

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCE DE LA VIE, SANTE ET
ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE DOCTORALE
DE SCIENCES DE LA VIE

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

CENTRE FOR RESEARCH AND
TRAINING SCHOOL FOR LIFE
SCIENCES HEALTH AND
ENVIRONMENT

DOCTORATE TRAINING UNIT OF
LIFE SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE PHYTOBIOCHIMIE ET D'ETUDE DES PLANTES MEDICINALES

LABORATORY FOR PHYTOBIOCHEMISTRY AND MEDICINAL PLANTS STUDIES

**Formulation et caractérisation d'une farine de
complément à base de maïs (*Zéa mays* L.), de niébé
(*Vigna unguiculata*) et de courge (*Cucurbita
moschata*) du Tchad**

Mémoire présenté comme requis partiel en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

Option : Science des Aliments et Nutrition

Par :

DJIKOLOUM Firmin

Matricule : 22W2559

Licencié-es Sciences

Sous la direction de :

DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise, PhD

Maitre de conférences

Université de Yaoundé 1



Année académique 2024-2025

DEDICACE

A MES CHERS PARENTS

NGARMONGBE Blaise

Et

ALLAHNDIGUEM KLAMADJE Martine

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au soutien de plusieurs personnes et institutions à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude. Ainsi mes sincères remerciements vont de ce fait à l'endroit de :

L'Eternel Dieu, l'omnipotent, l'omniscient et l'omniprésent pour sa grâce et sa protection durant tout mon parcours académique.

Pr DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise pour avoir guidé mes premiers pas dans le monde de la recherche. Je vous suis reconnaissant pour votre attention, vos conseils, vos encouragements et votre rigueur scientifique qui ont grandement aidé à façonner ce travail et à le rendre plus clair et concis.

Chef de département de Biochimie, **Pr MOUNDIPA FEWOU Paul** et à tous les enseignants du département de Biochimie pour l'encadrement et les enseignements reçus tout au long de mon parcours académique à l'Université de Yaoundé 1.

Pr FOKOU Elie, responsable du **Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM)** pour m'avoir autorisé à travailler dans son Laboratoire.

Au **Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM)** pour l'analyse des nutriments, des antinutriments et des propriétés techno-fonctionnelles des farines formulées.

Au **Laboratoire National d'Analyses Diagnostiques des produits et Intrants agricoles (LNAD) du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER)** de Yaoundé pour l'analyse des minéraux, des fibres et des cendres des farines formulées.

Mes aînés académiques : **Dr NDONKEU S, MBASSI M, SOUANA E, KOUANJOUA D, EYILI N, NANTCHOUANG A, MVONGO J** et tous les autres pour les critiques, encouragements, accompagnements lors des manipulations et de la rédaction du mémoire.

Mes camarades de promotion notamment **TIFA A, LAOMAYE S, NJINGA P, KAMNANG P, DOUANDJI D, SANMEGNI A, MEMADJI-LO ALLAH G, RESSALA B** et tous les autres, pour votre amitié et vos soutiens indéfectibles.

Mes chers frères et sœurs **SOMTE Edith, ALLASRA Bonheur, NODJILAR Gisèle, TORTA Bénédicte, MADJITESSEM Merveille** pour leurs encouragements et le soutien moral, que ce travail soit pour vous un exemple et un réel motif d'encouragement.

Tous ceux qui de prêt ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail de recherche, trouvez ici l'expression de ma parfaite reconnaissance.

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACCRONYMES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	ix
LISTE DES ANNEXES	x
Résumé	xi
Abstract	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
I-1 Généralités sur la malnutrition	3
I-1-1 Définition	3
I-1-2 Formes de la malnutrition	3
I-1-3 Prévalence de la malnutrition protéinoénergétique	4
I-1-4 Causes de la malnutrition	4
I-1-5 CONSEQUENCES DE LA MALNUTRITION	6
I-1-6 PRISE EN CHARGE NUTRITIONNELLE DE LA MALNUTRITION	6
I-2 Généralité sur les farines infantiles	7
I-2-1 Définition et types de farines infantiles	7
I-2-2 Caractéristiques des farines infantiles	7
I-2-3 Conditionnement des farines infantiles	8
I-2-4 Quelques opérations unitaires utilisées lors de la fabrication des farines infantiles	9
I-3 Généralité sur les aliments utilisés dans la formulation des farines	11
I-3-1 Maïs (<i>Zéa mays L</i>)	11
I-3-1.1 Origine et botanique	11
I-3-1.2 Importance alimentaire et nutritionnelle	11
I-3-2 Niébé (<i>Vigna unguiculata</i>)	13
I-3-2.1 Origine et botanique	13
I-3-2.2 Importance alimentaire et nutritionnelle	13
I-3-3 Courge (<i>Cucurbita moschata</i>)	14
I-3-3.1 Origine et botanique	14
I-3-3.2 Classification botanique	15

I-3-3.3 Importance alimentaire et nutritionnelle.....	16
CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES	18
II-1 Matériel.....	18
II-2 Méthodes	19
II-2.1 Echantillonnage.....	19
II-2.2 Diagramme de fabrication de farine de complément	20
II-2.3 Formulation des farines.....	22
II-2.4 Caractérisation des farines formulées.....	24
II-2.4.1 Analyse sensorielle	24
II-2.4.2 Analyses nutritionnelles.....	25
II.2.4.2.1 Teneur en eau et en matière sèche	25
II-2.4.2.2 Teneur en lipides totaux	26
II-2.4.2.3 Teneur en protéines totales.....	27
II-2.4.2.4 Teneur en sucres totaux	29
II-2.4.2.5. Valeur énergétique	30
II.2.4.2.6 Teneurs en fibres brutes	30
II-2.4.2.7 Teneur en cendres.....	31
II-2.4.2.8 Détermination des teneurs en minéraux	31
II.2.4.2.9 Dosage des caroténoïdes totaux	33
II.2.4.2.10 Dosage de la vitamine C	34
II.2.4. 3 Détermination des composés antinutritionnels	35
II.2.4.3.1 Dosage des tanins.....	35
II.2.4.3.2 Détermination de la teneur en phytates.....	36
II.2.4.3.3 Dosage des oxalates.....	36
II.2.4.3.4 Dosage des saponines.....	37
II-2.4.4 Caractéristiques techno-fonctionnelles	38
II-2.4.4.1 Capacité d'absorption en eau des échantillons de farine (CAE)	38
II-2.4.4.2 Indice de gonflement des échantillons de farines (IG).....	39
II-2.4.4.3 Détermination de la capacité d'absorption d'huile (CAH)	39
II-2.4.5 Analyses statistiques.....	39
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION	40
III.1 Analyse sensorielle des bouillies	40
III.3. Composition nutritionnelle, anti-nutritionnelle et techno-fonctionnelles des farines formulées.	42
III.3.1 Composition nutritionnelle des farines formulées.....	42

III.3.1.1 Composition en macronutriments des farines formulées	42
III.3.1.2 Composition en micronutriments des farines formulées	47
III.3.2. Composition en antinutriments des farines formulées	51
III.3.3. Propriétés techno-fonctionnelles des farines formulées	53
CONCLUSION	56
RECOMMANDATION	56
PERSPECTIVES	56
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	57
ANNEXES	a

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACCRONYMES

AFNOR :	Agence française de normalisation
AFSSA :	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
ANOVA :	<i>Analysis of Variance</i>
ANSES :	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOAC :	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
ATP :	Adénosine Triphosphates
EF1 :	Echantillon de farine 1
EF2 :	Echantillon de farine 2
EF3 :	Echantillon de farine 3
FAO :	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FDA :	<i>Food and Drug Administration</i>
LabSAM :	Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme
MS :	Matière Sèche
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
PAINA :	Plan d'Action Intersectoriel de Nutrition et d'Alimentation
PAM :	Programme Alimentaire Mondial
SPSS :	<i>Statistical Package for Social Science</i>
UNICEF :	<i>United Nations Children's Fund</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Normes microbiologiques applicables aux farines infantiles (logUFC/g).....	8
Tableau II : Composition nutritionnelle de maïs.....	12
Tableau III : composition nutritionnelle de niébé.....	14
Tableau IV : Composition nutritionnelle de la pulpe de courge	17
Tableau V : Formules obtenues pour les farines infantiles.....	23
Tableau VI : Scores des paramètres sensoriels des bouillies préparées à base des farines formulées (EF1, EF2 et EF3)	40
Tableau VII : Teneurs moyennes en eau, matière sèche (g/100gMF), protéines, glucides, lipides, cendres totales, fibres brutes (g/100gMS) et les valeurs énergétiques (Kcal/100gMS).....	42
Tableau VIII : Teneurs moyennes en Fer, Zinc, Calcium et magnésium (mg/100gMS) des farines formulées.....	47
Tableau IX : Teneurs moyennes en caroténoïdes (µg/100gMS) et en Vitamine C (mg/100gMS) des farines formulées	50
Tableau X : les teneurs moyennes en phytates, tanins, oxalates et en saponines des différents échantillons en mg/100gMS.....	51
Tableau XI : Teneurs moyennes en capacité d'absorption d'eau, capacité d'absorption d'huile et en indice de gonflement des farines formulées	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Causes de la malnutrition selon le cadre conceptuel de l'UNICEF	5
Figure 2 : Diagramme modifié d'obtention des poudres de maïs (a), de niébé (b) et de courge (c) et de formulation des farines de complément	20
Figure 3 : Profil sensoriel des bouillies préparées à base des farines formulées	42

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : Présentation des grains de maïs, de niébés et des fruits de courges	18
Photographie 2 : Quelques appareils utilisés pour le travail	19
Photographie 3 : Les farines formulées (EF1, EF2 et EF3)	24
Photographie 4 : Présentation des bouillies préparées à base des farines formulées (EF1, EF2 et EF3)	25

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : fiche de l'analyse sensorielle **a**

Annexe 2 : Photos des poudres de maïs, de niébés et de courges **b**

Résumé

La malnutrition demeure un problème majeur de la santé publique dans les pays en développement. Pour pallier à ce problème, plusieurs moyens de prises en charges sont mis en œuvre tels que la fabrication des farines de compléments manufacturées et la supplémentation des aliments en vitamines et/ou minéraux. Mais ces derniers sont généralement importés et d'un coût élevé ce qui rend l'accès difficile aux populations à bas revenus. Dès lors l'utilisation des denrées alimentaires locales (maïs, niébé, courge) qui sont disponibles et accessibles avec des potentialités nutritionnelles importantes s'avère une alternative efficace. Ainsi pour contribuer à la lutte contre la malnutrition infantile, les propriétés sensorielles, nutritionnelles, antinutritionnelles et techno-fonctionnelles des farines de complément formulées à base de maïs, de niébé et de courge pour la prévention de la malnutrition infantile ont été évaluées. Pour y parvenir, les différentes matières premières ont été collectées à Moundou au Tchad, les échantillons composites ont ensuite subi un prétraitement et traitement afin d'obtenir les différentes poudres. La programmation linéaire via l'extension solveur du logiciel Microsoft Excel a permis d'obtenir trois formules de farines (EF1, EF2 et EF3). Ces dernières ont été soumises premièrement à une analyse sensorielle et par la suite à une analyse nutritionnelle, antinutritionnelles et techno-fonctionnelle à l'aide des méthodes standards. Les résultats obtenus ont montré que les farines présentent une bonne acceptabilité sur le plan sensoriel, reposant sur le goût, la couleur, l'odeur et la texture : EF1 ($4,55 \pm 1,46$), EF2 ($4,78 \pm 1,42$), EF3 ($4,73 \pm 1,68$). Un bon profil nutritionnel avec les teneurs en nutriments conformes à environ 90% aux recommandations des organismes en charge de la nutrition infantile. EF1 a présenté la meilleure valeur énergétique (408,55Kcal), glucides ($67,14 \pm 0,321$) et fibres ($5,55 \pm 0,096$) ; EF3 était meilleure en protéines ($15,53 \pm 0,028$), lipides ($14,56 \pm 0,353$), fer ($2,86 \pm 0,155$), en Zinc ($1,97 \pm 0,06$) et en magnésium ($71,20 \pm 0,340$) et EF2 a présenté une meilleure teneur en calcium ($250,17 \pm 0,070$), β -carotènes ($179,48 \pm 0,564$) et Vitamine C ($11,11 \pm 0,139$). En ce qui concerne les anti nutriments, toutes nos farines formulées ont présenté des teneurs inférieures aux doses limites de toxicité. Du point de vue techno-fonctionnelle, EF3 a présenté une meilleure capacité d'absorption d'eau ($144,89 \pm 1,041$) et indice de gonflement ($3,02 \pm 0,196$), par contre EF1 possède une meilleure capacité d'absorption d'huile ($43,34 \pm 2,378$). Au regard de ces potentiels nutritionnels, les farines formulées à base de maïs, de niébé et de courge pourraient être utilisées pour la prévention de la malnutrition infantile.

Mots clés : Malnutrition infantile, farines de compléments, maïs, niébé, courge.

Abstract

Malnutrition remains a major public health problem in developing countries. However, to alleviate this problem, a number of treatment methods have been developed, such as manufactured meal supplements and vitamin and/or mineral food supplements. But these are generally imported and expensive, making them difficult to access for low-income populations. Consequently, the use of local foodstuffs (maize, cowpeas, squash), which are available and accessible with significant nutritional potential, is proving to be an effective alternative. To help combat child malnutrition, the aim of this study was to assess the sensory, nutritional, anti-nutritional and techno-functional properties of supplemental flours made from maize, cowpea and squash. To achieve this, we collected the various raw materials from different markets, and the composite samples then underwent pre-treatment and processing to obtain the various powders. Linear programming using the solver extension of Microsoft Excel enabled us to obtain three flour formulas (EF1, EF2 and EF3). These were first subjected to a sensory analysis and then to a nutritional, anti-nutritional and techno-functional analysis using standard methods. The results showed that the flours had good sensory acceptability, based on taste, colour, smell and texture: EF1 (4.55 ± 1.46), EF2 (4.78 ± 1.42), EF3 (4.73 ± 1.68). A good nutritional profile, with nutrient levels around 90% in line with the recommendations of infant nutrition bodies. EF1 had the best energy value (408.55Kcal), carbohydrates (67.14 ± 0.321) and fibre (5.55 ± 0.096); EF3 was better in protein (15.53 ± 0.028), lipids (14.56 ± 0.353), iron (2.86 ± 0.155), zinc (1.97 ± 0.06) and magnesium (71.20 ± 0.340) and EF2 had a better calcium (250.17 ± 0.070), β -carotene (179.48 ± 0.564) and vitamin C (11.11 ± 0.139) content. As far as anti-nutrients are concerned, all our formulated flours had levels below the toxicity limit. From a techno-functional point of view, EF3 had a better water absorption capacity (144.89 ± 1.041) and swelling index (3.02 ± 0.196), while EF1 had a better oil absorption capacity (43.34 ± 2.378). In view of these nutritional potentials, flours formulated from maize, cowpea and pumpkin could be used to prevent infant malnutrition.

Key words: Child malnutrition, complementary flours, maize, cowpea, squash.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La malnutrition est un problème majeur de la santé publique dans de nombreux pays en développement et plus particulièrement au Tchad. Elle est l'une des principales causes de la morbidité et de la mortalité chez les enfants de moins de cinq ans (**PAINA-Tchad, 2022**). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la malnutrition se définit comme un état pathologique qui résulte d'une carence, d'un excès ou d'un déséquilibre dans l'apport énergétique et/ou nutritionnel d'une personne (**OMS, 2021**). Elle existe principalement sous deux formes à savoir la surnutrition (surpoids et obésité) et la dénutrition. Cette dernière se caractérise par l'émaciation, le retard de croissance, l'insuffisance pondérale et la carence en micronutriments (**Unicef, 2022**). En outre, la dénutrition se manifeste principalement sous forme de malnutrition protéino-énergétique, qui est causée par des apports insuffisants en énergie, en protéine mais aussi en certains micronutriments tels que le fer, le zinc, le magnésium, le calcium et le β -carotène (**Klang et al., 2019**). Elle touche en grande partie de nombreux nourrissons dans les pays en développement dont le Tchad (**Klang et al., 2020**). Par conséquent, elle est la première cause de morbidité et de mortalité infantile touchant plus de 821 millions de personnes dans le monde dont 150 millions (22,2%) des enfants de moins de cinq ans, 22,8% en Afrique sub-saharienne, et 31,9% au Tchad (**FAO, 2019**). Plus particulièrement au Tchad, 30,4% d'enfants sont émaciés, 21,6% d'enfants souffrent de retard de croissance et 10,9% sont atteints d'une insuffisance pondérale (**SMART, 2022**).

Pour pallier à ce problème, plusieurs moyens de prises en charges ont été développés tels que l'utilisation des farines de compléments manufacturées et la supplémentation des aliments en certains minéraux et vitamines tels que la vitamine A, le fer, le calcium, le zinc et le magnésium. (**Kone et al., 2019 ; Klang et al., 2019**). Mais ces derniers sont généralement des produits importés et d'un coût élevé, ce qui rend difficile leurs accès aux personnes à bas revenus (**Loba et al., 2019**). C'est ainsi que la formulation d'aliment de complément à partir des denrées alimentaires locales répondant aux recommandations nutritionnelles s'avère une alternative efficace aux farines fabriquées généralement à partir des produits importés qui coûtent chers (**OMS/FAO, 2006**). Ces farines sont consommées par les enfants sous forme de bouillie, leurs permettant ainsi de couvrir leurs besoins nutritionnels et énergétiques (**Assounda, 2022**). A cet effet, elles sont formulées par l'utilisation combinée ou non des denrées alimentaires qui ont des potentialités biochimiques importantes à l'instar des céréales/tubercules, des légumineuses et des fruits (**Ngono et al., 2018**). En effet, parmi celles-ci on trouve particulièrement le maïs, qui contient une quantité importante d'amidon (72%) (**Mahiyane, 2016**), le niébé, qui est riche en protéines végétales (21,90%) (**Boukar et al., 2019**) et la courge, qui est une source importante de β -Carotènes (0,006-2340 μ g) (**Jacobo et al., 2011b**) et de calciums (23mg/100g) (**Kulczynski et al., 2019**). Ainsi, dans cette même optique, plusieurs travaux

antérieurs ont été faits tels que ceux de **Loba et al. (2019)** qui ont montré que les farines formulées à base de maïs enrichi en haricots, en huile de palme et en sucre constituent un moyen de lutte contre la malnutrition infantile. De plus, dans le but d'améliorer la densité énergétique des aliments de compléments, **Klang et al. (2020)** ont également démontré que l'utilisation combinée de la farine de maïs blanc germée et de la farine de manioc fermentée permet de multiplier par 6,55 la valeur énergétique de celle-ci et **Xiao et al. (2020)** ont caractérisé la courge et ceci avait montré qu'elle est riche en provitamine A et en calcium, ce qui pourrait contribuer à prévenir les carences en ces nutriments.

De ces faits, il serait important de s'intéresser à l'action conjointe de ces intrants (maïs, niébés, courges) dans la formulation d'une farine infantile pour lutter contre la malnutrition protéino-énergétique, afin de se joindre à la prérogative de la commission mixte FAO/OMS qui régit la recherche de nouvelles ressources végétales riches en protéines et en micronutriments pour la formulation des farines infantiles (**FAO/OMS, 2008**), ce qui faciliterait l'éradication de la malnutrition. Nous proposons de formuler des farines infantiles à base de maïs, de niébé et de courge pour la prévention de la malnutrition infantile. Seulement il reste à savoir si cette farine infantile possède les propriétés nécessaires pour prévenir la malnutrition protéino-énergétique.

Hypothèse de recherche

Les farines de compléments formulées à base de maïs, de niébé et de courge constituent une source potentielle en nutriments pour la prévention de la malnutrition infantile au Tchad.

Objectif général

Evaluer les propriétés sensorielles et physico-chimiques des farines de complément formulées à base de maïs, de niébé et de courge.

Objectif spécifique

- Déterminer le profil sensoriel (goût, couleur, odeur, texture) des farines formulées à partir des données issues de la méta-analyse des différents intrants ;
- Déterminer les propriétés nutritionnelles (protéines, glucides, lipides) et antinutritionnelles (phytates, tanins, oxalates, saponines) des farines formulées ;
- Déterminer les propriétés techno-fonctionnelles (Capacité d'absorption d'eau, Capacité d'absorption d'huile, indice de gonflement) des farines formulées.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I-1 Généralités sur la malnutrition

I-1-1 Définition

La malnutrition est un ensemble de manifestations cliniques due à un apport en quantité et /ou en qualité inadéquat dans l'alimentation de substances nutritives (nutriments) nécessaires à la croissance, au développement et au bon fonctionnement de l'organisme (**OMS, 2021**).

I-1-2 Formes de la malnutrition

La malnutrition est un véritable problème de santé publique dans de nombreux pays en développement. Elle existe principalement sous deux formes à savoir : La dénutrition et la surnutrition.

La dénutrition

On parle de la dénutrition lorsque les apports nutritionnels sont inférieurs pour couvrir les besoins nutritionnels de l'enfant (**UIP/FAO, 2021**). Les personnes souffrant de dénutrition, et les enfants en particulier, sont beaucoup plus susceptibles de tomber malades et de mourir. Il existe quatre grands types de dénutrition à savoir : **l'émaciation, le retard de croissance, l'insuffisance pondérale et les carences en micronutriments (vitamines et minéraux)**.

- **L'émaciation ou malnutrition aiguë sévère** : C'est un faible rapport poids/taille. Elle se traduit chez l'enfant par la maigreur c'est-à-dire l'enfant est très mince par rapport à sa taille (**Fomba, 2021**).
- **Le retard de croissance ou malnutrition chronique** est un faible rapport taille/âge et se traduit chez l'enfant par une taille très petite par rapport à son âge. Il résulte d'une sous nutrition chronique ou récurrente (**Fomba, 2021**).
- **L'insuffisance pondérale** est lorsqu'un enfant présente un faible rapport poids/âge c'est-à-dire l'enfant est trop maigre pour son âge. Cependant un enfant qui souffre d'insuffisance pondérale peut présenter un retard de croissance et/ou souffrir d'émaciation (**Fomba, 2021**).
- **Les carences en micronutriments** concernent l'insuffisance des apports en vitamines (vitamine A, Vitamine C) et en minéraux (Fer, Calcium, Zinc, magnésium). Les déficiences en micronutriments sont nombreuses mais les plus courantes chez les enfants sont celles en vitamine A (cécité crépusculaire) et en fer (Anémie). Les micronutriments permettent au corps de produire des enzymes, des hormones et d'autres substances essentielles pour une bonne croissance et un bon développement. Cependant les carences dans ce domaine représentent une menace majeure

pour la santé et le développement des populations du monde entier, en particulier pour les enfants et les femmes enceintes dans les pays à revenu faible (**Fomba, 2021**).

Surnutrition

On parle de la surnutrition lorsqu'il y'a un excès d'apports nutritionnels par rapport aux besoins nutritionnels de l'organisme. Elle se présente principalement sous deux types selon l'indice de masse corporelle (IMC) défini comme le poids en kilogrammes divisé par la taille en mètres au carré (kg/m^2).

- Le surpoids qui est un état caractérisé par un rapport poids pour la taille ayant le score d'écart type supérieur à deux, mais inférieur à trois écart-types par rapport à la médiane de la population de référence. Il Correspond également à un indice de masse corporelle supérieur au 85^e percentile de la courbe de référence (**Fomba, 2021**)
- L'obésité correspond à un indice de masse corporelle supérieur au 95^e percentile ou supérieur à 3 DS (Déviation Standard) de la courbe de référence. Elle Traduit un excès de masse grasse (**Fomba, 2021**).

I-1-3 Prévalence de la malnutrition protéino-énergétique

La dénutrition joue un rôle principal dans environ 45 % des décès d'enfants de moins de 5 ans dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. Par conséquent, elle touche 821 millions de personnes dans le monde, 22,8% des enfants de moins de cinq (05) ans en Afrique subsaharienne (**FAO, 2019**) et 30,4% au Tchad (**SMART, 2022**). De plus, les études ont estimé que 149,2 millions d'enfants souffrent d'un retard de croissance, 45,4 millions d'enfants sont émaciés et 100 millions d'enfants souffrent d'insuffisance pondérale dans le monde (**OMS, 2019**).

Plus particulièrement au Tchad, l'émaciation était estimée à 8,6% en 2022 contre 10,9% en 2021. Cette prévalence était en dessous du seuil élevé (alerte) de 10% fixé par l'OMS mettant le pays dans une situation dite moyenne en matière de santé publique. Cette diminution reflète un effet positif des efforts conjugués du gouvernement et ses partenaires pour dresser la situation persistante de la malnutrition chez les enfants au Tchad. Toutefois, le rythme de réduction reste encore faible pour atteindre les objectifs de développement durable. Par ailleurs, la prévalence de retard de croissance était estimée à 28,0% en 2022 contre 30,4% en 2021. Cependant, elle est au-dessus du seuil de 20% fixé par l'OMS (**SMART, 2022**).

I-1-4 Causes de la malnutrition

Selon le cadre conceptuel de l'Unicef (**1998**), on a trois causes principales de la malnutrition, à savoir :

✚ Causes immédiates

Les deux principales sont l'inadéquation de la ration alimentaire et la maladie (diarrhée, paludismes, parasitoses intestinales). Leur interaction tend à créer un cercle vicieux: l'enfant malnutri résiste moins bien à la maladie, il tombe malade, et de ce fait la malnutrition empire.

✚ Causes sous-jacentes

Elles sont classées en trois groupes qui aboutissent à l'inadéquation de la ration alimentaire et à la maladie, à savoir l'insécurité alimentaire des ménages (famine, inondations, conflits), l'insuffisance des services de santé et d'assainissement et la mauvaise qualité des soins apportés aux enfants et aux femmes enceintes.

✚ Causes fondamentales

Elles regroupent les facteurs politiques (manque d'éducation nutritionnelle de la population), juridiques (droit des femmes et des jeunes filles) et culturels (interdits alimentaires, sevrage précoce) mais aussi psychologiques (divorce, manque d'affection).

De plus il a été démontré que l'inaccessibilité aux aliments de complément par les personnes à bas revenus (**Klang et al., 2019**), tout comme les carences en énergies, en protéines et en certains micronutriments comme le fer, le calcium, en zinc et en bêta-carotène (**Kone et al., 2019**) peuvent aussi entraîner la malnutrition.

Les causes de la malnutrition sont multisectorielles

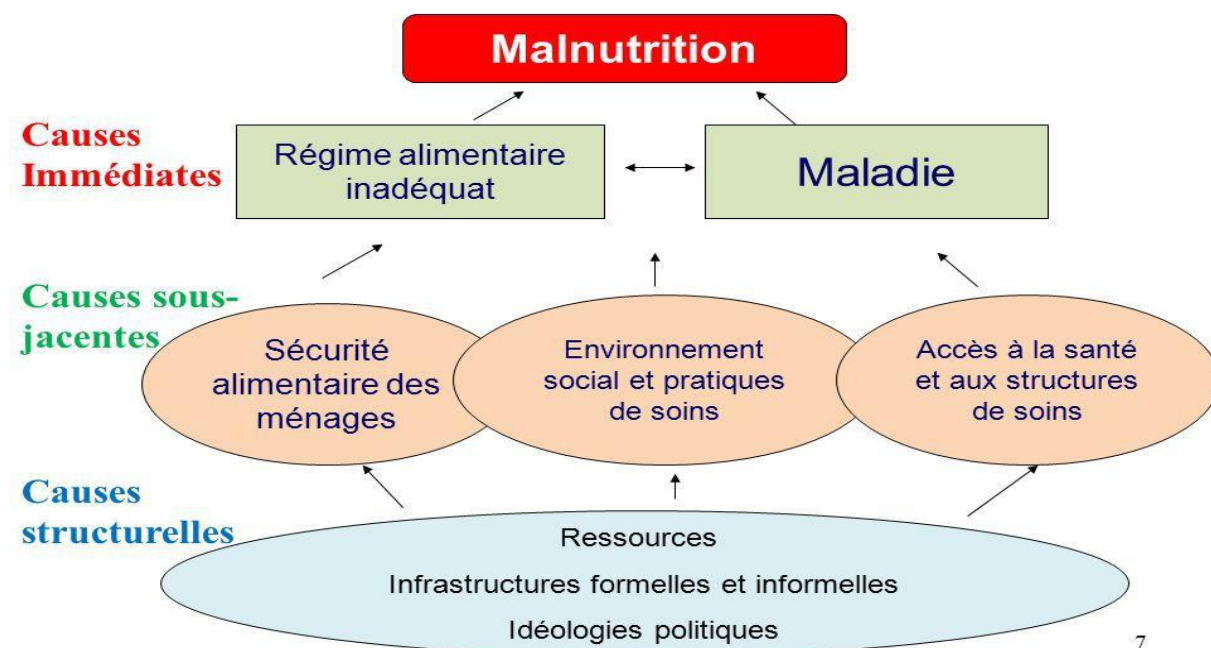


Figure 1 : Causes de la malnutrition selon le cadre conceptuel de l'UNICEF

I-1-5 CONSEQUENCES DE LA MALNUTRITION

La malnutrition est un obstacle au développement humain. En effet jusqu'à ses 5 ans, l'enfant a des besoins nutritionnels spécifiques. Cependant si son alimentation est insuffisante, en qualité ou en quantité pour couvrir tous ses besoins nutritionnels, cela aura un impact direct sur sa santé par ailleurs son développement et sa croissance. Ainsi :

- L'organisme de l'enfant s'affaiblit : la graisse disparaît en premier et les muscles commencent à fondre, donc l'enfant pourrait souffrir de l'insuffisance pondérale ou émaciation.
- Si les carences s'aggravent, son organisme va consommer ses propres tissus. Le système immunitaire de l'enfant va s'affaiblir, ce qui le rend très vulnérable aux maladies (diarrhée, paludismes, parasitoses intestinales).
- Le risque de décès devient alors extrêmement élevé. Les enfants malnutris ont jusqu'à 11 fois plus de risques de mourir que les enfants ayant une alimentation adéquate.
- Si un enfant qui souffre de malnutrition n'est pas rapidement pris en charge avant l'âge de 2 ans, la maladie lui laissera des séquelles toute sa vie. Il pourra souffrir d'un retard de croissance ou de développement.

I-1-6 PRISE EN CHARGE NUTRITIONNELLE DE LA MALNUTRITION

La prise en charge de la malnutrition se fait généralement à l'hôpital par l'administration des aliments thérapeutiques prêts à l'emploi (ATPE) et des laits thérapeutiques (F75 et F100) pour que l'enfant puisse rétablir son métabolisme de base et retrouver son appétit afin qu'il retrouve sa santé (Traoré et al., 2020). Mais vaut mieux prévenir que guérir, C'est ainsi que pour la prévention de la malnutrition infantile l'OMS et l'UNICEF recommandent :

- **L'éducation nutritionnelle** : Elle vise à faire prendre conscience aux mères des relations étroites entre une alimentation équilibrée et la santé ou le bien-être et aussi à pratiquer l'allaitement maternel exclusif afin d'éviter la malnutrition infantile.

- **L'allaitement maternel exclusif** : Le lait maternel est un aliment sain destiné aux enfants durant les premiers mois de leur vie. Outre sa qualité bactériologique, il transmet également les anticorps de la mère et tous les éléments nutritifs nécessaires à l'enfant (OMS, 1992).

- **L'alimentation de complément** : Elle prend le relais lorsque le lait maternel ne peut plus combler efficacement les besoins de l'enfant. La quantité d'énergie devant être apportée par l'aliment de complément doit être proportionnelle aux besoins de l'enfant, tout en sachant que l'enfant continue de prendre le lait maternel jusqu'à l'âge de deux ans (Unicef, 2011).

I-2 Généralité sur les farines infantiles

I-2-1 Définition et types de farines infantiles

Plus connus dans la littérature sous l'appellation de « farine de complément », « farine de sevrage », la farine infantile est généralement un aliment de complément présenté sous forme de farine que l'on donne après cuisson humide ou non sous forme de bouillie aux jeunes enfants à partir de l'âge de six mois en complément du lait maternel. Elle doit être spécialement conçue pour couvrir leurs besoins nutritionnels en tenant compte des apports du lait maternel et de la fréquence journalière des repas (**Mouquet et al., 1998**). La farine infantile fait partie du groupe générique des aliments de compléments. Le terme aliment de complément désigne tout apport alimentaire autre que le lait maternel donné aux nourrissons ou aux jeunes enfants, en vue de satisfaire pleinement leurs besoins nutritionnels (**Bruyeron et al., 1998**).

Selon la technologie de production et le mode de préparation deux (02) types de farines infantiles se rencontrent sur le marché à savoir « les farines à cuire » et « les farines instantanées ». Ces farines correspondent à des technologies de transformation différentes. Les farines à cuire s'obtiennent généralement par des procédés ne modifiant pas de façon importante leurs principaux constituants (torréfaction, grillage, broyage et mélange de différentes matières premières). Par contre, la production de farines instantanées fait appel à des procédés souvent plus complexes : cuisson au four (type biscuit), séchage sur rouleau, cuisson-extrusion. (**Treche, 1992**). Ainsi dans ce travail nous avons formulé une farine à cuire.

I-2-2 Caractéristiques des farines infantiles

Une farine saine

Une farine infantile doit être salubre, elle ne doit contenir de germes pathogènes, de toxines ou de résidus chimiques toxiques susceptibles d'avoir une répercussion sur la santé du nourrisson (**Mouquet et al., 1998**). Selon la norme du Codex Alimentarius (Codex Stan 74-1981), les farines infantiles doivent être préparées, emballées et conservées dans des conditions compatibles avec l'hygiène. Elles devraient respecter les dispositions du « Code d'usages en matière d'hygiène pour les aliments pour nourrissons et enfants à bas âge » (CODEX CAC/RCP 21,1979). Cette référence donne des spécifications microbiologiques à caractère consultatif, différentes selon le type de farines infantile (à cuire ou instantanées). Dans la pratique, les spécifications proposées par le **Gret et l'Orstom** se présentent dans le tableau 1.

Tableau I: Normes microbiologiques applicables aux farines infantiles (logUFC/g)

Paramètres	Farine à cuire	Farine instantanée
Bactéries aérobies mésophiles	$< 10^4$	$< 10^4$
Coliformes fécaux	< 100	< 20
<i>Escherichia coli</i>	< 10	< 2
Levures et moisissures	$< 10^3$	Non précisé

Il est également important de veiller à ce qu'il n'y ait ni salmonelles, ni aflatoxines dans le produit.

Une farine accessible et acceptable

Une farine infantile doit pouvoir être consommée par le plus grand nombre d'enfants. Elle doit donc être de prix modéré, disponible en permanence aux endroits appropriés, considérée comme facile à préparer par les mères et acceptable d'un point de vue culturel et organoleptique, c'est-à-dire au niveau de sa texture, son odeur et de son goût.

Une farine nutritive

Une farine infantile doit avoir une valeur nutritionnelle adéquate. Sa composition et ses caractéristiques doivent être telles que les quantités de bouillie ingérées par les enfants, leurs fournissent suffisamment d'énergie et de nutriments indispensables pour couvrir leurs besoins nutritionnels en complément du lait maternel. En effet, la composition nutritionnelle standard pour 100 g d'aliment de complément se présente comme suit (**Nago, 2012**): Glucides (68%) ; eau (5%) ; Cendres (2%) ; Protéines ($\geq 13\%$) ; Lipides ($\geq 7\%$) ; Énergie (≥ 400 Kcal) ; Fer (≥ 7 mg) ; calcium (≥ 250 mg) ; vitamine A (≥ 140 µg) ; fibres ($\leq 5\%$). Comme caractéristique physique, elle doit avoir une granulométrie : ≤ 500 µm et une densité énergétique comprise entre 100-140 Kcal/100 mL (**IRD/UNICEF, 2020**). En termes d'antinutriments, elle doit avoir teneur en phytate comprise entre 10-60 mg/Kg (**Urbano et al., 2000**), 3-5 mg d'oxalates (**Wobeto et al., 2007**), et 560 mg/Kg de tanins (**Ikepeme, 2012**).

I-2-3 Conditionnement des farines infantiles

Si les aspects liés à la formulation et à la technologie de production des farines infantiles sont très importants pour la qualité de la farine élaborée, son conditionnement et les conditions de son stockage sont importants pour la préservation de cette qualité. En effet, le conditionnement est à la fois considéré comme la dernière étape de la fabrication du produit et la première de sa commercialisation. Le conditionnement d'une farine infantile se fait dans des sachets en polyéthylène ou polypropylène, sachets complexes plastiques/aluminium (type Doypack), emballages combinés sachet plastique et paquet carton, boîtes plastiques et des boîtes métalliques (**Cyrille, 2017**). Par

ailleurs la conservation des farines dépend essentiellement de leur teneur en eau initiale et des échanges possibles entre le produit et le milieu extérieur (eau, air, lumière). Cependant aucun emballage n'est totalement imperméable, par contre certains ont des coefficients de perméabilité extrêmement faibles (**Mathlouthi, 2008**). En effet, dans ce travail nous avons conditionné notre farine faite à base de maïs, de niébés et de courges dans des sachets en polyéthylène et conservé dans un dessiccateur.

I-2-4 Quelques opérations unitaires utilisées lors de la fabrication des farines infantiles

- **Trempage** : c'est une pratique très courante en agroalimentaire ; il permet d'éliminer l'enveloppe, d'humidifier et ramollir la graine afin d'abréger la durée de cuisson ou d'accélérer la germination. Le trempage permet également l'élimination des facteurs antinutritionnels tels que les tanins et les phytates (**Mebdoua, 2011**). Selon **Lopez, (1987)**, le trempage des céréales et des légumineuses dans l'eau entraîne une diminution significative des facteurs antinutritionnels qui sont éliminés avec l'eau de trempage. De plus le trempage des graines permet aux enzymes endogènes d'hydrolyser les oligosaccharides de flatulence car la réhydratation est le début du processus de germination et la graine va utiliser ses substances de réserves en mobilisant dans un premier temps ces oligosaccharides.
- **Cuisson et autoclavage** : la cuisson facilite l'assimilation de certains aliments. Elle permet d'améliorer significativement la valeur nutritionnelle des aliments par l'inactivation des facteurs antinutritionnels thermosensibles tels que les lectines et les anti-protéase (**Khokhar et Chauhan, 1986**). Selon **Mansouri, (1983)**, l'autoclavage à 110°C pendant quinze (15) minutes permet d'éliminer 50% de l'activité hemagglutinante, alors que l'activité anti-trypsique disparaît totalement pour le haricot, le pois chiche et la lentille.
- **La torréfaction** : La torréfaction est une étape délicate et importante de la fabrication d'une farine. Elle consiste en un chauffage en l'absence d'eau à des températures supérieures à 100 °C. Elle permet de diminuer la teneur en eau des graines, de réduire considérablement la flore microbienne, de détruire certaines substances indésirables (facteurs antinutritionnels, lipases, etc.) et d'améliorer les caractéristiques organoleptiques (goût) du produit final (**Bensayeh et Malek, 2020**).
- **Fermentation** : La fermentation est une des plus anciennes techniques de transformation et de conservation des aliments. C'est un procédé technologique utilisé en Afrique pour la fabrication de nombreux types d'aliments fermentés (**Lestienne, 2004**). Des fermentations spontanées se produisent fréquemment sur les produits amylacés, il s'agit généralement de la fermentation lactique qui fait naître un goût aigre accompagné d'arômes particuliers souvent appréciés et recherchés. Cette transformation s'effectue grâce à des micro-organismes naturellement

présents dans l'aliment, ou ajoutés D'un point de vue biochimique, on observe des modifications de taux de vitamines du groupe B variables selon les microorganismes en présence (**Favier, 1989**). La fermentation permet d'améliorer la valeur nutritive, la saveur et la digestibilité des aliments. La fermentation lactique ou lactofermentation est celle qui est la plus intéressante sur le plan nutritionnel. Elle présente de nombreux avantages parmi lesquels : la réduction du risque de développement de microorganismes pathogènes par acidification du milieu, la dégradation de certains facteurs antinutritionnels (phytates, α -galactosides), le développement de qualités organoleptiques spécifiques par synthèse d'acides organiques et arômes (**Nout, 1994 ; Nout et Sarkar, 1999**). Elle diminue également la viscosité des bouillies de faible ou moyenne concentration en matière sèche.

- **Germination/maltage des céréales** : Une autre technique permettant l'obtention de bouillies de faible viscosité et de bonne valeur calorique est la germination des graines de céréales. La germination est l'étape déterminante du maltage. Au cours de cette étape, on observe la synthèse de nombreuses substances telles que les enzymes (α et β amylase), les vitamines, le glucoside cyanogénique, et beaucoup d'autres composés vecteurs de saveurs. La technique est simple : on laisse tremper les graines 24 pendant un jour ou deux puis on les laisse germer durant 24 à 48 heures à température ambiante. Le séchage s'opère en air chaud à 65°C. Après avoir été débarrassées des radicules, les graines sont moulues. La germination transforme en partie les protéines et l'amidon contenus dans les grains en acides aminés libres et en dissaccharides directement assimilables par la plantule et donc par l'homme. Cette hydrolyse est le résultat de l'action d'alpha-amylases et de bêta-amylases qui atteignent un taux maximum après 48 heures de germination (**Dillon, 1989**).

La germination présente plusieurs avantages sur la qualité des farines infantile à savoir :

- La réduction de viscosité permettant à l'enfant de prendre plus de calories à chaque repas ;
- Etant en partie pré-hydrolysée, cette bouillie sera bien mieux digérée ;
- Le maltage améliore la texture et la qualité nutritionnelle des bouillies (**Abiodun et al., 2002**). La germination augmente la biodisponibilité en certains acides aminés comme la lysine et le tryptophane et en vitamines tels l'acide ascorbique, la niacine et la riboflavine ;
- La germination ne pose aucun problème sur le plan bactériologique ou toxicologique, puisque, à la différence de la fermentation, on ne fait pas appel à des bactéries exogènes ;
- Au plan économique enfin, la germination est un procédé bon marché, permettant aux mères les plus démunies, n'ayant pas accès aux aliments de sevrage industriels inabordables, d'avoir à leur disposition un aliment complémentaire du lait maternel peu coûteux.

I-3 Généralité sur les aliments utilisés dans la formulation des farines

I-3-1 Maïs (*Zea mays* L.)

I-3-1.1 Origine et botanique

Le maïs (*Zea mays* L.) est une plante allogame de la famille des Poacées. Il est originaire de l'Amérique centrale plus précisément des hauts plateaux mexicains où de nombreux échantillons témoignent de leur présence à plus de cinq milles (5000) ans avant Jésus-Christ (**Gay, 1984 ; Rouanet, 1984**). Après avoir été porté en Espagne, la culture du maïs s'est répandue dans toute l'Europe Méridionale. Elle a été introduite par la suite en Afrique et en Asie (**Vandenput, 1981**). Aujourd'hui, le maïs est devenu la première céréale la plus cultivée dans le monde, devant le riz et le blé. En outre, il est l'aliment de base le plus consommé en Afrique subsaharienne (**Traoré, 2017**). Au Tchad, le maïs occupe une place importante dans l'alimentation de la population tchadienne. En termes de production et de superficie emblavées, le maïs occupe la troisième (3^e) place après le mil et le sorgho. (**Naitormmbaide et al., 2015**).

Selon la classification phylogénétique APG 3, *Zea mays* est une plante herbacée tropicale annuelle qui appartient à la classe des monocotylédones, la sous-classe des *Commelinidae*, l'ordre des Cypérales, la famille des *Poaceae* (ou Graminées), la sous-famille des *Panicoideae* et au genre *Zea* (**Bambara, 2012**).

En effet il existe plusieurs variétés de maïs qui se différencient par la couleur de leur grain (jaune, noire, blanc) et leur cycle de culture. Mais au Tchad la quasi-totalité de la production de maïs est constituée par des variétés locales, majoritairement à grains blancs (**Nyembo et al., 2014**). Ainsi c'est ce dernier que nous avons utilisé dans ce travail.

I-3-1.2 Importance alimentaire et nutritionnelle

Les céréales revêtent une grande importance pour l'alimentation de millions d'habitants de la planète étant donné la consommation relativement importante dont elles font l'objet dans les pays en développement. Cependant les céréales ne peuvent pas être considérées uniquement comme une source d'énergie puisqu'elles fournissent également des apports importants en protéines. Par ailleurs les céréales ont une faible teneur en protéines et la qualité de celles-ci est limitée par des carences en certains acides aminés essentiels, la lysine principalement. Mais quelques céréales contiennent un excès de certains acides aminés indispensables ce qui a une influence sur le rendement de l'utilisation des protéines. Le maïs en est l'exemple classique (**FAO, 2018**). Parmi les cultures vivrières, le maïs grain, est un élément clef de l'alimentation humaine, en particulier en Afrique et en Amérique latine.

Il est certain que le maïs continuera à jouer un rôle important dans la sécurité alimentaire (**Goalbaye, 2014**).

Le maïs est consommé sous diverses formes en fonction des groupes ethniques et sociaux, Il peut être consommé frais sous forme d'épi bouilli ou grillé. La forme d'épi bouilli est prépondérante pendant les périodes de récoltes de maïs de saison ou de contre saison. Il existe également des graines sèches grillées qui parfois s'accompagne des arachides. Le maïs est également consommé en sanga, en salade, en soupe, en beignets, en pain de maïs et en « couscous » (ou « boule » de farine cuite à l'eau). La consommation de la bouillie préparée à base de maïs fait partie des habitudes alimentaires et se consomme tout au long de l'année dans toutes les parties du Cameroun (**Thierry et al., 2017**). Par ailleurs, les utilisations industrielles du maïs sont très diversifiées. Il entre à 65 % dans la fabrication de la provende pour volailles. Le maïs sert aussi de matière première dans certaines industries brassicoles pour la fabrication des bières et des whisky (**Thierry et al., 2017**).

Du point de vue nutritionnel le principal composant chimique du grain de maïs est l'amidon, qui constitue 72 à 73 % de son poids, la teneur en protéines varie d'environ 8 à 11 % du poids du grain. La teneur en lipide du grain de maïs provient essentiellement du germe. L'huile de maïs a une faible teneur en acides gras saturés, à savoir 11 % d'acide palmitique et 2 % d'acide stéarique. Les fibres alimentaires sont le composant chimique que l'on trouve en plus grandes quantités. La concentration des cendres dans le grain de maïs est d'environ 1,3 %. Le grain de maïs contient deux vitamines liposolubles : la provitamine A ou caroténoïdes, et la vitamine E. cependant les caroténoïdes se trouvent principalement dans le maïs jaune (**Mahiyane, 2016**).

Tableau II : Composition nutritionnelle de maïs (**FAO, 2022**)

Nutriments	Valeur nutritionnelle pour 100g MS
Énergie (Kcal)	345
Protéines (g)	9,4
Glucides (g)	72
Lipides (g)	8,2
Calcium (mg)	16
Fer (mg)	3,6
Zinc (mg)	2,21

I-3-2 Niébé (*Vigna unguiculata*)

I-3-2.1 Origine et botanique

Le niébé (*Vigna unguiculata*) originaire d'Afrique (**Padulosi et al., 1997**) et dont l'Afrique de l'Ouest était le premier centre de domestication (**Baudoin et al., 1985**). Sa production mondiale est de 8,9 millions de tonnes sur 14,4 millions d'hectares. En Afrique, le Nigeria est le plus grand producteur de niébés avec 3,5 millions de tonnes (**FAOSTAT, 2019**). Au Tchad, le niébé était initialement considéré comme une culture maigre, mais il devient de plus en plus une légumineuse de rente. Au niveau national, la production moyenne de niébé sur les dix (10) dernières années est de 129 506 tonnes. Concernant les principales cultures de graines protéagineuses, lors de la campagne 2020, le niébé arrive en troisième position après l'arachide, dont la production est de 840 035 t et celle du sésame de 202 074 t (**DPSA/ANADER, 2021**).

Le niébé est une plante herbacée, grimpante, rampante et plus ou moins érigée (**Yoka et al., 2014**). Selon la quatrième version de la classification phylogénétique ; Angiosperms Phylogeny Group ou APG IV (2016), le niébé appartient à la classe de Dicotylédone, l'ordre des Fabales, la famille des *Fabaceae*, le genre *Vigna* et l'espèce *Vigna unguiculata* (L.) Walp. En outre la nomenclature vernaculaire du niébé est basée sur les caractères comme la couleur, la forme des grains, la taille des gousses, le goût, le cycle et la valeur marchande de la variété (**Agbodan et al., 2020**). Cependant le genre *Vigna* regroupe de nombreuses espèces parmi lesquelles on peut citer en plus de l'espèce *unguiculata*, les espèces *V. sesquipedalis* dont les gousses peuvent atteindre 0,9 m de long, et *V. catjang* (très répandue au Kenya et Indes) annuelle, indifférente à la durée du jour, en forme de plante buissonnante semi-érigée de 0,9 m de haut. La plupart des autres espèces sont peu importantes sur le plan agronomique, car ne produisent que peu de graines en conditions de culture sèche (**Kassogue, 2016**).

En effet selon une étude, il existe environ quarante-cinq (45) variétés locales de niébé inventoriées et réparties dans le sud du Tchad. Ces variétés se regroupent en seize (16) morphotypes qui se caractérisent par des traits morphologiques tels que la couleur des grains (blancs, rouges, bruns, rougeâtres et brunâtres) ; la couleur et la forme des gousses (**Nadjiam, 2021**). Ainsi dans notre travail, nous allons utiliser le niébé blanc.

I-3-2.2 Importance alimentaire et nutritionnelle

Le niébé est une importante légumineuse en Afrique, très apprécié par ces grains et fanes, qui est commercialisé sur les marchés du fourrage, les fanes pourraient être une bonne source de revenu pour les agriculteurs (**Samireddypalle et al., 2017**).

Cependant les utilisations du niébé sont variées ; il entre dans l'alimentation humaine, la fertilisation des sols, l'alimentation du bétail, les traitements botaniques et médicinaux. Concernant l'alimentation humaine les grains, les gousses et les jeunes feuilles fraîches sont utilisés sous diverse formes telles que les soupes, les beignets et les bouillies enrichies au niébé (**Nadjiam et al., 2021**).

Du point de vue nutritionnel, le niébé est cultivé principalement pour ces graines très riches en protéines végétales (**Boukar et al., 2019**). En outre, ces graines sont la partie la plus économiquement précieuse des plantes du niébé et sont bien connues en raison de leurs propriétés nutritionnelles (**Boukar et al., 2019 ; Zia-Ul-Haqet al., 2013**). Leur graine contenant entre 15.13 % et 33.75% de protéines, peuvent remplacer les protéines d'origine animale. Il est donc considéré comme un aliment énergétique grâce à sa richesse en carbohydrates 53.17- 76.91% et il joue un rôle important dans l'alimentation des humains et dans la lutte contre la malnutrition (**Basseddik et al., 2021, Boukar et al., 2019 ; Hamid, 2016 ; Koko, et al., 2016**).

Tableau III : composition nutritionnelle de niébé (Hama-ba et al.,2017)

Nutriments	Valeur nutritionnelle pour 100gMS
Énergie (Kcal)	366,39
Glucides (g)	64,08
Protéines (g)	21,90
Lipides (g)	1,43
Fibres (g)	3,04
Zinc (mg)	3,96
Calcium (mg)	18,21
Fer (mg)	3,66
Magnésium (mg)	1,7

I-3-3 Courge (*Cucurbita moschata*)

I-3-3.1 Origine et botanique

Les cucurbitacées font partie des plus anciennes plantes cultivées en Amérique. Elles forment une grande famille de fruits variés et colorés. Elles sont populaires dans les potagers et les marchés, offrant une large variété de formes, de couleurs et de tailles. De nombreuses espèces sont cultivées pour leurs fruits comestibles (courges, courgettes, concombres, cornichons, melons, pastèques) et parfois pour leurs graines (courge à huile, pistache africaine). En effet, on rencontre principalement dans cette grande famille les genres *Cucumis* et *Cucurbita*. De ce dernier, trois espèces se dégagent principalement à savoir : *Cucurbita pepo*, *Cucurbita maxima* et *Cucurbita moschata*.

Plus particulièrement, la courge musquée ou *Cucurbita moschata* Duchesne est une espèce de plante à fleurs de la famille des Cucurbitacées, largement cultivée comme plante potagère pour son fruit comestible à maturité. Elle est originaire de l'Amérique du Sud et cultivée dans les pays chauds et tempérées dont l'Afrique Centrale (Cameroun, Tchad, Niger).

La *Cucurbita moschata* Duchesne est une plante herbacée annuelle à longues tiges rampantes, qui s'accrochent par des vrilles à tout support. Toute la plante est couverte de poils souples, non épineux. Les feuilles sont grandes, entières, à nervation palmée, formant cinq lobes peu marqués mais présentant des angles nets. Elles peuvent atteindre cinquante (50) centimètres de diamètre et sont de couleur verte plus ou moins marbrée de blanc. Les fleurs, à sexes séparés (plante monoïque), ont des couleurs variant du jaune à l'orange. Les fruits sont en général de forme allongée, avec une extrémité renflée en massue ou en forme de bouteille, parfois sphérique, plus aplatie ou côtelée. Leur couleur est aussi très variable : vert sombre, orangé, crème. À maturité, ils sont revêtus d'une poussière glauque caractéristique. La chair est épaisse et de couleur plutôt foncée, variant du rouge à l'orangé. Les graines aplaties, ovales, sont gris-brun, rugueuses avec des marges fortement marquées et ondulées.

Le *Cucurbita moschata* aime pousser dans les zones tropicales chaudes et les environnements riches en eau, car elle n'est pas résistante au froid mais plutôt aux températures élevées. Il peut cependant résister aussi bien à la sécheresse qu'au gel pendant sa période de floraison (**Jacobo et al., 2011b**). La peau est dure et résistante, se conserve bien et est difficile à endommager pendant le transport. Il peut être conservé plus de 3 mois sous des températures normales, ce qui le rend non seulement adapté à la consommation quotidienne, mais également aux transformations lourdes et, à ce titre, il est largement utilisé dans l'industrie alimentaire.

I-3-3.2 Classification botanique

Ci-dessous la classification botanique de *Cucurbita moschata* :

- ❖ **Règne** : Végétal
- ❖ **Classe** : *Magnoliopsida*
- ❖ **Ordre** : Violales
- ❖ **Famille** : *Cucurbitaceae*
- ❖ **Sous-famille** : *Cucurbitoideae*
- ❖ **Tribu** : *Cucurbiteae*
- ❖ **Genre** : *Cucurbita*
- ❖ **Espèce** : *Cucurbita moschata* Duchesne (**Armesto et al., 2020**).

I-3-3.3 Importance alimentaire et nutritionnelle

Le *Cucurbita moschata* joue un rôle important dans l'alimentation humaine (**Lira et al., 1992**). Cependant il peut être préparé sous diverses méthodes de cuisson, où il est utilisé non seulement comme légume, mais également comme ingrédient dans la production de pain, de farine, de soupe, de tartes et d'autres aliments (**Guine et al., 2012**).

En effet le *Cucurbita moschata* contient des polysaccharides qui ont des effets hypoglycémiant, des effets significatifs sur la réduction des lipides sanguins et le renforcement des systèmes antioxydant, antitumoral et immunitaire (**Caili et al., 2006**). Ainsi l'évaluation de la composition biochimique de *Cucurbita moschata* avait montré que la teneur en humidité de la pulpe était comprise entre 79,00 et 93,00 %, la teneur en protéine allait de 0,76 et 19,61 %, celle en matières grasses était comprise entre 0,04 et 3,81%, et la teneur en cendres était comprise entre 0,57 et 13,45. La teneur en glucides de la pulpe de *Cucurbita moschata* était de 78,64%, ce qui est complètement supérieur à celle de la pulpe de *Cucurbita maxima* (69,51%).

En ce qui concerne les micronutriments, les études ont montré que le *Cucurbita moschata* est également riche en fibres alimentaires, en vitamine A, en vitamine C et en vitamine E mais aussi en calcium, manganèse, magnésium, potassium et autres substances bénéfiques pour la santé humaine. La vitamine A est principalement présente dans la pulpe et le jus de fruits. La majorité se présente sous forme de carotène qui agit pour maintenir la fonction des cellules épidermiques et pour prévenir la cécité nocturne et la sécheresse oculaire. La teneur en vitamine A de la courge muqueuse fraîche était de 432 lg RE/100 g, ce qui montre que *Cucurbita moschata* peut être une source importante de vitamine A (**Jacobo et al., 2011b**). En outre la teneur en β -carotène est d'environ 0,006 à 2 340 000 lg/g (**Kulczynski et al., 2019**).

Le *Cucurbita moschata* contient une quantité abondante de vitamine C et sa teneur varie en fonction du stade de maturité. La teneur en vitamine C de la pulpe mature de *Cucurbita moschata* est comprise entre 41,98 et 83,05 mg/100 g (masse sèche) ce qui contribue à réduire le risque de cancer, de diabète et de maladies cardiovasculaires (**Kulczynski et al., 2019**).

La teneur en fibres alimentaires dans la pulpe séchée est de 30,02 % (**Lopez et al., 2019**). En effet les études ont montré qu'environ 83 % de ces fibres alimentaires étaient des fibres alimentaires insolubles (**Jacobo et al., 2011a**). La teneur élevée des fibres alimentaires dans la pulpe de *Cucurbita moschata* lui confère des effets physiologiques bénéfiques tels que la réduction du cholestérol plasmatique, la prévention de l'obésité, la prévention de la constipation et du cancer du côlon, la prévention des calculs biliaires et la prévention du cancer du sein (**De et al., 2007**).

Les éléments minéraux jouent un rôle important dans le corps humain. Cependant la teneur en calcium de *Cucurbita moschata* est comprise entre 26,66 et 31,16 mg/100 g (**Armesto et al., 2020**).

L'évaluation de six variétés de *Cucurbita moschata* a montré que la teneur en magnésium est comprise entre 81,15 et 135,54 mg/100 g (masse sèche). Le magnésium est le principal cation des cellules humaines et constitue une substance essentielle pour les réactions biochimiques de base de diverses cellules du corps. La teneur en fer est comprise entre 1,24 et 2,59 mg/100 g (masse sèche). Cependant la concentration de fer dans le *Cucurbita moschata* varie en fonction de niveaux de maturité et des différents poids secs ou humides. (Kulczynski et al., 2019). Le tableau ci-dessous résume la composition nutritionnelle de la pulpe de *Cucurbita moschata*.

Tableau IV : Composition nutritionnelle de la pulpe de courge (Xiao et al., 2021)

Nutriments	Valeur nutritionnelle pour 100gMS
Protéines (g)	0,76-19,61
Lipides (g)	0,04-3,81
Glucides (g)	4,38-53,32
Fibres alimentaires (g)	14,78-30,02
β-Carotène (µg)	0,006-2340
Vitamine C (mg)	10,84-83,05
Fer (mg)	0,18-8,409
Zinc (mg)	0,39-4,02
Calcium (mg)	23,00-985,433
Magnésium (mg)	0,051-162,68

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II : MATÉRIEL ET MÉTHODES

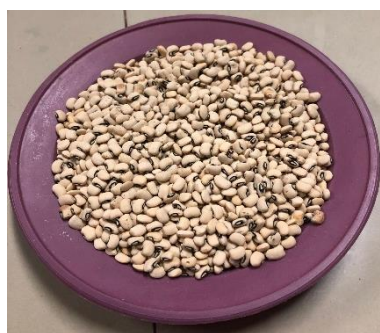
II-1 Matériel

II-1-1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué des grains de maïs (*Zéa mays L*), de niébés (*Vigna unguiculata*) et de fruits de courges (*Cucurbita moschata*) présentées dans la photographie 1 ci-dessous. Le choix de ces matériels se justifie par leurs compositions biochimiques, leur disponibilité et leur accessibilité sur toute l'année ou une saison ainsi que pour leurs acceptations socio-culturelles.



Zéa mays L



Vigna unguiculata



Cucurbita moschata

Photographie 1 : Présentation des grains de maïs, de niébés et des fruits de courges (Djicoloum, dans cette étude)

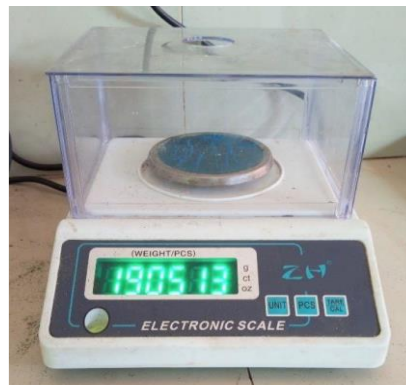
II-1-2 Matériel de Laboratoire

- **Réactifs :** Acides sulfurique, sulfate de potassium, borate d'ammonium, l'hexane, acétone, chlorure de strontium, acide sulfosalicylique, solution de thiocyanate d'ammonium, eau distillée, chlorure de fer, réactif ferrique, réactif de folin-ciocalteu, ethanol 90 %, carbonate de sodium, acide chlorhydrique à 2 %, thiocyanate d'ammonium à 0,3 %, Chlorure de fer III, Acide chlorhydrique, Acide nitrique, Acide chlorhydrique, Solution d'acétate, Solution standard, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (PM=132,14g) de concentration 0,188mg/ml, Solution de formaldéhyde 37% + 7,8 mL d'acétylacétone.
- **Appareils :** Mortier, pilon, tamis, balance, étuves, dessiccateur, calculatrice, erlenmeyer, bain-marie, ampoule à décanter, capsule de porcelaine, verres frittés, tubes,

mixeur, spectrophotomètre, papier Whatman, dispositif de soxhlet. Les photos de quelques-uns sont présentées ci-dessous :



Centrifugeuse



Balance de précision



Broyeur



Déshydrater

Photographie 2 : Quelques appareils utilisés pour le travail (Djikouloum, dans cette étude)

II-2 Méthodes

II-2.1 Echantillonnage

Les grains de maïs, de niébés et les fruits de courges ont été achetés dans un agro shop au près des vendeurs venant de différents villages environ de la ville de Moundou au Tchad. Les différentes matières premières ont été ensuite acheminées au Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM) de l'Université de Yaoundé 1.

II-2.2 Diagramme de fabrication de farine de complément

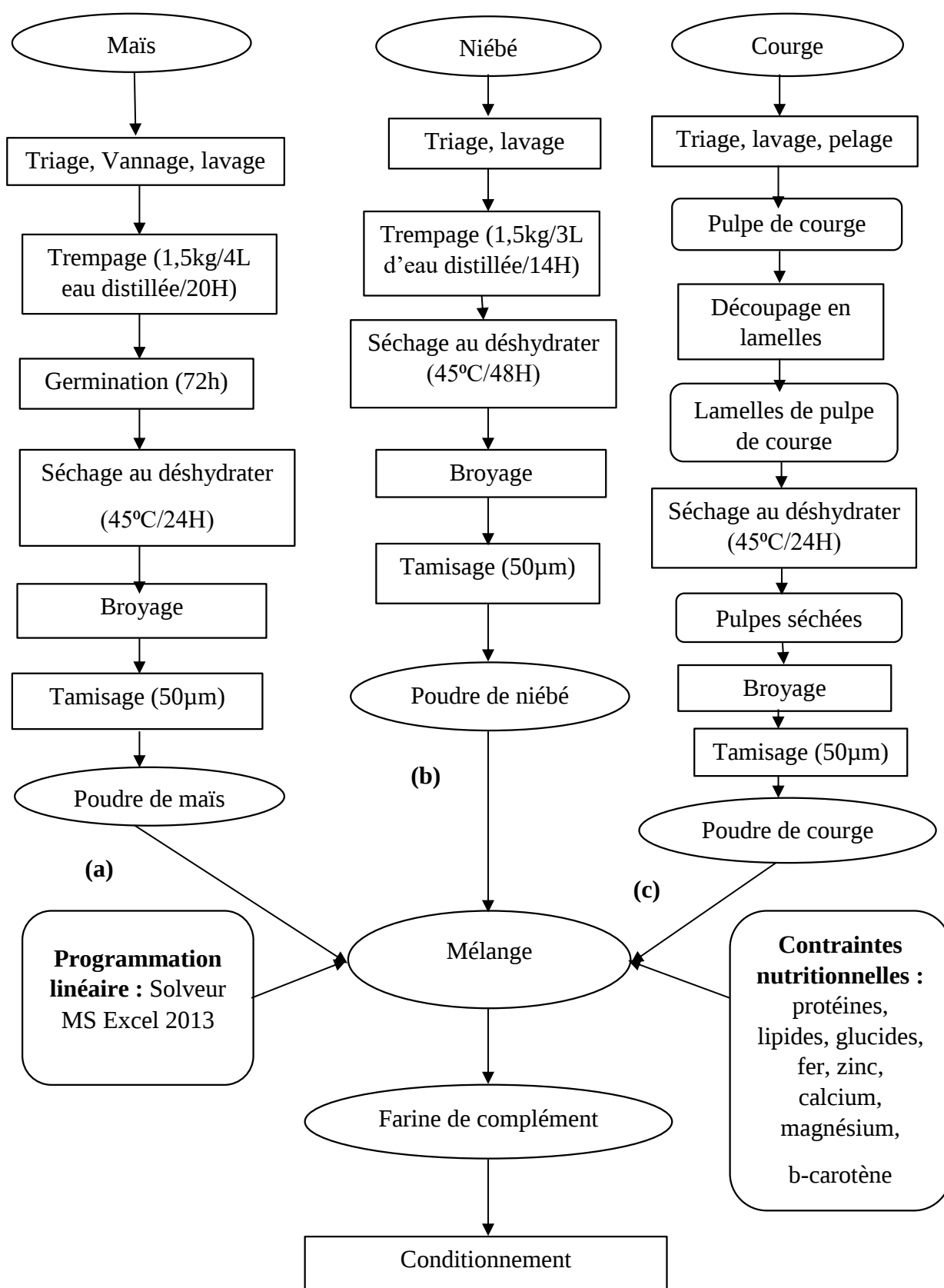


Figure 2 : Diagramme modifié d'obtention des poudres de maïs (a), de niébé (b) et de courge (c) et de formulation des farines de complément [Trèche, (1995) ; Gossy, (2016) ; Xiao et al. (2021)]

➤ **Triage**

Le triage consiste à se débarrasser des grains cassés, moisis, des fruits immatures, des débris végétaux et des petits cailloux. Pour cela, le vannage de maïs et de niébé a été réalisé. Par la suite, les différentes matières premières ont été étalées sur un plateau à fond clair, puis triées manuellement pour se débarrasser des petits cailloux, des grains moisis, pourris, déformés, troués et attaqués par les insectes. Les grains sains et propres ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance dans le but d'avoir une masse précise pour la production d'une quantité précise des farines. Ces derniers ont été ensuite lavés à l'eau propre et trempés.

➤ **Trempage**

Pour s'assurer de la réduction des facteurs antinutritionnels (phytates, tanins) contenus dans les grains, il était nécessaire de tremper les grains de maïs (pendant 20h) et de niébés (pendant 14h) dans de l'eau distillée. Le trempage permet également aux enzymes endogènes d'hydrolyser les oligosaccharides afin que les grains mobilisent les substances de réserves au cours de la germination.

➤ **Germination**

Elle a été réalisée dans un tissu en coton, les grains de maïs après trempage ont été égouttés puis emballés dans des tissus en coton et placés à l'abri de la lumière pendant 72h où les grains de maïs ont totalement germé. Notons que la germination permet de réduire au maximum les antinutriments, d'améliorer la texture des bouillies et d'augmenter la densité énergétique des grains de maïs.

➤ **Pelage et découpage**

Le pelage consiste à ôter la peau de la courge pour avoir les pulpes. Ces dernières ont été ensuite découpées en lamelles à l'aide d'une râpeuse afin d'être séchées.

➤ **Séchage**

Après germination, les grains de maïs germés ont été séchés au déshydrater à 45°C pendant 24h, quant aux grains de niébé, ils ont été séchés à 45°C pendant 48h après égouttage et les lamelles de pulpe de la courge ont été séchées après découpage à 45°C pendant 24h. Notons que le séchage permet d'éliminer par vaporisation l'eau qui imprègne nos grains et fruits afin d'obtenir des aliments solides, secs et facile à broyer.

➤ **Broyage**

Le broyage consiste à moudre les grains de maïs, de niébés et les lamelles de pulpes séchées de courges afin d'obtenir les différentes poudres. Il s'est fait à l'aide d'un broyeur.

➤ **Tamisage**

Le tamisage était immédiat et les poudres sont tamisées avec un tamis de maille 250 μm . Il permet d'éliminer les résidus de grains et de peau qui ne sont pas fins.

➤ **Conditionnement**

Le conditionnement consistait à conserver la farine emballée dans les sachets en plastique polyéthylènes puis dans un environnement sec et propre.

II-2.3 Formulation des farines

La formulation a été faite à l'aide de la programmation linéaire du complément solveur du logiciel Excel. La programmation linéaire est une méthode mathématique qui sert à trouver la meilleure solution possible à un ensemble d'équations et inéquations linéaires à l'aide du solveur du logiciel Excel. En effet Appliquée à la nutrition, elle permet de résoudre un problème mathématique complexe : identifier des combinaisons d'aliments qui respectent un ensemble de recommandations nutritionnelles (**Darmon et Moy, 2008**). Ainsi Trois (03) formules ont été retenues sur dix (10) pour le mélange des ingrédients (EF1, EF2 et EF3).

Notons qu'il est nécessaire en formulations alimentaires de déterminer la composition des ingrédients utilisés, y compris la quantité et la composition des macronutriments, puis de procéder à des tests sensoriels pour déterminer la qualité organoleptique l'aliment (**Jariyah et al., 2017**).

Principe :

L'exercice consiste, à partir d'une table de composition nutritionnelle des aliments (et éventuellement de leur prix), à sélectionner une combinaison de ceux-ci respectant un ensemble de contraintes. Les combinaisons d'aliments obtenues peuvent ainsi constituer un repas, un panier, une série de repas ou menu journalier. Les contraintes introduites dans les modèles sont de deux types :

- La composition nutritionnelle de chaque ingrédient alimentaire ;
- Des contraintes sur les nutriments et certain ingrédient alimentaire.

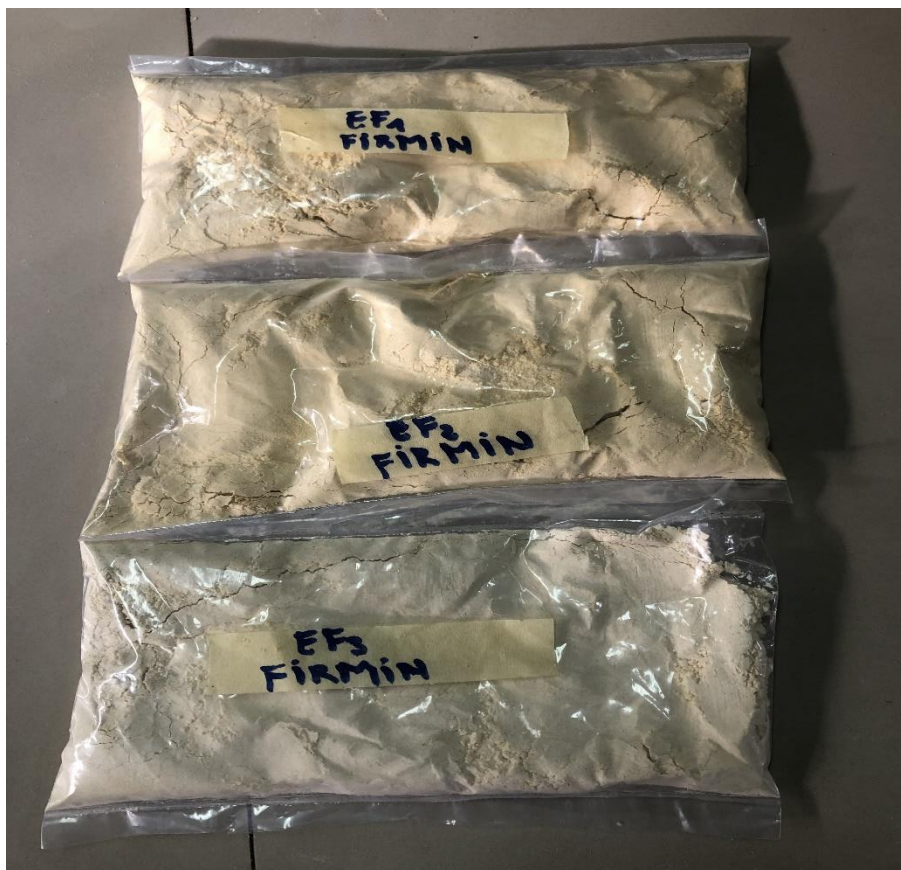
Les contraintes suivantes : protéine, glucide, lipide, fibres, fer, zinc et calcium ont été utilisées, ce qui a permis de ressortir trois (03) formules présentées dans le tableau V ci-dessous :

Tableau V : Formules obtenues pour les farines infantiles

Formules de farine	Ingrédients et quantités en g			Compositions nutritionnelles								
	Maïs	Niébé	Courge	Energie (k cal)	Glu (g)	Lip (g)	Prot (g)	β-car (μg)	Fibres (g)	Ca (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)
EF1	50,54	54,66	89,69	427	81,3	2,9	18,8	1804	1,66	30,6	4,0	3,4
EF2	54,32	50,26	102,5	430,7	82,5	3,1	18,2	2060	1,52	32,2	4,0	3,29
EF3	80,0	40,0	30,0	451,6	86,5	3,9	17,51	608	1,21	24,28	4,40	3,38
Normes (IRD/UNICEF, 2020)				≥ 400	≥ 68	≤ 7	≥ 13	≥ 140	≤ 5	≥ 250	≥ 7	≥ 0,8

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3, Glu : Glucides ; Lip : Lipides ; Prot : Protéines, β-Car : β-Carotènes ; Ca : Calcium ; Fe : Fer ; Zn : Zinc

Les données obtenues ont été exploitées pour mélanger les différents ingrédients. Puis s'en est suivi du conditionnement des produits finis dans les emballages adéquats (sachets en plastiques) et placé dans un dessiccateur en attente de leur analyse sensorielle et leur caractérisation. La photographie 3 nous montre un aperçu des différentes farines formulées (EF1, EF2 et EF3) :



Photographie 3 : Les farines formulées (EF1, EF2 et EF3) (Djikouloum, dans cette étude)

II-2.4 Caractérisation des farines formulées

II-2.4.1 Analyse sensorielle

Selon NF ISO 5492, (2008) l'analyse sensorielle se définit comme « l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes de sens ». L'objectif de ce test était d'évaluer le profil sensoriel (couleur, odeur, goût, texture) des trois farines formulées à base de maïs, de niébé et de courge ; produites suivant un procédé standard selon un degré d'appréciation afin d'établir un classement des différentes farines et d'en déduire la plus appréciée.

➤ Préparation des bouillies

Des essais préliminaires avec des dégustateurs (non entraînés) ont été faits et ont permis de retenir la préparation de 100g de farine pour 700ml d'eau potable. Cette quantité prend en compte la consistance de la bouillie. La cuisson a duré 5 minutes sur feu doux de gaz à butane.

➤ Test sensoriel

La connaissance du profil sensoriel d'un nouvel aliment est importante. Pour cela, les bouillies préparées à base des farines formulées ont été soumises à un test hédonique puis de

préférence basée sur le gout, l'odeur, la couleur et la texture évalué sur une échelle à 7 niveaux allant de très déplaisant à très plaisant. Un panel de 60 personnes à majorité constitué de femmes ayant déjà accouché a été recruté pour la réalisation de l'exercice selon **AFNOR, (2000)**. Le critère d'inclusion pour participer à cet exercice était de consommer tous les ingrédients impliqués dans les farines proposées. La photo 2 ci-dessous montre un aperçu des trois bouillies préparées à base des farines formulées (EF1, EF2 et EF3).



Photographie 4 : Présentation des bouillies préparées à base des farines formulées (EF1, EF2 et EF3) (Djikoloum, dans cette étude)

II-2.4.2 Analyses nutritionnelles

II.2.4.2.1 Teneur en eau et en matière sèche

La matière sèche est l'ensemble des substances qui ne se volatilisent pas dans les conditions de dessiccation. Elle est déterminée par la méthode de l'**A.O.A.C. (1990)**.

Principe :

La détermination de la teneur en matière sèche (%MS) est basée sur la perte en masse des échantillons après étuvage à 105°C, par vaporisation complète de l'eau libre et de la matière volatile et obtention d'une masse constante. Elle a été effectuée par la méthode d'**A.O.A.C. (1990)**.

Mode opératoire :

Dans une nacelle de poids **M0**, environ 2 g de chaque poudre des échantillons ont été introduit et le poids **M1** de l'ensemble était déterminé. L'ensemble constitué de la masse de la nacelle et de l'échantillon est mis à sécher dans une étuve à 105°C pendant 24h. Les pesées ont régulièrement été faites jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Le résidu sec a été refroidi dans l'atmosphère d'un dessiccateur contenant le P2O5 comme desséchant pendant 1h et pesé (M2). Le pourcentage en masse d'eau est obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{M1-M2}{M1-M0} \times 100$$

$$\text{Teneur en MS (\%)} = 100 - TE$$

Avec :

M0 : masse de nacelle ; M1 : masse des nacelles plus l'échantillon avant séchages ; M2 : masse de l'ensemble échantillon plus nacelle après séchage ;

II-2.4.2.2 Teneur en lipides totaux

La teneur en lipides représente la totalité des corps gras extraits. Les lipides ont été extraits au Soxhlet selon la méthode russe décrite par **Bourelly, (1982)**.

Principe :

L'extraction est basée sur la solubilité différentielle des lipides dans les solvants organiques (hexane ou éther de pétrole). Elle se fait à chaud au Soxhlet pendant une durée de 12 heures environ. Après cette opération, le solvant qui imbibe le résidu d'extraction est éliminé par séchage à l'étuve. La différence de poids permet d'évaluer la teneur en lipides.

Mode opératoire :

Une masse d'environ 2g de chaque poudre des échantillons préalablement séché à l'étuve à 105°C pendant 2h environ, est introduite dans un papier filtre Whatman N°1 de poids **M0** et le poids de l'ensemble est **M1**. L'ensemble est introduit dans l'extracteur du Soxhlet. L'extraction de l'huile s'est effectuée avec l'hexane pendant 12 heures, la cartouche est récupérée et séchée à l'étuve à 105°C pendant 20 minutes puis pesé à nouveau pour obtenir **M2**. La teneur en huile a été calculée par différence de poids du sachet avant et après l'extraction complète des lipides.

La teneur en huile, H pour 100g d'échantillon est donnée par la formule suivante :

$$H = \frac{M1-M2}{M1-M0} \times 100$$

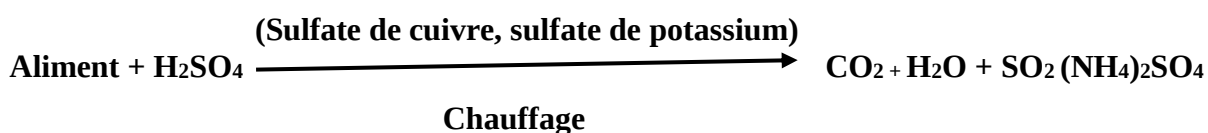
Avec : **M0** : Cartouche vide (g) ; **M1** : Cartouche renfermant la prise d'essai avant son traitement (Cartouche + prise d'essai (g)) ; **M2** : Cartouche et prise d'essai après extraction d'huile(g).

II-2.4.2.3 Teneur en protéines totales

L'azote total a été déterminé après minéralisation des échantillons selon la méthode de Kjeldahl (AFNOR, 1984), et dosage selon la technique colorimétrique de Devani *et al.* (1989). Le coefficient conventionnel de conversion (6,25) de l'azote en protéines a été utilisé pour convertir le taux d'azote en teneur en protéines (AOAC, 1980).

Minéralisation :

La minéralisation selon Kjeldahl consiste à détruire toute la substance organique contenue dans la denrée alimentaire par l'acide sulfurique concentré en présence du catalyseur de minéralisation Dumazert (Merck), ce qui fait passer l'azote de la forme organique à la forme minérale. Pour cela, 0,5g d'échantillon (M), 5 ml H₂SO₄ concentré et une pincée de catalyseur de minéralisation ont successivement été introduits dans un matras de minéralisation et chauffé pendant 6h sur une rampe de minéralisation jusqu'à obtention d'une solution limpide. Après refroidissement, le minéralisât a été récupéré dans une fiole jaugée et son volume complété à 50 ml avec de l'eau distillée.



Principe :

Le dosage colorimétrique de l'azote selon Devani *et al.* (1989) utilise la réaction de Hantzsch. C'est une méthode basée sur la réaction de l'ammoniac avec l'acétylacétone et le formaldéhyde en milieu aqueux pour donner un produit jaune ; le 3,5-diacétyl-1,4-dihydrolutidine.

La formule suivante a été utilisée pour déterminer la teneur en protéines totales dans nos échantillons exprimés en g/100g MS. Le coefficient conventionnel de conversion de l'azote en protéines utilisé est de 6,25 (FAO/WHO, 1978):

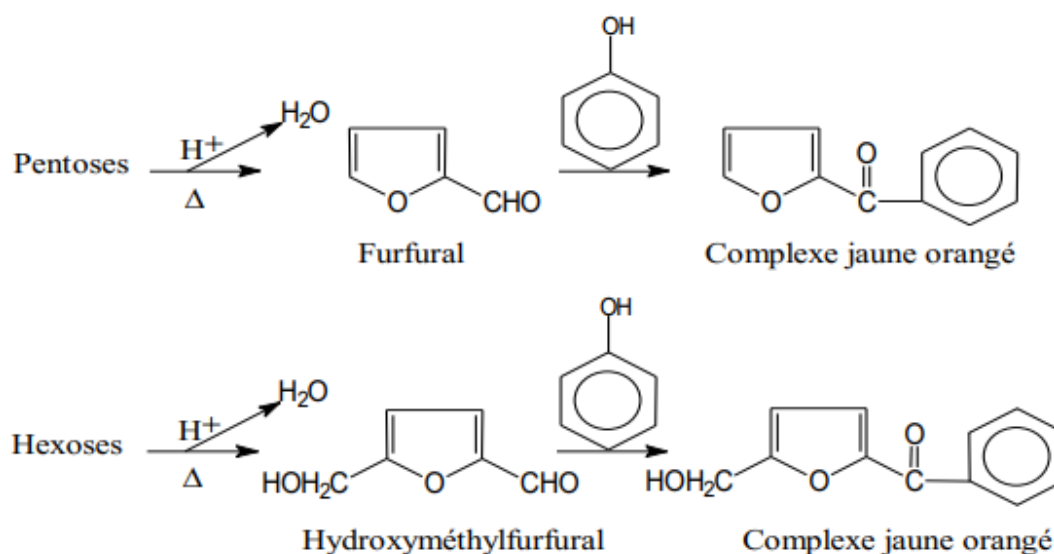
$$\text{Teneur en protéine} = 6,25 \times X \text{ (g/100g MS)}$$

II-2.4.2.4 Teneur en sucres totaux

La composition en sucres totaux dans l'aliment a été déterminée par la méthode de dosage colorimétrique selon **Dubois et al. (1956)**.

Principe :

Sous l'action d'acide concentré et à chaud, les hexoses et pentose du milieu subissent une déshydratation interne poussée, suivie d'une cyclisation aboutissant à la formation de dérivés du furfural et l'hydroxyméthylfurfural, l'hydroxyméthyl réagit avec le phénol pour donner un chromophore absorbant à 490 nm, selon les réactions suivantes :



Mode opératoire :

Environ 0,5 g de notre échantillon (farine) a été pesé et introduit dans un tube à essai, auquel on a ajouté 10 mL d'acide sulfurique 1,5 N, puis chauffé l'ensemble au bain marie bouillant pendant environ 15 min. Après refroidissement dans un bain froid on y a ajouté 10 mL d'éthanol 70%, puis 0,5mL de sulfate de zinc et 0,5mL de Ferrocyanure de potassium. Le mélange a été filtré puis le volume complété à 50mL avec de l'eau distillée. Ensuite, 0,5mL de

l'extrait brut ont été prélevés, on y a ajouté 9mL d'eau distillée, puis 1mL de phénol aqueux 5%, et 5mL d'acide sulfurique concentré 98%. L'ensemble a été porté au bain marie à 30°C pendant 20min. La DO du mélange s'est lue à 490 nm contre un blanc.

Expression des résultats :

La quantité de sucres totaux (ST) de chaque prise d'essai est déterminée en se reportant sur la courbe d'étalonnage d'équation de régression :

$$ST = \frac{100 \times QVt}{mV(100 - MS)}$$

Soient : **Q** : la Quantité de sucre dans la prise d'essai ; **Vt** : le volume total de l'extrait ; **m** : la prise d'essai en g ; **V** : le volume d'échantillon analysé ; **MS**: Matière sèche.

II-2.4.2.5. Valeur énergétique

La valeur énergétique a été calculée à l'aide des facteurs de conversion d'Atwater, selon la méthode proposée par **Livesey et Elia, (1995)**.

$$\text{Valeur énergétique} = (\text{teneur en glucides} \times 4) + (\text{teneur en lipides} \times 9) + (\text{teneur en protéines} \times 4)$$

II.2.4.2.6 Teneurs en fibres brutes

La teneur en fibres brutes dans les échantillons a été déterminée par la méthode **A.O.A.C, (1980)**.

Principe :

Il consiste à traiter l'échantillon à ébullition par l'acide sulfurique ensuite par la soude. Le résidu obtenu est séché puis calciné et pesé.

Mode opératoire :

Dans un bécher de 250 mL, ont été introduits 0,5 g (M1) d'échantillon de farine et 25 mL d'acide sulfurique 0,255N. L'ensemble a été porté au bain-marie à 97,5°C pendant 30 minutes La suspension a été filtrée, le résidu a été récupère dans 25 mL de NaOH 0,313 N et chauffé à nouveau pendant 30 minutes Le mélange obtenu a été filtré. Le résidu obtenu a été

lavé trois fois dans 30 mL d'eau distillée puis deux fois dans 20mL d'acétone et récupéré dans un creuset préalablement taré et séché à l'étuve à 105°C (M2). Après 8h, le creuset a été placé au dessiccateur pour refroidissement puis le résidu a été pesé enfin calciner dans un four à moufle à 550°C pendant 3h (M3). La teneur en fibre a été déterminée à partir la formule suivante :

$$\% \text{ Fibres brutes} = \frac{M2 - M3}{M1} \times 100$$

Avec : M1 (g) : Masse en gramme de la prise d'essai ; M2 (g) : Masse en gramme du résidu séché à 105°C ; M3 (g) : Masse en gramme des cendres obtenues après incinération.

II-2.4.2.7 Teneur en cendres

La teneur en cendres a été déterminée par la méthode **A.O.A.C, (1990)**.

Principe :

Il s'agit d'une incinération de l'échantillon de masse connue, jusqu'à obtention des cendres. La masse de cendres obtenue nous a été utilisée pour déterminer la teneur en cendres.

Mode opératoire :

Exactement 0,5 g de farine (**M2**) a été introduit dans un creuset en porcelaine, préalablement conditionné au four à cendre à 550°C pendant 2h et pesé (**M0**). L'ensemble a été placé dans un four à 550°C pendant 24h. Après on a retiré le creuset contenant les cendres du four à l'aide d'une pince, puis l'ensemble refroidi dans un dessiccateur et la masse (**M1**) du creuset et le % en cendres est déterminée par la formule :

$$\% \text{ Teneur en cendres} = \frac{M0 - M1}{M2} \times 100$$

Avec : **M0** = Masse de la prise d'essai incinéré + Creuset ; **M1**= Masse du creuset ; **M2**= Masse prise d'essai(g).

II-2.4.2.8 Détermination des teneurs en minéraux

La détermination des minéraux (Fe, Zn, Ca et Mg), a été faite selon la méthode décrite par **Horwitz, (2000)**.

Principe :

L'analyse des minéraux dans les échantillons implique la séparation des minéraux de la matrice de l'échantillon par digestion humide de la matière organique. Les minéraux séparés sont dilués dans de l'acide et leur teneur est déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Traitement des échantillons

Une masse de 0,5 g de farine a été pesée et introduite dans un tube à digestion de Kjeldhal, 30 ml du mélange acide nitrique HNO₃ concentré (65 %) / acide perchlorique HClO₄ (70 %) dans les proportions 2/1 y ont ensuite été ajoutés. Le tube fermé a été laissé à température ambiante pendant près de 12h pour une prédigestion de l'échantillon. Le tube a ensuite été porté dans le bloc de digestion et la température a été élevée progressivement jusqu'à 160° C et maintenue ainsi jusqu'à ce que le volume de la solution dans le tube soit réduit de moitié (40 min environ). La température a ensuite été réglée à 210 °C et maintenue jusqu'à l'obtention des fumées blanches de HClO₄ et une présentation incolore de l'extrait (20 min environ). Après le refroidissement du tube, son contenu a été filtré à l'aide du papier filtre Whatman N°54 et le filtrat a été ajouté à 15 ml d'eau désionisée, le volume final du filtrat ainsi dilué a été ensuite relevé.

➤ **Analyse du calcium et du Magnésium**

Pour la détermination de la teneur en Ca, Mg dans chaque échantillon, une dilution (5 fois) du filtrat obtenu précédemment a été réalisée dans une solution de chlorure de lanthanum 0,25 %. Les teneurs en Ca ont été déterminées à 422,7 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer 5100 PC) muni d'une lampe à cathode creuse (P809), contre un blanc constitué d'eau désionisée. La teneur en Ca a été déterminée par l'expression suivante :

$$Ca, Mg \left(\frac{mg}{100g} \right) = \frac{(Co) \times \text{volume total (mL)} \times \text{facteur de dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

Avec : **C0** = Concentration de l'élément en mg/l dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage, **1000** = conversion du ml en l.

➤ **Analyse du fer et du zinc**

Un aliquot de filtrat obtenu précédemment a été davantage dilué dans de l'eau distillée. Les teneurs en ces différents minéraux ont été déterminées à 248,3 nm (Fe), 213,9 nm (Zn) à l'aide

d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer 5100 PC) muni d'une lampe à cathode creuse (P809), contre un blanc constitué d'eau désionisée. La droite d'étalonnage est réalisée à partir des valeurs de l'absorbance des solutions de ces différents minéraux. La teneur en Fe et Zn est donnée par l'expression :

$$Fe, Zn \left(\frac{mg}{100g} \right) = \frac{(Co) \times \text{volume total (mL)} \times \text{dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

Avec : **C0** = Concentration de l'élément en mg/l dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage, **1000** = conversion du ml en l.

II.2.4.2.9 Dosage des caroténoïdes totaux

Il a été fait selon la méthode décrite par **Wolff. (1968)**.

Principe

Elle est basée sur la présence dans leur structure d'une séquence multiple de doubles liaisons qui absorbent la lumière entre 440 et 490 nm.

Dosage

Un gramme (1g) d'échantillon est trituré dans l'éther de pétrole. La solution est récupérée dans une fiole de 20 ml et complétée au trait avec de l'éther de pétrole. L'absorbance est déterminée entre 440 et 490 nm au spectrophotomètre. La cuve témoin est remplie d'éther de pétrole. On procède à des dilutions pour obtenir une absorbance entre 0,20 et 0,80.

Expression des résultats

La quantité de carotène (exprimée en β -carotène) en mg / 100 g de produit (QC) est donnée par la formule :

$$QC = \frac{\epsilon}{2650} \times 105$$

ϵ = coefficient d'extinction spécifique de la solution de concentration en g/ 100 ml à son maximum d'absorption. Avec $\epsilon = DO/C \times l$ Où, DO est la densité optique lue ; l est l'épaisseur de la cuve et C la concentration en g de produit/100 ml d'acétone.

II.2.4.2.10 Dosage de la vitamine C

➤ Extraction de la vitamine C

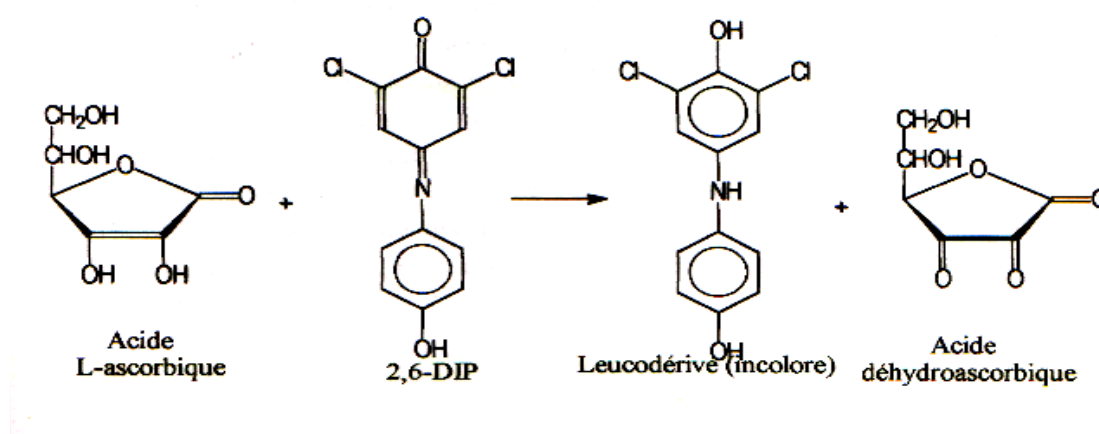
Cinq (5) grammes d'échantillon ont été triturés pendant 5 minutes dans un mortier en présence d'une pincée de sable de Fontainebleau et 10 ml d'acide acétique 90% (v/v). Par la suite 5 ml d'eau distillée ont été ajoutés. Le surnageant a été filtré et récupéré dans une fiole de 50 ml. L'opération est répétée trois fois avec 10 ml d'acide acétique 90%. Le volume de la fiole a été complété avec l'acide acétique 90 % afin d'obtenir l'extrait.

➤ Dosage de la vitamine C par la méthode au 2, 6 Dichlorophénol indophénol

Le dosage de la Vitamine C a été fait par la méthode titrimétrique de **Harris et Ray. (1935)**.

Principe

La méthode est basée sur la décoloration (réduction) du 2,6 dichlorophénol indophénol à $\text{pH} < 3$. La solution de 2,6 dichlorophénol indophénol (2,6 DCIP) bleue au départ devient rose en milieu acide. Pendant la titration avec une solution d'acide ascorbique, elle est réduite en une leuco base incolore et en même temps l'acide ascorbique est oxydé en acide déhydroascorbique. Cette méthode qui exploite les propriétés réductrices de la vitamine C ne permet donc que le dosage de l'acide ascorbique et non l'acide déhydroascorbique. En effet en milieu acide ou neutre, c'est à dire sous l'influence des oxydants, il y a ouverture de la double liaison C=C et formation d'une α – dicétone.



Equation de la réaction de l'acide ascorbique avec le 2,6 DCIP

Mode opératoire :

0,5g de poudre de chaque échantillon a été pesée et introduit dans un bécher contenant 10mL d'acide acétique 90%, puis mélanger et filtré. Le filtrat obtenu a été introduit dans une fiole jaugée de 20mL et ajuster au trait de jauge avec l'acide acétique 90%. Dans le filtrat

obtenu, 10mL sont prélevé puis y ajouter 1mL d'acide acétique glacial et titrer avec une solution de DCPIP jusqu'à virement au rose. La teneur en vit C est calculée suivant la relation :

$$\text{Vit C (mg)} = \frac{T - B1}{St - B1}$$

Avec : **Vit C** (mg/100mL) = teneur en vit C ; **T**= volume de l'extrait ; **B1**= volume du blanc ; **St**= volume standard ; le DCPIP est utilisé pour titrer.

II.2.4. 3 Détermination des composés antinutritionnels

II.2.4.3.1 Dosage des tanins

Les tanins totaux ont été évalués selon la méthode spectrophotométrique modifiée de **Porter et al., (1986)** et améliorée par **Ndhlala et al. (2007)**.

Principe :

Il repose sur la complexation des tanins par le réactif ferrique en milieu alcoolique acide, donnant une coloration rouge qui absorbe à 550nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en tanins dans l'échantillon. L'acide gallique a été utilisé comme standard.

Préparation des extraits :

Dans un erlenmeyer de 50mL ont été introduits 0,125g d'échantillon et 2,5mL d'éthanol 96%. Après 30min d'agitation et filtration à l'aide du papier (Whatman N°1), le mélange a été centrifugé à 3000tr/min pendant 10min. Le surnageant a été recueilli et utilisé pour le dosage des tanins.

Mode opératoire :

Exactement 0,5 mL d'extrait, 3mL de réactif n-butanol-HCL dans les proportions 95 :5 et 0,1mL de réactif ferrique (sulfate d'ammonium ferrique 2% dans du HCL 2N) ont été mélangé dans un tube à essai. Le mélange a été agité et incubé dans un bain marie à 100°C pendant 1h. L'absorbance a été lue à 550nm pour chaque échantillon contre un blanc réalisé en faisant un mélange similaire sans incubation.

La formule ci-dessous a été utilisée pour calculer la teneur en tanins exprimée en mg équivalent leucocyanidine /100g de matière sèche.

$$\text{Teneur en Tanins} = \frac{A_{550} \times ML}{100 - \%Rd}$$

Avec : **A550** = absorbance de l'échantillon à 550nm ; **ML** = masse moléculaire du leucocyanidine (78,26) ; **Rd** = rendement d'extraction.

II.2.4.3.2 Détermination de la teneur en phytates

La détermination de la teneur en phytates du haricot a été faite par la méthode décrite par **Olayeye et al., (2013)**

Principe :

Il repose sur la propriété des phytates à former des complexes stables et insolubles avec les ions ferriques en solution à pH acide, où la source de phosphore est l'acide phytique.

Préparation des extraits :

Une masse d'environ 2 g de chaque poudre a été pesée et introduite dans un bécher, et 100 ml de HCl à 2 % ont été ajoutés. L'ensemble a été vigoureusement agité à l'aide d'un agitateur magnétique et laissé reposer pendant 3 h, ensuite le mélange obtenu a été filtré.

Procédure :

Un volume de 25 ml du filtrat a été prélevé et introduit dans une fiole de 250 ml, puis 5 ml de solution de thiocyanate d'ammonium à 0,3 % (comme indicateur coloré) et 53,5 ml d'eau distillée ont été ajoutés au mélange pour obtenir l'acidité désirée. La solution obtenue a été titrée avec une solution étalon de chlorure de fer III (0,001 95 g de fer par ml) jusqu'à obtention d'une couleur jaune brunâtre persistante pendant 5 minutes. La teneur en phytates a été calculée comme suit :

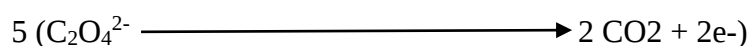
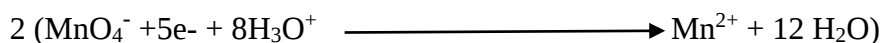
$$\text{Teneur en phytates} = \text{valeur du titre} \times 0,00195 \times 1.19 \times 100$$

II.2.4.3.3 Dosage des oxalates

La teneur en oxalates contenu dans les poudres a été déterminée par la méthode de **Aina et al. (2012)**.

Principe :

En présence de l'acide sulfurique et à chaud, l'acide oxalique est oxydé par le permanganate de potassium suivant la réaction :



L'oxydation de l'acide oxalique est marquée par le virage de la solution de l'incolore au rose persistant pendant quelques secondes marquant la fin de la réaction.

Mode opératoire :

Environ 0,25g de poudre a été pesée puis introduite dans un erlenmeyer contenant 19mL d'une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) 3M. Le mélange fut agité pendant 1H puis filtré. 6,25mL du filtrat obtenu fut prélevé et chauffé dans un bain marie thermolaté jusqu'à obtention d'une température comprise entre 80-90°C. Dès cet instant, la solution a été maintenue en tout temps à une température au-dessus de 70°C. Puis la solution chaude (échantillon) a été titrée en continue avec une solution de permanganate de potassium 0,05M jusqu'à obtention d'une coloration rose pâle persistante pendant 15s. La teneur en oxalate a alors été calculée en prenant 1mL de permanganate de potassium (KMnO_4) 0,05M comme équivalent à 2,2mg d'oxalate.

Teneur en Oxalates = volume titre $\times$ 2,2 mg $\times$ 100

II.2.4.3.4 Dosage des saponines

La détermination de la teneur en saponines des poudres a été réalisée par la méthode de **Obadoni et al. (2001)**.

Principe :

Il repose sur la solubilité différentielle des saponines dans un milieu basique comparé à d'autres antinutritionnels.

Mode opératoire :

Environ 2g de poudre (Mo) sont prélevés et introduits dans un erlenmeyer contenant 50mL d'éthanol à 20%. Le mélange est soumis à l'agitation magnétique pendant 30min, puis chauffé dans un bain marie à 55°C pendant 4h et filtré. L'opération est répétée deux fois. Les filtrats sont combinés puis le volume réduit à 40mL par chauffage dans un bain marie à 90°C. Le concentrat est transféré dans une ampoule à décanté et 20mL d'éther de diéthyl est ajouté et agité vigoureusement. La phase éther supérieure est séparée de la phase aqueuse inférieure. Cette phase aqueuse est réintroduite dans l'ampoule à decanter avec 60mL de n-butanol mélangé ; la phase inférieure est jetée et la phase supérieure est rincée deux fois avec 10mL de NaCl aqueux à 5%. La solution restante est collectée et concentrée dans un bain marie avant séchage à l'étuve à température constante de 40°C. Le résidu obtenu (M1) est pesé et la concentration en saponine est calculée en utilisant l'équation :

$$\text{Teneur en Saponines \%} = \frac{M0}{M1} \times 100$$

II-2.4.4 Caractéristiques techno-fonctionnelles

II-2.4.4.1 Capacité d'absorption en eau des échantillons de farine (CAE)

La capacité d'absorption en eau des échantillons de farines a été déterminée par la méthode décrite par **Phillips et al. (1988)**

Une quantité d'un (1) gramme de farine est pesée par échantillon et introduite dans un tube à centrifugeuse. Trois (3) essais, pour chaque type de farine, ont été réalisés. Les tubes contenant les farines ont été pesés et les masses sont notées (me). Ensuite, une quantité de dix (10) mL d'eau a été ajoutée dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 minutes.

Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 minutes à 5000 trs/min grâce à une centrifugeuse JOUAN, (N° série 39707312, N° Réf. 11174301). Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses notées (me'). La capacité d'absorption d'eau pour chaque échantillon est déterminée selon la formule suivante :

$$CAE = (me' - me) \times 100 / PE$$

Avec : **me** : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation ; **me'** : Nouvelle masse du tube contenant la farine après centrifugation ; **PE** : Prise d'essai.

II-2.4.4.2 Indice de gonflement des échantillons de farines (IG)

L'indice de gonflement des échantillons de farines a été déterminé par la méthode décrite par **Gujral et Rosell. (2014)**.

Pour chaque échantillon, une quantité de quinze (15) grammes de farine est pesée (**m**) et introduite dans une éprouvette graduée (en plastique). La farine de chaque éprouvette est tassée et le volume est lu (**v**). La densité en bloc est déterminée selon la formule suivante :

$$IG = m / v$$

Avec : **m** : Masse (g) de la farine introduite dans l'éprouvette ; **v** : Volume occupé (cm³) par la farine dans l'éprouvette.

II-2.4.4.3 Détermination de la capacité d'absorption d'huile (CAH)

Selon **Beuchat (1977)**. Une quantité de farine 0,5g (**M₀**) est mélangée à 5 ml d'huile. L'ensemble sera vigoureusement agité et centrifugé à 3500 trs/mn pendant 30 mn à l'aide d'une centrifugeuse TD4. Le culot est récupéré et noté (**M₁**). La CAH est exprimée comme la masse d'huile retenue par 100g de farine par la formule suivante :

$$CAH (\%) = [(M_1 - M_0) / M_0] \times 100$$

II-2.4.5 Analyses statistiques

Les résultats ont été analysés par le logiciel IBM/SPSS 25.0 pour Windows 10 en utilisant le test *ANOVA* suivi d'un test *post-hoc tukey* (analyses sensorielles) et T-test pour échantillon indépendant (analyses nutritionnelles) pour comparer les moyennes. Ils ont été présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type avec un seuil de significativité de 5%. Le logiciel Microsoft Office Excel 2013 a été utilisé pour les représentations graphiques et son complément solveur pour déterminer les quantités des ingrédients pour la formulation.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1 Analyse sensorielle des bouillies

Pour être consommé, un produit alimentaire doit posséder un goût, une texture, une saveur, une couleur attrayante et une acceptabilité générale améliorée. Le tableau VI présente les résultats de l'analyse sensorielle des farines fabriquées à partir de maïs, de niébé et de courge.

Tableau VI : Scores des paramètres sensoriels des bouillies préparées à base des farines formulées (EF1, EF2 et EF3)

Échantillons	EF1	EF2	EF3
Couleur	5,27±1,25 ^b	5,45±1,41 ^c	5,17±1,44 ^a
Odeur	4,53±1,42 ^a	4,62±1,42 ^b	4,73±1,48 ^c
Texture	5,12±1,40 ^a	5,30±1,20 ^b	5,55±1,16 ^c
Goût	3,95±1,58 ^a	4,32±1,73 ^c	4,03±1,70 ^b
Acceptabilité générale	4,55±1,46 ^a	4,78±1,42 ^c	4,73±1,68 ^b

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

Les résultats de cette analyse effectuée sur les bouillies EF1, EF2, EF3 présentent une différence significative entre eux pour les qualités organoleptiques qui ont été investiguées, à savoir : la couleur, la texture, l'odeur, le goût et l'acceptabilité générale.

❖ Couleur

La Couleur est une sensation qui résulte de l'impression produite sur l'œil par une lumière émise par une source, les résultats de la couleur variaient de 5,17 à 5,45 (5,27 pour la bouillie EF1 ; 5,45 pour la bouillie EF2 et 5,17 pour la bouillie EF3) sur une échelle allant de 1 à 7. Ceux-ci ont présenté une différence significative ($p > 0,05$). Le meilleur score a été détenu par l'échantillon EF2 (5,45). Ceci pourrait être dû à une forte présence de la courge dans la bouillie EF2, responsables de cette couleur jaune.

❖ Odeur

L'odeur est le produit olfactif de l'émission des composés volatils présents dans certaines matières. Pour ce critère, les résultats allaient de 4,53 à 4,73. Les échantillons EF1, EF2 et, EF3

ont présenté une différence significative ($p < 0,05$). Le meilleur score a été celui de l'échantillon EF3 (4,73), ceci pourrait être expliqué par la forte quantité de maïs malté (70%) qui donne une odeur aromatique.

❖ Texture

La texture est une caractéristique visuelle ou tactile de la surface et l'apparence de quelque chose. Elle est la résultante d'une certaine teneur en eau et en lipides favorisant la tendreté ou la dureté des plats (**Banureka et Mahendran, 2009**). Elle inclut aussi la lourdeur de la bouillie encore appelée la consistance. Ici, les résultats de la texture variaient entre 5,12 et 5,55 (5,12 pour la bouillie EF1 ; 5,30 pour la bouillie EF2 et 5,55 pour la bouillie EF3) sur une échelle allant de 1 à 7. Ceux-ci ont présenté une différence significative ($p > 0,05$) et le meilleur score a été attribué à la bouillie EF1. Cela pourrait être expliqué par la quantité de maïs malté dans cette formulation.

❖ Goût

Le goût est défini comme étant une saveur particulière plus ou moins agréable, captée par les papilles gustatives de la bouche. Ici, les résultats pour ces bouillies variaient de 3,95 à 4,32 (3,95 pour la bouillie EF1; 4,32 pour la bouillie EF2 et 4,03 pour la bouillie EF3) sur une échelle de 1 à 7. Ceux-ci avaient présenté des différences significatives ($p < 0,05$) et le meilleur score a été attribué à la bouillie EF2 (4,32). Ceci pourrait s'expliquer par la forte quantité de courge dans cette bouillie (102,5g), mais aussi par la présence de maïs (54,32g) qui lui a donné un goût plus sucré pouvant affecter l'appréciation d'un individu à l'autre.

❖ Acceptabilité générale

Concernant l'acceptabilité générale de nos différentes bouillies, nous avons noté des différences significatives entre les différentes bouillies ($p < 0,05$). Son score pour nos différentes bouillies variait de 4,55 à 4,78 (4,55 pour la bouillie EF1 ; 4,78 pour la bouillie EF2 et 4,73 pour la bouillie EF3) sur une échelle allant de 1 à 7. D'un point de vue global, la bouillie EF2 a été la plus appréciée. En effet, celle-ci se caractérisait par une couleur très appréciée et un goût très apprécié à l'unanimité ; viennent ensuite la bouillie EF3 et la bouillie EF1.

À partir de ces résultats, toutes les farines formulées (EF, EF2 et EF3) ont été retenues pour les analyses biochimiques. La figure ci-dessous nous montre les résultats de cette analyse sous forme de graphique.

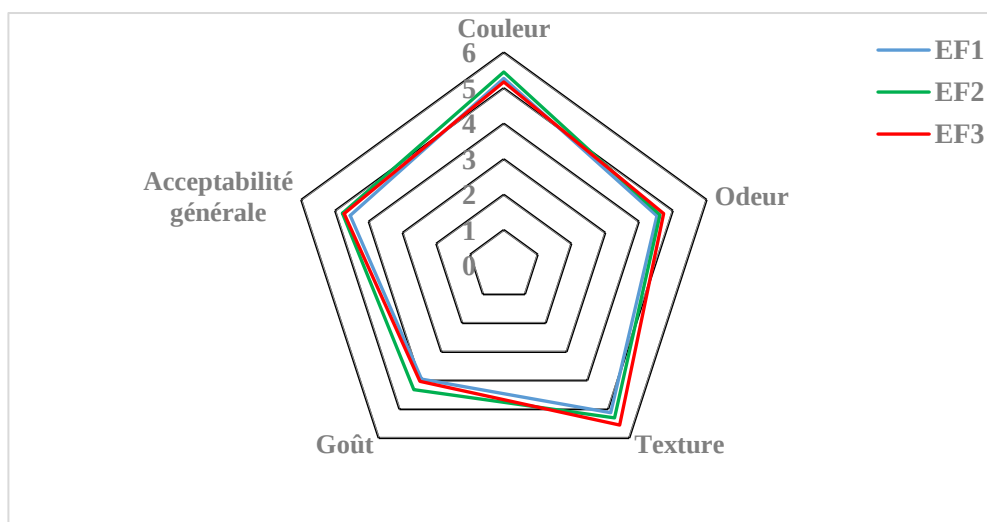


Figure 3 : Profil sensoriel des bouillies préparées à base des farines formulées

III.3. Composition nutritionnelle, anti-nutritionnelle et techno-fonctionnelles des farines formulées.

III.3.1 Composition nutritionnelle des farines formulées

III.3.1.1 Composition en macronutriments des farines formulées

Les teneurs moyennes en eau, protéines, glucides totaux, lipides totaux dans les différents échantillons analysés, exprimées en g/100g de matière sèche, et leurs valeurs énergétiques (kcal/100gMS) sont présentées dans le tableau VII.

Tableau VII : Teneurs moyennes en eau, matière sèche (g/100gMF), protéines, glucides, lipides, cendres totales, fibres brutes (g/100gMS) et les valeurs énergétiques (Kcal/100gMS)

Echantillons	EF1	EF2	EF3	Normes
Teneur en eau	6,12±0,203 ^a	5,81±0,179 ^a	5,74±0,220 ^a	≤ 14%
Matière sèche	93,88±0,203 ^a	94,18±0,179 ^a	94,26±0,220 ^a	≥ 84,5%
Protéines	13,29±0,068 ^a	14,27±0,084 ^b	15,53±0,028 ^c	≥ 13g
Glucides	67,14±0,321 ^c	58,31±1,711 ^b	52,41±1,300 ^a	55-75 g
Lipides	9,64±0,644 ^a	12,55±0,394 ^b	14,56±0,353 ^c	10-20g
Cendres totales	3,93±0,060 ^c	3,19±0,035 ^b	2,46±0,030 ^a	1-3%
Fibres brutes	5,55±0,096 ^c	5,08±0,04 ^b	4,44±0,095 ^a	≤ 5g
Valeurs énergétiques	408,55±1,492 ^a	403,28±3,840 ^a	402,83±2,196 ^a	≥ 400

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

❖ Teneur en eau

La teneur en eau correspond à la quantité d'eau disponible dans un aliment. Selon **Sall, (1998)**, elle offre la possibilité d'évaluer la durée de vie d'un produit alimentaire et de prédire ses conditions de stockage. Ainsi il ressort du tableau VII ci-dessus que les teneurs en eau obtenues n'ont présenté aucune différence significative ($p > 0,05$). Les farines formulées ont présenté les teneurs en eau de 5,74 à 6,12 (6,12 pour EF1 ; 5,81 pour EF2 et 5,74 pour EF3). Selon **Soudy. (2011)**, un aliment avec une teneur en eau inférieure à 14% (limite maximale recommandée) se conserve sans traitement particulier dans la mesure où il est stocké dans des conditions correctes d'humidité et de température. Car il serait difficile aux microorganismes de s'y multiplier, parce qu'ils ont besoin d'une teneur en eau assez élevées pour se proliférer (**Cheftel et Cheftel, 1976**). De plus, les réactions chimiques et enzymatiques de détérioration seront fortement ralenties dans des farines ayant une faible teneur en eau (**Cheftel & Cheftel, 1976 ; Randrianantoandro, 2004**). En effet ces faibles teneurs en eau pourraient être expliquées par le fait que ces farines sont issues des matières premières qui ont été séchées préalablement. Par ailleurs ces résultats étaient similaires à ceux de **Franck et al. (2015)** (5,9) obtenus sur les farines précuites à base de maïs et de soja par la méthode traditionnelle, par contre ils étaient supérieurs à ceux de **Loba et al. (2019)** (4,38g/100g) obtenus à partir de la farine infantile de maïs enrichie en haricot, en huile de palme et en sucre. Ainsi cette faible teneur en eau permet un stockage plus facile de nos farines et pendant une longue durée.

❖ Teneur en matière sèche

La matière sèche résulte de l'élimination de l'eau dans un aliment. Elle permet d'exprimer de manière claire les niveaux de composantes nutritionnelles présentes dans un produit. Dans nos échantillons, les teneurs en matières sèches sont présentées dans le tableau VII. Ainsi on a observé aucune différence significative ($p > 0,05$) entre celles-ci. Elles étaient de 93,88 % à 94,26% (93,88% pour EF1, 94,18% pour EF2 et 94,28% pour EF3). Cependant nos résultats étaient similaires à ceux obtenus par **Kekel. (2023)** (92,03%) sur les farines formulées à base d'igname, de pois de cajan et de sésame, par contre ils sont inférieurs à ceux de **Fanou et al. (2017)** (97%) obtenus dans une farine infantile à base de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin. Ces teneurs élevées se justifient par le fait que nous avons travaillé avec des matières premières séchées.

❖ Protéines

Les teneurs en protéines des farines ont présenté des différences significatives. Elles allaient de 13,29 à 15,53 g/100gMS (13,29 pour EF1, 14,27 pour EF2 et 15,53 g/100Gms). Cette teneur plus élevée en EF3 pourrait être expliquée par la quantité élevée de poudre de maïs (80g) et la présence de poudre de niébé (40g), particulièrement cette dernière qui est une source importante de protéines (21,90g/100gMS). Par ailleurs, la teneur en protéine dans EF3 est similaire à celle de **Fanou et al. (2017)** (15,02g/100gMS) obtenue dans une farine infantile à base de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin par contre elle est supérieure à celle de **Ponka et al. (2016)** (13,6 g/100g) obtenue dans les bouillies infantiles consommées à l'Extrême Nord du Cameroun (Maroua). De plus, les teneurs en protéines dans nos farines sont conformes aux recommandations de **IRD/UNICEF, (2020)** (≥ 13 g/100g) pour la mise au point des préparations alimentaires complémentaires destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge. En effet, les protéines constituent le principal matériau de construction des cellules et contribuent à leurs réparations (**Salahuddin et al., 2017 ; Nubel, 2019**). Elles jouent également un rôle important dans le développement de la résistance de l'organisme et couvrent les dépenses azotées dues aux renouvellements des tissus et à la synthèse de certains composés impliqués dans le bon fonctionnement de l'organisme (enzymes, hormones) (**Sguera, 2008**). Les protéines constituent aussi une source d'énergie alternative pour le corps, car elles apportent 4 kJ, soit 17kJ par gramme. Les teneurs en protéines dans nos farines ont été satisfaisantes par conséquent elles pourront contribuer à prévenir la malnutrition protéino-énergétique chez les enfants.

❖ Glucides

Les glucides jouent un rôle crucial en tant que nutriments car ils représentent la principale source d'énergie métabolisable. Il ressort du Tableau VII que les teneurs moyennes en glucides de nos farines allaient de 52,41 à 67,14 (67,14 pour EF1, 58,31 pour EF2 et 52,41 pour EF3). Ces valeurs présentent une différence significative ($p < 0,05$). En effet ces teneurs élevées pourraient être expliquées par la présence de poudre de malt de maïs qui est une source importante de glucides (72g/100g MS) mais aussi par celle de courge (53,32g/100g MS). En outre, nos résultats sont similaires à ceux de **Loba et al. (2019)** (67,87g/100gMS) obtenus à partir de la farine infantile de maïs enrichie en haricot, en huile de palme et en sucre. Selon l'**IRD/UNICEF. (2020)** la teneur en glucides des farines infantiles doit être comprise entre 55-75g/100gMS. Ainsi, les farines formulées EF1 et EF2 respectent la norme définit précédemment contrairement à EF3 mais tout de même la présence de glucides dans nos farines de complément sera bénéfique pour prévenir les carences en énergie chez les enfants.

❖ Lipides

Les lipides sont les nutriments énergétiques par excellence. Ils participent à la formation du système nerveux et des membranes cellulaires, et sont aussi indispensables à l'absorption de certaines vitamines par l'organisme. Il ressort du Tableau VII que les teneurs en lipides des farines allaient de 9,64 à 14,56 (9,64 pour EF1 ; 12,55 pour EF2 et 14,56 pour EF3). Ces résultats ont présenté des différences significatives ($p < 0,05$). Cette forte teneur en lipides dans EF3 pourrait être expliquée par la présence de maïs qui en contient 8,2g/100gMS. Par ailleurs nos résultats sont similaires à ceux de **Fanou et al. (2017)** (11,48 à 13,30g/100gMS) obtenus dans une farine infantile à base de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin, par contre ils sont inférieurs à ceux de **Franck et al. (2015)** (16,8g/100gMS) obtenu dans les farines précuites à base de maïs et de soja par la méthode traditionnelle. D'après les recommandations de l'**IRD/UNICEF. (2020)** qui exigent que les teneurs en lipides pour les farines infantiles doivent être comprises entre 3-10g/100gMS la farine EF1 respecte cette norme contrairement aux farines EF2 et EF3 ; Mais toutes nos farines respectent les teneurs en lipides exigées par le **Codex CAC/GL. 08.1991 (révisé en 2013)** qui vont de 10 à 20g/100gMS. En effet, selon **Mourot et Lebret. (2006)**, les lipides, en fournissant 9 kcal/g, soit environ 37 KJ, jouent un rôle essentiel en tant que source d'énergie et contribuent également à améliorer les qualités sensorielles des produits alimentaires. Ainsi la présence des lipides dans ces farines pourrait contribuer à prévenir les carences en énergie chez les enfants.

❖ Cendres

Les teneurs en cendres totales des farines sont présentées dans le tableau VII. Ces valeurs ont présenté des différences significatives ($p < 0,05$). Elles allaient de 2,46 à 3,93g/100gMS (3,93g pour EF1, 3,19g pour EF2 et 2,46g pour EF3). Ces résultats seraient dus à la nature intrinsèque des matières premières employées. Par ailleurs ils sont similaires à ceux de **Loba et al. (2019)** (2,73 g/100g) obtenus dans une farine de riz enrichi en soja, en huile de palme et en sucre, par contre ils sont supérieurs à ceux de **Fanou et al. (2017)** (1,92mg/100gMS) obtenus dans une farine infantile à base de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin. Cependant, la quantité de cendres présente dans nos farines est proche de la valeur recommandée par l'Organisation mondiale de la Santé, qui est de 5 %. Notons que la présence des minéraux dans les formulations est émise par les cendres totales, ce qui suggère que les aliments de complément formulés pourraient être employés pour lutter contre les carences en minéraux chez les enfants. Selon **Adegunwa et al.**

(2014) la teneur en cendre est une estimation approximative de la teneur en minéraux des farines.

❖ **Fibres brutes**

Dans le tableau VII, on peut observer des différences significatives ($p < 0,05$) entre les valeurs de fibres brutes des farines formulées. Les échantillons ont présenté des teneurs en fibres allant de 4,44 à 5,55g/100gMS (5,55g pour EF1, 5,08g pour EF2 et 4,44g pour EF3). En effet les traitements technologiques (tamisage) effectués sur les matières premières expliqueraient ces teneurs, ce qui a permis de diminuer la quantité de fibres brutes. Par ailleurs ces résultats sont similaires à ceux de **Grodji et al. (2019)** (4,61g/100gMS) obtenus à partir de farine infantile enrichie avec de l'huile de poisson maquereau par contre ils sont supérieurs à ceux de **Loba et al. (2019)** (3,28g/100gMS) obtenus à partir de la farine infantile de maïs enrichie en haricot, en huile de palme et en sucre. De plus les résultats obtenus sont conforme à la norme ($< 5\text{g}/100\text{g}$) établie par le Codex pour les aliments infantiles (**FAO, 1991 ; IRD/UNICEF, 2020**). En effet, les fibres jouent un rôle important dans le contrôle du transit intestinal et absorbent une partie des lipides et des glucides, ce qui permet de réguler partiellement le taux de sucre dans le sang et d'éviter l'accumulation excessive de cholestérol. Selon **Henauer et Frei (2008)**, les fibres ont également un impact bénéfique sur le surpoids et les troubles métaboliques.

❖ **Valeurs énergétiques**

Le tableau VII présente la densité énergétique des farines formulées. On a observé aucune différence significative ($p > 0,05$) entre les échantillons. Les densités énergétiques étaient variables, allant de 402,83Kcal à 408,55Kcal/100gMS (408,55 pour EF1, 403,28 pour EF2 et 402,83 pour EF3). Ces résultats pourraient être dus à la composition nutritionnelle de nos matières premières ainsi qu'aux divers traitements appliqués sur ces dernières, tel que la germination de maïs. Selon **Sidibé et al. (2017)**, la germination permet d'améliorer la densité énergétique des bouillies de 52,14 à 117Kcal/100ml. Par ailleurs nos résultats sont similaires à ceux de **Fanou et al. (2017)** (409,15 Kcal/100gMS obtenu dans une farine infantile à base de fonio enrichie en ressources alimentaires locales pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin par contre ils sont supérieurs à ceux de **Noah (2021)**, obtenus sur les farines infantiles artisanales enrichies en sésame (286,8kcal/100g), baobab et à la betterave (272kcal/100g). De plus, les densités énergétiques de nos farines sont conformes à la recommandation de **l'OMS. (2011)** pour une farine infantile qui est de $\geq 400\text{ kcal}/100\text{g}$. Ainsi les farines formulées pourraient contribuer efficacement à la prévention de la malnutrition protéino-énergétique chez les enfants.

III.3.1.2 Composition en micronutriments des farines formulées

Le tableau VIII ci-dessous présente les teneurs moyennes en minéraux (Fer, Zinc, Calcium et magnésium) dans nos farines formulées. En effet, ces minéraux jouent des rôles très importants dans l'organisme et puisque ce dernier ne peut en produire, ils doivent donc être apportés par l'alimentation.

Tableau VIII : Teneurs moyennes en Fer, Zinc, Calcium et magnésium (mg/100gMS) des farines formulées

Echantillons	Fer	Zinc	Calcium	Magnésium
EF1	2,41±0,040 ^a	1,47±0,010 ^a	237,54±2,750 ^b	62,31±0,010 ^a
EF2	2,57±0,060 ^a	1,56±0,040 ^a	250,17±0,070 ^c	70,97±0,235 ^b
EF3	2,86±0,155 ^b	1,97±0,060 ^b	187,17±0,390 ^a	71,20±0,340 ^b
Normes	4-16 mg	0,8 mg	125 mg	19 mg
	Codex, (1991)	OMS, (1998)	OMS, (1998)	OMS, (1998)

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

❖ Fer

Le tableau VIII présente les teneurs en fer des farines formulées. Elles allaient de 2,41 à 2,86 mg/100gMS (2,41 pour EF1, 2,57 pour EF2 et 2,86 pour EF3). Toutefois, une différence significative ($p < 0,05$) a été observée entre la farine EF3 et les farines EF1 et EF2. Les échantillons présentaient des teneurs en fer inférieures à celle recommandée par le **Codex CAC/GL.08- 1991** (révisé en 2013) (4-16mg/100g) pour les aliments de complément utilisés pour prévenir la malnutrition protéino-énergétique. Par contre nos résultats sont supérieurs à ceux de **Fanou et al. (2017)** (2,43 mg/100gMS) obtenus pour une farine de fonio enrichie en soja, arachide et fretins pour l'alimentation complémentaire des jeunes enfants au Bénin. Ces résultats pourraient être expliqués par la présence de la courge qui a une teneur de 8,4mg/100g de fer. En effet, le fer est le composé majeur des protéines de transport de l'oxygène (hémoglobine et myoglobine) dans l'organisme (**Le, 2016**). Il est essentiel pour le développement du cerveau, la croissance des enfants, la production et le fonctionnement normal

de diverses cellules et hormones (**Le, 2016**). Ainsi leur présence dans nos farines de complément pourrait contribuer à prévenir les carences en fer.

❖ Zinc

Le tableau VIII nous présente les teneurs en Zinc dans les différentes farines formulées. Elles varient de 1,47 à 1,97 mg/100gMS (1,47 pour EF1, 1,56 pour EF2 et 1,97 pour EF3). On a observé aucune différence significative ($p>0,05$) entre EF1 et EF2. Par contre ces dernières ont présenté des différences significatives ($p<0,05$) avec EF3. Toutefois nos résultats sont supérieurs à la teneur de Zinc recommandée par l'**OMS/UNICEF/FAO. (1998)** pour une farine infantile destinée aux enfants de 6 à 24 mois en complément au lait maternel qui était de 0,8 mg/100g. Cette teneur élevée en Zinc dans nos farines pourrait s'expliquer par la présence de la courge qui est une source non négligeable de Zinc (0,39 à 4,02 mg/100g). Par ailleurs ces valeurs étaient inférieures à celle obtenue par **Loba et al. (2019)** (6,29mg/100g) dans une farine infantile de maïs enrichie en haricot, en huile de palme et en sucre. En effet l'importance du zinc est due au fait que de nombreuses fonctions de l'organisme sont liées à des enzymes contenant du zinc. Selon **King et al. (2003)**, le zinc joue un rôle crucial dans plus de trois cents (300) métalloenzymes qui contribuent à la production et à la dégradation des glucides, des lipides, des protéines, des acides nucléiques et même du métabolisme d'autres micronutriments au niveau cellulaire. Le zinc fait partie intégrante des protéines et des membranes des cellules. Il joue également un rôle dans l'expression des gènes en agissant comme des facteurs de transcription.

❖ Calcium

Les teneurs en calcium dans les différents échantillons sont présentées dans le tableau VIII. Il en ressort qu'elles varient de 187,17 à 250,17 mg/100gMS (237,54 pour EF1, 250,17 pour EF2 et 187,17 pour EF3). Les teneurs en calcium ont présenté des différences significatives ($p<0,05$). Ces teneurs élevées en calcium dans nos farines pourraient se justifier par la présence de la courge qui est une source importante de calcium (23 à 985,443 mg/100g). Ces résultats (EF1 et EF2) étaient supérieurs à ceux de **Mory et al. (2021)** (219,5g/100gMS) obtenu dans une pâte alimentaire à base de maïs, d'arachide, de sésame et de moringa comme alternative aux plumpy nut dans la prise en charge de la malnutrition aiguë en guinée. Par ailleurs nos résultats sont supérieurs à la valeur de calcium recommandée par l'**OMS/UNICEF/FAO. (1998)** pour une farine infantile destinée aux enfants de 6 à 24 mois en complément du lait maternel qui est de 125mg/100g. En effet le calcium assure la solidité du squelette et la dureté des dents. Il est impliqué dans la régulation de la fonction nerveuse et musculaire, la coagulation

sanguine et l'activation de nombreuses enzymes (**Murray et al., 2000 ; Martin, 2001**). En outre les maladies chroniques comme l'ostéoporose et les problèmes articulaires et cardiovasculaires seront causées par une carence en calcium. Par conséquent, l'utilisation de notre farine spécialement formulée permettra de combler presque tout ce manque pour favoriser la croissance et la minéralisation des os et des dents chez les enfants.

❖ **Magnésium**

Les teneurs en magnésium dans nos farines formulées sont présentées dans le tableau VIII. Elles allaient de 62,31 à 71,20 mg/100gMS (62,31mg pour EF1, 70,97mg pour EF2 et 71,20mg pour EF3). On a observé aucune différence significative ($p > 0,05$) entre EF2 et EF3. Par contre ces dernières ont présenté des différences significatives ($p < 0,05$) avec EF1. Toutefois nos résultats étaient supérieurs à la teneur de magnésium recommandée par l'**OMS/UNICEF/FAO. (1998)** pour une farine infantile destinée aux enfants de 6 à 24 mois en complément du lait maternel qui était de 19mg/100gMS. Cette forte teneur de magnésium dans nos farines pourrait se justifier par la présence de la courge qui est une source importante de magnésium (0,051 à 162,68 mg/100g). Par ailleurs nos résultats sont inférieurs à celui obtenu par **Loba et al. (2019)** (84,94 mg/100g) dans une farine infantile de maïs enrichie en haricot, en huile de palme et en sucre. En effet, le magnésium intervient comme cofacteur de plus de trois cents (300) réactions enzymatiques liées au métabolisme de l'ATP et est nécessaire pour la reproduction et la synthèse des protéines. Il est indispensable pour la régulation de la contraction musculaire, la pression sanguine et le métabolisme de l'insuline (**Gröber et al., 2015**). D'après **NASS. (2017)**, il a également un effet bénéfique sur le système immunitaire et assure une régulation du métabolisme glucidique et lipidique des tissus musculaires, cardiaques et nerveux. La carence en magnésium peut entraîner des troubles musculaires (crampes), des maux de tête et une hausse de l'hypertension artérielle. Ainsi, la présence de magnésium dans nos farines contribuera à prévenir ses carences chez les enfants.

Le Tableau IX ci-dessous présente les teneurs moyennes en caroténoïdes et en Vitamine C des farines formulées.

Tableau IX: Teneurs moyennes en caroténoïdes ($\mu\text{g}/100\text{gMS}$) et en Vitamine C ($\text{mg}/100\text{gMS}$) des farines formulées

Échantillons	Caroténoïdes	Vitamines C
EF1	159,49 $\pm$ 0,226 ^b	7,36 $\pm$ 0,278 ^a
EF2	179,48 $\pm$ 0,564 ^c	11,11 $\pm$ 0,139 ^c
EF3	99,36 $\pm$ 0,432 ^a	8,61 $\pm$ 0,139 ^b
Normes	≥ 140	$\geq 2,3$

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

❖ Caroténoïdes

Le tableau IX présente les teneurs en caroténoïdes des farines formulées. Ces résultats ont montré des différences significatives. Les teneurs en caroténoïdes sont comprises entre 99,36 et 179,48 $\mu\text{g}/100\text{gMS}$ (159,49 pour EF1, 179,48 pour EF2 et 99,36 pour EF3). Les teneurs en caroténoïdes dans EF1 et EF2 respectaient la norme ($>140 \mu\text{g}/100\text{g}$) établie par **OMS/UNICEF, (2011)**, à la différence de celle dans EF3. Ces résultats sont dus à la grande quantité de la courge, qui est une source importante de bêta-carotènes (0,006 à 2340 $\mu\text{g}/100\text{g}$). En effet, la vitamine A joue un rôle essentiel dans la croissance, la circulation sanguine, le maintien de la fonction des cellules épidermiques et la prévention de la cécité nocturne et de la sécheresse oculaire. De plus en améliorant l'absorption intestinale du fer ou en facilitant sa mobilisation à partir des réserves corporelles, la vitamine A joue également un rôle dans la prévention de l'anémie (**Steven et al., 2000**). Ainsi, sa présence dans ces farines sera extrêmement avantageuse pour les enfants.

❖ Vitamine C

Le tableau IX nous présente les teneurs moyennes en vitamine C de nos farines. Elles allaient de 7,36 à 11,11 $\text{mg}/100\text{gMS}$ (7,36 pour EF1, 11,11 pour EF2 et 8,61 pour EF3). Cependant on a observé des différences significatives ($p < 0,05$) entre elles. Les teneurs en Vitamine C sont conformes aux recommandations de l'**OMS/UNICEF/FAO. (1998)** pour une farine infantile destinée aux enfants de 6 à 24 mois en complément du lait maternel qui était de 2,3 $\text{mg}/100\text{g}$. Ces résultats en Vitamine C pourraient s'expliquer par la présence de la courge dans nos farines qui en contient 10,84 à 83,05 $\text{mg}/100\text{g}$. Par ailleurs nos résultats sont inférieurs

à ceux de **Mory et al. (2021)** (43mg/100gMS) obtenus dans une pâte alimentaire à base de maïs, d'arachide, de sésame et de moringa comme alternative aux plumpy nut dans la prise en charge de la malnutrition aiguë en guinée. De plus, le traitement thermique (séchage) que nous avons appliqué à nos échantillons pourrait expliquer ces faibles teneurs en Vitamine C dans nos farines. En effet, la vitamine C est un antioxydant connu pour ses nombreux avantages, tels que le renforcement du système immunitaire et la facilité d'absorption des minéraux présents dans les aliments, en particulier le fer et le calcium. Ainsi la présence de Vitamine C dans nos farines pourrait contribuer à prévenir les carences en minéraux (fer et calcium) et à renforcer le système immunitaire des enfants.

III.3.2. Composition en antinutriments des farines formulées

Les antinutriments ou facteurs antinutritionnels sont des composés chimiques synthétisés par les plantes et qui sont présents dans les aliments (**Habtamu et Ngussie, 2014**). Cependant leur présence dans les aliments modifie la valeur nutritionnelle de ceux-ci et peuvent même avoir des conséquences très graves sur la santé des consommateurs car ils constituent des sources d'indisponibilité de certains nutriments (**BESACON, 1995 ; ADRIAN et al, 1986**).

Le Tableau X ci-dessous nous présente les teneurs moyennes en mg/100gMS des tanins, phytates, oxalates et saponines des différents échantillons.

Tableau X : les teneurs moyennes en phytates, tanins, oxalates et en saponines des différents échantillons en mg/100gMS

Échantillons	Phytates	Tanins	Oxalates	Saponines
EF1	12,99±0,232 ^a	6,91±0,598 ^c	1,43±0,022 ^c	7,50±0,432 ^b
EF2	14,73±0,116 ^b	4,69±0,391 ^a	1,26±0,033 ^b	4,91±0,432 ^a
EF3	13,22±0,232 ^a	4,04±0,226 ^a	0,55±0,022 ^a	9,66±0,864 ^c
Doses limites	150-1400 mg/jour	560mg/100g	3-5mg/kg	60-600mg/100g

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

❖ Tanins

Les teneurs en tanins de nos échantillons présentées dans le tableau X varient de 4,04 à 6,91 mg/100gMS (6,91 pour EF1, 4,69 pour EF2 et 4,04 pour EF3). On avait observé aucune différence significative ($p > 0,05$) entre EF2 et EF3. Par contre ces dernières ont présenté une différence significative ($p < 0,05$) avec EF1. Les différents échantillons ont présenté des niveaux de tanins nettement inférieurs à la limite de toxicité de 560 mg/jour (**Ikpeme, 2012**). En effet les tanins font partis des composés phénoliques hydrosolubles. Ainsi la faible quantité des tanins dans nos échantillons pourrait être attribuée à l'effet de traitement qu'on avait effectué sur ceux-ci, notamment le trempage (**Mamiro et al., 2017 ; Rwubatsé et al., 2017**). Selon **Shimelis et Rakshit (2007)**, le trempage entraîne une diminution importante de la quantité de tanins présente dans les légumineuses.

❖ Phytates

Les teneurs en phytates de nos échantillons sont présentées dans le tableau X. Elles varient de 12,99 à 14,73 mg/100gMS (12,99 pour EF1, 14,73 pour EF2 et 13,22 pour EF3). Il existe aucune différence significative ($p > 0,05$) entre EF1 et EF3. Par contre ces dernières présentent une différence significative ($p < 0,05$) avec EF2. En effet les phytates, encore appelés hexakisphosphate d'inositol, sont des composés contenant du phosphore qui se lient aux minéraux et forment des sels insolubles avec des minéraux comme le calcium, le fer, le zinc et le magnésium (**Leeson et Summers, 2009**). Par conséquent ils entraînent une mauvaise absorption des minéraux et oligo-éléments avec le risque de conduire à un état de carence (**Schlemmer et al., 2009**). Par ailleurs nos résultats sont très inférieurs à la limite de toxicité qui est de 2000-2600 mg/jour pour un régime végétarien et de 150-1400 mg/jour pour un régime mixte (**Grases et al., 1999**). En effet cette faible teneur en phytates pourrait se justifier par les traitements technologiques (trempage, germination) que nous avons appliqués sur les différentes matières premières. Selon **Lo et al. (2018)** le trempage entraîne l'activation de la phytase endogène en hydrolysant cette dernière et en facilitant sa diffusion dans les eaux. Ces résultats sont bénéfiques pour la disponibilité des minéraux dans nos farines infantiles.

❖ Oxalates

Le tableau X nous présente les teneurs en oxalates des différentes farines de complément formulées. Ces teneurs allaient de 0,55 à 1,43mg/100gMS (1,43 pour EF1, 1,26 pour EF2 et 0,55 pour EF3). Il en ressort qu'elles ont présenté des différences significatives ($P < 0,05$). En effet les oxalates ont la capacité à se lier à certains minéraux tels que le calcium, le fer et le magnésium donc une forte teneur dans les aliments peut provoquer des carences alimentaires

(Oboh *et al.*, 2006). Par ailleurs nos résultats sont inférieurs aux doses limites de sécurité de la teneur en oxalate chez les humains qui était de 3-5 mg/Kg (Wobeto *et al.*, 2007). Cette faible teneur en oxalates dans nos échantillons pourrait s'expliquer par les traitements technologiques (trempage et germination) que nous avons effectués sur ceux-ci. Selon Duru *et al.* (2020) le trempage et la germination entraînent des ruptures cellulaires considérables et facilitent le drainage des oxalates solubles.

❖ Saponines

Les teneurs en saponines de nos échantillons sont présentées dans le tableau X. Il en ressort qu'il y'a des différences significatives ($p < 0,05$). Les teneurs moyennes en saponines des différentes farines varient de 4,91mg/100g à 9,66 mg/100g (7,50 pour EF1, 4,91 pour EF2 et 9,66 pour EF3). Ces résultats pourraient se justifier par les différents traitements technologiques appliqués sur les intrants notamment le trempage, la germination et le séchage. D'après Serna-Saldívar *et al.* (2013), les saponines sont thermosensibles et selon John *et al.*, (2009), elles ont une grande solubilité qui entraînent leurs diffusions dans l'eau pendant le trempage. Par ailleurs nos résultats sont inférieurs à la valeur sécuritaire des doses quotidiennes de saponines ingérées telle que rapportée par Shi *et al.* (2004) qui peut varier de 60-600mg. L'absorption des nutriments par les enfants sera de ce fait maximale, grâce à ces faibles teneurs.

III.3.3. Propriétés techno-fonctionnelles des farines formulées

Les propriétés techno-fonctionnelles des différentes farines à savoir la capacité d'absorption d'eau, la capacité d'absorption d'huile et l'indice de gonflement sont présentées dans le tableau XI.

Tableau XI : Teneurs moyennes en capacité d'absorption d'eau, capacité d'absorption d'huile et en indice de gonflement des farines formulées

Échantillons	Capacité d'absorption d'eau (%)	Capacité d'absorption d'huile (%)	Indice de gonflement (ml/g)
EF1	202,12±3,873 ^b	43,34±2,378 ^a	8,45±0,011 ^c
EF2	210,11±6,884 ^b	68,91±1,045 ^b	3,79±0,056 ^b
EF3	144,89±1,041 ^a	74,35±1,941 ^c	3,02±0,196 ^a

Légende : EF1 : Échantillon de farine 1 ; EF2 : Échantillon de farine 2 ; EF3 : Échantillon de farine 3

NB : les moyennes de la même colonne affectées des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

❖ Capacité d'absorption d'eau (CAE)

Le tableau XI ci-dessus présente la capacité d'absorption en eau des farines. Il en ressort que cette dernière ne présente aucune différence significative ($P > 0,05$) entre EF1 et EF2. Par contre on a observé une différence significative entre EF3 et les deux autres farines (EF1 et EF2). Les teneurs allaient de 144,89 à 210,11% (202,12 pour EF1, 210,11 pour EF2 et 144,89 pour EF3). En effet, la présence de divers hydrates de carbone hydrophile précisément dans la courge et le maïs ainsi que les proportions de ses intrants dans les farines formulées pourraient justifier ces variations de la capacité d'absorption d'eau des farines.

Notons que la capacité d'absorption d'eau est un paramètre technologique indispensable permettant de maîtriser la texture de la pâte (**Himeda, 2012**). Car elle reflète la capacité d'hydratation de la pâte en présence d'eau liquide et dépend surtout de l'humidité et du taux d'endommagement de l'amidon (**Liu et al., 2003**). Elle précise la quantité d'eau requise afin de préparer des bouillies de bonne consistance pour l'alimentation des nourrissons. Ainsi les farines ayant une capacité de rétention d'eau élevée gardent leur friabilité durant la conservation (**Boye et al., 2010**).

❖ Capacité d'absorption d'huile (CAH)

Les résultats de la capacité d'absorption d'huile des farines sont présentés dans le tableau XI. Nous avons observé des différences significatives ($P < 0,05$) entre les teneurs des farines formulées. Elles allaient de 43,34 à 74,35 % (43,34 pour EF1, 68,91 pour EF2 et 74,35 pour EF3). Par ailleurs ces résultats (EF2 et EF3) sont supérieurs à ceux obtenus par **KEKEL. (2023)** (54,37 à 59,77%) dans les farines formulées à base d'igname, de pois de cajan et de sésame. Il est à noter que la variation de la capacité d'absorption d'huile dans les produits est liée à la présence de chaînes non-polaires comme les lipides contenus dans la poudre de maïs (**Medoua Nama, 2005**). La capacité de rétention d'huile est une propriété importante dans la formulation des aliments. Car la littérature indique que les farines de capacité rétention d'huile très élevée, détiennent un dispositif de rétention de la saveur et de l'exhausteur de sensation en bouche dans les produits alimentaires (**Kaushal et al., 2012 ; Yadahally et al., 2012**).

❖ Indice de gonflement (IG)

Le tableau XI nous présente les résultats de l'IG de nos échantillons, qui fluctuent entre 3,02 et 8,45 ml/g (8,45 pour EF1, 3,79 pour EF2 et 3,02 pour EF3). Les valeurs de l'IG ont présenté des différences significatives ($p < 0,05$). Cependant EF3 sort le meilleur résultat, ceci pourrait s'expliquer par la présence importante de malt de maïs dans celle-ci. Plus

spécifiquement par l'inégalité des teneurs en amylose et en amylopectine des granules d'amidon de ces farines. L'amylopectine est la molécule responsable du gonflement des granules par incorporation des molécules d'eau dans sa structure en hélice (**Razafimahefa et al., 2021**). En effet L'indice de gonflement est un paramètre important pour déterminer la viscosité des farines formulées. Ainsi les farines qui ont des indices de gonflement élevés absorbent assez d'eau lors de leur préparation, ce qui les rend plus visqueux. Par ailleurs, les enfants ne peuvent pas ingérer plus de 30 à 40 ml de bouillies par kilogramme de poids corporel à chaque repas en raison de leur capacité stomacale réduite (**Trèche, 1995**). Par contre nos résultats montrent une viscosité plus faible ce qui serait avantageux pendant la déglutition de nos bouillies par les enfants.

CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

Parvenu au terme de cette étude dont l'objectif était d'évaluer les propriétés sensorielles et physico-chimiques des farines de compléments formulées à base de maïs (*Zéa mays L*), de niébé (*Vigna unguiculata*) et de courge (*Cucurbita moschata*) pour la prévention de la malnutrition infantile. Il en ressort que :

- La formulation effectuée grâce à la programmation linéaire du complément solveur à partir de la composition nutritionnelle des différents intrants a permis d'obtenir trois farines (EF1, EF2, EF3) qui sur le plan sensoriel ont toutes été appréciées, par contre EF2 a présenté le meilleur score d'acceptabilité générale ($4,78 \pm 1,42^\circ$).
- Les analyses effectuées sur ces farines ont permis d'observer un bon profil nutritionnel pour chacune des farines formulées, mais la farine ayant présenté le meilleur profil nutritionnel dans la gestion de la malnutrition protéino-énergétique est la farine EF2 : valeur énergétique (403,28Kcal), teneurs en protéines (14,27g/100g), lipides (12,55g/100g), glucides (58,31g/100g), calcium (250,17mg/100g), magnésium (70,97mg/100g), caroténoïdes (179,48µg/100g), qui sont conformes aux normes prédéfinies avec des teneurs en antinutriments respectant les doses limites : Saponines (4,91mg/100g), oxalates (1,26mg/100g), phytates (14,73 mg/100g), tanins (4,69Mg/100g) facilitant ainsi l'absorption des nutriments par les enfants auxquels elles sont destinées.
- Les analyses faites ont montré que nos farines ont des propriétés techno-fonctionnelles très favorables pour les enfants, particulièrement EF2 qui a présenté une meilleure capacité d'absorption en eau (210,11%) et un indice de gonflement favorable (3,79ml/g).

RECOMMANDATION

Nous recommandons aux parents d'utiliser nos farines infantiles à base de maïs, de niébé et de courge dans l'alimentation des enfants de 6 à 59 mois en raison de leurs valeurs nutritionnelles et de leurs accessibilités.

PERSPECTIVES

- Faire une analyse physico-chimique sur les bouillies ;
- Etudier la biodisponibilité des nutriments dans les farines formulées ;
- Evaluer la durée de conservation des farines formulées

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.O.A.C (1990).** *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15 ed. Arlington, pp: 1105-1106.
- A.O.A.C. (1980).** *Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington D. C.: 13th edition william Horwitz.
- Agbodan KML, Akpavi S, Agbodan KA, Kanda M, Amegnaglo KB, Adrou-Aledji A, Batawila K et Akpagana K. (2020).** Description agromorphologique et détermination du potentiel antioxydant des variétés sous-utilisées et nouvellement introduites de maïs, manioc, niébé et piment dans la région Maritime-Est du Togo. *African Journal of Food Agriculture Nutrition Development* **20(3)**: 15936-15953.DOI: 10.18697/ajfand.91.18625.
- Aina V., Sambo B., Zakari A., Haruna H., Umar K. and Akinboboye R. (2012).** *Determination of nutritional and antinutritional content of Vitis vinifera (Grapes) grown in Bomo (Area C) Zaira, Nigeria. Advance Journal of Food Sciences and Technology.* **4(6)**: 225-228.
- Akande K. and Fabiyi E. (2010).** *Effect of Processing Methods on Some Anti-nutritional Factors in Legume Seeds for Poultry Feeding. International Journal of Poultry Science.* **9(10)**: 996-1001.
- Al-Deseit B. (2009).** *Least-Cost Broiler Ration Formulation Using Linear Programming Technique.* *Journal of Animal and Veterinary Advances*, **8(7)**: 1274-1278.
- Alemu S, Alemu M, Asfaw Z, Woldu Z and Fenta BA. (2019).** *Cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp., Fabaceae) landrace (local farmers' varieties) diversity and ethnobotany in Southwestern and Eastern parts of Ethiopia. African Journal of Agricultural Research* **14(24)**: 1029-1041. DOI: 10.5897/AJAR2018.13641.
- Almasad M., Altahat E. et AL-Sharafat, A. (2011).** *Applying Linear Programming Technique to Formulate Least Cost Balanced Ration for White Eggs Layers in Jordan. International Journal of Empirical Research*, **1(1)** : 112-120.
- Assounda H. (2022).** Technologie de production d'une farine infantile avec la pulpe de néré en complément. Rapport de stage de fin de formation en Génie de Technologie Alimentaire (GTA) à l'Université d'Abomey-calavi (UAC) au Benin. 24p.
- Banureka V et Mahendran T. (2009).** *Formulation of wheat-soybean biscuit and their quality characteristics tropical. Journal Agricultural Research and Extension*, **12(2)**:62-66.
- Basseddik, A., Tellah, S., Bellil, I., & Lachlah, H. (2021).** *Biochemical variability and functional properties of cowpea landraces grown in Hoggar: the Algerian arid region. Journal of Food Measurement and Characterization.* 10.1007/s11694-021-00919-5.
- Berrada S. (2009).** Les protéines : structure, propriétés et applications technologiques. PLP Biotechnologies ; Académie de Montpellier.
- Beuchat, L. (1977).** *Functionnal and Electrophoretic characteristics of succylated peanut flour protein. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **25**: 258-261.

- Black RE, Makrides M, Ong KK. (2017).** *Complementary Feeding: Building the Foundations of Healthy Life. Nestlé Nutrition Institute Workshops Series (vol 87).* Basel, Switzerland, Karger; Vevey, Nestlé: Switzerland.
- Bouchenak M. and Lamri-Senhadj M. (2013).** *Nutritional quality of legumes and their role in cardiometabolic risk prevention. A review. Journal of medical Food.* **16**:185-198.
- Boukar, O., Belko, N., Chamarthi, S., Togola, A., Batieno, J., Owusu, E., Olufajo, O. (2019).** Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant breeding*, **138**(4), 415-424.
- Bourelly J. (1982).** Observation sur le dosage de l'huile des graines de cotonnier. *Coton, Fibres Tropicales*, **27**(2):183-196.
- Brown K.H. and Lutter C. K. (2000).** *Potential role of processed complementary food in the improvement of early childhood nutrition in Latina America. Nutrition bulletin*, n° 21.
- Bruneton J. (2009).** Pharmacognosie-Phytochimie, Plantes médicinales, Tec & Doc, Médicales internationales (Eds.), 4e édition.
- Bruyeron O., Monquet C. et Treche S. (1998).** Caractéristiques d'une bonne farine infantile. *Bulletin du réseau PTA*, **15**, 9 - 11.
- Caili FU, Huan S, Quanhong LI. (2006).** *A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. Plant Foods Hum. Nutr.* **61**: 70-77.
- Cyrille Bruce ADJADOGBEDJI. (2017).** Aptitude au stockage de quelques farines infantiles à base de ressources alimentaires locales du BENIN.
- De Escalada Pla MF, Ponce NM, Stortz CA, Gerschenson LN, Rojas AM. (2007).** *Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (Cucurbita moschata Duchesne ex Poiret). LWT-Food Sci. Technol.* **40**: 1176-1185.
- Devani M., Shishoo J., Shal S et Suhagia, B. (1989).** *Spectrophotometrical method for determination of nitrogen in kjeldahl digest. Journal of Association of Official Analytical Chemists*, **72**: 953-956.
- DPSA (Direction de la Production et des Statistiques Agricoles). (2021).** Rapport de l'enquête agricole 2020/2021 Ministère du Développement Agricole. Rapport 20202021. 18p.
- Dubois, M., Gilles, K A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A. and Smith, F. (1956).** *Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry*, **28** (3): 350-356.
- Fanou F., Madode Y., Lalaye F., Amousou Y. et Kayode A. (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*, **11**(6) : 2745-2755.
- FAO. (2019).** L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Se protéger contre le ralentissement et les récessions économiques, FAO, Rome, 2019.
- FAO/OMS/WFP/FIDA/UNICEF. (2021).** Etat de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 14-25p.
- FAO/STAT. (2019).** Base des données statistiques agricoles.

- FAOSTAT. (2019).** Base de données statistiques agricoles. Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO).
- Fomba A. (2018).** Evaluation de l'état nutritionnel des enfants de 2-5 ans exposés non infectés nés. *Food Processing at Household and Community Level*, pp 479-488
- Franck Ngoyi TSHITE, Van Tshiombe MULAMBA et Masimango J.T. NDIANABO. (2015).** Mise au point d'une farine précuite à base de maïs (*Zea mays*) et de soja (*Glycine max*) par la méthode traditionnelle. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(6): 2608-2622.
- Gee J., Price K., Ridout C., Wortley G., Hurrell R. and Johnson I. (1993).** *Saponins of Quinoa (Chenopodium quinoa): effects of processing on their abundance in quinoa products and their biological effects on intestinal mucosal tissue. Journal of Science and Food Agriculture.* 63: 201-209.
- Goalbaye. (2014).** Influence de stress hydrique sur la physiologie et le rendement des variétés locales de maïs (Zeamays L) sélectionnées dans les populations en pollinisation libre au Tchad. Thèse de Doctorat unique à l'Université Cheik Anta Diop de Senegal. 35p.
- Grases F., March R., Prieto B., Simonet A., Costa-Bauza A. et al. (1999).** *Urinary phytate in calcium oxalate stone formers and healthy people dietary effects on phytate excretion. Scandinavian Journal of Urology and Nephrology.* 34: 162-164.
- Gröber U., Schmidt J. and Kisters K. (2015).** *Magnesium in prevention and therapy. Nutrients.* 7: 8199-8226.
- Grodji Albarin GBOGOURI, Mandoué Stephanie BAMBA, Dogoré Yolande DIGBEU and Kouakou BROU. (2019).** Elaboration d'une Farine infantile composée à base d'ingrédients locaux de Côte d'Ivoire : quelles stratégies d'enrichissement en acides gras polyinsaturés oméga 3 ? *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(1): 63-75, 2019.
- Guine RPF, Henriques F, Barroca MJ. (2012).** *Mass transfer coefficients for the drying of pumpkin (Cucurbita moschata) and dried product quality. Food Bioproc. Tech.* 5: 176-183.
- Gujral, H., and Rosell, C. (2004).** *Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. Journal of Cereal Science,* 39 (2): 225-230.
- Habtam F. and Ngussie R. (2014).** *Antinutritional factors in plant foods: Potential health benefits and adverse effects. International Journal of Nutrition and Food Sciences.* 3(4): 284-289.
- Hama-Ba F, Siedogo M, Ouedraogo M, Dao A, Dicko HM, and B Diawara. (2017).** Modalités de consommation et valeur nutritionnelle des légumineuses alimentaires au burkina faso. *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.* 2017; 17(4): 12871-12888.
- Hamid, S., Muzaffar, S., Wani, I. A., Masoodi, F. A., & Bhat, M. M. (2016).** *Physical and cooking characteristics of two cowpea cultivars grown in temperate Indian climate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences,* 15(2), 127-134.
- Harris, L. and Ray, S. (1935).** *Determination of ascorbic acid in urine. Method using titration with 2, 6 dichlorophenol indophenol. Lancet,* 1:176-462.
- Himeda M. (2012).** Propriétés physico-chimiques et rhéologiques de la farine et de l'amidon de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) variété Sosso du Tchad en fonction de la maturité et du mode de séchage. Thèse en co-tutelle pour obtenir les grades de Docteur de

l'Université de Lorraine et Docteur/Ph.D. de l'Université de Ngaoundéré en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires / Sciences Alimentaires et Nutrition de l'Université de Lorraine et de l'Université de Cameroun, 245p.

Horwitz W. (2000). *Official Method of Analysis of AOAC. International*. 17th Edition. AOAC International, Maryland, USA.

Ikpeme C., Eneji C. and Igile G. (2012). *Nutritional and organoleptic properties of wheat (Triticum aestivum) and Beniseed (Sesame indicum) composite flour baked foods.*

Jacobo-Valenzuela N, de Jesu's Zazueta-Morales J, Gallegos-Infante JA, Aguilar-Gutierrez F, Camacho-Hernández IL, Rocha-Guzman NE, Gonzalez-Laredo RF. (2011a). *Chemical and physicochemical characterization of winter squash (Cucurbita moschata D.). Not. Bot. Horti. Agrobot. 39: 34-40.*

Jacobo-Valenzuela N, Maróstica-Junior MR, de Jesu's Zazueta-Morales J, Gallegos Infante JA. (2011b). *Physicochemical, technological properties, and health-benefits of Cucurbita moschata Duchense vs Cehualca: A Review. Food Res. Int. 44: 2587-2593.*

Jariyah K. (2017). *Evaluation of physicochemical properties of food bar from composite flours (Pedada, Taro and Soybeans) as an Emergency. Food Alternative, 11(1):70-75.*

Jenkins K. and Atwal A. (1994). *Effects of dietary saponins on fecal bile acids and neutral sterols, and availability of vitamins A and E in the Chick. Journal of Nutrition and Biochemistry. 5: 134-137.*

Kekel E. (2023). Développement d'une farine de complément à base d'igname (*Dioscorea rotundata*), de pois cajan (*Cajanus cajan*) et de sésame (*Sesamum Indicum* L.) pour la prévention de la malnutrition infantile au Nord Cameroun. 91p.

King J., Keen C. Shils M., Olson J., Shike M. and Ross C. (2003). *Zinc In Modern Nutrition in Health and Disease. 9th Ed. New York; Lippinkott Williams & Wilkins: Pp.223-239.*

Klang M. J, Nanfack S, Tambo S, Boungo G, Womeni H. (2020). Optimisation de la production de la farine d'amylases de maïs à partir de maïs des variétés Atp et Kassai pour la fluidification et l'augmentation de la densité énergétique de la bouillie de manioc ;

Klang M.J., Tambo T., Ndomou H., Teboukeu B. et Womeni HM. (2019). Caractérisation des farines de maïs, de manioc et commerciales : utilisation des farines riches en amylase de maïs germé et de patate douce dans la réduction de la consistance des bouillies fabriquées à partir de ces farines – influence sur la valeur nutritionnelle et énergétique, *Food Science & Nutrition*, 7 (4) : 1190–1206.

Koko, C. A., Diomande, M., Kouame, B. K., Yapo, E.S. S., & Kouassi, J. N. d. (2016). Caractérisation physicochimique des graines de quatorze variétés de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) de Côte d'Ivoire/[Physiochemical characterization of seeds of fourteen varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) from Côte d'Ivoire]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17(2), 496.

Kone S., Soro D. et Kouadio K. (2019). Formulation et caractérisation physico-chimique du composé de farine infantile : *Attieke-farine de noix de cajou* », *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25 (2) :700-708.

Kulczynski B, Gramza-Michalowska A. (2019). *The profile of secondary metabolites and other bioactive compound in Cucurbita pepo L. and Cucurbita moschata pumpkin cultivars. Molecules 24: 2945.*

- Le C. (2016).** *The prevalence of anemia and moderate severe anemia in the US population (NHANES 2003-2012).* PLoS ONE. 11 (11): e0166635. Doi : 10.1371/Journal.Pone.0166635.
- Lira Saade R, Montes Herná'ndez S. (1992).** *Cucurbitas (Cucurbita spp.). pp. 61-75. In: Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Hernandez Bermejo JE, Leon J (ed). Organizacio'n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion* FAO, Roma.
- Livesey G., Elia M., Cummings J., Rombeau J. et Sakata T. (1995).** *physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids. The press syndicate of the university of cambridge New-York,* 427-481
- Loba S, Gbakayoro J. (2019).** Formulations de Farines Composées Dont l'une à base de Riz (*Oryza Sativa*) et l'autre à Base de Maïs (*Zea Mays*) pour les enfants en âge de Sevrage : European Scientific Journal November 2019 edition Vol.15, No.33 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Lopez-Mejia N, Martinez-Correa HA, Andrade-Mahecha MM. (2019).** *Pancake ready mix enriched with dehydrated squash pulp (Cucurbita moschata): formulation and shelf life.* J. Food Sci. Technol. 56: 5046-5055.
- Mamiro P., Mwanri A., Mongi R., Chivaghula T., Nyagaya M. and Ntwenya J. (2017).** *Effect of cooking on tannin and phytate content in different bean (Phaseolus vulgaris) varieties grown in Tanzania.* African Journal of Biotechnology. **16(20):** 1186-1191.
- Martin A. (2001).** The "apports nutritionnels conseillés (ANC)" for the French population. Reproduction Nutrition Development, EDP Sciences. **41(2):**119-128.
- Mebdoua Samira. (2011).** Caractérisation physico-chimique de quelques populations de niébé (*Vigna unguiculata L. Walp*)
- Mory SANGARE, Namoudou CONDE et Aboubacar SANGARE. (2021).** Aliment alternatif au plumpy nut dans la prise en charge de la malnutrition aiguë en Guinée.
- Mouquet C., Bryeron O. et Treche S. (1998).** Caractéristiques d'une bonne farine infantile. Bulletin du réseau TPA. 15 : 8-11. 47 p.
- Nadjiam Djirabaye. (2021).** Diversité des races locales et systèmes de production du niébé (*Vigna unguiculata L. Walp.*) au sud du Tchad. Int. J.Appl. Sci. Biotechnologie. Vol 9(3) : 176186.
- Naitormmbaidé M., Djondang K., Mama V. J., et Koussou M. (2015).** Criblage de quelques variétés de maïs (*Zea mays L.*) pour la résistance au Strigahermonthica(Del) Benth dans les savanes tchadiennes. Journal of animal and plant sciences. Pp 3722-3732.
- Ndhlala A., Kasiyamhuru A., Mupure C., Chitindingu K., Benhura M. et Muchezweti M. (2007).** Phenolic composition of Flacourtia Indice, *Opuntia megacantha* and *sclerocarya birrea*. Food Chemistry, 103:82-87.
- NF ISO 5492. (2008).** Norme internationale standard. Analyse sensorielle. Vocabulaire. 2th édition.
- Ngono S., Mounjouenpou P., Mukoro M., Yong N., Voula V. et Simo B. (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*, 25 (1) : 388-397.

Njintang, Y.N., Mbofung, C.M.F. and Waldron, K.W. (2001). *In vitro protein digestibility and physico-chemical properties of dry red bean (Phaseolus vulgaris) flour: effect of processing and incorporation of soybean and cowpea flour.* *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49: 2465-2471. *Nutrition Development* 20(3): 15936-15953.DOI: 10.18697/ajfand.91.18625.

Noah G. (2021). Formulation d'un aliment d'enrichissement pour la prévention de l'anémie ferriprive chez les enfants d'âge préscolaire. Mémoire de master en biochimie à l'Université de Yaoundé 1 au Cameroun. 60p.

Nyembo K., Mpundu M. et Baboy L. (2014). Evaluation et sélection de nouvelles variétés de maïs (*Zea mays L.*) à haut potentiel de rendement dans les conditions climatiques de la région de Lubumbashi, Sud-est de la RDC. *International journal of innovation and applied studies*. pp. 21-27.

Obadoni B., Ochuko P. (2001). *Phytochemical studies and comparative efficacy of the extracts of some haemostatic plants in Edo and Delta States of Nigeria.* *Global Journal of Pure and Applied Science*; 8: 203-218.

Oboh G. (2006). *Nutrient and Anti-nutrient composition of condiments produced from some fermented underutilised legumes.* *Journal of Food Chemistry*. 30: 579-588.

Okaraonye C. and Ikewuchi J. (2009). *Nutritional and antinutritional components of Pennisetum purpureum (Schumacher).* *Pakistan Journal of nutrition*. 8: 32-34.

Olayeye L., Owolabi B., Adesina A., Isiaka A. (2013). *Chemical composition of red and white cocoyam (Colocasia esculenta) leaves.* *International Journal of Sciences and Research*. 11(2): 121-5.

Olorunfemi T. (2007). *Linear programming application to utilization of duckweed (Lemna Paucicostata) in least-cost ration formulation for broiler finisher.* *Journal of Applied Sciences*, 6(9) : 1909-1914.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2015). Alimentation du nourrisson et du jeune enfant. Aide-mémoire N°342, Juillet 2015 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs342/fr/> [Accédé le 11 mai 2017].

OMS/UNICEF/FAO. (1998). Caractéristiques d'une bonne farine infantile.

Osborn A. (1996). *Saponins and plant defence a soap story.* *Trends Plant Science*. 1: 4-9.

Padulosi S et Ng NQ. (1997). Origine, taxonomie et morphologie de *Vigna unguiculata* (L) Walp : Avancées de la recherche sur le niébé, BB. Singh, DR. Mohan Raj, KE. Dashiell, LEN Jack. IITA et JIRCAS. IITA, Ibadan, Nigéria, 112.

PAINA TCHAD 2022 Plan d'Action Intersectoriel de Nutrition et d'Alimentation 2022-2025.

Phillips, R., Chinnan, M., Branch, A., Miller, J., Mcwatters, K. (1988). *Effect of pre-treatment on functional and nutritional properties of cowpea meal.* *Journal Food Sciences*, 3: 805-809.

- Ponka R., Nankap E., Tambe T. et Fokou E. (2016).** Composition nutritionnelle de quelques farines infantiles artisanales du Cameroun. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 16(2): 280-292.
- Price K., Johnson I., Fenwick G. (1987).** *The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs.* CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 26(1): 27-135.
- Rasoarimalala P. (2016).** Formulation de farine infantile pour la contribution à la lutte contre la malnutrition infantile à Madagascar p 15.
- Rev. Ivoir. Sci. Technol., 37 .212 – 226.
- Rwubatsé B., Mugabo E., Afoakwa E. O. and Annor G. (2017).** *Effect of pretreatments and processing conditions on anti-nutritional factors in climbing bean flours.* *International Journal of Food Studies*. 6: 34-43.
- Saha B., Choumessi A., Ayamo A., Kuagny R., Teta L., Nantia E. et Ejoh R. (2022)** *Nutritional Quality of Three Iron-Rich Porridges Blended with Moringa oleifera, Hibiscus sabdariffa, and Solanum.*
- Salahuddin P., Khan R. et Siddiqi M. (2017).** *Protein Structure and Function. Basic Biochemistry. Unité interdisciplinaire de biotechnologie. Université musulmane d'Aligarh, Inde. Austin publishing group*, 39p
- Sall K. (1998).** Contrôle de qualité des farines céréalières mises sur le marché au Sénégal ». Thèse de doctorat en pharmacie, université Cheikh Anta Diop de Dakar, faculté de médecine de pharmacie et d'odontostomatologie.
- Samireddypalle, A., Boukar, O., Grings, E., Fatokun, C. A., Kodukula, P., Devulapalli, R., Okike, I., Blümmel, M. (2017).** *Cowpea and Groundnut Haulms Fodder Trading and Its Lessons for Multidimensional Cowpea Improvement for Mixed Crop Livestock Systems in West Africa.* *Frontiers in Plant Science*, 8(30).doi: 10.3389/fpls.2017.00030.
- Shi, J., Arunasalam, K., Yeung, D., Kakuda, Y., Mittal, G., Jiang, Y. (2004).** *Saponins from edible legumes: Chemistry, Processing, and Health Benefits.* *Journal of Medicinal Foods*, 7 (1): 67-78.
- Shimelis E. and Rakshit S. (2007).** *Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of kidney bean (Phaseolus vulgaris L.) varieties grown in East Africa.* *Food Chemistry*. 103: 161-172.
- Sidibe S, A. Coulibaly, D. Kone1 et M. Doumbia. (2017).** Amélioration de la viscosité et de la densité énergétique des bouillies infantiles préparées à partir de farines composées à base de riz, de niébé, de soja et d'arachide. *Agronomie Africaine Sp.* 29 (1) : 53 – 61.
- SMART. (2022).** Enquête nationale de nutrition et de mortalité rétrospective chez les enfants et la population générale selon la méthodologie SMART », p.89. 2018. Rapport final.
- Sparg S., Ligth M., Van-Staden J. (2004).** Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of Ethnopharmacology*. 94 (2-3) : 219-243.
- Thierry Gaïtan TCHUENGA Seutchueng et Frédéric Saha. (2017).** Le maïs : une céréale à multiples usages au Cameroun sous la menace des contraintes climatiques et de ravageurs. *Afrique SCIENCE* 13(6) (2017) 177 – 188.

- Thomson E., et Nolan, J. (2001).** *Form: a powerful feed formulation spreadsheet suitable for teaching or on-farm formulation. Animal feed Science and Technology*, 91: 233-240.
- Traore F, B Maiga, H Diall, S Sissoko, K Sacko, D Konaté, O Coulibaly, A Dembélé, ME Cissé, A Doumbia, L Maiga, H Konaré, P Togo, FL Diakité, LN Sidibé, F Dicko-Traoré, M Sylla, B Togo. (2020).** Prise en charge de la malnutrition aigüe chez l'enfant dans un hôpital secondaire sahélien. 6p.
- Trèche S., de Benoist B., Benbouzid D., Vertser A., Delpeuch F. (1995).** L'alimentation de complément du jeune enfant, Actes d'un atelier OMS/Orstom inter-pays, du 20 au 24 novembre 1994 à l'Université Senghor, Alexandrie (Égypte), Paris, France.
- UIP et FAO. (2021).** La nutrition et les systèmes alimentaires. Guide à l'usage des parlementaires no. 32. Rome
- Unicef. (1998).** La malnutrition : Causes, conséquences et solutions.
- UNICEF. (2011).** Les différentes formes de malnutrition. 3p.
- Wolff J. (1968).** *Manuel d'analyse des corps gras*. Paris: Azoulay éd 519p.
- Xiao Men, Sun-Il Choi, Xiongao Han, Hee-Yeon Kwon, Gill-Woong Jang, Ye-Eun Choi, Sung-Min Park, Ok-Hwan Lee. (2021).** *Physicochemical, nutritional and functional properties of Cucurbita moschata. Food Sci Biotechnol* 30(2):171–183.
- Young I., Parker H., Rangan A., Prvan T., Cook R., Donges C., Steinbeck K., O'Dwyer N. J., Cheng H., Franklin J. and O'Connor H. (2018).** *Association between Haem and Non-Haem Iron Intake and Serum Ferritin in Healthy Young Women. Nutrients.* **10(81):** 2-13.
- Zia-Ul-Haq, M., Ahmad, S., Amarowicz, R., & De Feo, V. (2013).** *Antioxidant Activity of the Extracts of Some Cowpea (Vigna unguiculata (L) Walp.) Cultivars Commonly Consumed in Pakistan. Molecules*, 18, 2005-2017. doi: 10.3390/molecules18022005.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : fiche de l'analyse sensorielle

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE



REPUBLIC OF CAMEROON

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

Numéro :

Sexe:

Age :

I. Dans le cadre d'une analyse sensorielle, trois (03) échantillons de bouillies faites à base de farine de maïs, de niébé et de courge, vous sont présentés. Il est question pour chacune des bouillies d'apprécier : la couleur, l'odeur, la texture, le goût et l'acceptabilité générale selon l'échelle ci-dessous.

Echelle hédonique

Notes	1	2	3	4	5	6	7
Appréciations	Très Déplaisant	Déplaisant	Peu déplaisant	Indifférent	Peu plaisant	Plaisant	Très plaisant

Nous vous prions de bien vouloir reporter vos résultats dans les cases ci-dessous en utilisant les chiffres 1 à 7 dans la colonne :

EF1

Critères	Notes
Couleur	
Odeur	
Texture	
Goût	
Acceptabilité Générale	

EF2

Critères	Notes
Couleur	
Odeur	
Texture	
Goût	
Acceptabilité Générale	

EF3

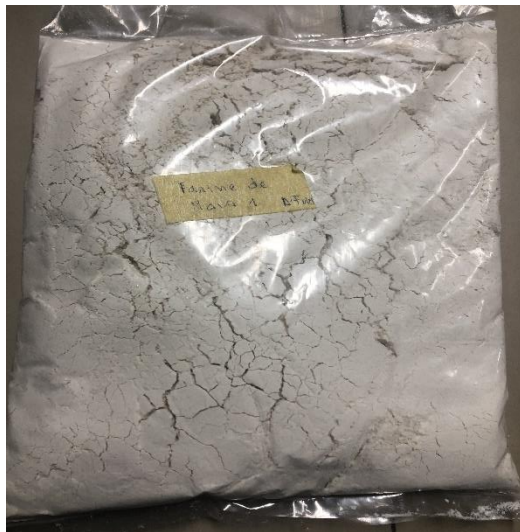
Critères	Notes
Couleur	
Odeur	
Texture	
Goût	
Acceptabilité Générale	

II. Classez les échantillons du plus apprécié au moins apprécié

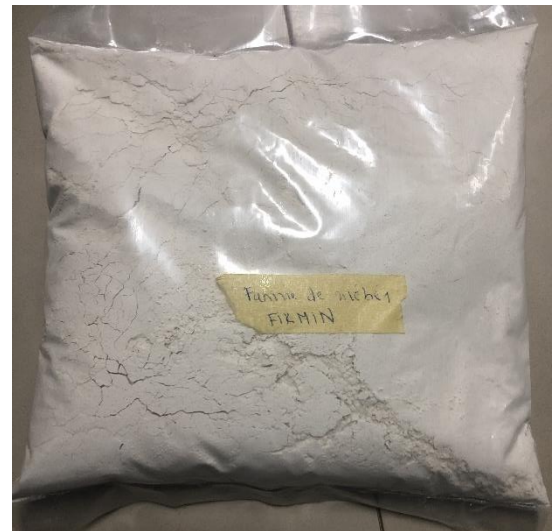
Rang	1er	2ème	3ème
Échantillons			

Merci pour votre contribution

Annexe 2 : Photos des poudres de maïs, de niébés et de courges



Poudre de maïs (*Zea mays L*)



Poudre de niébé (*Vigna unguiculata*)



Poudre de la courge (*Cucurbita moschata*)