

Étude de farines localement fortifiées "d'aliment à aliment" "sans prémix" à base de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Moustapha MOUSSA^{1*}, Adama MOUSSA DJIBO^{1,2}, Ousseina TOURE SAIDOU³ et Haoua SABO²

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

² Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Technique, Laboratoire d'Analyse Physico-Chimique, BP10662 Niamey, Niger

³ Université Abdou Moumouni, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Production Animale et Physico-Chimie, BP10662 Niamey, Niger

(Reçu le 19 Mai 2025 ; Accepté le 05 Août 2025)

* Correspondance, courriel : moustimou@yahoo.fr

Résumé

Dans un contexte sahélien marqué par une malnutrition persistante, notamment chez les enfants de moins de cinq ans et les femmes en âge de procréer, cette étude vise à développer des formulations innovantes de farines à base de sorgho fortifiées localement, selon une approche "d'aliment à aliment", sans recours aux « prémix ». L'objectif principal est d'améliorer la qualité nutritionnelle et l'acceptabilité des bouillies infantiles à partir de ressources endogènes. Huit (8) formules de farines à base de sorgho ont ainsi été élaborées en y incorporant, selon des proportions nutritionnellement optimisées, du niébé, de l'arachide, du moringa, du néré et de la carotte. Les analyses physico-chimiques ont révélé des niveaux d'humidité variant entre $4,06 \pm 0,05$ % et $4,87 \pm 0,04$ %, une teneur en cendres comprise entre $3,21 \pm 0,00$ % et $3,36 \pm 0,01$ %, une richesse en protéines oscillant entre $13,18 \pm 0,04$ % et $14,11 \pm 0,01$ %, une teneur en lipides allant de $11,15 \pm 0,05$ % à $11,90 \pm 0,04$ %, ainsi qu'une densité énergétique fluctuant entre $423,39 \pm 0,94$ et $429,94 \pm 0,26$ Kcal. Ces performances nutritionnelles dépassent celles généralement observées dans les farines fortifiées destinées aux enfants, généralement distribuées aux mères au sein des centres de santé communautaires. Par ailleurs, les résultats d'un test d'acceptabilité sensoriel ont mis en évidence une préférence marquée des mères pour les bouillies fortifiées avec la carotte, suivies de celles enrichies au moringa, traduisant une meilleure adhésion à ces fortifications locales de farines comparativement à celles dites conventionnelles utilisées dans les structures de santé. Ces résultats soulignent le potentiel significatif des ressources locales dans la formulation de farines fortifiées adaptées, culturellement acceptées, et nutritionnellement adéquates. En effet, la performance des formulations de farines issues de cette étude plaide pour leur intégration dans les programmes de lutte pour atténuer la malnutrition au Niger et en Afrique de l'Ouest.

Mots-clés : malnutrition, fortification, grain, fortifiant, moringa, carotte.

Abstract

Study of locally fortified 'food-to-food' sorghum-based flours (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Without Premix

In the Sahelian context, where malnutrition remains widespread particularly among children under five and women of reproductive age this study aims to develop innovative locally fortified flour formulations using a "food-to-food" approach without industrial premixes. The main objective is to enhance the nutritional quality and acceptability of traditional porridges using locally available resources. Eight (8) sorghum-based fortified flour formulations were developed by incorporating cowpea, groundnut, moringa, African locust bean (*'néré'*), and carrot in nutritionally optimized proportions. Physicochemical analysis results revealed, moisture content ranging from 4.06 ± 0.05 % to 4.87 ± 0.04 %, ash content between 3.21 ± 0.00 % and 3.36 ± 0.01 %, protein level from 13.18 ± 0.04 % to 14.11 ± 0.01 %, lipid content ranging from 11.15 ± 0.05 % to 11.90 ± 0.04 %, and energy density fluctuating between 423.39 ± 0.94 and 429.94 ± 0.26 Kcal. These values exceed those found in conventionally prepared fortified flours for children, generally distributed to mothers in community health centers. In the other hand, results of a sensory acceptability test revealed, a higher preference by mothers for porridges fortified with carrot, followed by those fortified with moringa. These findings highlight the strong potential of locally available ingredients rich in macro- and micronutrients for developing culturally appropriate, nutritionally adequate fortified flours, and support their performance and integration into community-based programs contributing to attenuate malnutrition in Niger and West Africa.

Keywords : *malnutrition, fortification, grain, fortifier, moringa, carrot.*

1. Introduction

En Afrique subsaharienne, les conditions alimentaires demeurent particulièrement préoccupantes, avec une prévalence élevée de la malnutrition protéino-énergétique et des carences en micronutriments affectant de larges segments de la population [1, 2]. La sous-nutrition constitue un facteur de risque majeur, notamment chez les enfants de moins de cinq ans, où elle est associée à environ 45 % des cas de morbidité. À l'échelle mondiale, on estime que 52 millions d'enfants souffrent d'émaciation, dont 17 millions dans une forme sévère, tandis que 155 millions présentent un retard de croissance. Parallèlement, 41 millions d'enfants sont touchés par le surpoids ou l'obésité, illustrant ainsi le double fardeau nutritionnel auquel la région est confrontée [3]. La malnutrition et le retard de croissance infantiles (des enfants de moins de 5 ans) continuent d'être un problème majeur au Sahel. Environ 970 000 enfants de moins de 5 ans au Niger, Burkina Faso et au Mali sont en général confrontés à des crises récurrentes de malnutrition [4]. En 2023, le Niger était le pays le plus touché, avec environ 430 000 enfants affectés [4]. Cependant, la malnutrition infantile, le retard de croissance (modéré ou sévère) (% de moins de 5 ans) continue d'être un problème majeur dans la région, allant de 17,1 % au Sénégal, 27,3 % au Burkina Faso, 30,4 % au Mali et 42,2 % au Niger [5]. Au Niger, la malnutrition demeure toujours un défi majeur et préoccupant de santé publique, touchant surtout les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées. En effet, 63,3 % des enfants de 6 à 59 mois et 46 % des femmes âgées de 15 à 49 ans souffrent d'anémie [6, 7]. Les bouillies locales, souvent faites à base de sorgho ou de mil, manquent de lysine, fer, zinc et vitamine A. Ces formes de bouillies entraînent généralement des carences nutritionnelles, quand elles sont consommées en excès et sans d'autres compléments [8]. Les programmes actuels d'assistance ou d'aide utilisent généralement des farines à base d'ingrédients comme le soja, le maïs et des prémix qui ne sont pas localement disponibles et peu acceptées par les enfants. Par conséquent, dans un tel contexte, une fortification à base de produits

locaux s'avère nécessaire pour améliorer la nutrition des populations locales au Niger et en Afrique de l'Ouest [8]. Ce travail se propose de développer des farines localement fortifiées "d'aliment à aliment" "sans prémix" à base de sorgho et d'autres grains ou plantes (feuilles, fruits, légumes et pulpes) disponibles pour améliorer l'acceptabilité et la qualité nutritionnelle des bouillies localement préparées.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel Végétal

Le matériel végétal est constitué de grains de variétés améliorées de sorgho (variété SEPOND-82, MDK, SSD-35 et IRAT-204), de niébé (variété KVX), et d'arachide (variété 5544) qui ont été fournies par l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et le programme de sélection de l'Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides, (ICRISAT) (Centre Sahélien Sadoré, Niger). Lesdites variétés ont été produites dans les Régions Centre-Est et Sud-Ouest du Niger au cours de la campagne hivernale 2023 en collaboration avec les Organisations de Producteurs Fuma Gaskiya et Mooriben. Les pulpes de pain de singe, de graines de néré, de feuilles de moringa, de la carotte ont été achetées auprès de producteurs locaux de Maradi, Dosso et Niamey, au cours de la campagne de contre-saison de 2023. Les poudres de sucre et de sel ont été acquis au marché, à Niamey.

2-2. Méthodes

2-2-1. Procédés de production des farines fortifiées à base de sorgho élaborées

Les farines fortifiées ont été produites selon les procédés standards [8, 9] adaptés aux caractéristiques des grains utilisées (*Figures 1 et 2*) illustrant les diagrammes de production des farines.

2-2-1-1. Triage et nettoyage des grains

Les grains bruts de sorgho, de niébé et d'arachide ont été judicieusement triés et séparés manuellement des impuretés (pierres, insectes, excréments d'insectes et autres matières ou corps étrangers).

2-2-1-2. Vannage des grains

Les grains bruts de sorgho, de niébé et d'arachide ont été ensuite vannés pour éliminer le sable et d'autres débris indésirables.

2-2-1-3. Torrification des grains

Les grains de sorgho, de niébé et d'arachide ont été torréfiés séparément selon un protocole expérimental rigoureusement défini. Les paramètres du procédé de torréfaction comprenaient principalement la température et la durée d'exposition à la chaleur. Les plages de température et de temps appliquées pour la préparation des différents lots d'échantillons ont été établies à la suite d'une phase préliminaire d'optimisation, fondée sur des essais rapides permettant d'évaluer l'impact de ces variables sur la qualité des grains torréfiés. L'objectif principal de la torréfaction était d'inactiver la charge microbienne, en particulier les agents pathogènes susceptibles de compromettre la sécurité sanitaire des produits. Par ailleurs, cette étape technologique visait également à améliorer les propriétés organoleptiques des grains notamment la couleur, le goût, la texture et l'odeur, en vue d'une utilisation ultérieure dans les formulations locales de farines localement fortifiées. Elle contribue aussi à améliorer leur stabilité pour une éventuelle conservation prolongée.

2-2-1-4. Lavage et séchage des grains torréfiés

Les lots respectifs des échantillons de grains torréfiés ont ensuite été lavés et séchés à l'aide de séchoirs à gaz à la température d'environ 50°C pendant environ 8 Heures [8, 9].

2-2-1-5. Nettoyage, lavage et séchage des fortifiants naturels

Les échantillons de fortifiants naturels (les feuilles de moringa, les batônnetts de carotte, et les graines de néré et la pulpe de pain de singe) ont été soigneusement nettoyés afin d'éliminer les corps étrangers et ont été lavés et séchés selon les méthodes standards utilisées [8, 9].

2-2-1-6. Mouture des grains

Les grains entiers torréfiés de sorgho, de niébé et d'arachide nettoyés, lavés et séchés ont été judicieusement mélangés de manière appropriée aux fortifiants naturels (Pulpe de pain de singe, graines de néré, de feuilles de moringa, de batônnetts de carotte découpés, séchés et nettoyés et partiellement moulus), puis mélangés avec du sucre et du sel en proportion relative (%) comme recommandé et décrit [8]. Les mélanges obtenus ont ensuite été moulus en une farine fine de granulométrie comprise entre 500 et 200 μm à l'aide d'un broyeur à marteaux mobiles préalablement nettoyé.

2-2-1-7. Tamisage des farines fortifiées à base de sorgho élaborées ;

Les échantillons respectifs de farines fortifiées élaborées ont été séparément tamisées à l'aide de tamis standards d'ouvertures comprises entre 500-200 μm [8].

2-2-1-8. Conditionnement des farines fortifiées à base de sorgho élaborées

Les échantillons de farines fortifiées élaborées ont été conditionnés dans des sachets en polyéthylène, scellés et conservés dans une pièce réfrigérée à 6 °C avant les tests.

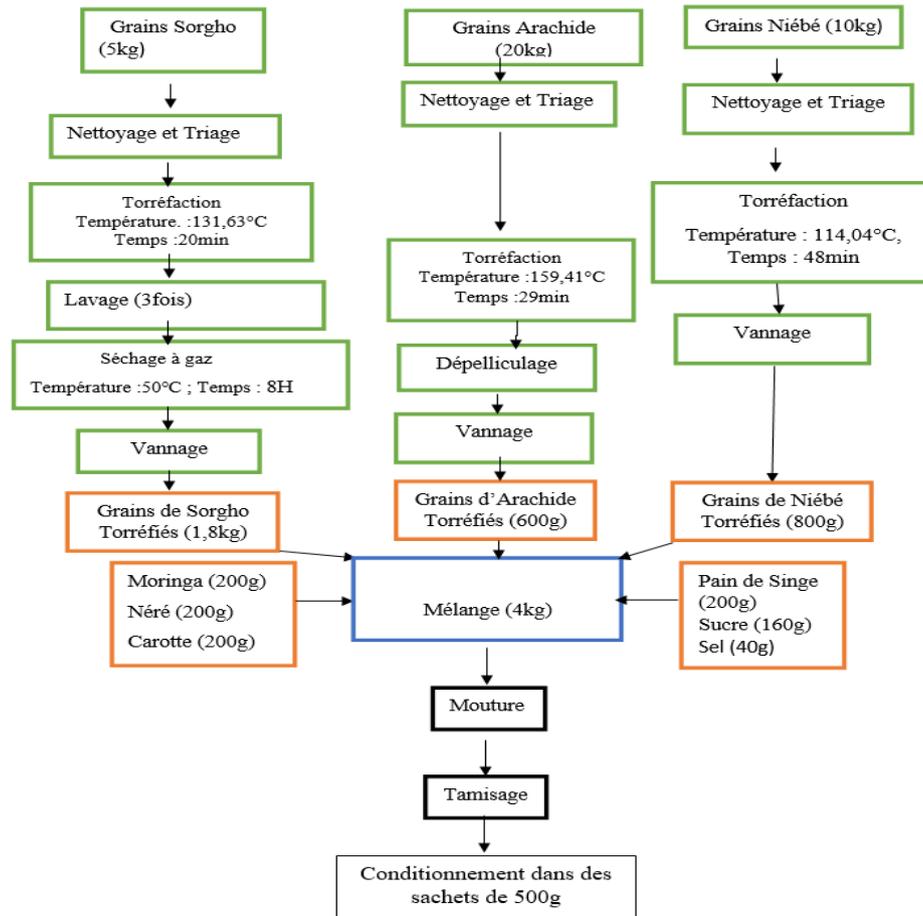


Figure 1 : Diagramme illustrant le procédé de production des farines fortifiées à base de sorgho

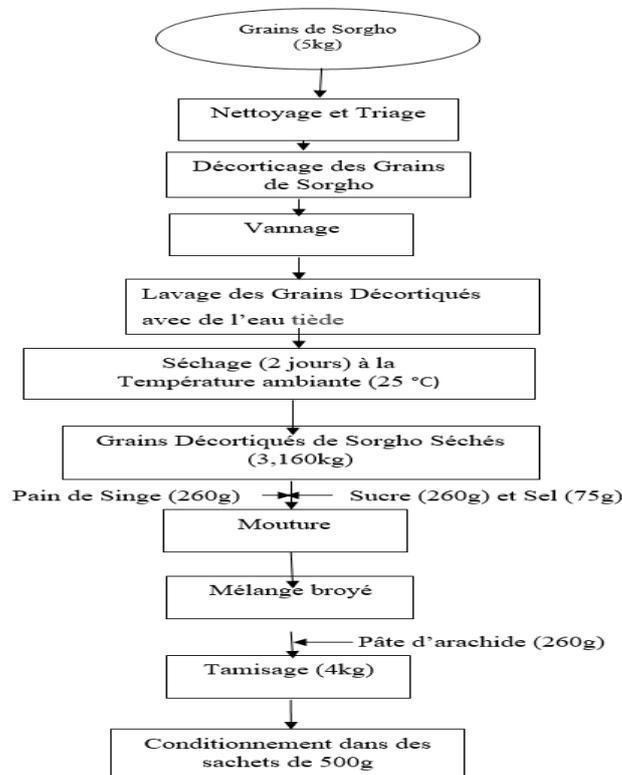


Figure 2 : Diagramme illustrant le procédé de production de la farine fortifiée témoin à base de sorgho

2-2-2. Analyse physico-chimique des farines fortifiées à base de sorgho élaborées

Les analyses des caractéristiques physico-chimiques des différents échantillons de farines fortifiées qui suivent et dont les codifications sont définies dans la section des résultats, ont été réalisées : S1CaNeNiArPs, S2CaNeNiArPs, S3CaNeNiArPs, S4CaNeNiArPs, S1MoNeNiArPs, S2MoNeNiArPs, S3MoNeNiArPs et S4MoNeNiArPs. Elles ont consisté à déterminer en triple essais, les teneurs en eau, lipides, protéines, cendres, fibres, glucides et la valeur énergétique des farines, selon les méthodes standards ISO et AOAC [10, 12, 13].

2-2-2-1. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau a été déterminée par dessiccation à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures selon la méthode de l'ISO 712 [10, 14].

2-2-2-2. Détermination de la teneur en lipides

La teneur en lipides a été déterminée selon la méthode de l'ISO 1211 [11, 14] en utilisant l'extraction par l'hexane dans un extracteur de type Soxhlet. Après évaporation du solvant et séchage de la capsule à l'étuve à 105°C pendant 15 minutes. Le calcul de la différence de poids par gravimétrie a permis de déterminer la teneur en lipides des échantillons respectifs.

2-2-2-3. Détermination de la teneur en protéines

La méthode de Kjeldahl [12, 14] a été utilisée pour déterminer la teneur en protéines des échantillons en utilisant un coefficient de conversion de 6,25.

2-2-2-4. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en cendres a été déterminée en incinérant les échantillons dans un four à moufle à 600 °C pendant 2 heures. A la fin de l'incinération, les creusets étaient retirés et refroidis au dessiccateur pendant 30 minutes avant d'être pesés [14].

2-2-2-5. Détermination de la teneur en fibres

La teneur en fibre a été déterminée selon la méthode de Weender et van Soest [13, 14] par laquelle, les différents échantillons ont été successivement traités avec des solutions bouillantes d'acides sulfurique et d'hydroxyde de sodium, puis lavés, séchés et calcinés. La perte de poids résultant de la calcination correspond à la fibre brute de prise d'essai qui est estimée après calcul différentiel comme teneur de fibre brute (%)

2-2-2-6. Détermination de la teneur en glucides

La teneur en glucides a été estimée par calcul différentiel à partir de la formule proposée par la FAO [13, 14].

2-2-2-7. Détermination de la valeur énergétique

La valeur énergétique a été déterminée à partir du taux de lipides, de glucides et de protéines des farines composées en utilisant les facteurs de conversion d'Atwater : 4 Kcal/ g pour les protéines ; 9 Kcal/ g pour les lipides et 4 Kcal/ g pour les glucides [13, 14].

2-2-3. Préparation et tests sensoriels d'acceptabilité des bouillies issues des farines fortifiées élaborées

2-2-3-1. Préparation des échantillons de bouillies

Les échantillons de bouillies ont été préparées à partir des différents lots de farines fortifiées élaborées. Une quantité de 250g de farine de chacun des lots a été délayée dans 0,5 L d'eau qui est ensuite versée dans une casserole contenant 1,5 L d'eau. Le mélange farine-eau est ensuite cuit sur un réchaud à gaz. Le mélange a été maintenu au feu pendant 5 minutes tout en l'agitation manuellement à l'aide d'une spatule en bois jusqu'à l'obtention d'une bouillie consistante et cuite. Les échantillons de bouillies fortifiées produites ont été récupérés dans des vases métalliques de 2 litres de volume et en acier inoxydable à usage alimentaire. Les échantillons de bouillies contenus dans les différents vases ont été refroidis à la température ambiante avant de procéder aux tests d'acceptabilité sensorielle.

2-2-3-2. Tests d'acceptabilité sensorielle des échantillons de bouillies fortifiées

L'évaluation de l'acceptabilité sensorielle des bouillies préparées a été réalisée à l'aide de la méthode hédonique, reposant sur une échelle d'appréciation à neuf points, allant de 9 (« aime extrêmement ») à 1 (« n'aime pas du tout »). Cette analyse sensorielle a porté sur plusieurs attributs organoleptiques : l'aspect visuel (couleur), la saveur (goût), l'arôme (odeur), la texture (consistance) ainsi que l'acceptabilité globale de chaque échantillon. Cette approche a permis de recueillir les préférences des participants et de comparer objectivement les différentes formulations testées [15]. Un panel de dégustateurs constitué de cent vingt (120) mères ayant l'habitude de préparer régulièrement des bouillies aux enfants a été recruté pour réaliser les séries de tests sur les bouillies préparées. Un exemplaire du questionnaire d'évaluation sensorielle, accompagné d'un verre d'eau pour le rinçage buccal entre les dégustations des échantillons de bouillies, a été remis à chaque panéliste. Avant l'administration du test, les objectifs de l'évaluation sensorielle ont été clairement exposés aux participantes, afin de garantir une compréhension adéquate du protocole et du déroulement de l'exercice. Il leur a ensuite été demandé de prendre connaissance du contenu du questionnaire et, le cas échéant, de formuler toute demande de clarification auprès de l'équipe d'enquêteurs en charge de l'organisation et de la conduite du test. Après, il leur a été demandé de se rincer la bouche avant de tester chaque échantillon. Les échantillons de bouillies codés ont été présentés simultanément à chacune des panélistes dans un ordre randomisé. L'eau a été utilisée pour le rinçage de la bouche assurant la transition d'une bouillie à l'autre. Les données sensorielles recueillies concernaient les caractéristiques organoleptiques, notamment la couleur, le goût, la texture et l'odeur des échantillons de bouillies fortifiées à base de sorgho.

2-2-4. Analyse Statistique

Le logiciel Excel (Microsoft 2016) a été utilisé pour effectuer le calcul des moyennes des teneurs de la composition physicochimique des échantillons de farines fortifiées élaborées. L'analyse de variance (ANOVA) et du test de Duncan ont été effectués avec le logiciel SPSS version 23 pour étudier le degré de différence entre les variables. La signification statistique a été définie à $p < 0,05$. Les notes hédoniques ont été collectés dans le logiciel kobo collect et traitées dans le logiciel l'Excel pour le calcul des moyennes et des variances en couleur, goût, odeur, texture et l'acceptabilité générale pour chaque type de bouillie.

3. Résultats

3-1. Caractéristiques physicochimiques des échantillons de farines fortifiées

Les résultats des teneurs des composantes physicochimiques des principaux macronutriments des farines fortifiées élaborées et celle du témoin, notamment les teneurs en valeurs énergétiques protéines, lipides, glucides, fibres, cendres et eau sont récapitulées dans le **Tableau 1**. Ces résultats indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les différents échantillons de farines fortifiées. On observe tout de même des valeurs souvent proches pour certains des échantillons. Les teneurs en protéines des échantillons analysés varient entre 14,347 et 13,187%, celles en lipides varient de 11,90 à 11,15 %, les teneurs en fibres sont de 4,94 % et 4,0 %, celles en glucides comprises entre 63,403 et 61,657 % les teneurs en eau (humidité) fluctuent entre 4,87 et 4,06 %, celles en cendre entre 3,36 et 3,21 %, et les valeurs énergétiques de 429,94 à 425,28 Kcal/100g de farine. Les farines fortifiées élaborées présentent des teneurs en protéines, lipides et cendres nettement supérieures à celles de l'échantillon témoin. En revanche, ce dernier se distingue par une teneur en glucides particulièrement élevée, atteignant 75,31 %, ce qui s'explique vraisemblablement par l'ajout d'une quantité importante de sucre (260 g) lors de sa formulation. Par ailleurs, le témoin affiche également une humidité relativement élevée, estimée à environ 6,20 %. Il faut noter aussi, qu'il y a une différence significative entre valeurs énergétiques des huit (8) échantillons de formules de farines fortifiées élaborées (S1CaNeNiArPs, S2CaNeNiArPs, S3CaNeNiArPs, S4CaNeNiArPs, S1MoNeNiArPs, S2MoNeNiArPs, S3MoNeNiArPs, et S4MoNeNiArPs) comparativement à celle du (témoin) généralement utilisée dans les centres de santé communautaires. Ces valeurs énergétiques sont relativement supérieures et conformes aux seuils recommandés.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de farines fortifiées

Formule	Energie (Kcal/100 g)	Protéine (%) (g/100g)	Lipide (%) (g/100g)	Glucide (%) (g/100g)	Fibre (%) (g/100g)	Humidité (%) (g/100g)	Cendre (%) (g/100g)
S1MoNeNiArPs	427,69±0,42 ^c	14,113±0,01 ^c	11,65±0,01 ^b	61,657±0,08 ^f	4,94±0,04 ^a	4,28±0,00 ^e	3,36±0,08 ^a
S2MoNeNiArPs	428,41±0,30 ^b	14,347±0,06 ^a	11,89±0,07 ^a	62,003±0,12 ^e	4,00±0,05 ^b	4,40±0,06 ^d	3,36±0,01 ^a
S3MoNeNiArPs	429,94±0,26 ^a	14,113±0,01 ^c	11,90±0,04 ^a	62,49±0,05 ^d	4,09±0,04 ^b	4,06±0,05 ^e	3,33±0,05 ^a
S4MoNeNiArPs	428,90±0,52 ^b	14,210±0,05 ^b	11,78±0,1 ^a	61,72±0,09 ^f	4,79±0,04 ^a	4,19±0,01 ^f	3,31±0,00 ^a
S1CaNeNiArPs	426,64±0,78 ^d	13,387±0,08 ^d	11,41±0,09 ^{cd}	63,453±0,11 ^b	4,19±0,04 ^b	4,35±0,03 ^{de}	3,21±0,00 ^b
S2CaNeNiArPs	425,28±0,40 ^e	13,198±0,08 ^f	11,52±0,07 ^c	62,922±0,06 ^c	4,28±0,03 ^b	4,87±0,04 ^b	3,21±0,00 ^b
S3CaNeNiArPs	426,29±0,29 ^d	13,187±0,04 ^f	11,33±0,02 ^d	63,403±0,10 ^b	4,49±0,04 ^b	4,30±0,09 ^e	3,29±0,03 ^{ab}
S4CaNeNiArPs	423,39±0,94 ^f	13,308±0,06 ^e	11,15±0,05 ^e	62,962±0,08 ^c	4,49±0,04 ^b	4,74±0,05 ^c	3,35±0,06 ^a
Témoin	391,13±0,51 ^g	7,459±0,01 ^g	5,61±0,07 ^f	75,311±0,04 ^a	2,39±0,04 ^c	6,20±0,07 ^a	3,03±0,02 ^c

Codes : S1 = Sorgho Variété SEPOND-82; S2 = Sorgho Variété MDK; S3 = Sorgho Variété SSD-35 ; S4 = Sorgho Variété IRAT-204 ; Mo = Moringa ; Ne = Néré ; Ca = Carotte ; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe ; ND = Non Déterminé, Toutes ces valeurs sont les moyennes de trois déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

3-2. Caractéristiques organoleptiques des bouillies issues des farines fortifiées

Le **Tableau 2** résume les résultats des tests organoleptiques sur les échantillons de bouillies issues de farines fortifiées élaborées comparativement l'échantillon témoin généralement utilisée par les centres de santé communautaires. Les **Figures 3, 4, 5, 6 et 7** illustrent les résultats d'acceptabilité des échantillons de bouillies fortifiées. L'appréciation du Goût, de la couleur, de l'Odeur, de la texture et de l'acceptabilité générale, montre qu'il y'a une différence significative ($P < 0,05$) entre les échantillons de bouillies fortifiées au moringa, à la carotte et celle du témoin.

Tableau 2 : Acceptabilité des caractéristiques organoleptiques des bouillies fortifiées testées

Echantillon	Goût	Odeur	Texture	Couleur	Acceptabilité générale
S1MoNeNiArPs	4,14±2,46 ^{de}	4,2±2,62 ^d	4,5±2,86 ^{cd}	4,43±2,61 ^{cd}	4,48±2,79 ^b
S2MoNeNiArPs	3,9±2,10 ^e	4,34±2,33 ^{cd}	4,27±2,48 ^d	4,05±2,33 ^d	4,65±2,38 ^b
S3MoNeNiArPs	4,26±2,11 ^{de}	4,63±2,35 ^{cd}	4,89±2,25 ^{bcd}	4,25±2,11 ^d	4,57±2,34 ^b
S4MoNeNiArPs	4,62±2,76 ^{cd}	4,93±2,72 ^{bcd}	5,35±2,63 ^{ab}	4,7±2,59 ^{bcd}	4,95±2,64 ^{ab}
S1CaNeNiArPs	5,85±2,53 ^a	5,52±2,66 ^{ab}	4,96±2,65 ^{bcd}	6,08±2,58 ^a	5,56±2,56 ^a
S2CaNeNiArPs	5,56±2,50 ^{ab}	5,62±2,13 ^{ab}	4,89±2,47 ^{bcd}	5,17±2,43 ^b	4,69±2,52 ^b
S3CaNeNiArPs	5,83±2,31 ^a	5,67±2,28 ^a	5,85±2,11 ^a	5,08±2,35 ^{bc}	5,44±2,21 ^a
S4CaNeNiArPs	5,55±2,42 ^{ab}	5,58±2,59 ^{ab}	5,11±2,46 ^{bc}	5,02±2,42 ^{bc}	5,56±2,44 ^a
Témoin	4,96±3,02 ^{cb}	4,64±2,94 ^c	4,98±3,01 ^{bcd}	6,14±2,81 ^a	5,16±2,95 ^{ab}

Codes Variétés : Sorghos = S1 : SEPOND-82, S2 : MDK, S3 : SSD-35, S4 : IRAT-204 ; Mo = Moringa ; Ne = Néré ; Ca = Carotte ; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe, Toutes ces valeurs sont les moyennes de 120 déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

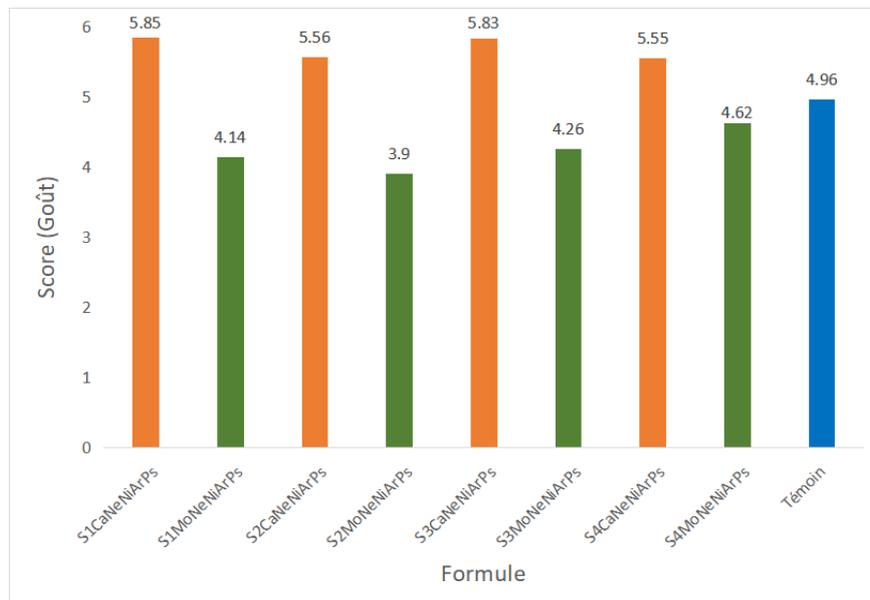


Figure 3 : Résultat du test d'acceptabilité du Goût des échantillons de bouillies fortifiées

Codes Variétés : Sorghos = S1: SEPOND-82, S2:MDK, S3:SSD-35, S4: IRAT-204 ; Mo = Moringa; Ne = Néré ; Ca = Carotte; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe, Toutes ces valeurs sont les moyennes de 120 déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

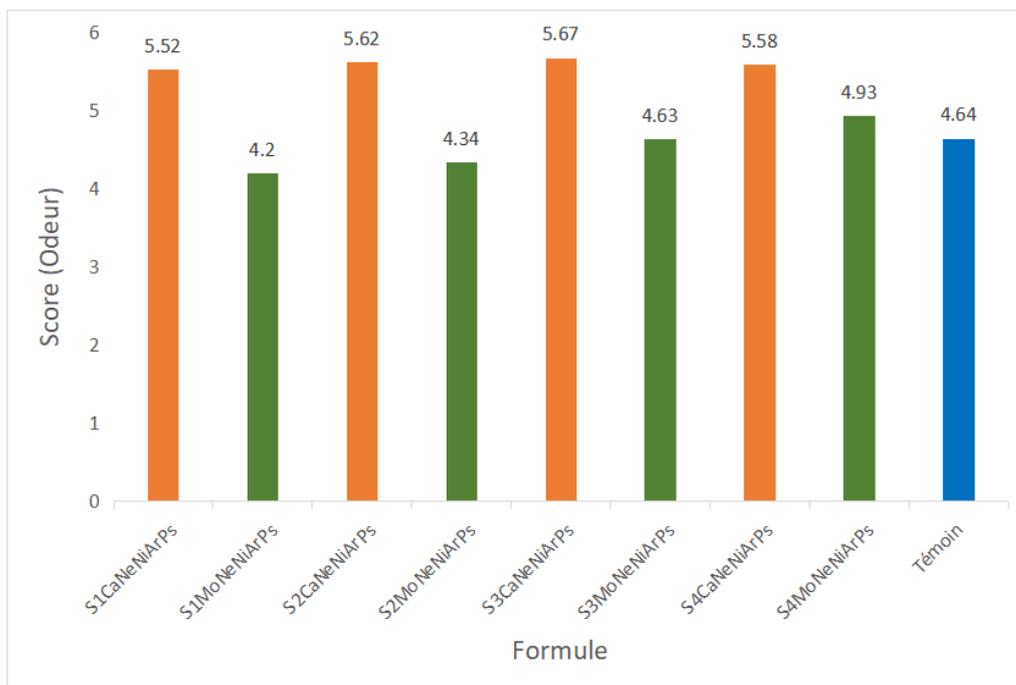


Figure 4 : Résultat du test d'acceptabilité de l'odeur des échantillons de bouillies fortifiées

Codes Variétés : Sorghos = S1 : SEPOND-82, S2 : MDK, S3 : SSD-35, S4 : IRAT-204; Mo = Moringa ; Ne = Néré ; Ca = Carotte ; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe, Toutes ces valeurs sont les moyennes de 120 déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

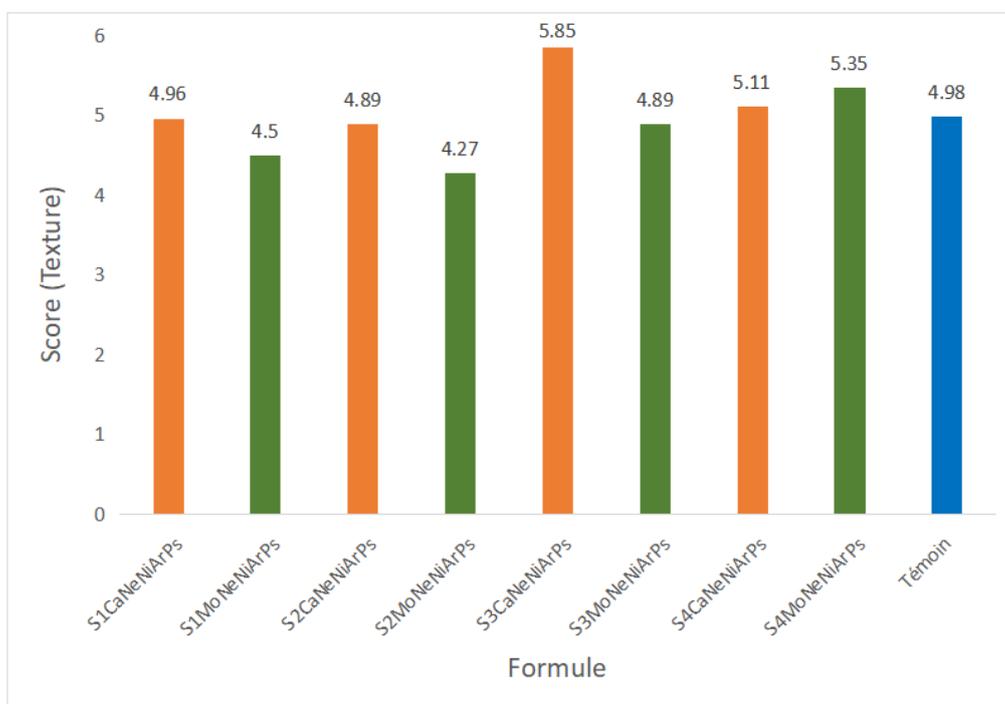


Figure 5 : Résultat du test d'acceptabilité de la texture des échantillons de bouillies fortifiées

Codes : Variétés de Sorgho = S1 : SEPOND-82, S2 : MDK, S3 : SSD-35, S4 : IRAT-204 ; Mo = Moringa ; Ne = Néré ; Ca = Carotte ; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe, Toutes ces valeurs sont les moyennes de 120 déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

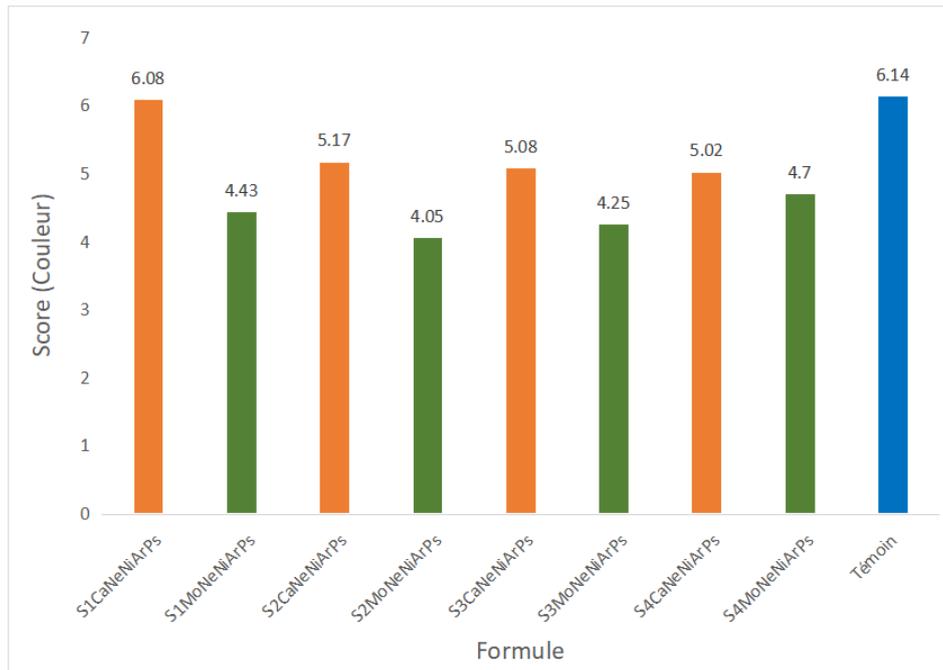


Figure 6 : Résultat du test d'acceptabilité de la couleur des échantillons de bouillies fortifiées

Codes : Variétés de Sorgho = S1 : SEPOND-82, S2 : MDK, S3 : SSD-35, S4 : IRAT-204 ; Mo = Moringa ; Ne = Néré ; Ca = Carotte ; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe, Toutes ces valeurs sont les moyennes de 120 déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

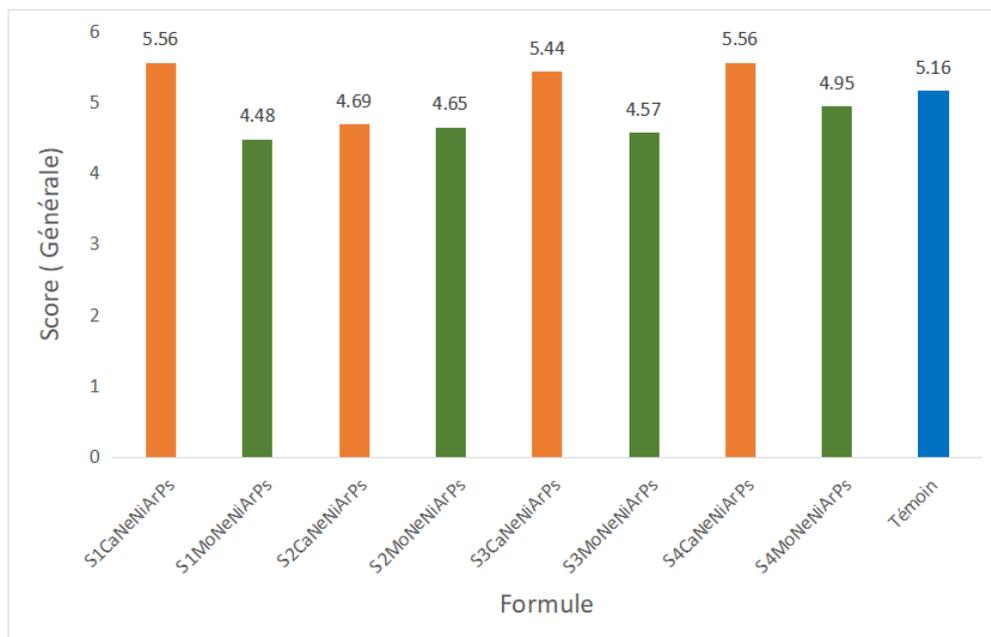


Figure 7 : Résultat du test d'acceptabilité générale des échantillons de bouillies fortifiées

Codes : Variétés de Sorghos = S1 : SEPOND-82, S2 : MDK, S3 : SSD-35, S4 : IRAT-204 ; Mo = Moringa ; Ne = Néré ; Ca = Carotte ; Ni = Niébé ; Ar = Arachide ; Ps = Pain de Singe, Toutes ces valeurs sont les moyennes de 120 déterminations. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à $p < 0,05$.

4. Discussion

4-1. Formulation et composition physico-chimique des farines fortifiées élaborées.

La présente étude avait pour ambition de formuler des farines fortifiées à partir d'ingrédients naturels et locaux, sans recours aux prémix industriels. À cet effet, huit (08) formulations ont été élaborées, réparties en deux catégories : quatre à base de sorgho enrichi au moringa et quatre autres à base de sorgho enrichi à la carotte. L'incorporation du moringa a permis d'enrichir significativement les farines en protéines et en micronutriments essentiels [16]. De son côté, l'ajout de carotte a non seulement contribué à améliorer la valeur nutritionnelle, mais aussi à renforcer les qualités organoleptiques des bouillies obtenues, notamment en termes de goût, de couleur et de texture [17]. Ces formulations combinent au moins quatre groupes d'aliments (céréales, légumineuses, produits sucrés et matières grasses) sur les sept recommandés, ce qui leur confère une capacité à répondre favorablement aux exigences de diversité alimentaire minimale, critère fondamental pour la sécurité nutritionnelle [18]. La torréfaction, utilisée comme étape de pré cuisson, a été mise en œuvre afin de réduire les facteurs antinutritionnels, abaisser la charge microbienne et améliorer les attributs sensoriels et de conservation des farines [19]. Les résultats présentés dans le tableau 1 indiquent que les farines fortifiées élaborées dans le cadre de cette étude se distinguent de l'échantillon témoin couramment utilisé dans les centres de santé communautaires, par l'ajout exclusif d'ingrédients locaux comme le moringa, la carotte et le néré, et sans recourir à l'usage de prémix industriels, tout en se conformant aux normes et standards nutritionnels requis. L'humidité des échantillons varie entre 4,28 % et 6,20 %, des valeurs compatibles avec les recommandations pour les initiatives locales de fortification « d'aliment à aliment ». Ces données s'alignent avec celles obtenues dans des études similaires menées en Côte d'Ivoire sur des farines infantiles, qui rapportaient des taux d'humidité compris entre 4,38 % et 4,78 % [20]. L'humidité relativement élevée (6,20 %) de l'échantillon témoin pourrait être attribuée à l'absence de torréfaction, contrairement aux formulations de cette étude.

En effet, la torréfaction permet une réduction significative de la teneur en eau, prolongeant ainsi la durée de conservation des produits. En ce qui concerne la teneur en protéines, les échantillons présentent des valeurs comprises entre 13,187 % et 14,347 %, nettement supérieures à celles des farines fortifiées couramment utilisées dans les centres de santé communautaires. Ces taux sont comparables à ceux de produits commerciaux comme la Blédine, qui affiche une teneur de 13,69 % [22]. Cette richesse en protéines peut être attribuée à l'ajout de niébé, d'arachide et de moringa, reconnus pour leurs hautes valeurs protéiques. Ces apports renforcent la densité nutritionnelle des formulations, bénéfique notamment pour les groupes vulnérables tels que les enfants, les femmes enceintes et les personnes immunodéprimées [21, 22]. Les teneurs en lipides des échantillons varient entre 11,15 % et 11,90 %, dépassant largement le seuil minimal recommandé (> 8 %) [22, 23] et celles rapportées dans des formulations à base de fonio au Bénin, qui oscillaient entre 4,45 % et 5,42 % [23]. Cette abondance lipidique résulte principalement de l'intégration de l'arachide et du moringa, deux sources importantes d'acides gras bénéfiques pour la santé. S'agissant des cendres, les échantillons affichent des teneurs allant de 3,21 % à 3,36 %, reflétant une concentration accrue en minéraux, supérieure aux valeurs observées dans d'autres études sur des farines infantiles locales (2,12 % à 2,76 %) [22, 23]. Ce résultat est attribuable à la présence d'ingrédients riches en micronutriments tels que le moringa, le pain de singe le néré et la carotte. La valeur énergétique des échantillons est également remarquable, avec des teneurs comprises entre 423,39 kcal et 429,94 kcal, largement supérieures à celles observées dans une étude antérieure conduite sur une farine fortifiée au moringa (357,7 kcal) [5]. L'apport énergétique élevé est principalement lié à la présence de l'arachide, ingrédient reconnu pour sa fortune calorique. En somme, ces résultats mettent en lumière la valeur nutritionnelle remarquable de ces farines fortifiées développées, confirmant leur potentiel comme

alternative locale, accessible, efficace et durable aux produits importés. Leur promotion et leur intégration dans les programmes communautaires nationaux et régionaux de lutte contre la malnutrition contribueraient de manière significative à améliorer l'état nutritionnel des populations vulnérables au Niger et plus largement, en Afrique de l'Ouest.

4-2. Acceptabilité sensorielle des bouillies issues des farines fortifiées élaborées

L'acceptabilité sensorielle des échantillons de bouillies issues des farines fortifiées élaborées a été évaluée et comparée à celle de l'échantillon témoin généralement préparée au niveau des centres de santé communautaire pour la prise en charge de la malnutrition. Les caractéristiques organoleptiques notamment la couleur, le goût, la texture et l'odeur qui sont considérées comme paramètres essentiels de l'évaluation de l'acceptabilité d'un produit alimentaire par les consommateurs [8] ont été déterminés sur les différents échantillons de bouillies. Les résultats de l'évaluation de l'acceptabilité indiquent que les échantillons de bouillies issues des farines fortifiées avec la carotte ou avec le moringa et selon la variété de sorgho utilisée dans les formulations, ont généralement bien compété avec le témoin et présentent un intérêt nutritionnel manifeste. En effet, les échantillons de bouillies fortifiées avec la carotte ont été particulièrement les plus acceptées par les mères (panélistes) pour leurs goûts sucrés et leurs arômes agréables comparativement aux bouillies fortifiées avec le moringa et celle (témoin) généralement utilisée dans les centres de santé communautaires. On note quand bien même que certains des échantillons de bouillies fortifiées avec le moringa et selon la variété ont obtenu des scores d'acceptabilité appréciables pour leurs textures et saveurs malgré leur couleur verdâtre peu appréciée par les panélistes. Cependant, les résultats révèlent que l'échantillon de bouillie fortifiée (témoin) a obtenu un meilleur score pour sa couleur qui a été trouvée plus acceptable que celles des autres échantillons de bouillie fortifiées. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que la couleur de l'échantillon de la bouillie fortifiée (témoin) est similaire à celle des bouillies locales à base de sorgho généralement préparées par les mères panelistes pour les consommateurs. L'utilisation du moringa et de carotte comme fortifiants est une contribution à l'innovation des farines fortifiées locales qui sont utilisées par les centres de santé communautaires dans les programmes de lutte pour atténuer la malnutrition. Ces formulations innovantes de farines localement fortifiées d'aliment à aliment" et "sans prémixes" à base de sorgho sont globalement plus préférées et contribueront à apporter plus de nutriments essentiels au développement des enfants que celle généralement préparée(témoin).

5. Conclusion

Cette étude a permis de concevoir et de produire localement des formulations innovantes de farines fortifiées à base de sorgho, enrichies avec des fortifiants naturels tels que la carotte, le moringa, le pain de singe et le néré. Ces ingrédients, facilement accessibles dans les milieux locaux, ont contribué à améliorer de manière significative la valeur nutritionnelle et les qualités organoleptiques (goût, texture, arôme et couleur) des bouillies préparées à partir de ces farines fortifiées à base de sorgho. L'évaluation sensorielle menée auprès des mères panélistes a révélé une préférence marquée pour les bouillies fortifiées à la carotte, qui sont appréciées pour leur douceur, leur goût, leur couleur et leur arôme agréable. Bien que certaines formulations à base de moringa aient été moins favorisées en raison de leur coloration verdâtre, elles ont néanmoins obtenu des scores satisfaisants en termes de texture et de saveur. Ces résultats suggèrent que les bouillies fortifiées à base de sorgho, notamment celles enrichies à la carotte ou au moringa, peuvent rivaliser favorablement avec les bouillies témoin actuellement utilisées dans les centres de santé communautaires pour la prise en charge de la malnutrition. Les formulations développées dans le cadre de

cette recherche illustrent le fort potentiel des approches de fortification « d'aliment à aliment sans prémix », fondées sur l'utilisation stratégique des ressources locales. Elles constituent une alternative locale crédible, accessible et durable aux solutions standards existants, en intégrant à la fois les dimensions nutritionnelles, sensorielles, locales et culturelles. Leur adoption à plus grande échelle pourrait contribuer efficacement à la prévention et à la réduction des crises nutritionnelles récurrentes au Niger et, plus largement, en Afrique de l'Ouest. En somme, ces résultats sont prometteurs et justifient une intensification des efforts en matière de valorisation des ingrédients locaux riches en macro- et micronutriments dans les programmes communautaires nationaux et communautaires de lutte contre la malnutrition.

Références

- [1] - WHO, "Essential nutrition actions : improving maternal, newborn, infant and young child health and nutrition ", World Health Organization, Genève (suisse), (2013) 19 p., (2023)
- [2] - CORAF/WECARD, "Manuel de formation sur la fortification de la farine de mil/sorgho en micronutriments", USAID, ITA, CORAF/WECARD, Dakar-Sénégal, (2012) 50 p.
- [3] - FAO, FIDA, UNICEF, PAM et OMS, "Résumé de L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2021. Transformer les systèmes alimentaires pour que la sécurité alimentaire, une meilleure nutrition et une alimentation saine et abordable soient une réalité pour tous." Rome Italy, FAO, (2021) 44 p. <https://doi.org/10.4060/cb5409fr> (Juillet, 2025)
- [4] - FSIN, " Global report on food analysis (GRFC-2023) mid-year update ", Food Security Information Network (FSIN) and Global Network Against Food Crises (GNAFC), Rome Italy, (2023) 62 p. (juillet, 2025)
- [5] - M. S. MAMAN, " Pratiques alimentaires chez les enfants âgés de 6 à 59 mois et mise au point d'une farine enrichie au moringa et son efficacité dans la prise en charge de la sous-nutrition au Niger ". Thèse de doctorat. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, (2021) 290 p., (2023)
- [6] - INS, "Annuaire statistique du Niger ". Enquête nutritionnelle et de mortalité rétrospective au Niger, (2022) 96 p. Ministère de la Santé Publique et de l'Action Sociale, République du Niger. <https://fscluster.org/fr>, (2023)
- [7] - INS, "Annuaire statistique du Niger ". Enquête Nationale de Nutrition avec la méthodologie SMART, (2021) 101 p. <https://fscluster.org/fr>, (2023)
- [8] - M. MOUSTAPHA. "innovative millet foods to improve nutrition and expand markets in West Africa ". Thèse de Doctorat, Université de Purdue, USA, (2019) 229 p.
- [9] - CAC, " Lignes directrices pour la mise au point des préparations alimentaires complémentaires destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge ", Commission du Codex Alimentarius (CAC), (2013) 223 p., (2023)
- [10] - ISO 712. 2009, "Céréales et produits céréaliers - Détermination de la teneur en eau - Méthode de référence", (2023)
- [11] - ISO 1211. 2010. "Lait - Détermination de la teneur en matière grasse — Méthode gravimétrique - Méthode de référence", (2023)
- [12] - ISO 20483. 2013. "Céréales et légumineuses - Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes - Méthode de Kjeldahl", (2023)
- [13] - FAO, "Les aliments vendus sur la voie publique". FAO, Rome, Italy (1998) 96p, (2023)
- [14] - AOAC, "Official Methods of analysis", Washington, DC. USA: Association of official analytical chemists, edited Ig W. Horwitz 16^e ed. Washington, Vol. 2, (1997) 850 p., (2023)

- [15] - N. KHETARPAUL, R. GOYAL and R. GARG, "Nutritional and sensory evaluation of nutritious porridge prepared using combinations of soy and sorghum grits". *Nutr Health.*, 17 (4) (2004) 309 - 315. doi: 10.1177/026010600401700406. PMID: 15174738, (2023)
- [16] - A. S. SAUVEUR and M. BROIN, "*Produire et transformer les feuilles de moringa*". Moringa news / Moringa Association of Ghana, (2010).36 p. (juillet, 2025)
- [17] - A. PURKIEWICZ, J. CIBORSKA, M. TAŃSKA, A. NARWOJSZ, M. STAROWICZ, K. E. PRZYBYŁOWICZ and T. SAWICKI, "The Impact of the Method Extraction and Different Carrot Variety on the Carotenoid Profile, Total Phenolic Content and Antioxidant Properties of Juices", *Plants* 9 (2020); doi:10.3390/plants9121759.7-11, (juillet, 2025)
- [18] - WHO, "Indicators for Assessing infant and Young Child Feeding Practices". Conclusions of a consensus Meeting held 6–8 November 2007 in Washington, DC, USA Geneva, (juillet 2025)
- [19] - V. G. SASKIA and V. W. ANNOEK, " Production Artisanale d'aliments de complément", *Agradok Cordaid*, 22 (2005) 224 - 276
- [20] - L. S. EUPHRASIE, G. J. BRICE, A. A. E. CHIAKOUN, G. A. GRODJI and B. KOUAKOU, "Nutritional status of children from 6 to 24 months and feeding practices of mothers during the weaning period in the municipality of Man (Cote D'Ivoire) ". *World Journal of Nutrition and Health*, Vol. 7, N°1 (2019) 23 - 29, (juillet, 2025)
- [21] - A. A FISHER, J. E. LAING, J.E. STOECKEL and J. W. TOWNSEND, "*Handbook for Family Planning Operations Research Design*". Population Council, 2nd Ed. 1991, 2nd Print., New York, (1998) 85 p., (2023)
- [22] - S. SORO, G. KONAN, E. ELLEINGAN, D. N'GUESSAN and E. KOFFI. "Formulation d'aliments infantiles à base de farines d'igname enrichies au soja", *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 3 (5) (2013) 8313 - 8339, (2023)
- [23] - A. P. P KAYODE, N. F. FOGNY, E. M. MADODE, F. T. F. YLALEYE and Y. L. AMOUSSOU, "Formulation de farine de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Benin", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 11, N°6 (2017) 2745 - 2755, (2023)