (g/100kcal), fer (mg/100kcal), zinc (mg/100kcal) et en phosphore (mg/100kcal) sont dans les mêmes ordres de valeurs que celles des farines infantiles témoins du commerce. Toutefois, ces valeurs sont significativement élevées lorsque le soja utilisé pour la formulation des farines a été germé. Aussi,

d'émulsion de β-carotène et 0,1 mL de l'échantillon ont été introduits dans un tube fermé et vigoureusement mélangés. Les tubes ont été immédiatement incubés à 50°C. L'absorbance a été mesurée à 470 nm à intervalle de temps (0 ; 10 ; 20 ; 30 ; 40 min). Le contrôle a été préparé en utilisant 0,1 mL d'eau distillée sans l'échantillon. Les cinétiques de dégradation des échantillons ont été calculées suivant l'équation (1) :

$\ln(a/b) \times 1/t =$ cinétique de dégradation de l'échantillon

\ln : logarithme népérien a : absorbance au temps zéro b : absorbance jusqu'au temps de décoloration t : temps (min). L'activité antioxydante (AA) a été exprimée en % d'inhibition relative au contrôle en utilisant l'équation (2) :

$$\text{AA (\%)} = 100 \times \frac{(\text{Cinétique de dégradation du contrôle} - \text{cinétique de dégradation de l'échantillon})}{\text{Cinétique de dégradation du contrôle}}$$

Pouvoirs réducteurs : Le pouvoir réducteur des farines ont été déterminés selon la méthode d'Oyaizu (1986). Un égal volume (0,3 mL) de l'extrait méthanolique de l'échantillon, de ferrocyanure de potassium (1%) et de tampon sodium phosphate (pH7 ; 0,20 M) ont été soigneusement mélangés. Le mélange a été incubé à 50°C pendant 20 min, ensuite 0,3 mL d'acide trichloroacétique (10%) a été ajouté. Le mélange a été ensuite centrifugé à 6000 rpm à 4°C pendant 10 min. 0,6 mL du surnageant a été mélangé avec 0,12 mL de chlorure de fer III hexahydraté (0,1%) et 0,6 mL d'eau désionisée. Après 10 min, l'absorbance du mélange a été mesurée à 700 nm. Un niveau élevé d'absorbance du mélange indiquerait une activité réductrice plus grande.

Analyses statistiques : Toutes les mesures ont été effectuées en triple et les données présentées sont les moyennes de ces trois déterminations + écart-types (ET). Ces données ont été sujettes à une analyse de variance (ANOVA) pour tester les effets des différents facteurs expérimentaux sur les paramètres mesurés. Les corrélations bivariées de Pearson ont été utilisées pour établir des relations entre différents paramètres. Toutes ces analyses statistiques ont été effectuées à l'aide des logiciels STATISTICA 8.0.

l'incorporation de complexe de minéraux : malt de mil + Farine de néré + Farine de baobab (MNB), malt de mil + farine de *Ceratoteca sesamoides* + graines de néré (MCS), dans les farines d'igname / soja a contribué à accroître considérablement les densités en ces nutriments (Tableau 1). L'incorporation de MCS et MNB a permis d'augmenter significative les densités

jusqu'aux valeurs minimales (4g/100kcal pour le fer, et 114mg/100kcal pour le phosphore) recommandées pour les aliments de compléments (Tableau 1). Les densités en vitamines C et vitamines A présentées dans le Tableau 1 sont respectivement comprises entre 1,47±0,197mg/100kcal (KpSNGM) et 6,47±0,039 mg/100kcal(BbSGMNB) entre 29,58±2,39µgER/100kcal (KpSNGM) et 275,83±6,63µgER/100kcal(BbSGMCS). Les teneurs en lysine biodisponibles sont comprises entre 0,195±0,003 g/100kcal(KpSNG) et 0,254±0,006 g/100kcal (BbSNGMCS). Les farines infantiles contenant du soja germé, du MCS et MNB ont les plus fortes teneurs en vitamines C, vitamines A et lysines disponibles. Aussi, l'incorporation de malt de mil à contribuer à accroître significativement les teneurs en lysine disponible. Les résultats indiquent que les densités en vitamines C des farines formulées contenant du soja germé, du MCS et MNB sont significativement élevées que la valeur minimale (2,3 mg/100kcal) indiquée (USDA, 2008) pour les farines infantiles. Cependant, ces valeurs sont plus faibles que celles des farines infantiles témoins du commerce ;

12,07±0,063mg/100kcal (E17) et 11,22±0,067mg/100kcal (E18). A l'exception des farines contenant du MCS et MNB, les densités en vitamine A des farines infantiles formulées sont plus faibles que celles des farines infantiles témoins du commerce [69,58±1,67 µgER/100kcal (E17) et 89,58±2,15 µgER/100kcal (E18)]. Toutefois, les densités en vitamines A et en lysine disponible sont plus élevées que les valeurs indiquées (USDA, 2005 ; USDA, 2008) pour les farines infantiles. Quant aux composées phénoliques (Tableau 2), les teneurs en tanins varient de 33,29±2,93 mgEAG/100gMS (KpSG) à 61,15±3,59mgEAG/100gMS (E17), celles des flavonoïdes varient de 3,35±0,22mgEQ/100gMS(KpSNGM) à 76,58±4,87mgEQ/100gMS(BbSGMCS). Les teneurs en polyphénols sont comprises entre 50,55±4,8619mgEAG/100gMS(KpSNGM) et 118,41±2,19 mgEAG/100gMS(BbSGMCS). Ces résultats présentés dans le Tableau 2, indiquent aussi que les farines infantiles contenant du MCS ou du MNB présentent les plus fortes teneurs en composés phytochimiques.

Tableau 1: Densité en protéines, en micronutriments et en vitamines (pour 100kcal)

Échantillons	Protéines (g)	Fer (mg)	Phosphore (mg)	Zinc (mg)	Vitamines C (mg/100kcal)	Vitamines A (µgER/100kcal)	Lysine disponible (g/100kcal)
BbSG	5,51±0,08	2,72±0,19	67,96±0,15	0,99±0,16	2,98±0,081	57,91±2,35	0,21±0,006
BbSGM	5,69±0,11	3,94±0,32	77,27±7,23	0,91±0,13	2,56±0,080	40,83±3,38	0,215±0,006
BbSGMCS	6,44±0,26	5,59±0,18	143,4±0,81	1,12±0,16	5,20±0,08	275,83±6,63	0,254±0,006
BbSGMNB	5,89±0,13	3,96±0,18	131,2±0,65	1,05±0,16	6,47±0,039	178,75±4,29	0,237±0,004
BbSNG	4,78±0,18	2,69±0,15	67,75±0,9	0,85±0,17	2,09±0,051	47,91±1,63	0,20±0,006
BbSNGM	5±0,17	2,91±0,13	85,47±0,97	0,86±0,19	1,79±0,073	42,08±2,93	0,202±0,008
BbSNGMCS	5,55±0,2	4,36±0,12	144,8±1,05	1,04±0,2	4,21±0,076	226,66±5,44	0,231±0,007
BbSNGMNB	5,25±0,18	3,65±0,15	130,2±1,3	0,99±0,18	5,62±0,079	146,25±3,51	0,203±0,008
KpSG	5,37±0,05	1,69±0,14	71,55±0,88	0,95±0,15	2,80±0,062	48,75±1,89	0,210±0,002
KpSGM	5,59±0,05	2,76±0,14	98,99±1,45	0,95±0,14	2,43±0,071	32,91±3,19	0,213±0,004
KpSGMCS	6,29±0,19	3,85±0,12	156,4±0,51	1,06±0,15	4,07±0,069	208,75±5,01	0,243±0,003
KpSGMNB	5,77±0,25	2,89±0,19	153,2±1,05	1,03±0,17	5,50±0,086	140,41±3,37	0,232±0,001
KpSNG	4,6±0,03	1,53±0,05	73,08±0,94	0,93±0,18	1,67±0,192	35,41±1,57	0,195±0,003
KpSNGM	4,77±0,06	2,55±0,16	111,2±2,04	0,91±0,13	1,47±0,197	29,58±2,39	0,198±0,01
KpSNGMCS	5,4±0,05	3,28±0,19	156±0,75	1,03±0,18	3,76±0,166	180,41±4,33	0,212±0,004
KpSNGMNB	5,12±0,14	2,6±0,15	136,2±3,01	0,99±0,17	5,04±0,222	135,83±3,26	0,202±0,006
E17	4,88±0,05	4,18±0,16	125,4±0,47	1,64±0,08	12,07±0,063	89,58±2,15	0,201±0,006
E18	4,48±0,08	1,51±0,1	51,39±0,29	0,75±0,02	11,22±0,067	69,58±1,67	0,192±0,001
6 – 23 mois*	2,6-5,5**	4*	114*	0,8*	2,3***	35***	> 0,12

Densité en protéines, en micronutriments et en vitamines (pour 100kcal) nécessaire dans les aliments de compléments de 6-23 mois selon les auteurs mentionnés ci-dessous : USDA (2005), RDA (2008)*, Lutter et Dewey (2003) **, USDA (2008) ***
 .Les valeurs indiquées en rouge dans le tableau sont conformes aux recommandations pour les aliments de complément

Alors que les farines infantiles formulées ne contenant pas du MCS ou du MNB ont des teneurs en composés phytochimiques comparables à celles des farines infantiles du commerce. Les résultats (Figure 4) ont indiqué que les extraits méthanoliques des farines et de leurs bouillies, ont des capacités à piéger le radical DPPH libre, aux taux respectives de 28,68±2,26% à 77,91±2,62% et de 24,35±1,87% à 58,76±4,43%. Ces résultats indiquent que tous les extraits méthanoliques ont des capacités variables de piéger le radical DPPH libre. Cette capacité est plus forte pour les farines contenant du MCS et du MNB. Les extraits méthanoliques des farines infantiles formulées, présentent également des pouvoirs d'inhibition de l'oxydation du couple β-carotène / acide linoléique entre 19,27% et 65,45%, qui sont plus élevés comparés à 16,46% et 12,53% des extraits méthanoliques des farines respectives (E17) et (E18) (figure 5). En outre, l'évaluation des pouvoirs réducteurs des extraits méthanoliques des farines infantiles, basée sur la réduction du couple Fe³⁺ / Ferrocyanure de potassium en Fe²⁺, a indiqué des absorbances comprises entre

0,153±0,017 et 0,517±0,019 (Figure 5). Bien que les pouvoirs d'inhibition de l'oxydation du couple β-carotène / acide linoléique et les pouvoirs réducteurs du couple Fe³⁺ / Ferrocyanure de potassium, des extraits méthanoliques des farines infantiles soient plus forts lorsque les teneurs en composés phénoliques sont fortes, les résultats (Figure 5) ne présentent pas une stricte corrélation entre les teneurs en composés phénoliques et les activités antioxydantes des extraits méthanoliques. Dans la figure 6, ont été mis en relief, les teneurs en phytates, les teneurs en composés phénoliques (pour 100gMS) des farines infantiles formulées et les taux d'inhibition de l'activité α-amylasique de leurs extraits enzymatiques. Ces résultats indiquent qu'à l'exception des farines contenant du MNB, plus la teneur en polyphénol est élevée, plus grande est l'inhibition de l'activité α-amylasique. Toutefois, les résultats ne présentent pas, une corrélation stricte entre l'évolution des teneurs en polyphénols, en flavonoïdes ou en tanins avec l'inhibition de l'activité α-amylasique. Par contre, les résultats indiquent.

Tableau 2: Teneur en composés phénoliques et en fibres brutes des farines

Echantillons	Tanins mgEAG/100gMS	Flavonoïdes mgEQ/100gMS	Total phénols mgEAG/100gMS	Fibres g/100gMS
BbSG	33,62±2,12	20,21±3,78	68,79±1,99	2,10±0,58
BbSGM	40,01±2,12	11,61±1,29	72,27±6,7	2,07±0,35
BbSGMCS	39,37±1,93	76,58±4,87	115,62±4,67	1,28±0,01
BbSGMNB	47,28±1,75	49,14±4,84	96,79±3,06	1,26±0,01
BbSNG	42,49±2,11	8,38±0,64	62,21±6,12	2,19±0,39
BbSNGM	49,13±2,39	6,45±1,11	50,55±4,86	2,15±0,52
BbSNGMCS	44,60±1,75	65,96±4,52	104,69±2,8	1,48±0,02
BbSNGMNB	51,24±3,12	38,87±1,71	89,08±5,1	1,11±0,03
KpSG	35,29±2,93	11,09±1,02	69,72±1,07	1,89±0,07
KpSGM	40,56±2,39	7,65±0,14	62,79±5,88	1,22±0,58
KpSGMCS	49,03±1,62	61,66±1,34	118,41±2,19	0,97±0,02
KpSGMNB	56,28±1,83	37,98±0,37	102,98±3,28	0,79±0,18
KpSNG	44,46±4,94	9,42±0,34	64,50±6,78	2,32±0,03
KpSNGM	46,20±2,93	3,35±0,22	59,42±6,54	1,87±0,06
KpSNGMCS	47,58±2,45	53,81±1,27	115,46±2,01	1,01±0,17
KpSNGMNB	52,54±2,63	33,12±3,18	93,52±3,65	0,85±0,23
E17	61,15±3,59	11,64±2,40	76,48±3,57	2,43±0,12
E18	47,31±1,44	6,68±2,8	56,41±2,03	2,95±0,18

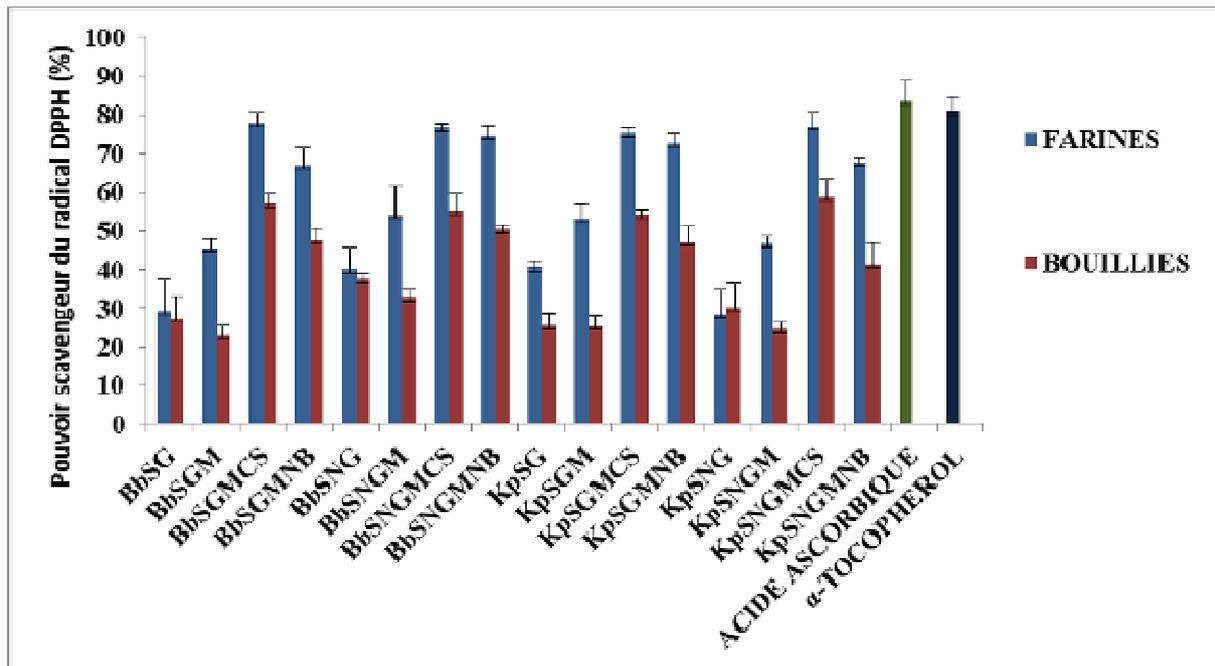


Figure 4 : Capacité à piéger le radical DPPH libre des extraits méthanoliques des farines infantiles et de leurs bouillies

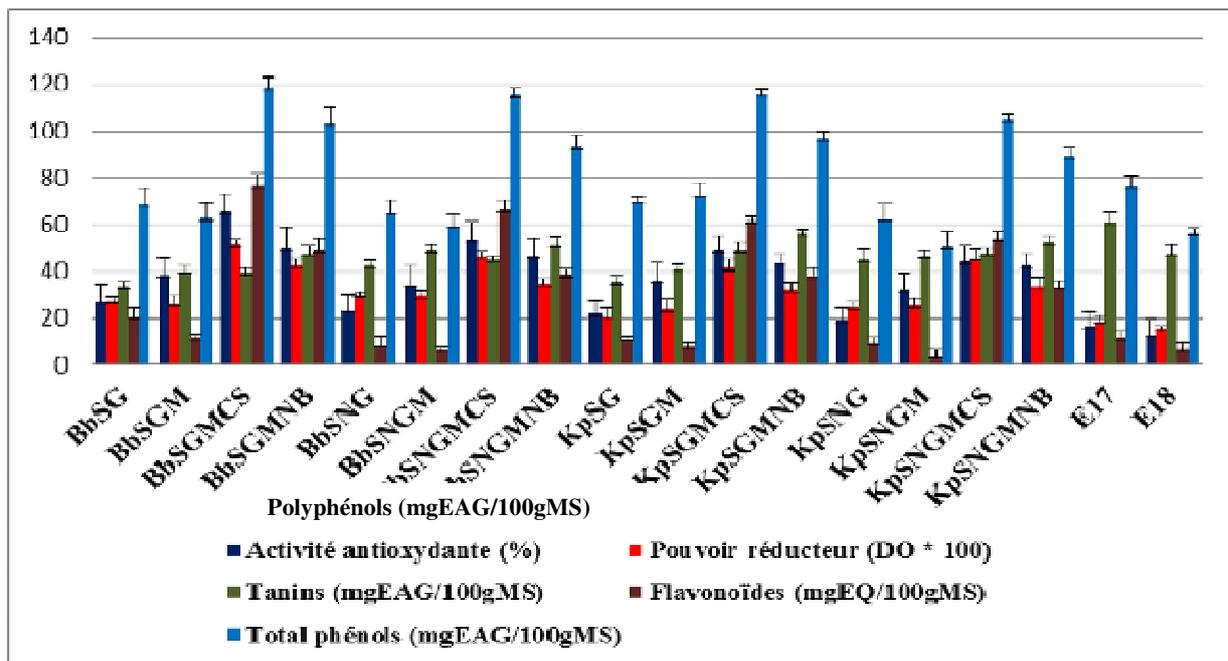


Figure 5 : Activités antioxydantes des extraits méthanoliques des farines

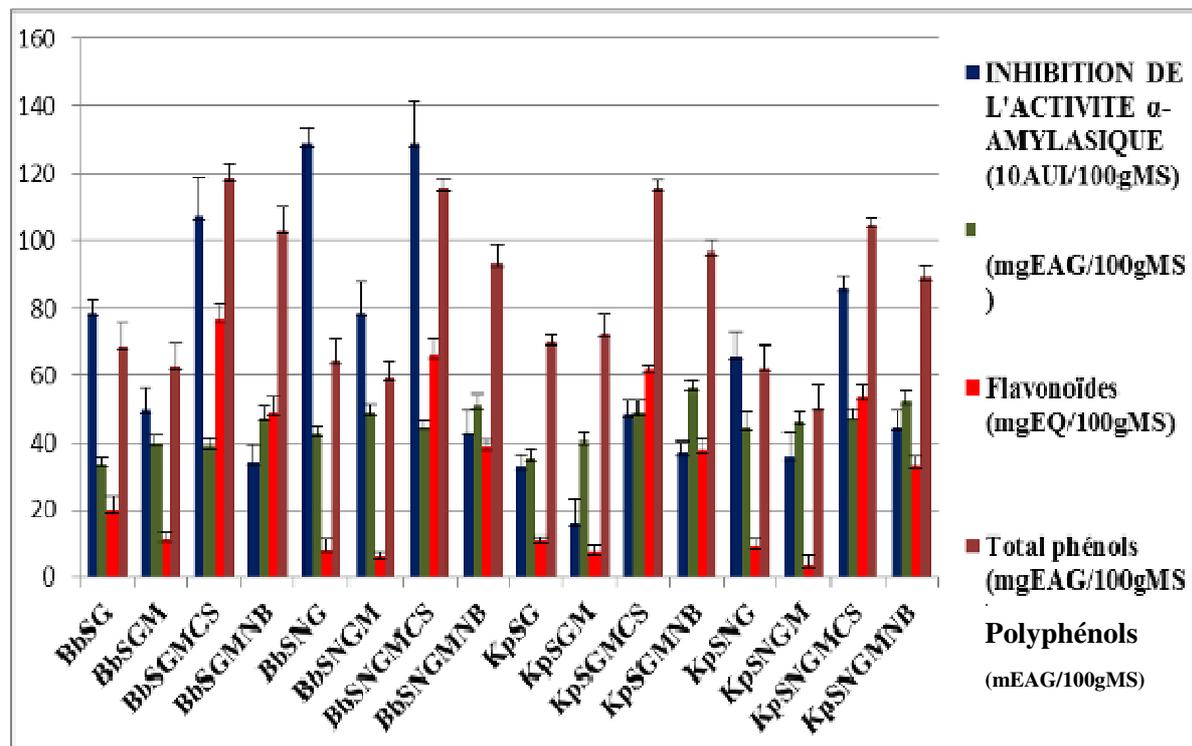


Figure 6 : Teneurs en composés phénoliques et évaluation de l'inhibition de l'activité de l'α-amylase

DISCUSSION

Les résultats du Tableau 1 indiquent que les taux de lysine biodisponible, sont plus élevés dans les farines contenant du soja germé que celles contenant du soja non germé. Cela pourrait s'expliquer par l'hydrolyse partielle des protéines au cours du trempage, de la germination et la fermentation des graines de soja (Purchas *et al.*, 2003). Les travaux de Gozaldas *et al.* (1986) ont également montrés que la germination augmente les teneurs de certains acides aminés tels que la lysine et le tryptophane. Toutefois, les résultats du Tableau 1 indiquent que les densités en lysines biodisponible (pour 100kcal) sont dans le même ordre de valeurs que 0,202 rapporté par Martin *et al.* (1995) dans des bouillies d'igname enrichies au soja. Toutefois, ces valeurs sont doublement plus élevées que la valeur minimale (0,12 g de lysine biodisponible / 100kcal) indiquée pour les farines infantiles (USDA, 2005). Sachant que la lysine est l'acide aminé limitant des racines et tubercules, une quantité considérable a due être apportée par le soja. Cela montre une fois que la fortification alimentaire est une méthode par excellence à utiliser pour améliorer la qualité nutritionnelle des produits locaux (Martin *et al.*, 1995 ;Solomon, 2005). Les résultats présentés dans le Tableau 1 indiquent que les densités en vitamines A des farines infantiles formulées, ne contenant pas du MCS et MNB sont certe plus élevées que 35µgER/100kcal, recommandée pour les farines infantile, mais sont plus faibles comparées à celles des farines infantiles témoins du commerce. Ensuite, les

farines infantiles contenant du MCS et MNB, ont des teneurs en vitamines A, trois, quatre et même cinq fois plus forte que 35µgER/100kcal recommandée. En tenant compte des diverses fonctions biologiques des caroténoïdes et de la vitamine A, en occurrence l'activité antioxydante, les densités en vitamine A des farines formulées pourraient présenter un intérêt nutritionnel important dans l'alimentation des enfants. Ces farines pourront être utilisées pour la prévention de diverses pathologies liées à l'alimentation, en l'occurrence celles induites par un déficit de vitamine A et celles résultants du stress oxydatif (Maggio *et al.*, 2006 ; Sugiura *et al.*, 2008). Les résultats (Tableau 1) indiquent également que les farines infantiles produites ont des teneurs en acide ascorbique (vitamine C) comparables à 2,3 mg / 100 kcal recommandé (USDA, 2008) ou plus élevées. Les fortes densités en vitamine C des farines infantiles produites sont très importantes. En effet, diverses fonctions biologiques fondamentales sont attribuées à la vitamine C. Parmi ces propriétés biologiques dans l'organisme, il y'a la propriété d'agent réducteur des composés biologiques. La vitamine C est un cofacteur essentiel dans diverses réactions biologiques et comme antioxydant en phase aqueuse (Naziroglu *et al.*, 2005). De ce fait, la vitamine C contenue dans les farines infantiles produites contribuerait à renforcer le système immunitaire et le bien-être des enfants. Par la capacité de la vitamine C à activer l'absorption du fer non hémérique, les farines infantiles produites pourront

aussi contribuer à la lutte contre l'anémie ferritive chez les enfants (Ronchetti *et al.*, 1996). D'autres composés phytochimiques et leurs activités biologiques ont été étudiés. Les teneurs en fibres brutes ($0,79 \pm 0,018$ à $3,15 \pm 0,052$ mg/100gMS) des farines infantiles formulées (Tableau 2) sont pour la plupart plus faibles comparées à ($2,8 \pm 0,03$ g/100g MS) rapporté par Ijaratimi *et al.* (2009) dans des aliments de sevrage formulés à base de banane plantain et d'arachides grillés. Cela pourrait s'expliquer par la mouture très fine des farines infantiles formulées. Lateef *et al.* (2008) et Moore *et al.* (2007) ont attribué la diminution des teneurs en fibres à la production, au cours de la fermentation d'enzymes (cellulases et hémicellulases) de dégradation de la cellulose/ hémicellulose. Ces teneurs résiduelles en fibres des farines infantiles formulées pourraient constituer un apport alimentaire aux enfants. Trois classes de composés phénoliques antioxydants ont été considérées : les polyphénols, les tanins et les flavonoïdes. L'analyse des résultats obtenus (Tableau II), indique que les teneurs en tanins ($33,29 \pm 2,93$ à $61,15 \pm 3,59$ mgEAG/100gMS) des farines infantiles sont largement inférieures aux valeurs limites indiquées (760 à 900 mgEAG / 100gMS) (Aletor, 1999), mais sont pour la plupart plus fortes que $36,40$ à mg EAT/100gMS rapporté par M'bata *et al.* (2009) dans une farine infantile formulée à base de farine de maïs fermenté et de graines d'arachides prétraitées. Les résultats de la figure 4, indiquent que tous les extraits méthanoliques des farines formulées et de leurs bouillies possèdent des capacités à piéger le radical DPPH libre. Ces propriétés des extraits, bien qu'étant variables, indiquent que les farines infantiles formulées et leurs bouillies sont des inhibiteurs des radicaux libres. Cela attribue à ces farines infantiles et aux bouillies, la possibilité de premier antioxydant. Ils pourront donc agir particulièrement avec le radical peroxyde qui est le composant majeur propagateur dans la chaîne d'oxydation des lipides (Zhu *et al.*, 2008 ; Lin *et al.*, 2006). Les résultats (Figure 4) indiquent que cette capacité des extraits à piéger le radical DPPH libre, bien qu'étant diminué, persiste après la cuisson. En outre, cette propriété des extraits méthanoliques des farines infantiles, augmentent avec les teneurs en composés phénoliques. Cependant, ils ne sont pas fortement corrélés à la teneur en ces composés. Cela indique que les capacités à piéger le radical DPPH libre, des extraits sont les résultats d'activités synergiques des composés phénoliques. D'autres composés antioxydants en l'occurrence les vitamines A et C, ainsi que des minéraux pourraient être impliqués dans cette activité des extraits méthanoliques. Par ailleurs, les capacités à piéger le radical DPPH libre seraient plus fortes dans les extraits de farines contenant du soja germé, du MNB et du MCS qui ont

des teneurs en composés phénoliques relativement plus forte comparées aux autres farines. Les résultats (Figure 6) indiquent également que les extraits méthanoliques des farines infantiles ont des pouvoirs réducteurs variables du complexe (Fe^{3+} /Ferrocyanure de potassium). Toutefois cette capacité de réduire les ions ferriques (Fe^{3+}) en ions ferreux (Fe^{2+}), leur attribuent une activité antioxydante. Cela indique aussi que les échantillons de farines ont la capacité d'inhiber la peroxydation de l'acide linoléique à une concentration de 2 mg/mL. En outre, les résultats (Figure 26) indiquent que l'inhibition du couple β -carotène/acide linoléique augmente concomitamment avec le pouvoir réducteur du complexe (Fe^{3+} /Ferrocyanure de potassium). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Mona *et al.* (2011) et Tanaka *et al.* (1988). Les activités biologiques des extraits méthanoliques des farines infantiles énumérées plus haut, pourraient être attribuées en partie aux farines d'igname fermentées et aux graines de soja fermentées. En effet, Krishman (2005) a indiqué que la fermentation des substrats végétaux, était une méthode judicieuse pour augmenter leurs teneurs en composés phénoliques et leurs activités biologiques. Aussi, Zhu *et al.* (2008), Mona *et al.* (2011) ont indiqué qu'au cours de la fermentation qu'il aurait production de métabolites ayant des pouvoirs réducteurs. Ces réducteurs interviendraient au cours de la fermentation pour stabiliser les chaînes de réactions radicalaires (Zhu *et al.*, 2008). En outre, les antioxydants intracellulaires de la flore de fermentation et les donateurs d'hydrogène contribueraient à augmenter le pouvoir réducteur (Wongputtisin *et al.*, 2007). Les résultats (Figures 4 et 5) ont aussi montré que les extraits de farines contenant du MNB et particulièrement du MCS, ont des capacités à piéger le radical DPPH libre plus élevés. Ces extraits présentent aussi de forts taux d'inhibition de l'oxydation du couple β -carotène/acide linoléique et des pouvoirs réducteurs du complexe (Fe^{3+} /Ferrocyanure de potassium) plus élevés. Ces résultats indiqueraient que les farines infantiles contenant du MNB et plus particulièrement du MCS, contiendraient des réducteurs endogènes, ayant des capacités à piéger les radicaux libres. Les activités antioxydantes des farines, pourraient être aussi attribuées à la germination des graines de soja qui a du leur conférer des attributs de légumes aussi bien au niveau de leur composition en nutriments que de leurs teneurs en composés phytochimiques (Ibrahim *et al.*, 2008). Les résultats sont conformes à ceux de plusieurs travaux qui ont pointé du doigt l'implication des diètes riches en fruits et en légumes dans la réduction de la fréquence et la gravité de plusieurs problèmes de santé (Lambert *et al.*, 2003; Rao, 2003; Willcox *et al.*, 2003). Ces propriétés des fruits et

légumes ont été attribuées aux métabolites secondaires qu'ils contiennent, dont bon nombre sont des antioxydants. Aux composés phénoliques, s'ajouteraient les teneurs et les combinaisons de vitamines, de minéraux et de fibres. Ces métabolites secondaires des farines infantiles produites pourraient par leur implication dans les réactions biologiques et leur rôle d'antibiotiques naturels, assurer le bien-être des enfants en neutralisant les dommages cellulaires causés par les radicaux libres et les molécules de dioxygène ou de peroxyde (Adeyemmi et al., 2012). Ils pourraient aussi contribuer à prolonger la durée de conservation des farines (Sarni et al., 2006). Les farines produites pourront donc aider à protéger les enfants en croissance contre certaines maladies. Par ailleurs, plusieurs études ont indiquées que les traitements technologiques appliqués au matériel végétal au cours de la transformation des farines contribuent à réduire les teneurs en composés phénoliques (Beta et al. 2000 ; Dicko et al., 2005 ; Soetan, 2009). Cependant, l'analyse des résultats du Tableau 2 indiquent que les

procédés adoptés pour le traitement des farines de supplémentation MCS et MNB, maintiennent les teneurs en composés phénoliques à des niveaux acceptables pour les enfants, qui permettent aussi l'expression de leurs activités antioxydantes (Figure 4 et 5). Hormis, l'activité antioxydante, les farines infantiles formulées présentent des quantités d'inhibiteurs de l'activité α -amylasiques ($157,32 \pm 7,79$ à $1287,17 \pm 5,11$ AUI/100g de MS) (Figure 6). Les composés phénoliques étant connus pour leur rôle d'inhibiteur de l'activité de l' α -amylase (Deshpandes, 1982 ; Weselake, 1983), ils pourraient être responsables de l'inhibition de l' α -amylase exhibée par les farines. Cependant, pour toutes les farines infantiles formulées, cette évolution n'est pas similaire à celle observée avec les composés phénoliques. Cela indiquerait l'implication d'autres composés inhibiteurs autres que les polyphénols (Lonstaff et al., 1991 ; Nicola Pohl, 2005). Toutefois, les inhibiteurs des amylases contribuent à diminuer la digestibilité enzymatique des glucides et aurait aussi un intérêt nutritionnel important, bénéfique sur la santé des personnes à risques (Franco et al, 2002).

CONCLUSION

L'incorporation dans les farines d'igname / soja, de farine MNB et MCS augmente fortement les teneurs en protéines, minéraux, en caroténoïdes, en vitamines C et en composés phénoliques des farines composées. En plus cela améliore les caractéristiques sensorielles des bouillies. En tenant compte des propriétés antioxydantes attribuées à ces composés, l'utilisation des farines à base d'igname enrichie au soja germé et fortifiée en complément vitaminiques (MNB et MCS) dans la nutrition préventive serait envisageable. Aussi ces farines, en apportant des micronutriments et des composés photochimiques bons pour la santé, pourraient être bénéfique pour lutter à la fois contre la malnutrition et contre les maladies dégénératives non transmissibles (cancer, obésité). Ainsi, la formulation de farines infantiles à base d'igname, soja germé et MCS ou MNB, constitue une voie judicieuse

d'introduction et de la consommation des fruits et légumes par les jeunes enfants. Elle contribuerait à réduire l'incidence des carences nutritionnelles et promouvoir une meilleure nutrition et santé familiale. La valorisation des farines infantiles formulées à base d'igname fortifiée dans l'alimentation infantile comme aliments fonctionnelle passera nécessairement par une étude complémentaire. Aussi les propositions suivantes permettront d'approfondir nos connaissances sur l'effet bénéfique de la consommation des farines BbSGM, BbSGMCS, BbSGMNB, BbSG et BbSNGM sur la santé des enfants. A cet effet, il est souhaitable que des recherches s'effectuent pour évaluer l'activité antibactérienne des extraits de farines infantiles. Aussi, des études devront être effectuées sur des rats pour vérifier in vitro l'activité biologique des farines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aké M., Poby A.G., Malan K.A., Tebi A. and Monnet D., 2001. Effet de la supplémentation en vitamine A sur les marqueurs de la nutrition dans la prise en charge de la malnutrition de l'enfant. *Annual biological clinical*, 59 : 417-421.
- Akindahunsi A.A and Salawu S.O, 2005. Phytochemical screening and nutrient and anti-nutrient composition of selected tropical green leafy vegetables. *Afr. J. Biotechnol.*, 4 : 497-501.
- AOAC (1995). Official methods of analysis (15th edn) Association of Official Analytical Chemists. Arlington, V. A. USA: 250p.
- AOAC (1990). The Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th ed.). Washington DC, 1 230p.
- APHA (1995). Standard methods for examination of water and waste water. AWWA.WPCP, New York USA: 19p.

- Berghofer E., Grzeskowiak B., Mundigler N., Sentall W.B. and Walczak J., 1998. Antioxidative properties of faba bean, soybean and oat tempeh. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 49 : 45-54.
- Beta T., Rooney L. W., Marovatsanga L. T. and Taylor J. R. N., 2000. Effect of chemical treatments on polyphenols and malt quality in sorghum. *J. Cereal Sci.*, 31, 295-302.
- Borel P., Drai J., Faure H., Fayol V., Galabert C., Laromiguière M. et Le Moël G., 2005. Données récentes sur l'absorption et le catabolisme des caroténoïdes. *Annales de Biologie Clinique*, 63(2) : 165-77.
- Camara F., Brou K., Assemam E.F., Tano K. and Dago G., 2009. Quantification of the energy, Iron Intake and the Promoter and Inhibitors Absorption in Rural and Urban Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 35(1) : 130-141
- Cicco N., Lanobe T.M., Paraggio M., Viggiano M. and Lattamzio V., 2009. A reproducible, rapid and inexpensive Folin-ciocalteu micro-method in determining phenolic of plant methanol extract. *Microchemical Journal*, 9(1) : 107-110.
- Dicko M.H., 2005. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *J. Agric. Food Chem.*, 53 : 25-81.
- Duranti M., Lovati M. R., Dani V., Barbiroli A., Scarafoni A., Castiglioni S., Ponzzone C. and Morazzoni P., 2004. The alpha' subunit from soybean 7S globulin lowers plasma lipids and upregulates liver beta-VLDL receptors in rats fed a hypercholesterolemic diet. *J Nutr.* 134(6) : 1334-1339.
- EDSCI-III, 2012. Enquête Démographique et de Santé et à Indicateurs Multiples. Côte d'Ivoire 2011-2012 Rapport Préliminaire, 42P.
- Ezzati M., Loez A.D., Vander H.S. and Murray C.J.L., 2002. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *Lancet*, 360 : 1347-1360.
- FAO, 2009. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. <http://www.fao.org/datalog/Inter-htm>. Décembre 2009. Rome, 202p.
- FAO/OMS, 2008. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Commission du Codex Alimentarius, 32ème session Rome (Italie), 29 juin-4 juillet 2009. Rapport de la 30ème session du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime. Le Cap (Afrique du Sud) 3-7 Novembre 2008. 1-223
- Franco O.L., Rigden D.J., Melo F.R. and Grossi-De-Sa M.F., 2002. Plant α -amylase inhibitors and their interaction with insect α -amylases. *European journal of biochemistry.* 269(2) : 397-412.
- Ibrahim W.H., Habib H.M., Chow C.K. and Bruckner G.G., 2008. Isoflavone-rich soy isolate reduces lipid peroxidation in mouse liver. *Int J Vitam Nutr Res.* 78(4-5) : 217-22.
- Kim J.Y., Lim H.J., Lee D.Y., Kern J.S., Kim D.H., Lee H.J., Kim H.D., Jeon R. and Ryu J.H., 2009. In vitro anti-inflammatory activity of lignans isolated from *Magnolis fargesii*. *Bioorganic and Medicinal chemistry Letters*, 19 : 937-940.
- Koffi E., Robert P. and Wicker L., 2007. Characterization of cloud components from selected tropical fruits. *J. of Food Qual.*, 30 : 794-812.
- Krishnan C., 2005. Solid-state fermentation systems: An overview. *Crit. Rev. Biotechnol.* 25 : 1-30.
- Lambert J.D. and Yang C.S., 2003. Cancer chemopreventive activity and bioavailability of tea and tea polyphenols. *Mutat. Res.* 523-524, 201-208.
- Lateef A., Oloke J.K., Gueguim Kana E.B., Oyeniyi S.O., Onifade O.R., Oyeleye A.O., Oladosu O.C. and Oyelami A.O., 2008. Improving the quality of agro-wastes by solid-state fermentation: Enhanced antioxidant activities and nutritional qualities. *World J. Microbial. Biotechnol.* 24 : 2369-2374.
- Lin C.H., Wei Y.T. and Chou C.C., 2006. Enhanced antioxidative activity of soybean koji prepared with various filamentous fungi. *Food Microbiol.* 23 : 628-633.
- Lonstaff M. A. and McNab J. M., 1991. The effect of concentration of tannin-rich bean hulls (*Vicia faba* L.) on activities of lipase (EC 3.1.1.3) and α -amylase (EC 3.2.1.1) in digesta and pancreas on the digestion of lipid and starch by young chicks. *British Journal of Nutrition*, 66 : 139-147.
- Maggio D., Polidori M.C., Barabani M., Tufi A., Ruggiero C., Cecchetti R., Aisa C., Stahl W. and Cherubini A., 2006. Low levels of carotenoids and retinol in involuntal osteoporosis. *Bone*, 38 : 244-248.
- Martin F., Lape M. I. and Treche S., 1995. Amélioration de la qualité nutritionnelle du et bouillies à base de maïs, manioc et igname par la supplémentation avec du soja. *Journal of nutrition*, 65 : 557-610.
- M'bata T.I., Ikenebomeh M.J. and Alaneme J.C., 2009. Studies on the microbiological, nutrient composition and antinutritional contents of fermented maize flour fortified with bambara

- groundnut (*Vigna subterranean L.*). *African Journal of Food Science*, 3(6) : 165-171,
- Mensor L.I., Menezes F.S., Leitao G.G., Reis A.S., Dos Santos T., Coube C.S. and Leitao S.G., 2001. Screening of Brazilian Plants extracts for antioxidants activity by the use of DPPH free radical method. *Phytother. Res.*, 15 : 127-130.
- Mona R.M., Abeer M.E., Hala A.M. and Mohamed N.U., 2011. Improvement of nutritional quality and antioxidant activities of yeast fermented soybean curd residue. *African. Journal of Biotechnology*, 10(30) : 5750-5759,
- Monghan J.P. and Rutherford M.S., 2008. Available lysine in foods: A brief historical overview. *Journal of AOAC international*, 91(4) : 901-906.
- Moore J., Cheng Z., Hao J., Guo G., Guo-Liu J., Lin C. and Yu L. (Lucy), 2007. Effects of solid-state yeast treatment on the antioxidant properties and protein and fiber compositions of common hard wheat bran. *J. Agric. Food Chem.* 55 : 10173-10182.
- Naziroglu M. and Butterworth P.J., 2005. Protective effects of moderate exercise with dietary vitamin C and E on blood antioxidative defense mechanism in rats with streptozotocin-induced diabetes. *Can J Appl. Physiol.*, 30 : 172-85.
- Nicola P., 2005. Acyclic Peptide Inhibitors of Amylases. *J. Chemistry & Biology*, 12 : 1257-1258.
- Obi I.U., 1982. Application of the 2,4,6-Trinitrobenzène-1-sulfonic Acid (TNBS) Method of determination of available lysine in maize seed. *Agric. Biol. Chem.*, 46(1) : 15-20.
- Owino V.O., Kasonka L.M., Sinkala M.M., Wells J.K., Eaton S., Darch T., Coward A., Tomkins A.M. and Filteau S.M., 2007. Fortified complementary foods with or without α -amylase treatment increase hemoglobin but do not reduce breast milk intake of 9-old Zambian infants. *American Journal of Clinical Nutrition*, 86: 1094-1103.
- Piergiovanni A.R., 1992. Effects of some experimental parameters on the activity of cowpea α -amylase inhibitors. *Lebensmittel Wissenschaft Technologie*, 25(4) : 321-324.
- Pongracz G., 1971. Neue potentiometrische Bestimmungsmethoden für Ascorbinsäure und dessen Verbindungen Fresenius Z. *Anal. Chem.* 253 : 271-274.
- Purchas R.W., Simcock D.C., Knight T.W. and Wilkinson B.H.P., 2003. Variation in the Form of iron in beef and lamb meat and losses of iron during cooking and storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 38 : 827-837.
- Trèche, S. (1995). Techniques pour augmenter la densité énergétique des bouillies. Dans: *L'alimentation de complément du jeune enfant* (édité par Trèche, S., De Benoist, B., Benbouzid, D., Verster, A., Delpeuch, F.), Paris : ORSTOM Editions, 123-146.
- Rao B.N., 2003. Bioactive phytochemicals in Indian foods and their potential in health promotion and disease prevention. *Asia Pac. J Clin Nutr.*, 12(1) : 9-22.
- RDA, 2008. Recommended dietary allowance of vitamine and other nutrients. <http://www.anyvitamins-com/rda.htm>. (accessed 17th, January, 2008).
- Ronchetti I.P., Quaglino J.D. and Bergamini G., 1996. Ascorbic acid and connective tissue. In: HARRIS, J. R. (Ed.). *Subcellular biochemistry. Ascorbic acid: biochemistry and biomedical cell biology.* New York: Plenum Press, 25 : 249-64.
- Ruel M.T. and Harimond M., 2003. Diversification alimentaire, couverture des besoins nutritionnels et croissance des enfants : Connaissances actuelles et recherches nécessaires. *Proceedings of the 2nd international workshop, Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: The role of food technologists and nutritionists.* 23-28 November. Ouagadougou, Burkina Faso. *In press.*
- Sandberg A.S., 2002. Bioavailability of minerals in legumes. *British Journal of Nutrition*, 88 : S281-S2855.
- Sarni-Manchado P. et Cheynier V., 2006. Les polyphénols en agroalimentaire. Ed Lavoisier, 2- 10.
- Scalbert A., Morand C., Manach C. and Remesy C., 2002. Absorption and metabolism of polyphenols in the gut and impact on health. *Biomed. Pharmacother*, 56(6): 276-282.
- Seigler D.S., Seikheime S., Keesy J. and Huang H.F., 1986. Tannins from common acacia species of texas and north-eastern Mexico. *Economic botany*, 40 (2) : 220-232
- Shimada K., Fujikawa K., Yahara K. and Nakamura T., 1992. Anti-oxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J. Agric. Food Chem.* 40 : 945-948
- Soetan K.O. and Oyewole O.E., 2009. The need for adequate processing to reduce the antinutritional factors in plants used as human foods and animal feeds: A review. *African Journal of Food Science*, 3(9) : 223-232.

- Solomon M., 2005. Nutritive value of three potential complementary foods based on cereals and legumes. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 5 (2) :
- StatSoft Inc, 2001. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0 www.statsoft.com
- Sugiura M., Nakamura M., Ogawa K., Ikoma Y., Ando F. and Yano M., 2008. Bone mineral density in post-menopausal female subjects is associated with serum antioxidant carotenoids. *Osteoporos Int*, 19 : 211-219.
- Turck D., Comité de nutrition de la Société française de pédiatrie, 2005.. *Allaitement maternel : les bénéfices pour la santé de l'enfant et de sa mère*. Archives de Pédiatrie 12 : S145-S165.
- UNICEF, 2004. The state of the World's children 2004. UNICEF, New York.
- USDA, 2005. Dietary guidelines for Americans. US Department of human and health services and US department of Agriculture Published 5 years. Bans for federal food and nutrition programs. (<http://www.Health.gov/dietaryguidelines/dga2005/document/> pdf /DGA 2005pdf/Accessed from the internet June 2008.
- USDA, 2008. Dietary reference Intake table for vitamins. Updated March (<http://www.com.edu/objet.File/Master/7/296/w ebtable vitamins; pdf>). Accessed from Internet June 2008.
- Van Soest P.S., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II- A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of Association of Official Analytical Chemistry*, 46 : 829-835.
- Wongputtisin P., Khanongnuch C., Pongpiachan P. and Lumyong S., 2007. Antioxidant activity improvement of soybean meal by microbial fermentation. *Res. J. Microbiol.* 2 : 577-583.
- Yang R.Y. and Tsou S.C.S., 2006. Enhancing iron bioavailability of vegetables through proper preparation principles and applications. *Journal of International Cooperation*, 1 : 107-119.
- Zielinski H., Kozłowska H. and Lewczuk B., 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2 : 159-169.
- Zhishen J., Mengcheng T. and Jianming W., 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals, *J Food Chem*, 64 : 555 - 559.
- Zhu Y.P., Fan J.F., Cheng Y.Q. and Li L.T., 2008. Improvement of the antioxidant activity of Chinese traditional fermented okara (*Meitauza*) using *Bacillus subtilis* B2. *Food Control*, 19 : 654-661.