



Caractérisation des qualités nutritionnelles de farines alimentaires de complément fortifiées de variétés *Moringa oleifera* Local et *Moringa oleifera* PKM1 au Niger

MAGAGI Saidou^{1*}, OUMAROU D. Halima², AMANI Abdou³, DAN GOMMA Abdou⁴, BALLA Abdourahmane²

¹Laboratoire de Technologie Alimentaire, Département de Cultures Pluviales, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), BP : 429, Niamey, Niger.

²Département de Productions Végétales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, BP: 10960, Niamey, Niger.

³Département de Gestion de Ressources Naturelles, INRAN, BP : 429, Niamey, Niger.

⁴Département de Productions Animales, INRAN, BP : 429, Niamey, Niger.

*Auteur correspondant : Email : magagisaidou01@gmail.com

Submitted 07/08/2025, Published online on 31/10/2025 in the <https://www.m.elewa.org/Journals/journal-of-applied-biosciences> <https://doi.org/10.35759/JABs.213.6>

RESUME

Objectif : Est de déterminer les effets des traitements thermiques de feuilles des variétés *Moringa oleifera* Local (*MoL*) et *Moringa oleifera* Periyakulam 1 (*MoPKM1*) et sur les qualités nutritionnelles des farines de complément fortifiées produites.

Méthodologie et Résultats : La méthodologie était basée sur la formulation, la production et les analyses physicochimiques de 11 échantillons de farines produites. La fortification avec *MoPKM1* précuite et cuite à la vapeur augmentait plus les valeurs en protéines (26,7-27 g/100 g), énergie (448,2 kcal/100 g), Sodium (696 mg/100 g), Calcium (3160 mg/100 g), Zinc (8,2 mg/100 g), Magnésium (278,4 mg/100 g) et Phosphore (272 mg/100 g) comparée à celle avec *MoL*. Les teneurs en humidité ont varié entre 3,4-4 g/100 g pour les farines fortifiées avec *MoPKM1* et *MoL*. La précuisson à la vapeur de *MoPKM1* et *MoL* préservait mieux les protéines, lipides, énergie et minéraux (Na, Fe, K, P et Mg) comparée à la cuisson à l'eau.

Conclusion et Application des résultats : La précuisson à la vapeur et la fortification avec la variété *MoPKM1* précuites à la vapeur ont plus généré de meilleures qualités nutritionnelles aux feuilles de *Moringa oleifera* et aux farines de complément fortifiées FCMPPV et FCMLPV produites. La valorisation des résultats contribuerait à réduire les importations des vitamines et minéraux, à améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations, à lutter contre la malnutrition et l'anémie et à booster l'agrobusiness professionnel dans les pays en développement. Par ailleurs, l'assurance à la qualité sanitaire des aliments est une question cruciale à la nutrition, à la sécurité et à la santé des consommateurs. Il s'avère donc indispensable d'évaluer la qualité sanitaire et l'acceptabilité des farines de complément fortifiées avec *MoL* et *MoPKM1*.

Mots clés : *Moringa oleifera*, malnutrition, transformation, fortification, qualité nutritionnelle, Niger.

Nutritional Characterization of Complementary Food Flours Fortified with Varieties *Moringa oleifera* Local and *Moringa oleifera* PKM1 in Niger

ABSTRACT

Objective: This study aimed to assess how thermal treatments affect the leaves of two varieties, *Moringa oleifera* Local (*MoL*) and *Moringa oleifera* Periyakulam 1 (*MoPKM1*), as well as to evaluate the impact of fortification on the nutritional quality of the resulting fortified complementary food flours.

Methodology and Results: Eleven complementary food flour samples were formulated, produced, and analysed for physicochemical properties. The fortification with *MoPKM1* steam precooked and cooked increased more significantly the values in proteins (26.7-27.0 g/100 g), energy (448.2 kcal/100 g), Sodium (696 mg/100 g), Calcium (3160 mg/100 g), Zinc (8.2 mg/100 g), Magnesium (278.4 mg/100 g) and Phosphorus (272 mg/100 g) than with *MoL*. Moisture content varied between 3.4-4 g/100 g for complementary food flours fortified with *MoPKM1* and *MoL*. Also, the steam precooking preserved the proteins, lipids, energy and minerals (Na, Fe, K, P and Mg) better as compared to cooking in water for *MoPKM1* and *MoL*.

Conclusion and Application of Results: Steam precooking and fortification with the *MoPKM1* variety significantly enhanced the nutritional and physicochemical properties of *Moringa oleifera* leaves, as well as the fortified complementary food flours FCMPPV and FCMLPV. Scaling up these findings may help improve nutritional status and food security among populations, contribute to combating malnutrition and anaemia, and support the growth of professional agribusiness in developing countries. Meanwhile, the quality assurance and safety of foods is a crucial question to food nutrition, consumer health and security. It is therefore important to carry out sanitary, safety and sensory studies on the complementary food flours fortified with *MoL* and *MoPKM1*.

Key words: *Moringa oleifera*, malnutrition, heat treatments, processing, fortification, nutritional quality, Niger.

INTRODUCTION

La malnutrition est liée à un déficit global d'ingérés énergétiques et à des carences en micronutriments (Tété-Bénissan, 2012a). L'apport insuffisant ou la faible absorption de fer, iode, vitamine A et zinc entraîne des graves répercussions sur la santé (UNICEF et al., 2020). Au Niger, la malnutrition touche près de 2 millions d'enfants de moins de 59 mois sous toutes ses formes et près d'une femme sur deux est anémique au niveau national (Banque mondiale, 2016). Selon INS (2022), la prévalence de la malnutrition aiguë globale chez les enfants de 6 à 59 mois est de 12,2% et celle de la malnutrition chronique (retard de croissance) affecte 47,0% des enfants de moins de 5 ans, soit un taux supérieur au seuil de 30% défini par l'OMS. Les stratégies pour lutter contre la malnutrition

et les carences nutritionnelles rapportées par INS (2021) et UNICEF et al (2020) sont la diversification de l'alimentation, la bio fortification, l'enrichissement par ajout de complexe de micronutriments, la supplémentation et les mesures de santé publique. Cependant, la fortification par addition d'un complément minéral et vitaminique est très coûteuse, inaccessible aux ménages à faibles revenus et ne valorise pas les ressources locales nutritives disponibles et accessibles. Ainsi, la formulation d'aliments de complément à base de matières premières locales répondant aux recommandations nutritionnelles et sanitaires s'avère une alternative efficace. Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la production des farines alimentaires à base de ressources locales et

fortifiées de variétés de *Moringa oleifera* Local (*MoL*) et *Moringa oleifera* Periyakulam 1 (*MoPKM1*). En effet, *Moringa oleifera* Lam présente de meilleures qualités nutritionnelles et demeure encore très intégré dans les habitudes alimentaires locales comparativement aux légumes-feuilles chou, laitue et pourrait être un vecteur essentiel à la fortification. Les perceptions endogènes et plusieurs travaux scientifiques ont conféré à *Moringa oleifera* de vertus alimentaires, nutritionnelles, économiques, médicinales et cosmétiques (Mawouma et Mbofung, 2014 ; Alidou *et al.*, 2015 ; INS, 2015 ; Magagi *et al.*, 2022). Aussi, cette qualité nutritionnelle favorise son utilisation dans l'enrichissement des plats en vue de prévenir la malnutrition des groupes vulnérables (Ndong *et al.*, 2007). L'augmentation de la consommation de *Moringa oleifera* contribue à réduire l'incidence des carences nutritionnelles et de l'anémie (Yang *et al.*, 2006b ; Madukwe *et al.*, 2013). Dans les formules alimentaires, *Moringa oleifera* constituait une source d'apports nutritionnels en protéines, vitamines et minéraux. Le mil et le souchet sont des féculents et constituaient des sources d'énergie, de vitamines B et de certains micronutriments. Le soja et l'arachide

représentaient des sources de protéines et de lipides de qualité. En effet, le soja est préféré au niébé pour éviter les problèmes de flatulence et de troubles gastro-intestinaux causés par sa forte teneur en azote (Laurent, 2011). Il est la principale source de protéines et micronutriments, à l'instar de la plupart des farines de complément produites et commercialisées dans la sous-région (Nago, 2012 ; Fogny *et al.*, 2017). Ainsi, le sel iodé (0,5-1 g) était ajouté aux formules car l'iode est nécessaire à l'alimentation de complément des jeunes enfants, femmes enceintes, femmes allaitantes et personnes âgées. L'objectif global visé est de caractériser les qualités nutritionnelles des formules de farines fortifiées, des traitements thermiques et des variétés de *Moringa oleifera* en vue d'améliorer l'état nutritionnel et contribuer à la lutte contre la malnutrition, l'anémie et l'insécurité alimentaire. Les objectifs spécifiques sont d'une part de déterminer l'influence de la fortification avec *MoL* et *MoPKM1*, des traitements thermiques et de séchage sur les qualités nutritionnelles des farines fortifiées et d'autre part à identifier les variétés de *Moringa oleifera*, les procédés technologiques et les formules de farines produites de meilleure qualité nutritionnelle.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Cadre de l'étude : Onze (11) farines dont une farine composée non fortifiée constituée des ressources locales et 10 farines fortifiées de 2 variétés *MoL* et *MoPKM1* issues des procédés thermiques optimisés ont été formulées et produites. La production des farines a été réalisée au Laboratoire de Technologie Alimentaire (LTA) situé au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Niamey de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), à Niamey. Les analyses physicochimiques des échantillons ont été effectuées au Laboratoire de l'Alimentation et de Nutrition Animale et au

Laboratoire d'Analyse de Sols, Eaux, Végétaux et Engrais (LASEVE) de l'INRAN, et au Laboratoire de Contrôle de Qualité (Quali. Control. Lab.), à Niamey.

Matériel végétal : Le matériel utilisé pour la production des farines de complément a été constitué de feuilles de 2 variétés *Moringa oleifera* Local et de *Moringa oleifera* PKM1 (Figure 1), de graines de mil (*Pennisetum glaucum*), variété HKP; de graines de soja (*Glycine max*), variété TGX1835 ; de graines d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) variété 55-437 et de tubercules de souchet (*Cyperus esculentus* L.) gros et jaunes. Les échantillons des feuilles de *MoPKM1* et *MoL* ont été

collectés pendant les saisons sèches froides dans le village de Karégorou, département de Kollo, région de Tillabéri. Le mil, l'arachide,

le soja et le souchet ont été achetés au marché de céréales de Wadata à Niamey.

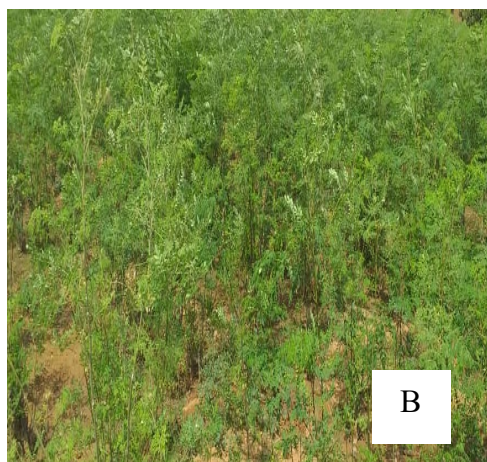


Figure 1 : Variétés de *Moringa oleifera* identifiées (A : Variété MoPKM1 ; B : Variété MoL)

Méthodes

Formulation des farines de complément :

Les farines composées étaient formulées à base d'une diversité d'ingrédients de différents groupes d'aliments notamment céréales (mil), tubercules (souchet), légumineuses (soja), oléagineuses (arachide), légume-feuilles (*Moringa oleifera*). Les ingrédients ont été proportionnés sur la base des

recommandations de l'OMS, selon lesquelles un aliment de complément doit apporter 10-15% de protéines, 30-35% de lipides et 50-55% de glucides. Ainsi, 11 formules de farines ont été produites notamment une (1) formule de farine composée non fortifiée (témoin), cinq (5) formules de farines fortifiées de MoPKM1 et cinq (5) formules de farines fortifiées de MoL (Tableau 1).

Tableau 1 : Composition des farines de complément formulées

| Types de farines | Composition des farines (/100) | | | | | | | Total (%) |
|------------------|--------------------------------|---------|------|----------|----------|--------|-----|-----------|
| | Mil | Souchet | Soja | Arachide | Sel iodé | MoPKM1 | MoL | |
| FCT | 39 | 13,5 | 33 | 13,5 | 1 | - | - | 100 |
| FCMPSO | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | 26 | - | 100 |
| FCMPCE | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | 26 | - | 100 |
| FCMPCV | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | 26 | - | 100 |
| FCMPPE | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | 26 | - | 100 |
| FCMPPV | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | 26 | - | 100 |
| FCMLSO | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | - | 26 | 100 |
| FCMLCE | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | - | 26 | 100 |
| FCMLCV | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | - | 26 | 100 |
| FCMLPE | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | - | 26 | 100 |
| FCMLPV | 29 | 10 | 24,5 | 10 | 0,5 | - | 26 | 100 |

Clé : FCT = Farine composée + 0% *Moringa oleifera* (Témoin) FCMLSO = FCT + 26% MoL séchée à l'ombre FCMLCE = FCT + 26% MoL cuite à l'eau FCMLCV = FCT + 26% MoL cuite à la vapeur FCMLPE = FCT + 26% MoL pré-cuite à l'eau FCMLPV = FCT + 26% MoL pré-cuite à la vapeur FCMPSO = FCT + 26% MoPKM1 séchée à l'ombre FCMPCE = FCT + 26% MoPKM1 cuite à l'eau FCMPCV = FCT + 26% MoPKM1 cuite à la vapeur FCMPPE = FCT + 26% MoPKM1 pré-cuite à l'eau FCMPPV = FCT + 26% MoPKM1 pré-cuite à la vapeur

Préparation des feuilles de *Moringa oleifera* fraîches, cuites, précuites et séchées :

L'effeuillage a consisté à détacher les folioles de leurs pétioles. Elles ont ensuite été triées. Les feuilles saines sont regroupées d'un côté et les feuilles endommagées, détériorées, décolorées, jaunies et infectées sont éliminées. Les feuilles saines sont lavées 3 fois avec de l'eau potable pour éliminer la poussière, les impuretés et ensuite égouttées. En effet, les essais de cuisson et précuisson à l'eau des feuilles de *Moringa oleifera* optimisés ont été effectués pour préserver les macronutriments, vitamines et minéraux et réduire les facteurs antinutritionnels. Ainsi, la cuisson et précuisson à l'eau des feuilles de *MoPKM1* et *MoL* ont été effectuées respectivement 45 mn à 90 °C et en 30 mn à 80 °C et celles pour la cuisson et précuisson à la vapeur ont été faites en 25 mn à 90 °C et en 15 mn à 80 °C. Le séchage des feuilles fraîches, feuilles cuites dans l'eau et à la vapeur, feuilles précuites dans l'eau et à la vapeur s'est effectué à l'ombre sous ventilation.

Préparation des graines de mil, soja, arachide et souchet : La préparation a été réalisée selon les procédés de la Commission du Codex Alimentarius (CAC) (2013). Les grains de mil (*Pennisetum glaucum*), de soja (*Glycine max*), de souchet (*Cyperus esculentus*) et d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) étaient pesées, triées, nettoyées, vannées, lavées, égouttées, séchées, torréfiées (140 °C, 10 mn) et refroidies. Les matières premières ont été torréfiées pour éliminer ou réduire les activités des microorganismes, diminuer les teneurs en facteurs anti nutritionnels et contaminants chimiques et augmenter la matière sèche. La torréfaction des ingrédients a été effectuée pour la formulation des farines comme une technique de précuisson afin d'inactiver les enzymes, de réduire les facteurs antinutritionnels, la flore microbienne des ingrédients et farines produites. Les matières premières ainsi préparées ont été utilisées pour la production de farines de complément.

Mouture et tamisage des ingrédients : Les proportions des ingrédients formulées de *Moringa oleifera*, mil, soja, arachide, souchet et sel iodé étaient mélangées et moulues à l'aide d'un broyeur à disques. Les farines ont ensuite été homogénéisées en fines particules à l'aide de Kenwood blender et tamisées avec des tamis de 200 µm de diamètre en particules très fines.

Conditionnement et emballage des farines :

Les farines étaient conditionnées et emballées dans des papiers en aluminium, enrobées dans des boîtes non transparentes et mises dans des sachets noirs propres, secs et opaques. Elles ont été étiquetées, scellées hermétiquement afin d'éviter l'absorption d'humidité pouvant favoriser le développement des enzymes, des moisissures, le noircissement et la dégradation des vitamines. Les échantillons ont été analysés immédiatement.

Analyses physicochimiques

Analyses des macronutriments

❖ **Détermination de la teneur en protéines :** La teneur en azote des farines a été déterminée par la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1990). Les échantillons ont subi la minéralisation, la distillation et la titration. L'azote minéral de l'échantillon a été obtenu après la titration dans un dispositif de titration.

❖ **Détermination de la teneur en lipides :** La teneur en lipides a été déterminée selon la méthode d'AOAC (2005). Cinq gramme (5 g) de l'échantillon ont été introduits dans les cartouches d'extraction bouchées avec du coton et ensuite placées dans le Soxhlet. Le processus d'extraction par ébullition a duré 4 heures. Le ballon a été ensuite séché à l'étuve à 105 °C.

❖ **Détermination de la teneur en glucides :** La teneur en glucides totaux a été déterminée selon la méthode différentielle de l'OMS/FAO (1998). Elle est exprimée en pourcentage (%) de la matière sèche selon la formule suivante :

Glucides totaux (% M. S.) = 100 - (% protéines + % lipides + % cendres + % humidité).

❖ **Détermination de la densité énergétique :** La méthode FAO/OMS (2006) et les coefficients spécifiques d'Atwater où 1 g de protéine = 4 kcal ; 1 g de glucide = 4 kcal et 1 g de lipide = 9 kcal ont été utilisés pour la détermination de la densité énergétique des échantillons des farines analysées. Ainsi, il a été fait la somme des produits des constituants majeurs (glucides, protéines, lipides) avec leurs coefficients.

Densité Energétique (g) = Protéines (% MS) x 4 + Glucides (% MS) x 4 + lipides (% MS) x 9.

Analyses des minéraux

❖ **Détermination de la teneur en minéraux :** Les minéraux Ca, K, Mg, Na, P, Zn et Fe ont été déterminés par SAA (AOAC, 2005). Ainsi, les cendres ont été isolées par incinération au four à la température de 550 °C pendant 6 heures. Les échantillons de la digestion claire ont été utilisés pour SAA, en utilisant des filtres adaptés aux différents éléments minéraux.

Analyses statistiques : Les données ont été traitées et analysées avec le logiciel SPSS statistiques 20 pour les analyses ANOVA et comparaisons multiples. Least Significance Difference et Duncan Multiple Range tests ont été utilisés pour séparer et comparer les moyennes. Une valeur de $p \leq 0,05$ a été considérée comme statistiquement significative.

Composition en macronutriments des farines de complément : Les teneurs en humidité ont varié entre 3,3 et 4% respectivement pour FCT et FCMPSTO, FCMLPE et les teneurs en humidité de FCMPPV et FCMLPV ont été similaires à celles du FCT et inférieures à celles des farines fortifiées avec feuilles séchées à l'ombre et feuilles cuites et précuites à l'eau ($p \leq 0,05$) (Tableau 2). Par ailleurs, les farines FCMPSTO et FCMLSTO ont affiché des teneurs en

humidité les plus élevées ($p \leq 0,05$). Les teneurs en protéines ont varié de 24,1 g/100 g pour FCT à 27 g/100 g pour FCMLPV et FCMPCV, soit une augmentation de 2,9 g. La fortification avec *MoPKM1* a légèrement augmenté les teneurs en protéines comparé à *MoL*, tandis que la précuisson à l'eau et cuisson à la vapeur ont préservé les protéines. Ainsi, les teneurs en protéines pour FCMPPV (25,9 g/100 g) et FCMPCV (27 g/100 g) fortifiées avec *MoPKM1* étaient légèrement plus élevées ($p \leq 0,05$) que pour FCMLPE (25 g/100 g) et FCMLPV (27 g/100 g) fortifiées avec *MoL*. Les teneurs en lipides ont varié de 20,2 à 29,6 g/100 g respectivement pour FCT et FCMLPV fortifiée avec *MoL*, soit une augmentation en teneurs de lipides de 9,4 g. Cependant, la fortification avec *MoL* et précuisson à la vapeur ont surtout mieux augmenté les teneurs en lipides. Ainsi, les farines FCMLPV (29,6 g/100 g), FCMLPE (27,9 g/100 g), FCMLCV (27,6 g/100 g) fortifiées avec *MoL* ont affiché des teneurs en lipides plus élevées que FCMPPV (22,3 g/100 g), FCMPE (22,2 g/100 g), FCMPCV (22,6 g/100 g) fortifiées avec *MoPKM1*. Le séchage à l'ombre sous ventilation a plus causé de pertes en lipides ($p \leq 0,05$). Les teneurs en glucides ont varié de 41,4 à 28,4 g/100 g pour FCT et FCMLPV, soit une diminution des teneurs en glucides de 13 g. Ainsi, les teneurs en glucides des farines FCMPE et FCMPCV fortifiées avec *MoPKM1* ont diminué de 37,3 à 34,2 g/100 g en fonction de la cuisson à l'eau et cuisson à la vapeur. Aussi, les teneurs en glucides des farines FCMLSTO et FCMLPV fortifiées avec *MoL* ont diminué de 35,3 à 28,4 g/100 g en fonction du séchage à l'ombre et de la précuisson à la vapeur, respectivement. La variété *MoPKM1* est plus riche en glucides. Globalement, la fortification avec 26% *MoPKM1* et *MoL* a diminué les teneurs en glucides des farines fortifiées. Par ailleurs, la fortification avec 26% *MoPKM1* et *MoL* a augmenté les densités énergétiques de 443,8 à 488 kcal/100 g pour FCT et FCMLPV,

respectivement. Cependant, la variété *MoL* a surtout augmenté les densités énergétiques des farines fortifiées que *MoPKM1*. Ainsi, les densités énergétiques pour FCMLPV (488 kcal/100 g), FCMLCV (477,6 kcal/100 g), FCMLPE (475,9 kcal/100 g) fortifiées avec *MoL* sont plus élevées ($p \leq 0,05$) que pour

FCMPCE (454,6 kcal/100 g), FCMPPE (449,0 kcal/100 g), FCMPCV (448,2 kcal/100 g) fortifiées avec *MoPKM1*. En outre, la cuisson et précuisson à la vapeur ont plus augmenté les densités énergétiques des farines fortifiées que la cuisson à l'eau ($p \leq 0,05$).

Tableau 2 : Composition en macronutriments de farines de complément fortifiées avec de variétés *Moringa oleifera* *MoL* et *MoPKM1* cuites, précuites et séchées à l'ombre sous ventilation

| Types de farines | Composition en macronutriments (g/100 g) | | | | Densité Energétique (kcal/100 g) |
|------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| | Humidité | Protéine | Lipides | Glucides | |
| FCMPSO | 4,00 ^a | 26,1 ^d | 21,6 ^h | 36,6 ^c | 445,0 ^h |
| FCMPCE | 3,60 ^c | 26,4 ^b | 22,2 ^g | 37,3 ^b | 454,6 ^e |
| FCMPCV | 3,8 ^b | 27,0 ^a | 22,6 ^f | 34,2 ^g | 448,2 ^g |
| FCMPPE | 3,8 ^b | 26,7 ^a | 22,2 ^g | 35,6 ^d | 449,0 ^f |
| FCMPPV | 3,4 ^d | 25,9 ^d | 22,3 ^g | 35,2 ^f | 445,1 ^h |
| FCMLSO | 3,8 ^b | 25,3 ^e | 23,6 ^e | 35,3 ^e | 454,8 ^e |
| FCMLCE | 3,5 ^c | 26,3 ^b | 25,5 ^d | 32,7 ^h | 465,5 ^d |
| FCMLCV | 3,8 ^b | 26,5 ^b | 27,6 ^c | 30,8 ^j | 477,6 ^b |
| FCMLPE | 4,0 ^a | 25,0 ^f | 27,9 ^b | 31,2 ⁱ | 475,9 ^c |
| FCMLPV | 3,5 ^c | 27,0 ^a | 29,6 ^a | 28,4 ^k | 488,0 ^a |
| FCT | 3,3 ^e | 24,1 ^g | 20,2 ⁱ | 41,4 ^a | 443,8 ⁱ |

Les moyennes avec les mêmes lettres super scriptes à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différentes ($p \leq 0,05$). FCT = Farine composée + 0% *Moringa oleifera* (Témoin) FCMLSO = FCT + 26% *MoL* séchée à l'ombre FCMLCE = FCT + 26% *MoL* cuite à l'eau FCMLCV = FCT + 26% *MoL* cuite à la vapeur FCMLPE = FCT + 26% *MoL* précuite à l'eau FCMLPV = FCT + 26% *MoL* précuite à la vapeur FCMPSO = FCT + 26% *MoPKM1* séchée à l'ombre FCMPCE = FCT + 26% *MoPKM1* cuite à l'eau FCMPCV = FCT + 26% *MoPKM1* cuite à la vapeur FCMPPE = FCT + 26% *MoPKM1* précuite à l'eau FCMPPV = FCT + 26% *MoPKM1* précuite à la vapeur

Composition en minéraux des farines de complément : Les teneurs en Na pour les farines FCMLSO (622 mg/100 g), FCMLPE (548 mg/100 g) et FCMLPV (690 mg/100 g) fortifiées avec *MoL* séché, précuite à l'eau et à la vapeur respectivement étaient plus significativement élevées que pour FCMPSO (374 mg/100 g) et FCMPPE (496 mg/100 g) fortifiées avec *MoPKM1* séché à l'ombre et précuites à l'eau (Tableau 3). La fortification avec *MoL* a donc plus augmenté la teneur en Na. Aussi, les teneurs en Na pour les farines fortifiées avec *MoL* et *MoPKM1* précuites FCMPPV (696 mg/100 g) et FCMLPV (690 mg/100 g) respectivement étaient plus

significativement élevées ($p \leq 0,05$). La précuisson à la vapeur préserve mieux Na. Les teneurs en K pour FCMLPV (578 mg/100 g), FCMLPE (546 mg/100 g), FCMLCE (524 mg/100 g) fortifiées avec *MoL* étaient plus élevées ($p \leq 0,05$) que pour FCMPPV (508 mg/100 g), FCMPPE (504 mg/100 g), FCMPCE (492 mg/100 g) fortifiées avec *MoPKM1*. La précuisson et cuisson à la vapeur et la fortification avec *MoL* ont plus augmenté la teneur en K. Les teneurs en Ca pour FCMLSO (2860 mg/100 g), FCMLCV (2830 mg/100 g), FCMLPV (2570 mg/100 g), FCMLCE (2560 mg/100 g) fortifiées avec *MoL* étaient plus élevées que pour FCMPSO

(1920 mg/100 g), FCMPCV (2820 mg/100 g), FCMPPV (2660 mg/100 g) et FCMPCE (2350 mg/100 g) fortifiées avec *MoPKMI*. Cela montre que la fortification et la cuisson à la vapeur avec *MoL* ont augmenté plus les teneurs en Ca tandis que le séchage à l'ombre sous ventilation et la cuisson à l'eau ont causé plus de pertes en Ca. Les teneurs en P des farines FCMPISO (168 mg/100 g), FCMPCE (272 mg/100 g), FCMPCV (244 mg/100 g), FCMPPV (214 mg/100 g) fortifiées avec *MoPKMI* étaient plus élevées que pour FCMLSO (126 mg/100 g), FCMLCE (104 mg/100 g), FCMLCV (148 mg/100 g), FCMLPV (130 mg/100 g) fortifiées avec *MoL*.

La fortification avec *MoPKMI* a plus augmenté les teneurs en P. Les teneurs en Mg pour FCMPCV (278,4 mg/100 g), FCMPPE (243 mg/100 g), FCMPPV (265,6 mg/100 g) étaient significativement plus élevées ($p \leq 0,05$) que pour FCMLCV (197,8 mg/100 g), FCMLPE (225,2 mg/100 g), FCMLPV (226,3 mg/100 g). Le séchage à l'ombre sous ventilation et la cuisson à l'eau ont causé plus de pertes en Mg. En effet, les teneurs en Fe des farines FCMLSO (21,5 mg/100 g), FCMLCV (21,2 mg/100 g), FCMLPV (21 mg/100 g) fortifiées avec *MoL* séché à l'ombre, cuite et précuite à la vapeur étaient plus élevées ($p \leq 0,05$) que pour

Tableau 3 : Composition en minéraux de farines de complément fortifiées avec de variétés *Moringa oleifera* *MoL* et *MoPKMI* cuites, précuites et séchées à l'ombre sous ventilation

| Types de farines | Composition en minéraux des farines de complément (mg/100 g) | | | | | | |
|------------------|--|------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| | Na | K | Ca | P | Mg | Fe | Zn |
| FCMPISO | 374 ⁱ | 548 ^c | 1920 ⁱ | 168 ^d | 218,3 ^f | 20,4 ^d | 6,6 ^c |
| FCMPCE | 522 ^f | 492 ⁱ | 2350 ^h | 272 ^a | 205,9 ^g | 17,7 ^j | 7,1 ^c |
| FCMPCV | 526 ^d | 566 ^b | 2820 ^e | 244 ^b | 278,4 ^a | 18,9 ^h | 6,7 ^d |
| FCMPPE | 496 ^g | 504 ^g | 3160 ^a | 126 ^h | 243,0 ^c | 17,9 ⁱ | 8,2 ^a |
| FCMPPV | 696 ^a | 508 ^f | 2660 ^d | 214 ^c | 265,6 ^b | 19,7 ^f | 7,3 ^b |
| FCMLSO | 522 ^f | 502 ^h | 2860 ^b | 126 ^h | 265,6 ^b | 21,5 ^a | 6,4 ^f |
| FCMLCE | 384 ^h | 524 ^c | 2560 ^f | 104 ⁱ | 194,9 ⁱ | 19,4 ^g | 8,2 ^a |
| FCMLCV | 524 ^e | 536 ^d | 2830 ^c | 148 ^e | 197,8 ^h | 21,2 ^b | 6,8 ^d |
| FCMLPE | 548 ^c | 546 ^c | 2420 ^g | 128 ^g | 225,2 ^c | 20,2 ^c | 6,4 ^f |
| FCMLPV | 690 ^b | 578 ^a | 2570 ^e | 130 ^f | 226,3 ^d | 21,0 ^c | 6,7 ^d |
| FCT | 296 ^j | 502 ^h | 1870 ^j | 102 ^j | 187,9 ^j | 17,4 ^k | 5,2 ^g |

Les moyennes avec les mêmes lettres super scriptées à l'intérieur d'une même colonne ne sont pas significativement différentes ($p \leq 0,05$). **Clé :** Na = Sodium K = Potassium Ca = Calcium P = Phosphore Mg = Magnésium Fe = Fer Zn = Zinc FCT = Farine composée + 0% *Moringa oleifera* (Témoin) FCMLSO = FCT + 26% *MoL* séchée à l'ombre FCMLCE = FCT + 26% *MoL* cuite à l'eau FCMLCV = FCT + 26% *MoL* cuite à la vapeur FCMLPE = FCT + 26% *MoL* précuite à l'eau FCMLPV = FCT + 26% *MoL* précuite à la vapeur FCMPISO = FCT + 26% *MoPKMI* séchée à l'ombre FCMPCE = FCT + 26% *MoPKMI* cuite à l'eau FCMPCV = FCT + 26% *MoPKMI* cuite à la vapeur FCMPPE = FCT + 26% *MoPKMI* précuite à l'eau FCMPPV = FCT + 26% *MoPKMI* précuite à la vapeur

FCMPCV (18,9 mg/100 g), FCMPPV (19,7 mg/100 g) fortifiées avec *MoPKMI* séché, cuite et précuite à la vapeur. La variété *MoL* s'avère donc plus riche en Fe que *MoPKMI*. Le séchage à l'ombre sous ventilation, la précuisson et la cuisson à la vapeur ont plus préservé le Fe ($p \leq 0,05$). Par ailleurs, les

teneurs en Zn pour FCMPISO (6,6 mg/100 g), FCMPPE (8,2 mg/100 g), FCMLPV (7,3 mg/100 g) fortifiées avec *MoPKMI* séché, précuite à l'eau et à la vapeur étaient plus élevées que pour FCMLSO (6,4 mg/100 g), FCMLPE (6,4 mg/100 g), FCMLPV (6,7 mg/100 g) fortifiées avec *MoL* séché, précuite

à l'eau et à la vapeur ($p \leq 0,05$). La fortification avec *MoPKM1* a plus augmenté les teneurs en Zn ; et la cuisson à l'eau et la précuisson à l'eau ont plus préservé le Zn. En revanche, le séchage à l'ombre sous ventilation a plus causé de pertes en Zn que les autres traitements thermiques et subséquemment les farines

FCMLSO (6,4 mg/100 g) et FCMPPO (6,6 mg/100 g) ont affiché des teneurs en Zn les plus faibles comparativement à celles pour FCMPPE (8,2 mg/100 g) et FCMLCE (8,2 mg/100 g). Les échantillons des farines de complément produites et analysées sont présentés par la Figure 2.



Figure 2 : Echantillons de farines produites (1 farine composée (témoin), 5 farines fortifiées de *MoPKM1* et 5 farines fortifiées de *MoL*)

DISCUSSION

La fortification avec 26 % *MoPKM1* et *MoL* a significativement augmenté les valeurs nutritionnelles en protéines, lipides et densités énergétiques des farines fortifiées et qui sont conformes aux seuils acceptables des normes de qualité. En effet, ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Ndong et al. (2007) qui ont montré que l'enrichissement des plats avec la poudre des feuilles de *Moringa oleifera* augmente les teneurs en protéines et en fer. Les teneurs en protéines variant de 24,1 pour FCT et FCMPCV à 27,0 g/100 g pour FCMLPV ont été conformes aux normes $> 12,7$ g/100 g (NBF 01-198, 2014) et $\geq 13\%/100$ (Nago, 2012). Aussi, les valeurs en lipides de 20,2 pour FCT à 25,5 g/100 g pour FCMLCE étaient dans les limites acceptables de 10-25% (FAO/OMS, 2006). Les farines fortifiées sont donc riches en protéines et lipides et leur

consommation pourrait donc être bénéfiques à la santé et à la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique. Selon Soro et al. (2013), les protéines sont avantageuses pour la croissance, le développement, la réparation des tissus et la musculation. En effet, le soja a une composition équilibrée en protéines de bonne valeur biologique contenant des acides aminés essentiels ainsi que des vitamines et des minéraux (Laurent, 2011). Les valeurs en densité énergétique de 443,8 à 488 kcal/100 g pour FCT et FCMLPV respectivement étaient conformes aux valeurs > 4 kcal/g (Codex Alimentarius CXG 08-1991, révisée en 2013). Les valeurs de 448,2 et 449,0 kcal/100 g pour FCMPCV et FCMPPE étaient similaires à la valeur de 450 kcal recommandée aux jeunes nourrissons de 9-11 mois (UNICEF, 2007) et la valeur de 488 kcal pour FCMLPV était

similaire à celle de 505 kcal pour les enfants de 8-9 mois (Butte, 1996). Fanou *et al.* (2017) ont rapporté des densités énergétiques similaires variant de 495 à 498,72 kcal/100 g pour des farines de complément au Bénin. Par ailleurs, les densités énergétiques élevées pour les farines fortifiées FCMPCV, FCMPPE, FCMPPV et FCMLPV contribueraient mieux à la croissance, aux activités physiques et à la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique chez les enfants de moins de 5 ans, les femmes en grossesses, les femmes allaitantes et les personnes âgées. Selon Arimond *et al.* (2008), lorsque le volume d'aliments consommés est de faible densité énergétique, l'enfant est exposé à un déficit en ingérés énergétiques et en protéines. En revanche, la fortification avec 26 % *MoPKM1* et *MoL* avait légèrement augmenté les teneurs en humidité des farines fortifiées dans les limites de seuils acceptables. Ainsi, les taux en humidité variant de 3,3 à 4% respectivement pour FCT et FCMPSO, FCMLPE étaient conformes aux valeurs recommandées < 5% (FAO/OMS, 2006). Les faibles teneurs en humidité des farines produites pourraient limiter le développement des microorganismes, augmenter la stabilité et la durée de leur conservation. Magagi *et al.* (2023) ont confirmé l'absence des microorganismes pathogènes, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Salmonelles* et de faibles teneurs en levures et moisissures dans les limites acceptables pour FCMPSO, FCMPCV, FCMPPV, FCMLSO, FCMLCV, FCMLPV. La fortification avec *MoL* et *MoPKM1* avait néanmoins diminué les teneurs en glucides des farines fortifiées. Cette faible teneur en glucides dans les farines fortifiées confirme que les variétés de *Moringa oleifera* Local et Periyakum 1 sont pauvres en glucides, comme l'ont rapporté Yang *et al.* (2006a). En outre, les résultats ont révélé que la fortification avec 26% de *MoPKM1* et *MoL* augmentent les teneurs en minéraux essentiels (Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Zn) pour les farines

FCMPSO, FCMLSO, FCMPPV, FCMLPV, FCMPCV, FCMLCV, FCMPCE, FCMLCE. Cela est nutritionnellement bénéfique à la santé. Selon FAO (2017), calcium, magnésium, phosphore, potassium, zinc et fer sont des minéraux les plus essentiels à l'entretien, à la croissance et au développement de l'organisme. La consommation des farines fortifiées de *MoL* et *MoPKM1* riches en minéraux essentiels contribuerait donc à améliorer la santé, à lutter contre les carences nutritionnelles et en particulier l'anémie chez les enfants de moins de 5 ans, les femmes enceintes et les femmes allaitantes. En effet, les minéraux essentiels servent de cofacteurs aux processus physiologiques et métaboliques indispensables au développement de l'organisme de l'enfant et à la lutte contre les carences nutritionnelles (OMS/FAO, 2004 ; Lutter et Dewey, 2003). La consommation régulière d'aliment de complément fortifié permet une diminution des carences en micronutriments et de l'anémie (Lutter, 2003 ; Lutter *et al.*, 2008 ; Madukwe *et al.*, 2013). Aussi, les teneurs en Na de 374 ; 384 et 296 mg/100 g respectivement pour FCMPSO, FCMLCE et FCT étaient conformes aux normes < 400 mg/100 g alors que celles en K de 578 et 566 mg/100 g, respectivement pour FCMLPV et FCMPCV, étaient similaires à 573 mg/100 g recommandées par PAM (2018). En outre, les teneurs en P de 168 ; 214 ; 244 ; 272 mg/100 g pour FCMPSO, FCMPPV, FCMPCV, FCMPCE respectivement étaient conformes aux valeurs > 165 mg/100 g recommandées par (NBF 01-198, 2014 et NN 01-010-02, 2017). Par ailleurs, les teneurs en Ca comprises entre 1870 et 3160 mg/100 g pour FCT et FCMPPE étaient supérieures aux 800 mg/100 g recommandées par PAM (2018). Ainsi, les farines FCMPPV (2660 mg/100 g) et FCMLPV (2570 mg/100 g) sont donc de bonnes ressources nutritionnelles en Ca. Le Ca est un facteur majeur dans l'ossification et joue un rôle dans la contraction musculaire et l'absorption de la vitamine B12 (Mensah *et al.*,

2008 ; Park et Weaver, 2012). Selon Underwood and Suttle (1999), le calcium et le phosphore sont essentiels pour la structure, la rigidité, le fonctionnement des os et la croissance des enfants. Par ailleurs, les valeurs en Mg pour FCT (187,9 mg/100 g) et FCMPCV (278,4 mg/100 g) étaient supérieures aux valeurs de 108 mg/100 g recommandées par PAM (2018). Cela pourrait être nutritionnellement important et bénéfique à la santé. En effet, le magnésium intervient dans les réactions biochimiques, le fonctionnement des muscles, du système nerveux, de l'activité des hormones et favorise l'équilibre des minéraux, le fonctionnement de nerf, le maintien du rythme cardiaque et la régulation du taux de sucre dans le sang (Lutter *et al.*, 2008). Aussi, les valeurs en Fe par ordre décroissant de 21,5 ; 21,2 ; 21,0 et 20,2 mg/100 g respectivement pour FCMLSO, FCMLCV, FCMLPV et FCMLPE fortifiées avec *MoL* sont élevées et conformes aux seuils acceptables de 18 à 23 mg/100 g (OMS, 2012 ; PAM, 2018). Ramarosan (2014) a rapporté que les apports de feuilles séchées en fer (58 µg de Fe/g) et en protéines (0,25 de P/g) sont assez importants. Selon Lynch and Stoltzfus (2003), un aliment de complément fortifié devrait apporter une quantité suffisante de fer pour couvrir les besoins recommandés de 11 mg/jour pour les enfants de 6 à 23 mois. L'OMS (2012) a rapporté qu'une teneur en Fe de 18 mg/100 g est suffisante pour lutter contre la malnutrition modérée. Le fer est en effet utile pour la lutte contre l'anémie ferriprive, le transport de l'oxygène des poumons au travers des vaisseaux sanguins, la constitution de l'hémoglobine, de la myoglobine, de nombreuses enzymes, de réactions métaboliques (OMS, 2012 ; Madukwe *et al.*, 2013 ; Loba *et al.*, 2019). L'anémie accroît le risque d'hémorragie et de septicémie pendant l'accouchement et intervient dans 20% des décès maternels (FAO, 2010). La consommation des farines FCMLSO, FCMLCV, FCMLPE et FCMLPV fortifiées de

MoL très riches en Fe pourrait bien améliorer la prévention et la lutte contre l'anémie chez les jeunes enfants, les femmes enceintes, les femmes allaitantes et les personnes âgées anémiées. Les valeurs en Zn pour FCMPPE (8,2 mg/100 g), FCMLCE (8,2 mg/100 g), FCMPPV (7,3 mg/100 g) sont conformes aux normes recommandées de 8,4 mg/100 g (OMS, 2012 ; PAM, 2018). Selon Loba *et al.* (2019), Zn est utile pour l'immunité, la croissance cérébrale, la réduction de l'incidence et de la gravité des diarrhées chez l'enfant. Par ailleurs, l'aspect variétal de *MoPKM1* et *MoL* a significativement contribué à augmenter les teneurs en macronutriments, vitamines, minéraux des farines fortifiées, et montré des disparités dans les teneurs et types de nutriments en fonction des traitements et variétés utilisées pour la fortification. En effet, cette augmentation significative en nutriments par la fortification avec *MoPKM1* et *MoL* contribuerait bien à accroître leur disponibilité, à la lutte contre la malnutrition, l'anémie et les carences en protéines et énergie. Plusieurs auteurs (De Saint Sauveur et Broin, 2010 ; Seshadri et Nambiar, 2012 ; Atakpama *et al.*, 2014 ; Manzo *et al.*, 2016) ont rapporté que *Moringa oleifera* est riche en vitamines, minéraux, protéines et lipides. Ainsi, la fortification avec *MoPKM1* a plus augmenté les teneurs en protéines, glucides et minéraux (Na, Ca, P, Mg, Fe, Zn) tandis que *MoL* a surtout augmenté les teneurs en lipides, densités énergétiques et en minéraux (Fe, Zn, K). La variété *MoPKM1* a été donc plus riche en nutriments que *MoL*. Des résultats similaires ont été trouvés par Malo *et al.* (2014), les quantités de P, K, Ca et Mg étant plus élevées dans les feuilles de *MoPKM1* comparées aux feuilles de *MoL* au Burkina Faso. Ainsi, les feuilles de *MoPKM1* constituent le meilleur complément alimentaire pouvant contribuer à lutter contre la malnutrition. Selon Manzo *et al.* (2016), les teneurs en protéines, fer, calcium et sodium des poudres de *Moringa oleifera* PKM1 sont plus

importantes que celles de *Moringa oleifera* Local. En effet, la différence en macro et micronutriments des cultivars *MoPKM1* et *MoL* pourrait être liée au patrimoine génétique, à la maturité des feuilles et aux effets des traitements thermiques. Yang *et al.* (2006b) ont trouvé que le génotype, les facteurs environnementaux, les traitements post-récolte, et les différentes façons de préparer les feuilles de *Moringa oleifera* affectent les qualités nutritionnelles et fonctionnelles. Au regard de ce qui précède, la valorisation des feuilles de *Moringa oleifera* Local et Periyakulam 1 riches en protéines, énergies, vitamines et minéraux contribuerait à améliorer l'état nutritionnel, les fonctions immunitaires, la lutte contre la malnutrition et l'anémie. INS (2015) a aussi rapporté que les feuilles de *Moringa oleifera* consommées constituent un remède très efficace contre la malnutrition, les maladies infectieuses, l'insécurité alimentaire, la médecine traditionnelle et dans la formation du produit intérieur brut au Niger. Aussi, les traitements thermiques notamment le séchage à l'ombre sous ventilation, la cuisson à l'eau et à la vapeur et la précuisson à l'eau et à la vapeur des feuilles de *Moringa oleifera* ont affecté les qualités nutritionnelles des farines fortifiées à des degrés différents. Ainsi, le séchage à l'ombre sous ventilation et la cuisson à l'eau ont plus réduit les teneurs en lipides et en minéraux Na, Ca, Mg et Zn. Cependant, les teneurs en humidité de FCMPSO, FCMLSO, FCMPCE et FCMLCE sont élevées. Ces résultats sont conformes aux perceptions des populations rurales enquêtées à Maradi et à Tillabéri, selon lesquelles le séchage solaire, la cuisson à l'eau, la température et le temps de cuisson affectent plus négativement la qualité des feuilles de *Moringa oleifera* pendant la transformation (RECA, 2010 ; Magagi *et al.*, 2022). En effet, les faibles teneurs en nutriments pour les farines FCMPSO et FCMLSO pourraient être liées aux durées de séchage, à la température de séchage et à

l'humidité plus élevées. Ndong *et al.* (2007) ont rapporté que le séchage entraîne une perte importante d'éléments nutritifs comme les vitamines A, C et les minéraux. En outre, la teneur en humidité élevée pourrait contribuer à la détérioration et spoliation de la qualité nutritive et de la stabilité à la conservation des farines FCMPSO et FCMLSO. Cependant, le séchage à l'ombre sous ventilation n'a pas affecté les teneurs en Fe et les farines fortifiées FCMPSO et FCMLSO ont affiché les teneurs en Fe les plus élevées. En revanche, les farines FCMPCE et FCMLCE fortifiées avec 26% *MoPKM1* et *MoL* cuites à l'eau ont affiché des teneurs en protéines, Ca, P, Mg, Fe plus faibles et en humidité plus élevée. Par ailleurs, les pertes en minéraux plus élevées pendant la cuisson et précuisson à l'eau pourraient être dues à la dissolution des nutriments dans l'eau de cuisson, à leur destruction par la température (80 °C), au temps (45 mn) et à l'humidité élevées. RECA (2010) a aussi révélé que les nutriments sont détruits par la cuisson, la chaleur, la température et le temps, et qu'une préparation adaptée permet de ne pas perdre trop de vitamines et minéraux. Cependant, la précuisson à l'eau et à la vapeur a plus préservé les nutriments et subséquemment les farines fortifiées FCMPPV et FCMLPV ont affiché des teneurs plus élevées en protéines, lipides, densités énergétiques et en minéraux Na, K, P et Mg. De Saint Sauveur et Broin (2010) ont également rapporté que *Moringa oleifera* fait partie des légumes-feuilles vert foncé, riche en protéines, calcium, fer, β -carotène, vitamine C et vitamine E. Les teneurs élevées en macronutriments et minéraux dans les farines fortifiées pourraient être dues à la fortification avec *MoPKM1* et *MoL* et aux bonnes pratiques d'hygiène et d'optimisation des paramètres opératoires, notamment la température réduite (80 °C), le temps court (15 mn) de cuisson à la vapeur, l'épuisement de l'eau de cuisson et les pertes limitées en nutriments des feuilles traitées. De Saint Sauveur (2010) a confirmé que la cuisson à la vapeur est moins nocive,

avec une perte de 15% en cinq minutes et 39% en dix (10) minutes. L'humidité faible et l'acidité pour FCMPPV et FCMLPV pourraient contribuer à une meilleure conservation des farines fortifiées avec

MoPKM1 et *MoL* précuites à la vapeur. Selon Tshite *et al.* (2015) et Ngono-Eyenga *et al.* (2018) plus une farine est sèche mieux elle se conserve.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

L'étude a permis de caractériser les effets du séchage à l'ombre sous ventilation, des cuissons à l'eau et à la vapeur, des précuissons à l'eau et à la vapeur, de la fortification, des variétés *MoPKM1* et *MoL* sur les qualités nutritionnelles des farines de complément produites. En effet, l'aspect variétal ainsi que tous les traitements thermiques précités ont affecté à des degrés différents les qualités nutritionnelles des farines fortifiées. La fortification avec 26% *MoPKM1* et *MoL* a significativement augmenté les teneurs en protéines, lipides, densités énergétiques et en minéraux (Na, K, Ca, P, Mg, Fe, Zn) des farines fortifiées. Les teneurs en nutriments pour les farines fortifiées sont plus élevées et conformes aux seuils et limites recommandés en qualité nutritionnelle pour l'alimentation humaine, la lutte contre la malnutrition et l'anémie chez les groupes vulnérables (enfants de moins de 5 ans, femmes enceintes, femmes allaitantes et personnes âgées). La fortification a néanmoins diminué les teneurs en glucides des farines fortifiées. Les variétés *MoPKM1* et *MoL* ont influencé les qualités nutritionnelles des farines fortifiées à des degrés différents. La variété *MoPKM1* a surtout augmenté les teneurs en protéines, glucides, Na, Ca, P, Mg, Fe et Zn. En revanche, la cuisson et la

précuisson à la vapeur ont plus préservé les nutriments et de ce fait les teneurs en protéines, lipides, densités énergétiques ; en minéraux Na, K, P, Mg pour FCMPPV, FCMLPV fortifiées avec *MoPKM1* et *MoL* précuites à la vapeur sont plus élevées comparativement à celles pour la cuisson à l'eau. Par ailleurs, le séchage à l'ombre sous ventilation des feuilles fraîches et la cuisson à l'eau ont plus réduit les valeurs en minéraux. L'eau de cuisson, le temps et la chaleur détruisent donc plus les minéraux que les macronutriments.

La fortification avec *MoPKM1* et *MoL* a donné les meilleures qualités nutritionnelles aux feuilles de *Moringa oleifera* et aux formules de farines de complément FCMPPV et FCMLPV fortifiées. La valorisation des résultats contribuerait à améliorer l'état nutritionnel des populations, la sécurité alimentaire et nutritionnelle, la lutte contre la malnutrition et l'anémie d'une part et d'autre part à booster l'agrobusiness professionnelle dans les pays en développement. Cependant, l'assurance à la qualité sanitaire des aliments est une question cruciale à la nutrition, à la sécurité et à la santé des consommateurs. Il s'avère donc indispensable d'évaluer la qualité sanitaire et l'acceptabilité des farines de complément fortifiées avec *MoL* et *MoPKM1*.

CONTRIBUTION DES AUTEURS

La méthodologie, la collecte et analyse des données ainsi que la rédaction du draft de l'article original ont été assurés par Magagi Saidou. Il est également l'auteur correspondant et coordonnateur du processus de révision et d'intégration des contributions des co-auteurs. BALLA Abdourahamane a assuré

l'encadrement, la supervision et l'administration des travaux et OUMAROU D. Halima a contribué dans la rédaction du draft de l'article original et à la révision de l'article. Abdou Amani et Abdou Dan Gomma ont contribué à l'analyse statistique des données collectées, à la lecture et révision de l'article.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt qui pourra influencer le travail de cet article.

REMERCIEMENTS

Les remerciements très chaleureux vont à l'endroit de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger et de l'Université Abdou Moumouni, Niamey pour avoir facilité les études doctorales et la publication de cet

article original. Notre reconnaissance et gratitude également au Dr MOSSI MAIGA Illiassou, Pr ELHDI GOUNGA Mahamadou et Dr AMADOU Issoufou pour les contributions pertinentes.

REFERENCES

- Alido C, Salifou A, Tchobo FP, Soumanou MM, 2015. Connaissance endogène et utilisations du *Moringa oleifera* pour les populations autochtones de huit départements du Bénin. International Journal of Innovation and Applied Studies. 13(2): 316-326.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists, 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists (15th ed.), AOAC. Washington, DC, USA, 1230p.
- Arimond M, Daelmans B, Dewey KG, 2008. Indicators for Feeding Practices in Children. The Lancet, 371: 541-542.
- Atakpama W, Kponor EGE, Kanda M, Dourma M, Nare M, Batawila C, Akpagana K, 2014. *Moringa oleifera* Lamarck (Moringaceae) : une ressource phytogénétique à usage multiple. REVUE CAMES. 2(1): 6-17.
- Butte NF, 1996. Energy requirements of infants. European Journal of Clinical Nutrition 50, (1): S24-S36.
- CAC, Commission du Codex Alimentarius, 2013. Lignes directrices pour la mise au point des préparations alimentaires complémentaires destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge, 1-223.
- De Saint Sauveur A et Broin M, 2010. Produire et transformer les feuilles de *Moringa oleifera*. Moringa news, *Moringa oleifera* Association of Ghana. Editions CTA, CDE, Horizon Géménos, France, 69p.
- Fanou FN, Yrence AL, Kayode AP, 2017. Guide pour la prise en charge communautaire des enfants malnutris aigus modérés par l'approche déviance positive/foyers d'apprentissage et de réhabilitation nutritionnelle au Bénin DP/FARN. 64p.
- FAO, 2017. Nutrition dans les pays en développement. FAO, Via le delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italie. ISBN 92-5-203818-3.
- FAO, 2010. Sécurité alimentaire des ménages et nutrition communautaire. Nutrition et protection des consommateurs. Rome. Italie. 3p.
- FAO/OMS, 2006. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Rapport des vingt-septièmes sessions du comité du codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime, ALINOM, 1-105.
- Fogny NF, Madode EMY., Laleye FTF, Amoussou-Lokossou Y et Kayode APP, 2017. Formulation de farine de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences 6(11): 2745-2755.
- INS, Institut National de la Statistique du Niger, 2022. Enquête Nutritionnelle et de Mortalité Rétrospective au Niger.

- Ministère de la Santé Publique, de la Population et de l'Action Sociale. Rapport SMART 2022. 103p.
- INS, Institut National de la Statistique du Niger, 2021. Apports nutritionnels des groupes vulnérables et identification d'aliments véhicules pour l'enrichissement en micronutriments au Niger. Protocole de l'étude FRAT/24H. 110p.
- INS, Institut National de la Statistique du Niger, 2015. Etude pour l'estimation de la production et de la commercialisation des feuilles de *Moringa oleifera*. Ministère de l'économie des finances du Niger. Rapport final, INS, Niger, 55p.
- Laurent X, 2011. Le soja, Pourquoi ? Comment ? Formation BAMiSA, Thiès, Sénégal. www.bamisagora.org/documents-pdf/document11a-bamisagora.pdf
- Loba SE, Gbakayoro JB, Kouame KA, Gbogouri GA, Brou K, 2019. Formulations de Farines Composées Dont l'une à Base de Riz (*Oryza Sativa*) et l'autre à Base de Maïs (*Zea Mays*) Pour Enfants en âge de Sevrage. European Journal of Science and Education 15(33): 1857-7881.
- Lutter CK., Rodríguez A, Fuenmayor G, Avila L, Sempertegui F, Escobar J, 2008. Growth and Micronutrient Status in Children Receiving a Fortified Complementary Food. Journal of Nutrition 138(2): 379–88.
- Lutter CK. and Dewey KG, 2003. Proposed nutrient composition for fortified complementary foods. Journal Nutrition. 133: 3011S-3020S.
- Lynch S. and Stoltzfus R, 2003. Iron and ascorbic acid: proposed fortification levels and recommended iron compound. Journal Nutrition. 133: 2979S–2984S.
- Madukwe EU, Ugwuoke AL, Ezeugwu JO, 2013. Effectiveness of dry *Moringa oleifera* leaf powder in treatment of anaemia. International Journal Medicine and Medical Sciences. 5(5) 226-228.
- Magagi S, Oumarou DH, Mani M, Balla A, Adam T, 2023. Production and Sanitary Profiles Evaluation of Complementary Fortified Flours with *Moringa oleifera* Lam Varieties Cooked, Precooked and Dried in Niger Republic. International Journal of Nutrition and Food Science. 12(5): 127-137. Doi: 10.11648/j.ijnfs.20231205.13. ISSN: 2327-2694 (Print); ISSN: 2327-2716 (Online)
- Magagi S, Oumarou DH, Ibro G, Kaka S, Balla A, 2022. Perceptions endogènes et utilisations des feuilles de *Moringa oleifera* en milieu rural de la République du Niger: cas des régions de Tillabéri et de Maradi. International Journal of Biological and Chemical Sciences 16(5): 2070-2087. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631.
- Malo T, Somda I, Sebastien K, 2014. Effet de la fertilisation sur la croissance et la production de *Moringa oleifera* local et *Moringa oleifera* PKM-1 dans la Région des Cascades au Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle pour l'obtention de diplôme de Master en production végétale. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. 68P.
- Manzo ML, Halidou DM, Hallarou M, Illo A, Rabani A, Donnen P, Dramaix M, 2016. Composition de la poudre des feuilles sèches de *Moringa oleifera* dans trois régions du Niger. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 16(4): 11432-11442. DOI: 10.18697/ajfand.76.15115

- Mawouma S. and Mbofung CM, 2014. Usages alimentaires de *Moringa oleifera* dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 8(4): 1847-1852. DOI: 10.4314/ijbcs.v8i4.42
- Mensah JK, Okoli RI, Ohaju-Obodo JO, Eifediyi K, 2008. Phytochemical, nutritional and medical properties of some leafy vegetables consumed by Edo people of Nigeria. African Journal of Biotechnology 7(14): 2304-2309.
- NBF 01-198, 2014. Fasonorm. Norme Burkinabè. Agence Burkinabé de Normalisation de la Métrologie et de la Qualité (ABNORM)- Farines infantiles – spécifications.
- Nago MIS, 2012. Evaluation de la qualité nutritionnelle des farines infantiles fabriquées et vendues au Bénin. Thèse de Docteur en pharmacie. Unité de formation et de recherche en pharmacie, Faculté des Sciences de la Santé, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.
- Ndong M, Wade S, Dossou N, Guiro AT, Diagne RG, 2007. Valeur nutritionnelle du *Moringa oleifera*, étude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels Sénégalais avec la poudre des feuilles. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 3(7):1684-5374.
- Nelson DL. et Cox MM, 2005. Lehninger Principles of Biochemistry. Biochemical, Molecular, and Biological Education. 33(1): 74-75.
- Ngono-Eyenga SNN, Mukoro M, Sulem-Yong NN, Voula VA, Simo BH, Mounjouenpou P, 2018. Formulation et acceptabilité sensorielle d'une farine infantile instantanée moins chère à partir de maïs germé, riz, soja et sésame. International Journal of Innovation and Applied Studies. 1(25): 388-397. ISSN 2028-9324 Vol. 25 No. 1 c 2018 Innov. Space Sci. Res. J. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- OMS, 2012. Suppléments alimentaires pour la prise en charge de la malnutrition aiguë modérée chez les nourrissons et les enfants âgés de 6 à 59 mois. Note technique. Catalogue à la source. Bibliothèque de l'OMS. Genève. 19p.
- OMS/FAO, 2004. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Rapport technique. Second ed. Rome. Italie.
- OMS/FAO, 1998. Carbohydrates in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper: Rome, Italie.
- PAM, 2018. Nutritional Guidance for Complementary Food. Rome. Italy.
- Park CY and Weaver CM, 2012. Review Vitamin D Interactions with Soy Isoflavones on Bone after Menopause: A Review Nutrients. 4: 1610-1621.
- Ramaroson RV, 2014. Étude des pratiques et croyances alimentaires pour comprendre la malnutrition à Madagascar. Intérêt de l'introduction des feuilles de *Moringa oleifera*. Thèse de Doctorat en Alimentation et Nutrition, Université de Bourgogne, NNT. DIJOS076. 227p.
- RECA, 2010. Le *Moringa oleifera*, une demande forte, une offre insuffisante. Réseau des Chambres d'Agriculture du Niger. Bulletin RECA INFO (Eds) : 1(9).
- De Saint Sauveur, 2010. Techniques de production de feuilles de *Moringa oleifera* en exploitation agricole familiale, Moringa News, 1-6p.
- Seshadri S. and Nambiar KVS, 2012. (Digera arvensis) and drumstick leaves (*Moringa oleifera*): Nutrient Profile and Potential for Human Consumption.

- World review of nutrition and dietetics. 2003(91): 41–59.
- Soro S, Konan G, Elleingand E, N'guessan D, Koffi E, 2013. Formulation d'aliments infantiles à base de farines d'igname enrichies au soja. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 3(5):8313-8339.
- Tété-Bénissan A, Lawson-Evi K, Kokou K, Gbéassor M, 2012a: Effet de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* Lam. sur l'évolution du profil de l'hémogramme des enfants malnutris au Togo: évaluation chez les sujets VIH positifs. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development 12 (2): 6007-6026.
- Tshite FN, Mulamba VT., Ndianabo MJT, 2015. Mise au point d'une farine Codex Alimentarius CXG 08-1991préculite à base de maïs (*Zea mays*) et de soja (*Glycine max*) par la méthode traditionnelle. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 9(6): 2608-2622. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.8>.
- Underwood EJ, Suttle NF, 1999. "The mineral Nutrition of livestock," CABI Publishing. 1-625.
- UNICEF, IRD, GRET, IRAM, 2020. La filière des farines infantiles produites localement dans 6 pays sahéliens : Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad. Rapport de l'étude. 1-164.
- UNICEF, 2007. Progress for Children: A World Fit for Children Statistical Review. United Nations Children's Fund, New York.
- Yang RY, Chang LC, Hsu JC, Weng BBC, Palada MC, Chadha ML, Levasseur V, 2006b. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des feuilles -Du germoplasme, à la plante, à l'aliment et à la santé. *Moringa oleifera* et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : Stratégies, normes et marchés pour un meilleur impact sur la nutrition en Afrique. *Moringa News*, Accra, Ghana. 10p
- Yang RY, Tsou SCS, Lee TC, Chang LC, Kuo G, Lai PY, 2006a. *Moringa oleifera*, a novel plant rich in antioxidants, bioavailable iron, and nutrients. In *Challenges in Chemistry and Biology of Herbs*, Ho CT (Ed.). American Chemical Society: Washington D.C; 224-239.