

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET
DE FORMATION DOCTORALE
EN SCIENCES DE LA VIE,
SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DES SCIENCES ALIMENTAIRES ET METABOLISME

LABORATORY FOR FOOD SCIENCE AND METABOLISM



UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCES

CENTRE FOR RESEARCH AND
TRAINING IN GRADUATE
STUDIES IN LIFE, HEALTH
AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES

RESEARCH AND DOCTORATE
TRAINING UNIT IN LIFE

**Formulation et évaluation de la qualité d'une farine
infantile instantanée à base de *Pennisetum glaucum*,
Glycine max, *Adansonia digitata* et de feuilles de
*Moringa oleifera***

Mémoire rédigé en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

OPTION : Science des Aliments et Nutrition

Par :

MADJIRE Sephora

19Z2829

Licencié ès Biosciences



Sous la codirection de :

DJUIKWO NKONGA Ruth, PhD

Maître de Conférences

Université de Yaoundé 1

SAHA FOUJO Brice, PhD

Chargé de Cours

Université de Bamenda

2024 - 2025

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET
DE FORMATION DOCTORALE
EN SCIENCES DE LA VIE,
SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

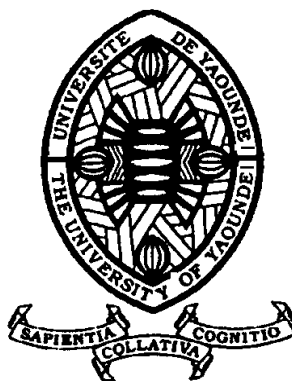
UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DES SCIENCES ALIMENTAIRES ET METABOLISMES

LABORATORY FOR FOOD SCIENCE AND METABOLISM



UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCES

CENTRE FOR RESEARCH AND
TRAINING IN GRADUATE
STUDIES IN LIFE, HEALTH
AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES

RESEARCH AND DOCTORATE
TRAINING UNIT IN LIFE

**Formulation et évaluation de la qualité d'une farine
infantile instantanée à base de *Pennisetum glaucum*,
Glycine max, *Adansonia digitata* et de feuilles de
*Moringa oleifera***

Mémoire rédigé en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

OPTION : Science des Aliments et Nutrition

Par :

MADJIRE Sephora

19Z2829

Licencié ès Biosciences

Sous la codirection de :

DJUIKWO NKONGA Ruth, PhD

Maître de Conférences

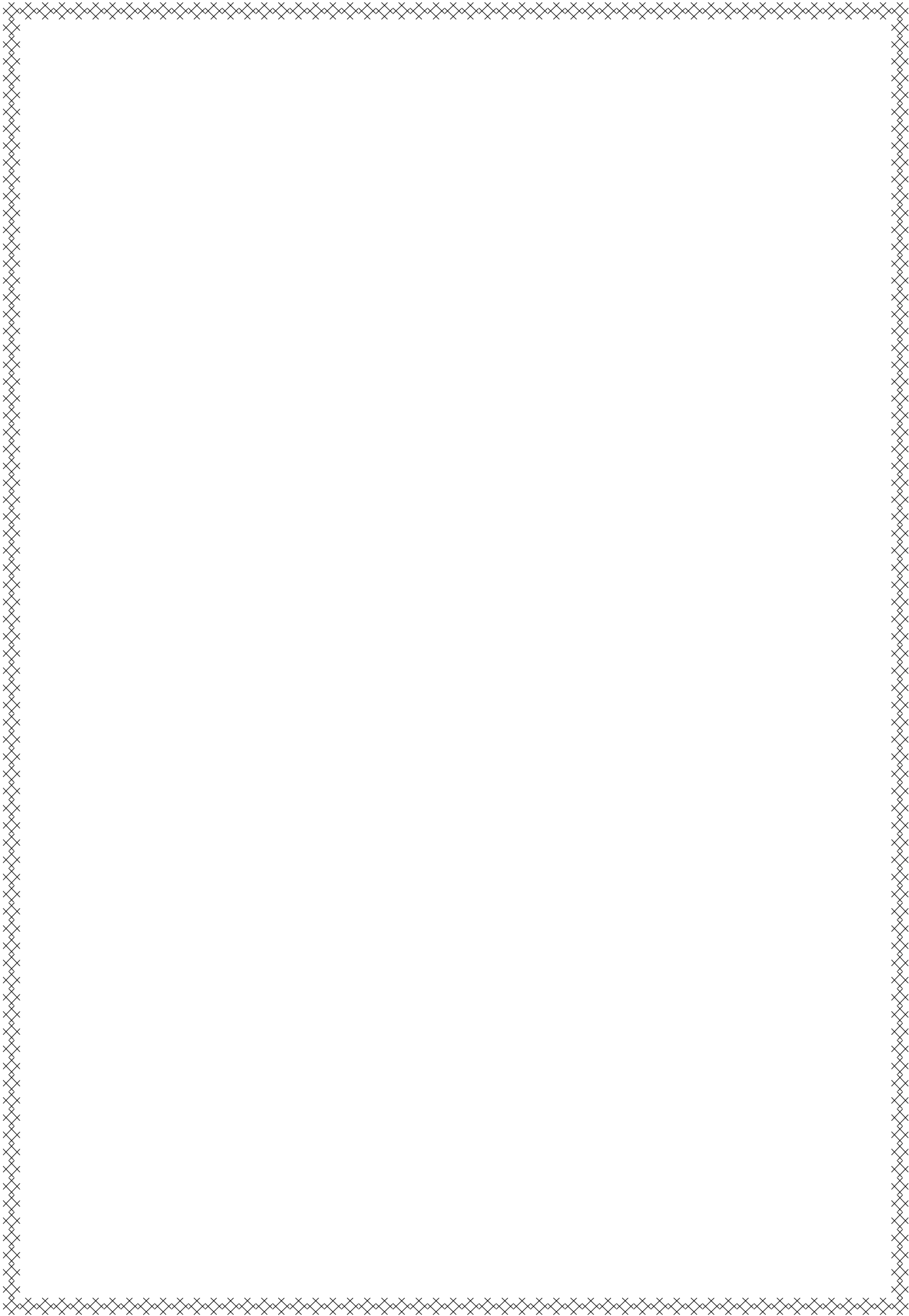
Université de Yaoundé 1

SAHA FOUJO Brice, PhD

Chargé de Cours

Université de Bamenda

2024 - 2025



DEDICACE

À

Mes parents **NANKEMDE PHILEMON** et **MBERNODJI FLORENCE**

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans la participation de nombreuses personnes. J'espère que les mots dont je m'apprête à écrire réussiront à retranscrire fidèlement mes sentiments à leur égard. Ils s'adressent en particulier :

Au **Pr. DJUIKWO Ruth Viviane** et **Dr. SAHA FOUDDJO Brice** pour avoir accepté dans leur équipe avec la plus grande bienveillance, et m'avoir confié cet intéressant travail et guidé mes premiers pas dans le monde de la recherche. Je suis reconnaissant pour votre rigueur et vos qualités scientifiques qui m'ont permis de donner forme à ce travail. Trouvez ici l'expression de toute ma gratitude.

Au Chef du Département de Biochimie, le **Pr. NJAYOU Frédéric Nico** et à tous les enseignants dudit Département pour l'encadrement et les enseignements reçus tout au long de ma formation.

Au **Pr. FOKOU Elie**, Coordonnateur du Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (LabSAM) pour m'avoir accepté dans son unité de recherche.

Au **Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolismes**, vous m'avez fait un grand honneur en m'accueillant pour la réalisation de mes travaux de recherche. Je vous en suis très reconnaissant et vous prie de recevoir ici l'expression de ma profonde gratitude.

Aux **Pr. KOTUE Charles**, **Pr. ACHU Mercy...** pour les conseils et les critiques constructives pour la réalisation de ce travail.

À **Dr. MBASSI Gilbert**, pour sa disponibilité, son soutien, son aide lors des différentes manipulations et ses encouragements qui ont été bénéfiques à la réalisation de ce travail.

À mes aînés de Laboratoire **NOAH Guy**, **EYILI Noah**, **TALLA Naccis**, **KOUANDJOUA Didier**, **HANKOU Cynthia ...** pour le soutien, les encouragements, les conseils et les aides chaque fois que j'étais dans le besoin.

Au président et aux membres du jury, vous me faites un grand honneur en acceptant d'examiner ce travail. Je vous en suis très reconnaissant et vous prie de recevoir ici l'expression de ma profonde gratitude.

À mes camarades de promotion, je vous remercie pour votre soutien, votre solidarité et les moments de partage qui ont enrichi ce parcours.

À la grande famille **NANKEMDE** pour le soutien et les encouragements.

À tous ceux qui de près ou de loin ont œuvré à la réalisation de ce travail et dont les noms ne figurent pas ici, j'exprime toute ma gratitude.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES ANNEXES	x
RESUME	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE	4
I. Généralité sur la malnutrition	4
I.1 Malnutrition infantile	4
I.2 La nutrition infantile et ses enjeux dans la santé publique	4
I.2.1 Définition de la nutrition infantile.....	4
I.2.2 Les 1000 premiers jours de l'enfant : période critique	5
I.2.3 Importance des 1000 premiers jours dans la santé publique.....	5
I.3 Aliments de compléments	5
I.3.1 Définition des aliments de complément	5
I.3.2 Types de compléments utilisés dans la prise en charge de la malnutrition infantile .	6
I.3.3 Rôles des aliments de complément dans la prise en charge de la malnutrition infantile	6
I.4 Farines infantiles.....	7
I.4.1 Définition et caractéristiques à conférer aux farines infantiles	7
I.4.2 Classification selon la composition	7
I.4.3 Classification selon les technologies de production et le mode de préparation	7
I.4.4 Classification selon la présentation commerciale.....	8

I.4.5 Caractéristiques à conférer aux farines infantiles	8
I.4.6 Qualités sanitaires	8
I.4.7 Qualités nutritionnelles.....	9
I.4.8 Densité énergétique, granulométrie et consistance	9
I.5 Généralités sur les ingrédients des aliments d'enrichissement.....	10
I.5.1 Taxonomie du millet.....	10
I.5.1.1 Composition nutritionnelle.....	11
I.5.2 Taxonomie du soja.....	11
I.5.2.1 Composition nutritionnelle.....	12
I.5.3 Taxonomie du baobab	12
I.5.3.1 Composition nutritionnelle de la pulpe de baobab	13
I.5.4 Taxonomie de moringa.....	14
I.5.4.1 Composition nutritionnelle de la poudre de feuilles de moringa.....	14
I.5.5 Lait Nido	15
I.5.6 Huile de soja	15
I.5.7 Sucre blanc.....	16
I.6 Concept d'instantanéité	17
I.6.1 Fondement biochimique de l'instantanéité d'une farine	18
I.6.2 Gélatinisation de l'amidon	18
I.6.3 Techniques de pré-gélatinisation et de séchage	19
I.6.4 Mécanisme de gélatinisation	19
I.6.5 Impacte de gélatinisation sur la digestibilité et la texture de la farine après reconstitution.....	20
I.6.6 Justification du choix de la farine instantanée	21
I.6.7 Aspect technologique de la formulation	21
I.7 Quelques travaux antérieurs sur les farines infantiles	22
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	25
II.1 MATERIEL VEGETAL	25

II.2 METHODES	26
II.2.1 Considération éthique	26
II.2.2 Echantillonnage	26
II.2.3 Traitement des échantillons	27
II.2.3 Formulation des farines	31
a. Méthode de sélection des formules	31
b. Préparation de la farine instantanée	32
II.2.4 Caractérisation physico-chimique de la farine infantile	33
II.2.4.1 Analyse sensorielle	33
a. Préparation des bouillies	33
b. Test sensoriel	33
II.2.4.2 Détermination des teneurs en macronutriments	33
a. Détermination de la teneur en eau et en matière sèche	33
b. Détermination des teneurs en azote total et protéines brutes	34
c. Teneur en lipides totaux	36
d. Teneurs en fibres brutes	37
e. Teneurs en cendre totale	37
f. Teneur en glucides totaux	38
II.2.4.3 Détermination des teneurs en micronutriments	38
a. Analyse du magnésium et calcium	39
b. Analyse du fer et du zinc	39
c. Teneurs en vitamine C	39
d. Teneurs en caroténoïde totaux	40
II.2.4.4 Détermination des teneurs en anti-nutriments	41
a. Détermination de teneur en tanins	41
b. Détermination de teneur en phytate	41
c. Teneurs en oxalates	42
d. Teneur en saponines	42
II.2.5 Propriétés instantanés des farines	43
a. Indice de dispersibilité	43

b. Stabilité de dispersion	44
c. Mouillabilité	44
II.2.6 Propriétés techno-fonctionnelles des farines	45
a. Capacité d'absorption en eau des échantillons de farine(CAE).....	45
b. La capacité de gonflement	45
II.2.7 Analyse statistique	46
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	48
III.1 RESULTATS	48
III. 1.1 Présentation des formules obtenues et des farines formulées	48
III.1.2 Caractéristique sensorielle et acceptabilité des bouillies à base de mil perlé, soja, pulpe de baobab et de feuilles de moringa	50
III.1.3 Composition en constituants nutritionnels, anti-nutritionnelle, propriétés techno-fonctionnelles et propriétés instantanées des farines infantiles	51
III.1.3.1 Teneurs en macronutriments des différentes farines infantiles.....	51
III.1.3.2 Teneurs en composés bioactifs	52
III.1.3.3 Teneurs en minéraux	52
III.1.3.4 Propriétés techno fonctionnelles des farines infantiles.....	53
III.1.3.5 Propriétés instantanées des farines infantiles	53
III.1.3.6 Teneurs en anti-nutriment	54
III.2 DISCUSSION.....	56
CONCLUSION.....	63
PERSPECTIVES.....	64
RECOMMANDATIONS	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	66
ANNEXES.....	A

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AFNOR: Agence Française de Normalisation

ANOVA: Analysis of Variance

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

FAO: Food and Agriculture Organization

LabSAM : Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme

MS : Matière Sèche

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PAM : Programme Alimentaire Mondial

PB : Périmètre Brachial

SPSS: Statistical Package for Social Science

UNICEF : Fonds des Nations Unies pour l'Enfance

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Normes microbiologiques applicables aux farines infantiles(LogUFC/g) (WFP,2018).....	8
Tableau 2: Seuils de fortification autorisés pour les nutriments dans les farines infantiles dont les quantités sont fixées pour 100g (UNICEF, 2022).....	9
Tableau 3: Composition proximale de <i>Pennisetum glaucum</i>	11
Tableau 4: Composition proximale de <i>Glycine max</i> (Baguidi et al., 2015).....	12
Tableau 5: Composition de la pulpe d' <i>Adansonia digitata</i> L. (Cisse, 2012).....	13
Tableau 6: Classification botanique de <i>Moringa oleifera</i>	14
Tableau 7: Composition proximale de la poudre de <i>Moringa oleifera</i> (Noamesi et al., 2010).	15
Tableau 8: Normes internationales des farines infantiles(UNICEF, 2022).....	32
Tableau 9: Formules obtenues des différents aliments de complément(F197, F877 et F663) et la composition en éléments cibles	48
Tableau 10: Score du paramètre sensoriel des farines infantiles.....	50
Tableau 11: Teneur moyenne en g/100g MS des macronutriments et en Kcal/100g des valeurs énergétiques de nos farines.....	51
Tableau 12: Teneurs moyennes en vitamine c (mg/100g) et bêta carotène (µg/100g) des farines.	52
Tableau 13: Teneur moyenne en micronutriments : Fer, Magnésium, Calcium et Zinc (mg/100g MS) des farines.....	53
Tableau 14 : Teneur moyenne des propriétés fonctionnelles des farines exprimées en g/cm ³ pour l'indice de gonflement et en % pour la capacité d'absorption d'eau.	53
Tableau 15: Teneur moyenne en propriétés instantanées	53
Tableau 16: teneur moyenne en anti-nutriments : tanin, phytate, saponine et oxalate (mg/100g Ms) des farines formulées.	55

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Graines de mil perlé (<i>Pennisetum glaucum</i>).....	10
Figure 2 : Graine de soja (photographie, MADJIRE)	12
Figure 3 : Fruit et pulpe de baobab (<i>Adansonia digitata</i>) (MAPTOUOM, 2022).	13
Figure 4 : Feuilles de <i>Moringa oleifera</i> (Agboton, 2021).	14
Figure 5 : Lait en poudre (Duteurtre G. et Corniaux C., 2018).	15
Figure 6 : Huile de soja	16
Figure 7 : Sucre blanc.....	16
Figure 8 : Présentation des différentes matières premières	26
Figure 9 : Diagramme synoptique de formulation d'une farine infantile instantanée	30
Figure 10 : Présentation des différentes farines infantiles formulées.....	49
Figure 11 : Présentation des bouillies à base des farines infantiles instantanées formulées (F197, F877 et F663) et la bouillie témoin (F510).....	49

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Clairance éthique.....	A
Annexe 2 : Fiche de l'analyse sensorielle	B
Annexe 3 : Courbe d'étalonnage de protéines	G
Annexe 4 : Courbe d'étalonnage de tanins.....	H
Annexe 5: Equipement de laboratoire	I

RESUME

L'alimentation complémentaire des enfants de 6 à 59 mois en Afrique subsaharienne demeure difficile en raison du faible niveau d'instruction des mères, des ressources familiales limitées et du manque d'accès à des farines infantiles de qualité, ce qui accroît le risque de carences nutritionnelles. Cette étude a visé la formulation d'une farine infantile instantanée nutritive, accessible et conforme aux normes de qualité de l'OMS, à base de mil perlé (*Pennisetum glaucum*), soja (*Glycine max*), pulpe de baobab (*Adansonia digitata*) et feuilles de moringa (*Moringa oleifera*). Les matières premières ont été traitées, broyées et mélangées selon des proportions établies par programmation linéaire sous Microsoft Excel, permettant d'obtenir trois formules (F197 : millet 41,5 g ; soja 14,3 g ; baobab 5 g ; moringa 1 g ; lait en poudre 13,7 g ; sucre 10 g ; huile 14,5 g ; F877 : millet 35 g ; soja 16,4 g ; baobab 10 g ; moringa 1 g ; lait en poudre 13 g ; sucre 10 g ; huile 14,6 g, F663 : millet 28,4 g ; soja 18,5 g ; baobab 15 g ; moringa 1 g ; lait en poudre 12,4 g ; sucre 10 g ; huile 14,7 g) et un témoin commercial (F510 : Blé 58,9g, Lait écrémé 19g, Flocons de banane 2g, Flocons de pomme 1g, huile de palme, Sucre, Fer, calcium, potassium, Vitamines A, D, E, C, B1, B3, B5, B6, B8, B9). Les formules ont été évaluées selon les méthodes normalisées de l'AOAC pour leurs propriétés sensorielles, nutritionnelles, antinutritionnelles et techno-fonctionnelles. L'analyse sensorielle a révélé une bonne acceptabilité des formules F663 ($6,14 \pm 2,31$) et du témoin F510 ($6,54 \pm 2,17$). Les analyses chimiques ont montré que F197 et F663 présentaient les meilleurs profils nutritionnels avec des teneurs élevées en protéines (16,00 et 16,06 %), lipides (29,82 et 29,19 %), glucides (46,93 et 47,43 %) et une valeur énergétique élevée (520,11 et 516,62 kcal/100 g MS). La formule F197 se distingue par ses apports en fer (6,53 mg/100 g MS), magnésium (44,67 mg/100 g MS), calcium (86,83 mg/100 g MS) et caroténoïdes totaux (34,80 mg/100 g MS). Les facteurs antinutritionnels étaient faibles et inférieurs aux seuils tolérables : saponines ($10,49 \pm 0,34$ %), phytates ($5,22 \pm 0,10$ mg/100 g MS), oxalates ($1,47 \pm 0,10$ mg/100 g MS) et tanins ($171,97 \pm 13,92$ mg/100 g MS). Sur le plan techno-fonctionnel, F197 a présenté une bonne instantanéité avec une dispersibilité de 83,75 % et une stabilité de dispersion de 87,62 %, traduisant une suspension homogène et stable dans l'eau. La combinaison de mil, soja, baobab et moringa a ainsi permis d'obtenir une farine infantile équilibrée, nutritive et appréciée, constituant une alternative locale durable pour améliorer l'alimentation complémentaire des jeunes enfants en Afrique subsaharienne.

Mots-clés : Alimentation complémentaire, farine infantile instantanée, *Pennisetum glaucum*, *Glycine max*, *Adansonia digitata*, *Moringa oleifera*, propriétés nutritives, analyse sensorielle.

ABSTRACT

Complementary feeding of children aged 6–59 months in sub-Saharan Africa remains challenging due to low maternal education, limited household resources, and poor access to quality infant flours, increasing the risk of nutritional deficiencies. This study aimed to formulate an instant infant flour that is nutritious, affordable, and compliant with WHO quality standards, using pearl millet (*Pennisetum glaucum*), soybean (*Glycine max*), baobab pulp (*Adansonia digitata*), and moringa leaves (*Moringa oleifera*). The raw materials were processed, milled, and blended using linear programming in Microsoft Excel to obtain three formulations (F197: millet 41.5 g; soybean 14.3 g; baobab 5 g; moringa 1 g; milk powder 13.7 g; sugar 10 g; oil 14.5 g; F877: millet 35 g; soybean 16.4 g; baobab 10 g; moringa 1 g; milk powder 13 g; sugar 10 g; oil 14.6 g; F663: millet 28.4 g; soybean 18.5 g; baobab 15 g; moringa 1 g; milk powder 12.4 g; sugar 10 g; oil 14.7 g) and one commercial control (F510: Wheat 58.9 g, Skimmed milk 19 g, Banana flakes 2 g, Apple flakes 1 g, Palm oil, Sugar, Iron, Calcium, Potassium, Vitamins A, D, E, C, B1, B3, B5, B6, B8, B9). The formulations were analysed following AOAC standard methods to assess sensory acceptability, nutritional, antinutritional, and techno-functional properties. The sensory evaluation revealed good acceptability for F663 (6.14 ± 2.31) and the control F510 (6.54 ± 2.17). Chemical analysis showed that F197 and F663 had the best nutritional profiles, with high levels of proteins (16.00 % and 16.06 %), lipids (29.82 % and 29.19 %), carbohydrates (46.93 % and 47.43 %), and energy values (520.11 and 516.62 kcal/100 g DM). F197 exhibited higher mineral and micronutrient contents, notably iron (6.53 mg/100 g DM), magnesium (44.67 mg/100 g DM), calcium (86.83 mg/100 g DM), and total carotenoids (34.80 mg/100 g DM). Antinutritional factors remained below acceptable limits: saponins (10.49 ± 0.34 %), phytates (5.22 ± 0.10 mg/100 g DM), oxalates (1.47 ± 0.10 mg/100 g DM), and tannins (171.97 ± 13.92 mg/100 g DM). Technofunctionally, F197 demonstrated good instant properties with dispersibility (83.75 %) and dispersion stability (87.62 %), ensuring a homogeneous and stable suspension in water. The combination of millet, soybean, baobab, and moringa produced a balanced, nutritious, and well-accepted instant flour, providing a sustainable local alternative for improving complementary feeding among young children in sub-Saharan Africa.

Keywords : Complementary feeding, instant infant flour, *Pennisetum glaucum*, *Glycine max*, *Adansonia digitata*, *Moringa oleifera*, nutritional properties, sensory analysis.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La malnutrition infantile reste une problématique de santé publique persistante et complexe à l'échelle mondiale, particulièrement en Afrique subsaharienne, où elle est une cause majeure de morbidité et de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans (**UNICEF, 2024 ; Sanogo et al., 2022**). Le retard de croissance et les carences en micronutriments (notamment le fer, le zinc et la vitamine A) sont particulièrement prévalent, affectant durablement le développement physique et cognitif des jeunes enfants (**UNICEF, 2019**).

La période critique de l'alimentation complémentaire (6 à 23 mois) est souvent pointée du doigt. L'utilisation d'aliments de sevrage traditionnels, généralement à base de céréales locales, présente des limites majeures : faible densité énergétique, faible biodisponibilité des nutriments et, dans le cas des farines à cuire, un risque élevé de contamination microbienne et des temps de préparation longs (**GRET/IRD, 2020 ; Sanogo et al., 2022**). De plus, la qualité nutritionnelle des farines infantiles locales commercialisées montre une variabilité importante, nécessitant une standardisation rigoureuse des formulations (**Sanogo et al., 2022 ; Coulibaly, 2022**).

Pour contrer ces lacunes, cette étude propose une stratégie d'enrichissement nutritionnel durable fondée sur la valorisation de la biodiversité locale. La formulation vise à créer une farine infantile instantanée combinant quatre ingrédients aux profils nutritionnels complémentaires : *Pennisetum glaucum* (Mil pénicillaire) : Une céréale de base résiliente et riche en énergie, dont le traitement (comme la prégélatinisation) peut améliorer la digestibilité et la densité énergétique. *Glycine max* (Soja) : Le principal enrichissement protéique, reconnu pour son excellent profil d'acides aminés, essentiel pour la croissance et le développement musculaire (**GRET/IRD, 2020**). *Adansonia digitata* (Pulpe de fruit de Baobab) : Un ingrédient novateur, utilisé comme source naturelle de vitamine C (améliorant l'absorption du fer) et de fibres prébiotiques (**N'dri et al., 2022**). *Moringa oleifera* (Feuilles) : Un super-aliment connu pour sa concentration exceptionnelle en micronutriments clés tels que le fer, le calcium et le bêta-carotène (précurseur de la vitamine A), ciblés dans la lutte contre les carences (**Sanogo et al., 2022**).

L'accent est mis sur la production d'un produit "instantané", ce qui non seulement permet d'augmenter la densité nutritionnelle de la bouillie finale, mais garantit également une meilleure sécurité alimentaire en réduisant la nécessité d'une cuisson prolongée au foyer, minimisant ainsi les risques de contamination microbiologique (**Sanogo et al., 2022**). L'objectif principal de ce travail est de formuler méthodiquement une farine infantile instantanée et de procéder à une

évaluation exhaustive de sa qualité en vue d'une potentielle d'industrialisation. L'étude sera articulée autour des axes suivants, en adéquation avec les recommandations de l'OMS et les standards nationaux (**GRET/IRD, 2020**) : Formulation et évaluation physico-chimique : Déterminer le ratio optimal des quatre ingrédients et mesurer les propriétés de la poudre (solubilité, instantanéité, densité), facteurs cruciaux pour l'acceptabilité et l'efficacité nutritionnelle.

PROBLEMATIQUE

Il existe déjà les farines infantiles instantanées au marché mais celles-ci demeurent inaccessibles aux populations à faible revenu qui sont pour la plupart des produits importés. Alors, mettre en exergue la valorisation des ingrédients locaux pourrait répondre aux besoins des nourrissons et jeunes enfants réduisant ainsi la dépendance aux produits importés.

QUESTION DE RECHERCHE

La formulation d'une farine infantile instantanée à base de *Pennisetum glaucum*, *Glycine max*, *Adansonia digitata* et des feuilles de *Moringa oleifera* pourrait-elle répondre aux normes nutritionnelles et techno-fonctionnelles adéquates pour les besoins alimentaires des nourrissons et jeunes enfants ?

HYPOTHESE

Une farine infantile instantanée formulée à base de mil perlé, soja, baobab et feuilles de moringa possède des qualités organoleptiques, nutritionnelles et techno-fonctionnelles pouvant répondre aux besoins alimentaires des nourrissons et jeunes enfants.

OBJECTIF GENERAL

Evaluer le profil sensoriel, les paramètres physico-chimiques et les propriétés techno-fonctionnelles d'une farine infantile instantanée formulée à base de mil perlé, soja, baobab et de feuilles de moringa.

OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Formuler une farine infantile instantanée à base de mil perlé, de soja, de pulpe de baobab et de feuilles de moringa ;
- Déterminer l'acceptabilité générale des farines infantiles instantanées formulées à base de mil perlé, soja, baobab et les feuilles de moringa ;
- Déterminer les teneurs en macronutriments, micronutriments et anti-nutriments des farines infantiles instantanées formulées ;
- Déterminer les propriétés techno-fonctionnelles des farines infantiles instantanées formulées.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

I. Généralité sur la malnutrition

I.1 Malnutrition infantile

La malnutrition désigne un état pathologique résultant d'apports énergétiques et/ou nutritionnels inadéquats, qu'il s'agisse de carences, d'excès ou de déséquilibres chez une personne (Les malnutritions regroupent la sous-alimentation, la suralimentation, la mauvaise assimilation.) (OMS, 2021).

Pour l'UNICEF, la malnutrition revêt trois formes différentes :

- La sous-alimentation (manger insuffisamment)
- Les carences alimentaires (manger mal ou de façon déséquilibrée)
- La suralimentation (manger trop)

La malnutrition est en effet, un état complexe où peuvent se mêler des carences multiples et concomitantes en calories, en protéines et en micronutriments. Le terme « malnutrition » englobe la malnutrition généralisée qui se manifeste par un retard de croissance, un déficit pondéral et l'émaciation, et les carences en micronutriments tels que le fer, la vitamine A, l'iode, le zinc et l'acide folique. La malnutrition, contrairement à la faim, ne dépend pas seulement de la satisfaction de l'appétit : un enfant qui mange suffisamment pour calmer sa faim immédiate peut néanmoins être malnutri. Les premières années de vie constituant une période de forte vulnérabilité nutritionnelle, la prévention et la prise en charge de la malnutrition exigent une attention particulière portée à la nutrition infantile.

I.2 La nutrition infantile et ses enjeux dans la santé publique

I.2.1 Définition de la nutrition infantile

La nutrition infantile correspond à l'ensemble des apports alimentaires et des processus physiologiques permettant à l'enfant de satisfaire ses besoins énergétiques, protéiques, vitaminiques et minéraux, essentiels à sa croissance, son développement cognitif et sa santé globale. Elle englobe l'allaitement maternel, l'introduction des aliments de complément à partir de 6 mois, ainsi que la diversification alimentaire adaptée aux besoins évolutifs du nourrisson et du jeune enfant. Une nutrition adéquate au cours de cette période critique conditionne non seulement la croissance physique, mais aussi le développement neurologique, immunitaire et métabolique (UNICEF, 2021).

I.2.2 Les 1000 premiers jours de l'enfant : période critique

Les 1000 premiers jours, allant de la conception jusqu'aux deux ans de l'enfant, représentent une fenêtre de sensibilité maximale pour la nutrition. Pendant cette période :

- La croissance physique et cérébrale est rapide et soutenue ;
- Les besoins en macronutriments et micronutriments sont élevés et spécifiques ;
- La qualité de l'alimentation influence la prévention des carences, des retards de croissance, de l'émaciation, ainsi que du surpoids et des maladies chroniques ultérieures.

Tout déficit nutritionnel durant cette période peut avoir des conséquences irréversibles, telles que le retard de croissance, la diminution du quotient intellectuel, la vulnérabilité aux infections, et un risque accru de maladies métaboliques à l'âge adulte (UNICEF, 2021).

I.2.3 Importance des 1000 premiers jours dans la santé publique

La nutrition infantile constitue un enjeu majeur de santé publique car :

- Elle contribue directement à réduire la mortalité et la morbidité infantiles ;
- Elle conditionne le capital santé futur de l'enfant et donc le développement socio-économique de la société ;
- Elle est au cœur des programmes de prévention de la malnutrition et de ses complications, particulièrement dans les pays à faible revenu ;
- Une intervention nutritionnelle précoce et adaptée dans les 1000 premiers jours permet d'optimiser le développement physique et cognitif, réduisant ainsi le fardeau des maladies et des handicaps liés à la malnutrition.

La nutrition infantile, en particulier au cours des 1000 premiers jours, est un pilier de la santé publique. Assurer des apports adéquats et adaptés pendant cette période critique est essentiel pour prévenir la malnutrition, favoriser le développement optimal de l'enfant et renforcer le capital santé à long terme, tant pour l'individu que pour la collectivité (UNICEF, 2021).

I.3 Aliments de compléments

I.3.1 Définition des aliments de complément

Les aliments de complément sont les denrées introduites dans l'alimentation du nourrisson en plus du lait maternel ou du lait infantile lorsque ces derniers ne suffisent plus à couvrir seuls ses besoins nutritionnels. Leur introduction est généralement recommandée à partir de 6 mois, tout en maintenant l'allaitement (UNICEF, 2022).

I.3.2 Types de compléments utilisés dans la prise en charge de la malnutrition infantile

On distingue selon l'objectif clinique et le niveau de prise en charge :

➤ **Compléments à usage préventif (pour prévenir la malnutrition)**

- Bouillies et farines enrichies locales (mil + légumineuse + huile + vitamine A...)
- Poudres micro-nutritionnelles (sprinkles) ajoutées dans les repas
- Formules industrielles de complément "baby foods" (céréales + lait + micronutriments)
- Produits maison améliorés (mélanges céréales/légumineuses/oléagineux traités)

➤ **Compléments à usage curatif en malnutrition aiguë modérée (MAM)**

- RUSF (Ready-to-Use Supplementary Foods) : aliments prêts à l'emploi à haute densité nutritionnelle (pâte d'arachide enrichie...)
- FARINES thérapeutiques modifiées pour bouillies densifiées
- Laits thérapeutiques intermédiaires (F75/F100 en phase de transition selon protocole)

➤ **Compléments thérapeutiques en malnutrition aiguë sévère (MAS)**

- RUTF (Ready-to-Use Therapeutic Foods) : Plumpy'Nut®, etc., utilisés en ambulatoire
- Laits thérapeutiques F75 et F100 en phase de stabilisation et de récupération en centre nutritionnel

I.3.3 Rôles des aliments de complément dans la prise en charge de la malnutrition infantile

Les aliments de complément (AC) interviennent lorsque le lait maternel seul ne couvre plus les besoins nutritionnels de l'enfant (à partir de 6 mois) (UNICEF,2022). Ils jouent des rôles clés :

- **Rôle énergétique** : fournir assez de calories pour prévenir ou corriger la perte de poids et soutenir la croissance.
- **Rôle protéique** : apporter des protéines de bonne qualité pour la construction des tissus (croissance staturo-pondérale).
- **Rôle micronutritionnel** : couvrir les besoins en fer, zinc, vitamine A, iode et autres micronutriments afin d'éviter les carences multiples.
- **Rôle fonctionnel** : améliorer la digestion, la tolérance et le développement du microbiote intestinal (ex. fibres, fermentation, pré-traitement).
- **Rôle préventif et curatif** : prévenir la dénutrition modérée chez l'enfant sain, et contribuer au rattrapage nutritionnel chez l'enfant déjà malnutri.
- **Rôle socio-éducatif** : permettre aux familles de s'approprier des recettes locales améliorées, à faible coût, facilement reproductibles.

I.4 Farines infantiles

I.4.1 Définition et caractéristiques à conférer aux farines infantiles

Les farines infantiles sont des aliments complémentaires essentiels pour les enfants à partir de l'âge de quatre à six mois. Elles sont données sous forme de bouillie et ont pour but de compléter le lait maternel en apportant les nutriments nécessaires à la croissance et au développement des nourrissons. Pour être efficaces, ces farines doivent être spécialement conçues pour répondre aux besoins nutritionnels des enfants, en tenant compte de l'apport du lait maternel et de la fréquence des repas quotidiens, qui peut varier en fonction des contextes culturels et socio-économiques. En effet, dans de nombreux cas, les enfants reçoivent moins de trois repas par jour, ce qui nécessite une formulation adaptée pour assurer une couverture optimale de leurs besoins (Agboton, 2021). Un aliment de supplément est un aliment autre que le lait maternel spécialement formulé pour combler les déficits nutritionnels chez les nourrissons ou jeunes enfants à risque de malnutrition ou souffrant de malnutrition modérée. Il est généralement enrichi en énergie, protéines, vitamines et minéraux afin de soutenir la croissance, le développement et la récupération nutritionnelle des nourrissons ou jeunes enfants (WHO, 2023). Il existe une diversité de farines infantiles, qui se distinguent par leur composition, leur technologie de production et leur présentation sur le marché.

I.4.2 Classification selon la composition

Nous avons 4 types de farines infantiles qui sont entre autre :

- **Les farines de céréales** : elles sont les plus prisées dans l'alimentation des nourrissons. Elles sont caloriques et riches en amidon. Certaines contiennent du gluten ;
- **Les farines de tubercules ou de racines** : elles sont très riches en amidon pur et abondant mais dépourvues de cellulose et de protéine ;
- **Les farines d'aleurones** : elles sont issues de graines oléagineuses et sont riches en protéines et ne contiennent presque pas d'amidon. Elles constituent les bases des régimes sans lait ;
- **Les farines de fruits** : ces farines sont très énergétiques du fait de leur forte teneur en amidon (Olive *et al.*, 2020 ; Agboton, 2021).

I.4.3 Classification selon les technologies de production et le mode de préparation

Nous notons que deux (02) types de farines sont rencontrées sur le marché à savoir :

- **Les farines non cuites ou dites à cuire** : ce type de farine doit être cuire au préalable (environ 15min) pour faciliter l'assimilation de l'amidon par les enfants ;

- **Les farines cuites ou instantanées** : la production de farine instantanée se fait par des procédés souvent plus complexes (cuisson au four, séchage sur rouleau, cuisson-extrusion). Ce type de farine est rendue légère et ne nécessite donc plus de cuisson. Elles sont justes délayées dans l'eau portée à ébullition (Ponka *et al.*, 2016 ; Olive *et al.*, 2020 ; Agboton, 2021).

I.4.4 Classification selon la présentation commerciale : nous avons les farines peu ou non sucrées, les farines additionnées de fruits ou de légumes déshydratées, des farines parfumées (à la vanille, au cacao...) et les farines lactées ou non (Olive *et al.*, 2020).

I.4.5 Caractéristiques à conférer aux farines infantiles

Pour être réellement consommées et apporter un bénéfice nutritionnel, les farines infantiles doivent présenter un ensemble de caractéristiques clés, notamment des qualités sanitaires et nutritionnelles, une biodisponibilité des nutriments, une densité énergétique appropriée, une granulométrie adaptée, une consistance convenable ainsi que des qualités organoleptiques agréables.

I.4.6 Qualités sanitaires

Une farine infantile doit être salubre, elle ne doit pas contenir de germes pathogènes, de toxines ou de résidus chimiques toxiques susceptibles d'avoir des répercussions sur la santé du nourrisson ; notamment, elle ne doit pas être à l'origine de diarrhées. Selon la norme Codex Stan 74 1981 du codex alimentarius, 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 en bas âge » (CAC/RCP 21-1979). Ce code donne des spécifications microbiologiques à caractère consultatif, différentes selon qu'il s'agit de farines à cuire ou de farines instantanées (Mouquet *et al.*, 1998).

Tableau 1 : Normes microbiologiques applicables aux farines infantiles(LogUFC/g) (WFP,2018).

Microorganismes	Farine à cuire	Farine instantanée
<i>Bactéries aérobies totales</i>	$<10^6$	$<10^4$
<i>Coliformes</i>	$<10^3$	<10
<i>Escherichia coli</i>	$<10^2$	<3
<i>Clostridium perfringens</i>	$<10^2$	<10
<i>Bacillus cereus</i>	$<10^2$	<10

I.4.7 Qualités nutritionnelles

La qualité nutritionnelle des farines infantiles repose sur leur capacité à fournir un apport adéquat en macro- et micronutriments essentiels pour la croissance et le développement des enfants. Ces produits doivent être enrichis en protéines, fer, zinc, vitamines, et en acides gras essentiels, tout en étant faciles à digérer et adaptés à l'âge (FAO/OMS, 2019). La fortification en vitamines et minéraux des farines infantiles est une stratégie efficace dans la lutte contre les carences en vitamines et minéraux chez des jeunes enfants des pays en développement (Azanmasso, 2018).

Les teneurs minimales autorisées dans les farines infantiles sont :

Tableau 2 : Seuils de fortification autorisés pour les nutriments dans les farines infantiles dont les quantités sont fixées pour 100g (UNICEF, 2022).

Nutriments	Minimum
Energie(Kcal)	510-560
Glucides(g)	55-75
Protéines(g)	11-16
Lipides(g)	26-36
Fibres(%)	1,5-5
Vitamine A(mcg ER)	>35
Vitamine C(mg)	> 2,3
Calcium(mg)	> 125
Fer (g)	> 4
Zinc (mg)	>1,5
Magnésium(mg)	150-225

mg=milligramme ; mcg ER=microgramme équivalent rétinol

I.4.8 Densité énergétique, granulométrie et consistance

La densité énergétique des aliments pour nourrissons est un paramètre clé pour assurer une couverture adéquate des besoins nutritionnels dans un faible volume, compte tenu de la capacité gastrique limitée des jeunes enfants. L'OMS recommande une densité énergétique minimale de 0,8 à 1,0 kcal/g pour les bouillies destinées aux enfants âgés de 6 à 24 mois (WHO, 2023). Cependant, les formulations traditionnelles à base de céréales ont souvent une densité énergétique faible (<0,5 kcal/g), surtout après dilution pour obtenir une consistance acceptable (Dewey et Adu-Afarwuah, 2008).

La granulométrie, c'est-à-dire la taille des particules solides dans une farine ou un aliment transformé, influence à la fois la digestibilité, la texture et l'acceptabilité sensorielle. Pour les enfants en bas âge, une granulométrie fine (typiquement $<250\ \mu\text{m}$) est souhaitée pour éviter les risques d'étouffement et améliorer la solubilité ainsi que la consistance homogène des bouillies (Nout et Ngoddy, 1997 ; Zannou-Tchoko et al., 2022).

La consistance (ou viscosité) est un paramètre critique dans la formulation des aliments infantiles. Une bouillie trop épaisse peut être difficile à avaler, tandis qu'une consistance trop liquide entraîne une faible densité énergétique par portion. La consistance optimale doit permettre une consommation facile tout en maintenant une densité énergétique suffisante. L'OMS recommande une viscosité comprise entre 1 000 et 3 000 cP pour les bouillies destinées aux jeunes enfants (WHO, 2023). La consistance peut être ajustée par des procédés comme la torréfaction (qui réduit l'aptitude à la gélatinisation de l'amidon) ou l'addition d'enzymes (comme l'amylase) qui fluidifient la bouillie à chaud (Amagloh et al., 2015).

I.5 Généralités sur les ingrédients des aliments d'enrichissement

I.5.1 Taxonomie du millet

Le *Pennisetum glaucum* également connu sous le nom de millet ou mil perlé ou encore petit mil est une céréale cultivée pour l'alimentation en Afrique et en Asie. Il appartient : au règne des *Plantae*, à la classe des *Monocotylédones*, à l'ordre des *cyperales*, à la famille des *Poaceaes*, au genre *Pennisetum* (Saidou, 2011). Le genre *Pennisetum* est constitué par 140 espèces et sous-espèces qui sont réparties dans les régions tropicale et subtropicale. Il est divisé en cinq sections. Le mil appartient à la section *Penicellariae*, qui se caractérise par la présence d'une mince touffe de poils au sommet des anthères et un nombre haploïde de chromosomes qui est égal à 7 ou un multiple de 7 (Hamadou et al., 2017).



Figure 1: Graines de mil perlé (*Pennisetum glaucum*)

Source : <https://www.alamyimages.fr/photos-images/mil-perl%C3%A9.html?cutout=1&sortBy=relevant>

I.5.1.1 Composition nutritionnelle

Dans les régions semi-arides du monde principalement en Afrique et en Asie, le *pennisetum glaucum* est l'une des cultures céréalières les plus répandues (**Hamadou et al., 2017**). Par ailleurs le mil *pennisetum* est utilisé comme aliment de base sous diverses formes issues de la transformation du grain à savoir le couscous, la bouillie, le beignet (**Soumana, 2001 ; Saiidou, 2011 ; Amadou et al., 2013**).

Le mil *pennisetum* est une bonne source des nutriments parmi lesquels nous avons :

Tableau 3 : Composition proximale de *Pennisetum glaucum*

Nutriments	Teneurs
Protéines(g)	9,85
Glucides(g)	75,49
Lipides(g)	6,4
Fibres brutes(g)	7,8
Calcium(mg)	221,9
Zinc(mg)	35

I.5.2 Taxonomie du soja

La Glycine max également connu sous le nom de Soja ou soya est une légumineuse cultivée dans le monde pour l'alimentation et originaire de la Chine. Il aurait été introduit en Afrique pour lutter contre la malnutrition provoquée par la croissance rapide de la population et les problèmes économiques qui ont réduit le niveau de vie (**IITA, 1986 ; N'Gbesso, 2011**). Elle appartient : au Règne des Plantae, à la classe de Magnoliospida, à l'ordre des Fabales, à la famille des Fabacées, au genre Glycine et est composé d'environ 280 espèces représentées par des plantes arbustives ligneuses, herbacées vivaces et annuelles (**Simon, 2005**). Il est subdivisé en deux sous-genres : Glycine et Soja (**Demol et al., 2002**). Le sous-genre Soja comprend les espèces soja Sieb et Zucc qui sont des espèces de types sauvages. Ces espèces se retrouvent uniquement en Asie Orientale. Le sous genre Glycine est constitué de l'espèce Glycine max (L.) Merrill qui est la forme cultivée. Toutefois, Ces deux sous genres s'hybrident facilement et peuvent également être considérés comme une seule espèce biologique (**Javaheri et Baudoin, 2001**).

La photo ci-dessous illustre les graines de soja :



Figure 2: Graine de soja (photographie, MADJIRE)

I.5.2.1 Composition nutritionnelle

Le soja (*Glycine max*) est une légumineuse dont les graines sont riches en protéine. Les protéines du soja présentent une quantité d'acides aminés supérieurs aux autres oléagineux et fait du soja une protéine équivalente aux protéines animales (CNUCED, 2016). La consommation régulière du soja pourrait contribuer à la lutte/prévention des maladies (Malnutrition protéino-énergétique...) par ses nombreuses vertus nutritionnelles parmi lesquelles, nous avons :

Tableau 4 : Composition proximale de *Glycine max* (Baguidi et al., 2015).

Nutriments	Teneurs
Protéines(g)	40,6
Glucides(g)	23,55
Lipides(g)	22,59
Fibres brutes(g)	6,9
Calcium(mg)	1633,58
Zinc(mg)	5,08

I.5.3 Taxonomie du baobab

Le baobab africain (*Adansonia digitata*) appartient au genre *Adansonia*, classé dans la famille des Malvacées (Malvaceae) et l'ordre des Malvales, selon la classification phylogénétique moderne (Plants of the World Online, 2025). Auparavant, cette famille était incluse dans les Bombacacées, mais elle est désormais reconnue comme une sous-famille, les Bombacoideae, au sein des Malvaceae (Wikipedia, 2025a). Le genre *Adansonia* comprend huit espèces officiellement reconnues. Six d'entre elles sont endémiques à Madagascar (*A. grandidieri*, *A. madagascarensis*, *A. perrieri*, *A. rubrostipa*, *A. suarezensis* et *A. za*) (Baum et al., 1998). Une espèce est native de la région de Kimberley au nord-ouest de l'Australie (*A. gregorii*), et *A. digitata* est l'unique espèce présente sur le continent africain et la péninsule

arabique (**Encyclopædia Britannica, 2025**). *Adansonia digitata* est largement répandu en Afrique subsaharienne, de la Mauritanie et du Sénégal à l'ouest jusqu'à l'Afrique du Sud au sud, en passant par le Tchad, le Soudan, le Nigéria, le Ghana, le Mali, le Niger, le Bénin, le Cameroun, le Kenya, la Tanzanie, le Mozambique, le Zimbabwe, la Zambie, le Malawi, l'Angola et la Namibie (**Wikipedia, 2025b**). Il est également introduit dans d'autres régions tropicales, notamment en Asie du Sud-Est, dans les Caraïbes et en Amérique du Sud (**Wikipedia, 2025b**).



Figure 3 : Fruit et pulpe de baobab (*Adansonia digitata*) (MAPTOUOM, 2022).

I.5.3.1 Composition nutritionnelle de la pulpe de baobab

La pulpe du fruit de baobab est riche en composés nutritifs (glucides, protéines, composés phénoliques, caroténoïdes, acides et vitamines), et les éléments minéraux dont le calcium, le fer, le zinc, le potassium, et le phosphore (**Boukari *et al.*, 2001**). Le tableau suivant présente la composition de la pulpe de *Adansonia digitata* L.

Tableau 5 : Composition de la pulpe d'*Adansonia digitata* L. (Cisse, 2012).

Nutriments	Teneurs
Protéines(g)	0,225
Glucides(g)	10,05
Lipides(g)	0,3
Cendre(mg)	20
Fibres brutes(g)	1,05
Calcium(mg)	234
Zinc(mg)	1,35

I.5.4 Taxonomie de moringa

Cet arbre originaire d'Inde et courant en Afrique était jusqu'il y a peu un arbre de case, servant de haie ou d'ombrage, parfois de plante médicinale ou alimentaire de cueillette (**Bardi, 2015**).

Le *Moringa oleifera* appartient à la classification botanique suivante :

Tableau 6 : Classification botanique de *Moringa oleifera*

Embranchement	Spermatophytes
Sous embranchement	Angiosperme
Classe	Dicotylédones
Sous Classe	Dilleniidae
Ordre	Capparales (capparidacées)
Famille	Moringaceae
Genre	Moringa
Espèce	Oleifera



Figure 4 : Feuilles de *Moringa oleifera* (Agboton, 2021).

I.5.4.1 Composition nutritionnelle de la poudre de feuilles de moringa

L'ensemble de ses nombreux facteurs nutritifs (ses teneurs en vitamines, minéraux, protéines et antioxydants) qui fait des feuilles de moringa un aliment si précieux.

La composition chimique est variable selon les conditions de culture mais ses caractéristiques les plus intéressantes restent toujours présentes :

Tableau 7 : Composition proximale de la poudre de *Moringa oleifera* (Noamesi et al., 2010).

Nutriments	Teneurs
Protéines(g)	26
Glucides(g)	40
Lipides(g)	7,01
Fibres brutes(g)	11,8
Calcium(mg)	2200
Zinc(mg)	3

I.5.5 Lait Nido

Le Lait Nido est une marque de lait en poudre pour nourrissons et enfants en bas âge, produite par Nestlé, qui peut être utilisée comme complément nutritionnel pour aider à couvrir les besoins énergétiques et protéiques des enfants de 0-59 mois souffrant de malnutrition protéino-énergétique. Il est riche en protéines, lipides, glucides, vitamines et minéraux essentiels pour la croissance et le développement des enfants. Le Lait Nido peut être utilisé comme ingrédient dans la formulation d'une farine infantile instantanée pour la prise en charge de la malnutrition protéino-énergétique chez les enfants de 0-59 mois. Il apporte des nutriments essentiels tels que des protéines, lipides, glucides, vitamines et minéraux qui peuvent contribuer à améliorer l'état nutritionnel des enfants souffrant de malnutrition protéino-énergétique (Duteurtre G. et Corniaux C., 2018).



Figure 5 : Lait en poudre (Duteurtre G. et Corniaux C., 2018).

I.5.6 Huile de soja

L'huile de soja est une source de lipides essentiels qui peut être utilisée pour aider à couvrir les besoins énergétiques et nutritionnels des enfants de 6-59 mois souffrant de malnutrition protéino-énergétique. Elle peut être utilisée dans la formulation de farines infantiles instantanées pour la prise en charge de la malnutrition protéino-énergétique chez les enfants de

0-59 mois. Elle apporte des acides gras polyinsaturés, notamment les oméga-6, importants pour la croissance et le développement des enfants. L'huile de soja peut aider à améliorer l'état nutritionnel des enfants souffrant de malnutrition protéino-énergétique en fournissant des lipides essentiels pour la croissance et le développement.



Figure 6 : Huile de soja

Source : https://glotelho.cm/product/huile-de-soja-queen-nwann-11-54451?srsId=AfmBOoo7lnW6YoYDru00MqbgKfbYewvz_rvHWRReSCFKZnnJIGAkKC7kR

I.5.7 Sucre blanc

Le sucre est un ingrédient qui peut être utilisé dans la formulation d'une farine infantile instantanée pour apporter des glucides et de l'énergie aux enfants. Il peut contribuer à améliorer le goût et l'appétence de la farine infantile, ce qui peut encourager les enfants à consommer suffisamment de nutriments pour soutenir leur croissance et leur développement.



Figure 7 : Sucre blanc

Source : <https://www.jumia.ci/sucre-en-poudre-blanc-1kg-princesse-tatie-mpg661346.html>

I.6 Concept d'instantanéité

Le concept d'instantanéité décrit la facilité avec laquelle une poudre alimentaire se reconstitue lorsqu'elle est mélangée à de l'eau. Il renvoie à la rapidité avec laquelle la poudre s'humidifie, se disperse et forme une préparation uniforme. Ce comportement est recherché dans les produits déshydratés pour garantir une utilisation simple et rapide (Huang et al., 2023 ; Delgado et Singh, 2022).

➤ Définition

En technologie alimentaire, l'instantanéité désigne la capacité d'un produit (souvent déshydraté en poudre ou granulé) à se reconstituer rapidement et complètement au contact d'un liquide (eau, lait...) sans formation de grumeaux et sans nécessiter de cuisson supplémentaire (Huang et al., 2023 ; Delgado et Singh, 2022).

Intérêt de l'instantanéité

➤ Intérêt fonctionnel et technologique

Les farines instantanées présentent des propriétés physiques contrôlées — granulométrie, porosité, mouillabilité — assurant une dispersion homogène et une texture stable après reconstitution. Les traitements technologiques comme la cuisson, la torréfaction ou l'agglomération modifient l'amidon et les protéines, ce qui facilite la solubilité et l'hydratation au moment de la préparation (Huang et al., 2023 ; Liu et al., 2024). De plus, l'absence de recuisson ultérieure contribue à préserver les micronutriments sensibles à la chaleur (FAO, 2022).

➤ Intérêt nutritionnel et de santé

Ces farines offrent une meilleure sécurité microbiologique, car elles sont stabilisées par des traitements thermiques et par une faible activité de l'eau qui inhibe les microorganismes (WHO, 2021). Les prétraitements réduisent aussi les facteurs antinutritionnels, ce qui améliore la biodisponibilité des nutriments essentiels comme le fer ou les protéines (Singh et al., 2024). Enfin, elles répondent efficacement aux besoins spécifiques des populations vulnérables (nourrissons, patients, contextes humanitaires) où la digestion, la mastication ou la cuisson sont limitées (UNICEF, 2023).

➤ Intérêt socio-économique

L'utilisation de farines instantanées permet de réduire le temps de préparation et de limiter la consommation de combustible, un avantage clé dans les zones à ressources limitées (FAO, 2022). Leur forme sèche et légère facilite le stockage, le transport et la distribution,

notamment en interventions humanitaires (UNICEF, 2023). Par ailleurs, leur production à partir de matières premières locales rend ces produits plus accessibles et réduit la dépendance aux importations (Amoa-Awua et al., 2023).

➤ Intérêt industriel

Sur le plan industriel, les farines instantanées permettent de garantir une qualité standardisée d'un lot à l'autre, ce qui est déterminant pour les aliments infantiles (Codex Alimentarius, 2023). Leur faible activité de l'eau et leur conditionnement adapté prolongent leur durée de conservation sans nécessiter de chaîne froide (FAO, 2022). Enfin, elles valorisent les matières premières locales à travers une transformation à forte valeur ajoutée, contribuant à la compétitivité et au développement économique local (Amoa-Awua et al., 2023).

I.6.1 Fondement biochimique de l'instantanéité d'une farine

L'instantanéité d'une farine correspond à sa capacité à s'humecter, se disperser et s'hydrater très rapidement au contact de l'eau pour former une bouillie homogène sans grumeaux. Cette propriété résulte de plusieurs modifications biochimiques induites par les traitements technologiques appliqués aux matières premières. La chaleur provoque une gélatinisation partielle de l'amidon, rendant celui-ci plus amorphe et beaucoup plus apte à absorber l'eau. Les protéines subissent une dénaturation, ce qui améliore leur accessibilité à l'eau et facilite la dispersion de la poudre. Parallèlement, la torréfaction et la cuisson réduisent les antinutriments et créent une structure poreuse qui favorise la mouillabilité et l'hydratation rapide. L'ensemble de ces transformations confère à la farine une aptitude technofonctionnelle essentielle pour les farines infantiles : la reconstitution immédiate (Singh et al., 2024 ; Huang et al., 2023).

I.6.2 Gélatinisation de l'amidon

La gélatinisation de l'amidon, ou empesage, se produit lors du chauffage de l'amidon en présence d'une quantité d'eau supérieure à 60–70 % (base humide). Ce phénomène entraîne une transition irréversible de la structure semi-cristalline (ordre) à une structure amorphe (désordre), associée à la diffusion de l'eau à l'intérieur du granule, au gonflement radial des granules d'amidon, à la perte de biréfringence optique et à la destruction de l'ordre moléculaire (Li et al., 2023).

➤ Structure de l'amidon

L'amidon est un glucide complexe composé de deux principaux polysaccharides : l'amylose, une chaîne linéaire de molécules de glucose, et l'amylopectine, une chaîne ramifiée de molécules de glucose. La proportion et la structure de ces composants influencent les

propriétés fonctionnelles de l'amidon, telles que la solubilité, la viscosité et la digestibilité (Yang et al., 2025).

I.6.3 Techniques de pré-gélatinisation et de séchage

➤ Cuisson humide

La cuisson humide consiste à chauffer l'amidon en présence d'eau jusqu'à sa gélatinisation, puis à retirer l'eau par séchage. Ce procédé améliore la digestibilité et la solubilité de l'amidon, facilitant ainsi sa reconstitution rapide dans les aliments infantiles (Yang et al., 2025).

➤ Torrification

La torrification est un traitement thermique à sec à haute température, provoquant une gélatinisation partielle de l'amidon et le développement de notes aromatiques. Ce procédé améliore la solubilité, supprime le goût de farine crue et apporte des qualités sensorielles appréciées dans les farines destinées aux nourrissons (Yang et al., 2025).

➤ Extrusion

L'extrusion est un procédé combinant chaleur, pression et cisaillement, entraînant une déstructuration poussée et parfois une expansion des granules d'amidon. Ce traitement permet une pré-gélatinisation complète, une texture uniforme et une surface accrue, favorisant une hydratation très rapide, ce qui est essentiel pour les farines infantiles (Yang et al., 2025).

➤ Agglomération

L'agglomération consiste à humidifier des particules fines d'amidon, puis à les lier entre elles pour former des agrégats de plus grande taille. Ce procédé améliore la mouillabilité et la solubilité, et limite la formation de grumeaux lors de la reconstitution, facilitant ainsi la préparation des aliments pour nourrissons (Yang et al., 2025).

I.6.4 Mécanisme de gélatinisation

La gélatinisation de l'amidon est un processus thermique irréversible qui transforme les granules d'amidon en une pâte visqueuse, essentielle dans la formulation de farines infantiles instantanées (Li et al., 2023). Ce phénomène implique plusieurs étapes clés :

- **Absorption d'eau et gonflement des granules** : Sous l'effet de la chaleur et de l'humidité, les granules d'amidon absorbent l'eau, provoquant leur gonflement. Cette absorption est facilitée par la structure amorphe de l'amidon, permettant une pénétration plus rapide de l'eau ;
- **Dissociation des structures cristallines** : L'eau pénètre dans les régions cristallines de l'amidon, perturbant les liaisons hydrogène entre les chaînes d'amylopectine et d'amylose, entraînant la rupture des structures double-hélice et cristallines ;

- **Leaching de l'amylose** : Une fois les structures internes perturbées, l'amylose se libère dans la phase aqueuse, contribuant à l'augmentation de la viscosité de la pâte ;
- **Formation d'un réseau gélifié** : À mesure que la pâte refroidit, les chaînes d'amylose et d'amylopectine s'organisent pour former un réseau tridimensionnel, piégeant l'eau et donnant naissance à un gel stable.

Des facteurs tels que la teneur en eau, la température de cuisson, la durée du traitement thermique et la présence d'additifs influencent ce processus. Par exemple, les polysaccharides non amylacés peuvent interférer avec la gélatinisation en réduisant l'accessibilité de l'eau aux granules d'amidon, ralentissant ainsi le gonflement et la dissolution des structures cristallines (Li et al., 2023).

I.6.5 Impacte de gélatinisation sur la digestibilité et la texture de la farine après reconstitution

- **Impacte de gélatinisation sur la digestibilité**

La gélatinisation entraîne une augmentation de la digestibilité des farines infantiles, car la rupture de la structure cristalline de l'amidon rend les granules plus accessibles aux enzymes digestives, favorisant ainsi l'hydrolyse rapide du glucose. Cette transformation est particulièrement importante chez les nourrissons, dont l'activité enzymatique intestinale est encore limitée, permettant une meilleure absorption des glucides et une libération efficace d'énergie (Chiodetti, Tuccio et Carini, 2024).

La gélatinisation permet également la réduction des facteurs antinutritionnels mécaniques, car les granules gonflés deviennent moins résistants à la digestion. Cette modification facilite l'assimilation des nutriments essentiels, comme les protéines et le fer, ce qui est crucial pour les enfants en bas âge afin de garantir un apport nutritionnel adéquat (Shen et al., 2023).

Enfin, la gélatinisation contribue à l'optimisation de la valeur énergétique des farines infantiles, assurant une libération efficace d'énergie essentielle pour la croissance et le développement des nourrissons, tout en améliorant la performance nutritionnelle globale du produit (FAO, 2022).

- **Impact de la gélatinisation sur la texture après reconstitution**

Pour les farines à cuire, la gélatinisation se produit principalement lors de la cuisson domestique, et la texture finale de la bouillie peut varier selon le temps de cuisson et la quantité d'eau utilisée. Cette variabilité peut entraîner des bouillies plus fluides ou irrégulières, nécessitant une attention particulière lors de la préparation pour garantir une consistance adaptée aux nourrissons (UNICEF, 2023).

Pour les farines instantanées, l'amidon est pré-gélatinisé lors du traitement industriel par cuisson, extrusion ou agglomération. Après reconstitution, ces farines produisent une bouillie homogène et stable, avec une viscosité prédictible et sans formation de grumeaux, facilitant la consommation et la digestion chez le nourrisson tout en garantissant une qualité sensorielle constante (FAO, 2022).

Enfin, la relation viscosité-densité énergétique est un paramètre essentiel pour la préparation de bouillies infantiles. Une gélatinisation contrôlée permet d'obtenir une consistance suffisamment dense pour fournir les calories et nutriments nécessaires, tout en restant facile à ingérer, conciliant ainsi apport énergétique et digestibilité optimale.

I.6.6 Justification du choix de la farine instantanée

La farine infantile instantanée est privilégiée pour sa capacité à répondre aux exigences nutritionnelles, microbiologiques et pratiques des nourrissons. Grâce à des procédés tels que l'extrusion ou la cuisson sous pression, cette farine bénéficie d'une pré-gélatinisation de l'amidon, ce qui améliore sa digestibilité et sa solubilité. Ces traitements thermiques permettent également de réduire les facteurs antinutritionnels et de conserver les micronutriments sensibles à la chaleur (Rodríguez et al., 2025).

L'instantanéité de la farine facilite une réhydratation rapide, essentielle dans les contextes où le temps est limité, tout en assurant une texture homogène et une acceptabilité sensorielle élevée (Zakaria et al., 2024). De plus, l'utilisation de technologies avancées, telles que l'extrudeuse à vis jumelée, optimise la consistance et la qualité microbiologique du produit final, répondant ainsi aux normes de sécurité alimentaire (Food Machinery International, 2024).

En résumé, le choix de la farine infantile instantanée repose sur ses avantages en termes de sécurité nutritionnelle, de praticité et de qualité, répondant ainsi aux besoins spécifiques des nourrissons et aux exigences des programmes de nutrition infantile.

I.6.7 Aspect technologique de la formulation

La formulation d'une farine infantile implique une succession de traitements technologiques appliqués aux ingrédients afin de garantir la sécurité microbiologique, la digestibilité, la valeur nutritionnelle et l'instantanéité du produit final. Chaque étape optimise des propriétés spécifiques des matières premières et assure que le produit final réponde aux normes nutritionnelles et de sécurité (Organisation mondiale de la Santé [OMS], 2023).

Le trempage consiste à immerger les grains ou les feuilles dans l'eau pendant un temps déterminé afin de réduire les facteurs antinutritionnels tels que les phytates et les tannins. Cette

opération améliore la biodisponibilité des minéraux et facilite les traitements mécaniques ultérieurs comme le broyage et la cuisson (**Dongmo et al., 2025**).

La torréfaction ou cuisson sèche des ingrédients à température contrôlée permet de pré-cuire partiellement l'amidon, de dénaturer certaines protéines et de développer des arômes favorables. Ce traitement contribue à la digestibilité et à l'acceptabilité sensorielle de la farine infantile (**Fellows, 2022**).

La cuisson humide ou blanchiment complète la gélatinisation de l'amidon amorcée lors des étapes précédentes et contribue à la réduction des antinutritionnels solubles. Elle assure également une texture homogène après reconstitution de la farine, essentielle pour la consommation infantile (**Potter et Hotchkiss, 2012**).

Le séchage au déshydrateur est crucial pour stabiliser les ingrédients en éliminant l'excès d'humidité, limitant ainsi le développement microbien. Cette étape conserve les micronutriments sensibles à la chaleur et prépare les matières premières pour une mouture efficace (**Huang et al., 2023**).

La mouture ou le broyage transforme les ingrédients séchés en une farine fine et homogène. Une granulométrie contrôlée permet une réhydratation rapide et une texture lisse de la bouillie, ce qui est indispensable pour un produit infantile instantané (**Mbassi et al., 2021**).

Le mélange et l'homogénéisation assurent une distribution uniforme des nutriments dans la farine, garantissant que chaque portion délivre la densité énergétique et nutritionnelle prévue. Cette étape est essentielle pour la qualité et la sécurité nutritionnelle du produit final (**OMS, 2023**).

I.7 Quelques travaux antérieurs sur les farines infantiles

Plusieurs plans stratégiques de la nutrition et politique nationales ont été mis en place et réalisées dans le monde avec nos différents intrants. **Maman et al. (2020)**, au Niger, ont mené un essai portant sur l'utilisation d'une farine de sevrage à base de mil, de tourteaux d'arachide et de poudre de moringa dans la réhabilitation nutritionnelle de la malnutrition aiguë en milieu communautaire. Les résultats montrent que cette farine, enrichie au moringa, constitue une option particulièrement intéressante pour la prise en charge nutritionnelle. Elle est bien acceptée et bien tolérée par les enfants malnutris, et a permis d'obtenir des améliorations notables tant sur le plan clinique qu'anthropométrique. Toutefois, les auteurs précisent que la consommation de la bouillie ne suffit pas à elle seule : elle doit être accompagnée de pratiques d'hygiène adéquates et d'une éducation nutritionnelle des mères afin d'assurer une prise en charge efficace. **Razak et Boureima, (2021)** au Niger ont fait une étude sur la qualité nutritionnelle et sensorielle d'une farine infantile enrichie au soja et à la spiruline et test de récupération

nutritionnelle chez les enfants de 6 à 24 mois. Les résultats de cette étude montrent une réhabilitation nutritionnelle être efficace chez les enfants malnutris c'est pourquoi l'utilisation du soja pourrait constituer une alternative efficace dans les programmes de lutte contre la malnutrition dans nos pays. **Feh et al. (2025)**, au Cameroun, ont étudié la formulation et la caractérisation de farines infantiles élaborées à partir d'un mélange technique de plantain, de graines de sésame et de pulpe de baobab. Leurs résultats ont montré que les teneurs en protéines brutes, en glucides totaux, en fibres brutes, en calcium et en vitamine C étaient conformes aux normes du Programme Alimentaire Mondial. Cette performance nutritionnelle est notamment liée à la pulpe de baobab, reconnue comme une source importante de vitamine C, ce qui en fait une alternative prometteuse pour la formulation de farines infantiles destinées à la prévention de la malnutrition infantile. Toutefois, les auteurs soulignent que cette farine nécessite un enrichissement en vitamine A et en fer afin de répondre pleinement aux exigences des farines complémentaires et de contribuer efficacement à la lutte contre la malnutrition chez les jeunes enfants.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1 MATERIEL VEGETAL

Les ingrédients utilisés dans la formulation ont été choisis pour leur disponibilité locale, leur coût accessible et surtout leur complémentarité nutritionnelle. Le mil perlé apporte principalement les glucides et l'énergie nécessaires à la croissance, tout en fournissant des fibres et des minéraux essentiels. Le soja, riche en protéines complètes et en acides gras polyinsaturés, permet d'améliorer la valeur protéique de la farine. La pulpe de baobab, très riche en vitamine C, en calcium et en fibres solubles, contribue à renforcer la densité micro-nutritionnelle tout en améliorant l'absorption du fer. Les feuilles de moringa, concentrées en bêta-carotène, en fer, en calcium et en antioxydants, enrichissent la formule en vitamines et minéraux essentiels pour prévenir les carences. Le lait en poudre fournit des protéines animales de haute qualité, du calcium bien absorbé et une saveur douce appréciée des enfants. L'huile végétale augmente la densité énergétique de la farine, apporte des acides gras essentiels indispensables au développement cérébral et facilite l'absorption des vitamines liposolubles comme les vitamines A, D, E et K. Enfin, le sucre améliore l'appétence et facilite l'acceptation du produit par les enfants. Ensemble, ces ingrédients assurent une farine infantile complète, équilibrée, nutritive et adaptée aux besoins des jeunes enfants. Les photographies ci-dessous illustrent les différents ingrédients :



Photographie du mil perlé a



Photographie du soja b



Photographie de la pulpe de baobab c



Photographie de feuilles de moringa d
Agboton, 2021

Les images ci-dessous présentent les ingrédients d'enrichissement de la farine infantile instantanée :



Photographie e



Photographie f



Photographie g

Figure 8 : Présentation des différentes matières premières
Photographies a, b, c, e, f, g, (MADJIRE dans cette étude, 2025).

II.2 METHODES

II.2.1 Considération éthique

Conformément à l'approbation éthique obtenue (Annexe 1), les protocoles de cette étude ont été validés par le Comité Régional d'Ethique pour la Recherche en Santé Humaine du Centre (**CRESRH/C**), sous le numéro **CE N°003467/CRESHC/2025** en date du 01 septembre 2025. Cette approbation garantit que le protocole de recherche respecte les exigences éthiques en vigueur, garantissant ainsi la protection des droits, la sécurité et le bien être des participants, ainsi que le respect des normes de bonne conduite en recherche scientifique. La présente étude a été conduite conformément aux conditions établies dans cette autorisation.

II.2.2 Echantillonnage

Les différentes matières premières ont été collectées dans plusieurs marchés de la ville de Yaoundé (Cameroun). Le soja, le mil perlé et la pulpe de baobab ont été achetés auprès de trois vendeurs du marché Mokolo et de trois autres vendeurs du marché Mfoundi, afin d'assurer une représentativité. Les feuilles de moringa ont été achetées au marché Melen chez plusieurs (05) vendeurs afin d'assurer la représentativité. L'huile de soja, le sucre et le lait en poudre ont été achetés au marché Mfoundi. L'ensemble des ingrédients a ensuite été acheminé au Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (**LabSAM**) de l'Université de Yaoundé I pour les différentes analyses.

II.2.3 Traitement des échantillons

Une fois au laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme, les différents ingrédients alimentaires ont subi chacune un certain nombre de prétraitement et traitement jusqu'à l'obtention des différentes poudres de matière suivant :

➤ Le triage

Le triage est une opération préliminaire essentielle dans le traitement des produits agricoles ou alimentaires, qui consiste à séparer les matières premières utiles des corps étrangers ou indésirables. Cette étape vise à améliorer la qualité, la sécurité et l'efficacité des opérations suivantes (lavage, broyage, cuisson, etc.).

➤ Le lavage, trempage et l'égouttage

Dans le cadre de la préparation des matières premières destinées à la formulation de la farine infantile, nous avons d'abord procédé au lavage des grains. Cette étape nous a permis d'éliminer les salissures visibles, les poussières, les insectes et autres débris indésirables présents à la surface des graines. Nous avons utilisé de l'eau potable afin de garantir une bonne hygiène du produit. Ce nettoyage initial est indispensable pour limiter les risques de contamination et assurer la qualité sanitaire de la matière première.

Ensuite, nous avons réalisé le trempage des graines. Cette opération consiste à les immerger dans l'eau pendant plusieurs heures. Le trempage a pour but de ramollir les graines, de faciliter leur transformation ultérieure, mais également de réduire certains composés antinutritionnels tels que les phytates ou les tanins. Cette étape contribue également à améliorer la digestibilité des nutriments contenus dans les grains. La durée du trempage a été ajustée en fonction de la nature des matières premières utilisées.

Après le trempage, nous avons procédé à l'égouttage. Il s'agissait ici de retirer l'eau de trempage et de laisser les grains s'égoutter pendant un certain temps. Cette opération nous a permis de limiter l'humidité résiduelle en surface et de prévenir tout développement microbien indésirable. L'égouttage a aussi favorisé l'élimination de l'eau ayant pu contenir des résidus d'antinutriments libérés durant le trempage.

➤ Le dépulpage

Après le lavage et le trempage, nous avons procédé au dépulpage du soja afin d'améliorer la qualité nutritionnelle et technologique des matières premières. Le mil perlé a été dépulpe à l'aide d'un moulin à dépulpage, ce qui nous a permis d'éliminer efficacement la couche externe riche en fibres et en composés amers, tout en conservant les parties nutritives du grain. Cette méthode mécanique a facilité l'obtention d'une farine plus fine, plus homogène et mieux adaptée à l'alimentation infantile.

En ce qui concerne le soja, nous avons effectué le dépulpage manuellement juste après le trempage, lorsque les graines étaient suffisamment ramollies. Cette opération consistait à frotter les graines entre les mains pour détacher les enveloppes, qui ont ensuite été séparées par rinçage. Elle a permis de réduire les fibres insolubles et les antinutriments présents dans le tégument, tout en améliorant la digestibilité et la qualité sanitaire du produit final.

➤ **La cuisson à vapeur**

Avant la cuisson à la vapeur, nous avons d'abord préparé les feuilles de moringa en les parant pour enlever les tiges dures, puis en les lavant soigneusement à l'eau potable. Nous les avons ensuite soumises à un brève trempage de 30 minutes, ce qui a permis de les assouplir légèrement et d'éliminer certaines impuretés ou composés solubles. De même, le mil perlé a été lavé, puis trempé pendant 30 minutes pour faciliter sa cuisson et améliorer sa texture. Par la suite, nous avons cuit à la vapeur le mil perlé et les feuilles de moringa à 100 °C, dans le but de précuire les ingrédients tout en préservant au mieux leurs qualités nutritionnelles. Cette cuisson a permis d'inactiver certains facteurs antinutritionnels, de réduire la charge microbienne, et de préparer les deux ingrédients aux étapes de transformation suivantes comme le séchage et le broyage.

➤ **Le séchage**

Après les différentes étapes de transformation, nous avons procédé au séchage de chaque matière première à l'aide d'un déshydrateur, dans le but de réduire leur humidité résiduelle et de garantir leur stabilité microbiologique. Le soja a été séché après le dépulpage, à 50 °C pendant 24 heures, afin d'obtenir une texture sèche et adaptée au broyage, tout en préservant sa qualité nutritionnelle. Les feuilles de moringa, préalablement parées, lavées, trempées et cuites à la vapeur, ont été séchées à 45 °C pendant 24 heures, une température modérée permettant de préserver au mieux les micronutriments sensibles à la chaleur. Le mil perlé, après lavage, trempage de 30 minutes et cuisson à vapeur, a été séché à 50 °C pendant 48 heures, jusqu'à une déshydratation complète. Enfin, la pulpe de baobab, après triage, a été séchée à 45 °C pendant 45 minutes, cette courte durée étant suffisante compte tenu de sa faible teneur initiale en humidité.

➤ **La torréfaction**

Après le séchage, nous avons procédé à la torréfaction du soja à 115 °C pendant 10 minutes. Cette étape avait un double objectif : d'une part, précuire le soja afin de faciliter sa digestion et d'optimiser sa transformation, et d'autre part, améliorer ses propriétés organoleptiques en développant une saveur plus agréable et en réduisant les odeurs végétales. La torréfaction a également contribué à réduire les facteurs antinutritionnels résiduels tels que

les inhibiteurs de trypsine, et à renforcer la sécurité microbiologique du produit. Réalisée dans des conditions contrôlées, elle a permis d'obtenir un soja précuit, plus digeste et prêt pour le broyage sans altération majeure de ses qualités nutritionnelles.

➤ **La mouture et tamisage**

La mouture est une opération de transformation qui consiste à réduire les matières premières solides (comme le mil, le soja, les feuilles de moringa ou la pulpe de baobab séchés) en fines particules à l'aide d'un broyeur ou d'un moulin. Elle permet d'obtenir une farine avec une granulométrie adaptée à la consommation infantile, tout en améliorant la digestibilité et la facilité de reconstitution de la bouillie. Cette étape est essentielle pour homogénéiser les ingrédients et optimiser la biodisponibilité des nutriments.

Le tamisage suit la mouture et vise à séparer les particules obtenues selon leur taille à l'aide de tamis de mailles spécifiques. Il permet d'éliminer les particules trop grossières ou les résidus non désirés, afin d'obtenir une farine uniforme, lisse et adaptée aux capacités digestives des nourrissons. Cette opération améliore la texture de la bouillie, sa solubilité ainsi que sa sécurité d'utilisation.

➤ **Le conditionnement**

Le conditionnement des farines dans des emballages plastiques qui consistait à les ensacher dans des sachets hermétiques, en polyéthylène ou en polypropylène, afin d'assurer leur protection contre l'humidité, l'air, la lumière, les insectes et toute contamination microbienne. Ce procédé permet de conserver la qualité nutritionnelle et l'innocuité du produit tout en prolongeant sa durée de vie.

Le processus de prétraitements et de traitement de ces quatre matières premières (le mil perlé, le soja, la pulpe de baobab et les feuilles de moringa) est résumé par le diagramme ci-dessous afin d'obtenir des différentes poudres :

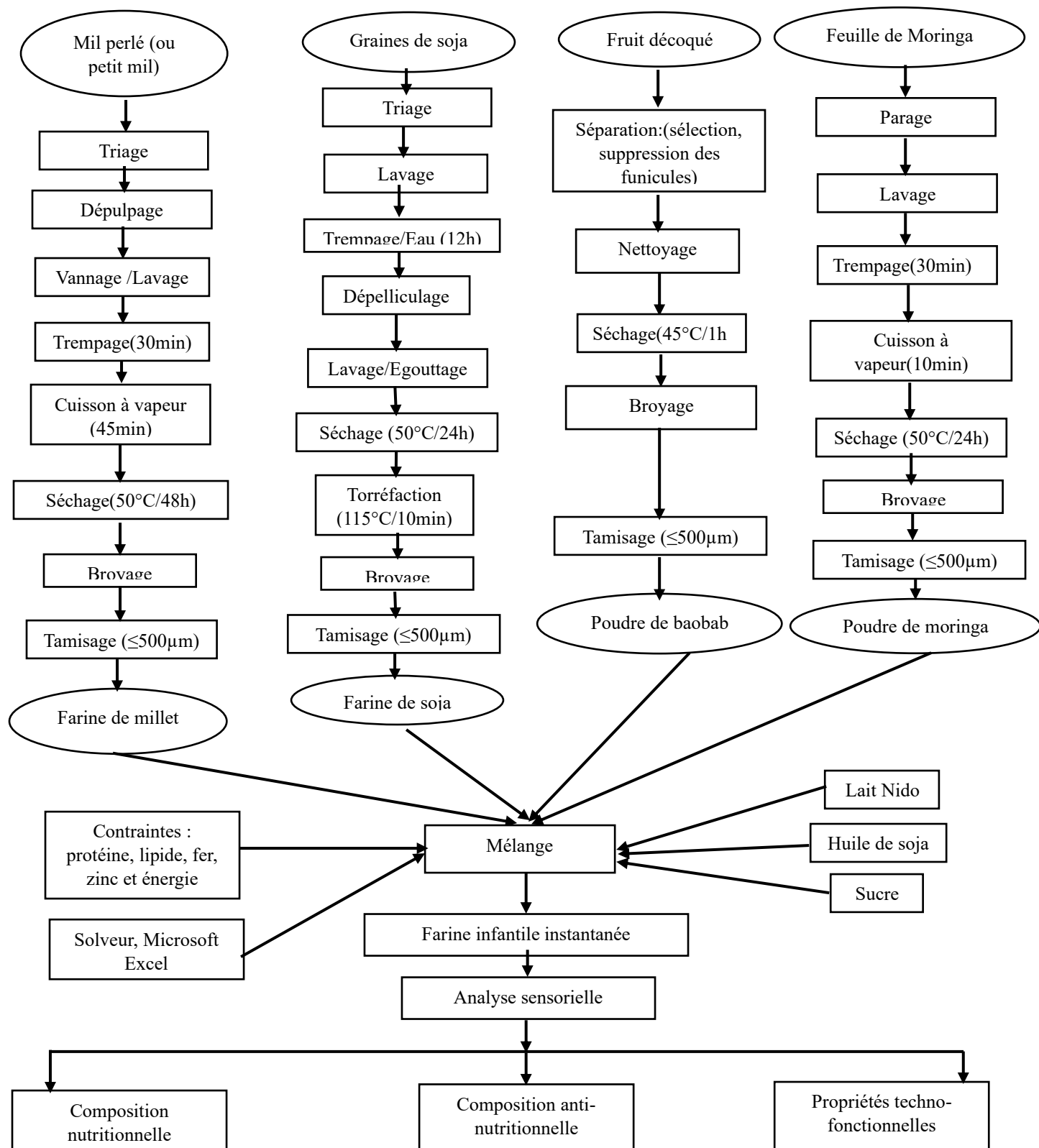


Figure 9 : Diagramme synoptique de formulation d'une farine infantile instantanée

II.2.3 Formulation des farines

La réalisation de cette formulation de farine infantile instantanée a été faite à l'aide d'une programmation linéaire, via l'extension « solveur » du logiciel Microsoft Excel 2016, permettant d'obtenir de meilleures formules satisfaisant les contraintes nutritionnelles et à moindre coût (Gbogouri et al., 2019).

Rappelons qu'une programmation linéaire se définit comme étant une méthode mathématique qui permet de trouver la solution possible à un ensemble d'équation et inéquation linéaires à l'aide du solveur du logiciel Excel. Appliquée à la nutrition, elle permet de résoudre un problème mathématique complexe : identifier des combinaisons d'aliments qui respectent un ensemble de recommandation nutritionnelles.

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 des aliments qui seront obtenues peuvent ainsi constituer un repas, un panier, une série de repas ou un menu journalier. Les contraintes introduites dans les modèles sont de deux types :

- La composition nutritionnelle de chaque ingrédient alimentaire (Mil perlé, soja, pulpe de baobab, feuilles de moringa, lait en poudre, huile de soja, sucre) ;
- Des contraintes sur les nutriments et certains ingrédients alimentaires.

Les apports journaliers recommandés établis pour la population cible (les enfants d'âge préscolaire) nous a permis de fixer les différentes valeurs sur nos contraintes (protéine, glucide, lipide, fer et zinc), selon UNICEF (2022).

a. Méthode de sélection des formules

La sélection des différentes formules de farine infantile a été réalisée en suivant une démarche structurée reposant sur deux types de contraintes : celles liées aux ingrédients et celles liées aux exigences nutritionnelles.

Premièrement, des contraintes de formulation ont été définies afin de garantir la conformité du produit aux objectifs initiaux du travail. Ainsi, le mil et le soja devaient être présents en proportions élevées dans toutes les formules retenues. Le mil constitue en effet la principale source d'énergie glucidique, tandis que le soja apporte une quantité importante de protéines, nécessaire pour améliorer la valeur nutritionnelle globale de la farine. Le respect de cette exigence assurait la cohérence technologique et nutritionnelle de toutes les propositions formulées.

Deuxièmement, les formules ont été sélectionnées en fonction de leur adéquation aux contraintes nutritionnelles et aux normes applicables aux farines infantiles. Les teneurs en protéines, lipides, glucides, vitamines et minéraux ont été examinées afin de vérifier leur conformité avec les recommandations pour l'alimentation complémentaire des enfants de 6 à 59 mois. Seules les formules répondant à ces exigences notamment en matière d'apport énergétique, de densité nutritionnelle et d'équilibre macro- et micronutriments ont été retenues pour la suite de l'étude.

Cette double approche, combinant contraintes sur les ingrédients et conformité aux normes nutritionnelles, a permis d'identifier les formules les plus pertinentes pour élaborer une farine infantile instantanée à la fois nutritive, adaptée et acceptable.

Ces différentes contraintes ont été représentées dans le tableau 8 :

Tableau 8 : Normes internationales des farines infantiles (UNICEF, 2022).

Paramètres	Contraintes
Glucide	55-75 g/100g
Protéine	11-16g/100g
Lipide	26-36 g/100g
Fer	10-14mg/100g
Bêta-carotène	700-1600 mcg/100g
Zinc	11-14 mg/100g

b. Préparation de la farine instantanée

Les données obtenues ont été exploitées pour mélanger les différentes poudres des ingrédients. Puis s'en est suivi la préparation de la farine instantanée par la méthode modifiée de **Makengo et al. 2015**. La préparation a consisté à mélanger en quantité équivalente la farine avec de l'eau chaude jusqu'à l'obtention d'une pâte élastique. La pâte obtenue a été étalée de façon homogène sur des plateaux. Après étalage, la pâte a été séchée à l'étuve à 118°C pendant au moins 45minutes. La pâte ainsi cuite et sèche a été pulvérisée au mixeur pour obtenir la farine précuite qui se dissout instantanément dans l'eau bouillante(100°C). Et enfin le conditionnement du produit fini dans les emballages en plastique et placé dans un récipient en attendant leur caractérisation.

II.2.4 Caractérisation physico-chimique de la farine infantile

II.2.4.1 Analyse sensorielle

a. Préparation des bouillies

Des essais préliminaires avec des dégustateurs non entraînés ont permis de retenir la formulation suivante : une bouillie préparée avec 16 cuillères à soupe (98,24g) de farine infantile instantanée dans 260ml d'eau potable préalablement portée à ébullition, le mélange étant effectué de manière à obtenir une consistance appropriée.

b. Test sensoriel

Les farines enrichies ont été soumises à un test hédonique et de préférence portant sur le goût, l'odeur, la couleur, la texture et la consistance, évalués sur une échelle de cinq niveaux allant de « très déplaisant » à « très plaisant ». Un panel de 100 personnes a été constitué conformément aux recommandations de l'AFNOR (2000). Ce panel comprenait des étudiants du campus de Ngoa Ekélé, des membres du Laboratoire des Sciences Alimentaires et Métabolisme (**LabSAM**), ainsi que quelques mamans du quartier, afin d'obtenir une appréciation diversifiée et représentative. Le critère d'inclusion retenu était d'avoir déjà consommé des bouillies infantiles, tandis que le critère d'exclusion concernait toute situation pouvant empêcher une évaluation correcte du produit. Le critère de non-inclusion correspondait au fait de ne pas consommer au moins un des ingrédients utilisés dans la formulation. Les allergies potentielles, notamment au gluten, au soja ou à tout autre ingrédient utilisé, ont été clairement mentionnées dans la fiche d'analyse sensorielle afin d'assurer la sécurité des participants. La fiche d'évaluation sensorielle est présentée en annexe B.

II.2.4.2 Détermination des teneurs en macronutriments

a. Détermination de la 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 définies par la méthode utilisée 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 avec l'obtention d'une masse constante. Elle a été effectuée par la méthode d'**A.O.A.C. (1990)**.

➤ Mode opératoire

Une masse M1 de la tare a été pesée et 2 g de l'échantillon frais a été introduit dans la tare dont l'ensemble est noté masse M2 qui a été par la suite séchée à l'étuve à 105 °C pendant

24h. Les échantillons ont été pesés toutes les 2h jusqu'à obtention d'une masse constante. A chaque sortie de l'étuve, les échantillons ont été placés dans un dessiccateur pour refroidissement et pour éviter la réabsorption de l'humidité de l'air avant la pesée. Après séchage, l'ensemble contenant le résidu sec total ou matière sèche (MS) a été pesé (M3) et la teneur en matière sèche et en eau exprimée en pourcentage de matière fraîche ont été calculées selon les formules suivantes :

$$\%MS = \left(\frac{M3-M1}{M2-M1} \right) * 100$$

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

M1 : masse de la tare

M2 : masse de la tare + masse de la farine avant séchage

M3 : masse de la tare + masse de la farine après séchage

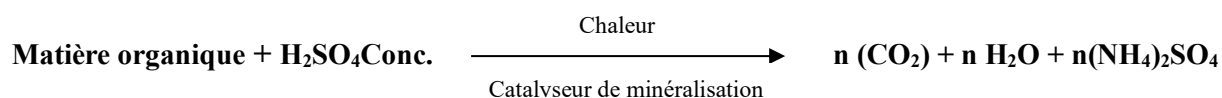
b. Détermination des teneurs en azote total et protéines brutes

La teneur en protéines totales a été évaluée après détermination de la teneur en azote total et multiplication de cette teneur par 6,25. L'azote total a été déterminé après minéralisation des échantillons selon la méthode de Kjeldahl (AFNOR, 1984), suivi du dosage par la méthode de Devani et al. (1989).

1ères étapes : Minéralisation

➤ Principe

La minéralisation selon Kjeldahl consiste à détruire toute la substance organique azotée contenue dans la denrée alimentaire et sa conversion en azote minérale par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur de minéralisation selon l'équation :



➤ Mode opératoire

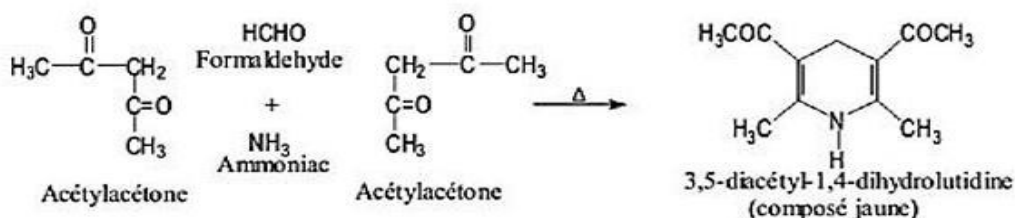
Une masse de 0,5 g de résidu sec de la farine a été introduite dans un matras de minéralisation, 5 ml H₂SO₄ concentré et une pincée de catalyseur de minéralisation y ont été successivement ajoutés. L'ensemble a été porté à chaud sur une rampe de minéralisation avec un système collecteur de fumées. Le matras a été chauffé pendant 3 heures environ 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.

2èmes étapes : Dosage de l'azote

➤ Principe

Il est basé sur la réaction en milieu aqueux, de l'ammoniac avec l'acétylacétone et le formaldéhyde pour former le 3,5-diacétyl-1,4-dihydrolutidine de couleur jaune qui présente un maximum d'absorption à 412 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en azote. L'équation de la réaction est la suivante :



➤ Mode opératoire

Dans un tube à essai, ont été introduit successivement 0,2 ml de minéralisât, 1,2 ml de solution d'acétate de sodium et 1,6 ml de solution réactive (15 ml de formaldéhyde + 8 ml d'acétylacétone dans 77 ml d'eau distillée). Le mélange a été incubé au bain-Marie (97,5 °C) pendant 15 minutes. Une fois refroidi dans un courant d'eau froide, le volume du tube a été complété à 10 ml en ajoutant 7 ml d'eau distillée. L'absorbance a été lue à 412 nm contre un blanc constitué des solutions d'acétate de sodium, solution réactive, et de l'eau distillée. La gamme d'étalonnage de la solution d'azote a été établie à partir d'une solution de sulfate d'ammonium 0,4 g d'azote / ml. La quantité d'azote a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage du sulfate d'ammonium. L'équation de droite d'étalonnage $Y = 0,006X$ a permis de calculer la quantité d'azote dans 100 g MS à partir de la formule :

$$X = \frac{Y \cdot V_t \cdot 100 \cdot 100}{V_p \cdot m \cdot a \cdot MS}$$

Y : Densité optique

V_o : Volume de minéralisât doser

a : coefficient d'étalonnage (0,006)

X : Quantité d'azote en µg

V : Volume total de minéralisât en ml

m : Masse d'échantillon minéralisé en g

MS : Masse sèche

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) :

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

c. Teneur en lipides totaux

Les lipides totaux ont été déterminés par la méthode décrite par (Bourelly, 1982).

➤ Principe

L'extraction des lipides contenus dans un échantillon est basée sur la solubilité différentielle de ces derniers dans un solvant organique. Elle se fait au Soxhlet pendant une durée de 12 h environs. Le solvant a ensuite été éliminé par évaporation ou séchage et la teneur en lipides totaux a été calculée à 0% d'humidité, par différence de poids du sachet avant et après extraction complète des lipides.

➤ Mode opératoire

Des cartouches faites avec du papier cellulose de type Wattman N° 1 ont été confectionnées, puis séchées pendant 10 min dans une étuve à 105 °C. Ensuite, elles ont été laissées refroidir 5 min dans un dessiccateur en verre contenant du gel de silice anhydre, et pesées à l'aide d'une balance de précision. Une masse M0 (2 g) de poudre de la farine a été pesée et introduite dans chaque cartouche préalablement tarée, puis la cartouche a été soigneusement refermée. L'ensemble a ensuite été séché pendant 2h dans l'étuve à 105 °C, afin de les dessécher complètement. Après séchage, les cartouches ont été laissées refroidir ensuite 5 mn dans un dessiccateur, puis elles ont été pesées (M1). Après cela, elles ont été introduites dans l'extracteur de Soxhlet placé entre le réfrigérant à eau et le ballon contenant des billes de verre et environ 200 ml de solvant d'extraction (hexane). L'ensemble a été placé dans un chauffe ballon thermostaté et le dispositif a été mis en marche. L'ébullition du solvant a permis son évaporation du ballon vers l'extracteur et le lavage continu de l'échantillon s'est fait pendant 12h. A la fin de l'extraction, après arrêt du chauffage et refroidissement du dispositif, les cartouches contenant l'échantillon ont été séchées dans l'étuve à 105 °C pendant 1h, puis pesées (M2). La teneur en lipides totaux en g/100g MS a été déterminée par différence de poids de la cartouche avant et après extraction complète des lipides par la formule suivante :

$$\% \text{Lipides} = \frac{(M1 - M2) * 100}{M0 * Ms} * 100$$

M0 : masse de l'échantillon

M1 : masse de l'ensemble échantillon + cartouche avant extraction

M2 : masse de l'ensemble échantillon + cartouche après extraction

MS : matière sèche

d. Teneurs en fibres brutes

Les fibres brutes ont été déterminées par la méthode décrite par **A.O.A.C (1980)**.

➤ Principe

Il repose sur une succession de digestion de la poudre obtenue des aliments par les acides forts et les bases fortes.

➤ Mode opératoire

Environ 1 g d'échantillon de la farine délipidé (M1) a été introduite dans un bécher de 250 mL et 100 mL d'acide sulfurique (0,26 N) ont été ajoutés. Le mélange a été chauffé pendant 30 minutes à 100 °C et refroidi. Après filtration à l'aide d'un filtre en verre fritté, le résidu a été rincé trois fois avec de l'eau distillée, récupéré à l'aide d'une spatule et introduit dans un bécher de 250 mL où 100 mL de soude (NaOH ; 0,23 N) ont été introduits. Le mélange a encore été chauffé à 100°C pendant 30 minutes. Il a ensuite été refroidi et filtré. Le résidu obtenu a été lavé 2 fois à l'acétone, et séché à l'étuve à 100 °C pendant 8 heures. Après refroidissement, le résidu a été pesé (M2) puis calciné à 550 °C pendant 3 heures. Il a été enfin refroidi dans un dessiccateur et pesé (M3). La teneur en fibres a été déterminée en utilisant la formule ci-dessous.

$$\text{Fibres brutes}(\%) = \frac{M2 - M3}{M1} * 100$$

Pour chaque échantillon trois essais ont été réalisés et le résultat obtenu a été exprimé en g/100 g de matières sèches et présenté sous forme de moyenne $\pm$ écart-type.

e. Teneurs en cendre totale

La teneur en cendre a été déterminée par simple incinération selon **AFNOR (1981)**.

➤ Principe

Elle consiste à incinérer complètement la matière organique contenue dans l'échantillon jusqu'à obtention des cendres blanches dans un four à moufle réglé à 550 °C.

➤ Mode opératoire

Une capsule de porcelaine a été placée dans le four à 550 °C pendant environ 3 heures pour détruire toutes les traces de matière organique. Lorsqu'elle a été retirée du four, elle a été refroidie dans un dessiccateur pendant une heure et pesée (P1). Ensuite, environ 1 g d'échantillon de notre farine issus de l'étuvage à 105 $\pm$ 2°C (P0) a été introduit dans la capsule. L'ensemble a été introduit dans un four et incinéré à 550 °C pendant 24 heures. Après incinération, les

capsules ont été retirées du four à l'aide d'une pince puis refroidies dans l'atmosphère d'un dessiccateur et pesées (P3). Trois essais ont été effectués pour chaque échantillon. La teneur en cendres a été calculée en utilisant la formule ci-dessous. Les résultats obtenus sont donnés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type et exprimés en g/100 mL pour chaque boisson.

$$\text{Teneur en cendre totale} = \frac{P3 - P1}{P0} * 100 \text{ en } \frac{\text{g}}{100\text{g}} \text{ de matière sèche}$$

f. Teneur en glucides totaux

La teneur en glucides totaux a été déterminée par la méthode de différence décrite par A.O.A.C (1984). Les pourcentages des différentes teneurs (protéines totales, lipides totaux, eau, cendres totales, fibres brutes) ont été additionnés et soustraits de 100 %. La teneur en glucides totaux de l'échantillon a été calculée par la formule suivante :

$$\% \text{glucides} = 100 - (\% \text{eau} + \% \text{de cendre} + \% \text{de protéine} + \% \text{de lipide})$$

II.2.4.3 Détermination des teneurs en micronutriments

Les minéraux Fe, Zn, Ca et Mg ont été analysés 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 poudre de la 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.

a. Analyse du magnésium et calcium

Pour la détermination de la teneur en Mg et Ca 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 Mg et en Ca ont été déterminées respectivement à 285,2 nm et 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 Mg et en Ca a été déterminée par l'expression suivante :

$$\text{Mg et Ca} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{(\text{CO}) * \text{volume total}(\text{ml}) * \text{facteur de dilution} * 100}{\text{M} * 1000}$$

b. Analyse du fer et du zinc

Un aliquote 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 :

$$\text{Fe et Zn} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{(\text{CO}) * \text{volume total}(\text{ml}) * \text{facteur de dilution} * 100}{\text{M} * 1000}$$

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

c. Teneurs en vitamine C

Elle a été déterminée par la méthode décrite par (Idah et al., 2010) en utilisant le 2,6dichloro-phénol-indophénol (DCPIP).

➤ Principe

Le 2,6-dichloro-phénol-indophénol (DCPIP) est utilisé pour doser directement la vitamine C présent en solution par titrage rédox. La fin du dosage ou équivalence est mise en évidence par un excès de DCPIP (teinte rose pâle).

➤ Mode opératoire

0,5 ml de notre farine ont été introduite dans un tube à essai puis est ajouté 10 mL d'acétique 90%. L'ensemble est titré avec la solution de DCPIP (50 µmol) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose pâle. Le volume est noté (Vt). Cette titration est répétée avec 5 mL d'eau

distillée pour le blanc (Vb) et 10 mL de solution d'acide ascorbique (0,1mg/mL) pour le standard (Vst). La teneur en vitamine C dans les échantillons est calculée suivant la relation :

$$\text{Vitamine C } \left(\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = \frac{(Vt - Vb)}{(Vst - Vb)} * \text{facteur de dilution}$$

Avec

Vt : le volume de DCPIP nécessaire pour titrer l'échantillon

Vb : volume de DCPIP nécessaire pour titrer le blanc

Vst : volume de DCPIP nécessaire pour titrer le standard

d. Teneurs en caroténoïde totaux

Les caroténoïdes ont été dosés selon la méthode décrite par **Rodriguez-Amaya et Kimura, (2004)**.

➤ Principe

Les caroténoïdes sont des pigments dont la couleur résulte de la présence dans leur structure d'une séquence multiple de doubles liaisons qui absorbent la lumière entre 440 et 495 nm.

Extraction à l'acétone

Environ 0,5g d'échantillon a été homogénéisé à 3 mL d'acétone froide pendant 1 min et filtré, l'opération a été répétée jusqu'à ce que l'acétone ne soit plus coloré. Partition à l'éther de pétrole. 10 mL d'éther de pétrole ont été introduit dans l'ampoule à décanter de 500 mL avec un robinet en téflon ensuite les extraits acétoniques y ont été ajoutés. Puis 75 mL d'eau distillé ont été ajouté lentement en laissant couler le long des parois de l'entonnoir (pour éviter la formation d'une émulsion, si une émulsion se forme, ajouter une solution saturée de chlorure de sodium).

Les deux phases ont été séparées et la phase aqueuse inférieure a été jetée. Le surnageant a été lavé 3 à 4 fois avec de l'eau distillée (50 mL à chaque fois) pour éliminer l'acétone. La phase éther de pétrole (surnageant) a été recueilli dans une fiole jaugée de 25 mL en faisant passer la solution dans un petit entonnoir contenant du sulfate de sodium anhydre (3g) pour éliminer l'eau résiduelle. Le volume a été ajusté jusqu'au trait de jauge avec de l'éther de pétrole

Lecture spectrophotométrique et calcul

L'absorbance a été lu à 480 et 495 nm. Les valeurs de D.O doivent être comprises entre 0,2 et 0,8. La teneur en caroténoïdes totaux est donnée par la formule :

$$\text{Caroténoïdes totaux } \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = 17,9 * A_{480} - 9,6 * A_{495}$$

II.2.4.4 Détermination des teneurs en anti-nutriments

a. Détermination de teneur en tanins

Les tanins totaux ont été évalués par le protocole décrit 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 500 nm. 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 50 ml ont été introduits 1g d'échantillon et 25 ml de d'éthanol 96%. Après 30 min d'agitation puis filtration, le mélange a été centrifugé à 3000 tr/min pendant 10 min. Le surnageant a été recueilli et utilisé pour le dosage des tanins.

➤ Mode opératoire

Exactement 0,5 ml d'extrait, 3 ml du réactif butanol-HCl (95 : 5) et 0,1 ml de réactif ferrique (sulfate d'ammonium ferrique 2% dans du HCl 2 N) ont été mélangés dans un tube à essai de 10 ml. Le mélange a été agité et incubé dans un bain-Marie à 100°C pendant 1h. L'absorbance a été lue à 500 nm pour chaque échantillon contre un blanc réalisé en faisant un mélange similaire sans incubation. La formule ci-dessous développée par Porter et al. (1986), donne la teneur en tanins condensés, exprimée en mg équivalent acide gallique / 100 g de matière sèche.

$$\text{Teneur en tanins} = \frac{\text{DO} * 78.26 * \text{facteur de dilution}}{\text{Masse d'échantillon sec}} * 100$$

Avec DO = absorbance de l'échantillon à 500 nm ; facteur de dilution = 1 car aucune dilution n'a été effectuée.

b. Détermination de teneur en phytate

La détermination de la teneur en phytate 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 poudre de la farine 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.

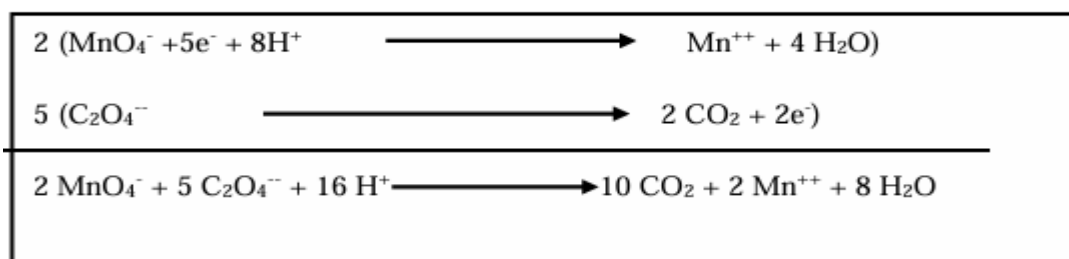
➤ Mode opératoire

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 phytate a été calculée comme suit :

$$\text{Teneur en phytates} = \text{Valeur du titre} \times 0.00195 \times 1.19 \times 100$$

c. Teneurs en oxalates

En présence de l'acide sulfurique et à chaud, l'acide oxalique est oxydé par le permanganate de potassium. L'oxydation de l'acide oxalique est marquée par le virage du milieu au rose persistant pendant quelques secondes marquant la fin de la réaction.



➤ Mode opératoire

Un (01) g de farine a été pesé puis introduit dans un erlenmeyer ; 75 mL de H₂SO₄ (3 mol/L) ont été ajoutés. Le mélange a subi une agitation magnétique pendant 1h suivi d'une filtration. 25 mL du filtrat obtenu ont été recueillis et chauffés à 80-90°C puis maintenu au-dessus de 70°C en tout temps ; l'échantillon chaud a été titré en continu avec 0,05mol /L de KMnO₄ jusqu'à obtention d'une couleur rose pâle persistante (15 secondes minimum). La teneur en oxalate a alors été calculée en prenant 1ml de KMnO₄ comme équivalent à 2,2 mg d'oxalate. Les résultats ont été exprimés en mg/100 mL de farine.

d. Teneur en saponines

La détermination de la teneur en saponines a été réalisée par la méthode d'**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 2 g de poudre (M0) sont prélevé et introduits dans un erlenmeyer contenant 20 ml d'éthanol à 20%. Le mélange est soumis à l'agitation magnétique pendant 30 min, 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 40 ml par chauffage dans un bain marie à 90°C. Le concentrât est transféré dans une ampoule à décanté et 20 ml 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 décanter avec 60 ml de n-butanol mélangé et la phase inférieure est jetée et la phase supérieure est rincée deux fois avec 10 ml 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 a été calculée en utilisant L'équation :

$$\text{Teneur en saponine}(\%) = \frac{\text{Masse du résidu}}{\text{Masse de l'échantillon initial}} * 100$$

II.2.5 Propriétés instantanés des farines

L'instantanéité d'une farine alimentaire, particulièrement une farine infantile, est une propriété fonctionnelle cruciale qui définit sa capacité à se reconstituer rapidement et uniformément dans un liquide (généralement de l'eau chaude) sans former de grumeaux et sans nécessiter de cuisson. Ces caractéristiques sont essentielles pour les farines infantiles, car elles garantissent une préparation rapide, une texture agréable et une absorption optimale des nutriments par les jeunes enfants. Parmi les paramètres permettant d'évaluer cette instantanéité, l'indice de dispersibilité mesure la proportion de farine qui se disperse correctement dans l'eau après agitation, tandis que la mouillabilité évalue la rapidité avec laquelle la farine absorbe l'eau et que la stabilité reflète la capacité de la bouillie reconstituée à rester homogène sans décantation, constituant ainsi un indicateur complet de la qualité de réhydratation de la farine (Okezie et Bello, 1988).

a. Indice de dispersibilité

Pour mesurer l'indice de dispersibilité, 1 g de farine ont été pesés en triplicat et ajoutés dans 20 mL d'eau distillée à température ambiante. Chaque suspension a été agitée doucement pendant 10 secondes, puis laissée au repos pendant 5 minutes. L'indice de dispersibilité a été

calculé en pourcentage à partir du volume de la phase liquide claire par rapport au volume initial de la suspension (Cuq, 2008). Un pourcentage élevé indique une farine qui se disperse facilement et uniformément.

$$\text{Indice de dispersibilité}(\%) = \frac{\text{volume de la phase liquide claire}}{\text{volume initial}} * 100$$

b. Stabilité de dispersion

La stabilité de dispersion a été évaluée en préparant une suspension contenant 2 g de farine dans 100 mL d'eau distillée. La suspension a été agitée vigoureusement pendant 30 secondes, puis laissée au repos pendant 30 minutes. La hauteur du sédiment formé a été mesurée et la stabilité de dispersion calculée en pourcentage selon la formule :

$$\text{Stabilité de dispersion}(\%) = \left(1 - \frac{\text{Hauteur du sédiment}}{\text{Hauteur totale de la suspension}}\right) * 100$$

Une valeur proche de 100 % traduit une suspension homogène et stable, indiquant que la farine reste bien dispersée dans l'eau (Okezie et Bello, 1988).

c. Mouillabilité

Elle a été déterminée comme le temps (en secondes) nécessaire pour qu'une unité de masse (1 g) de l'échantillon de farine soit complètement mouillée par un échantillon d'eau dans des conditions de laboratoire. La méthode utilisée est décrite par Okezie et Bello. (1988). À l'aide d'un support, environ 500ml d'eau ont été versés dans un bécher en verre propre (d'une capacité de 600ml), un tube à essai propre a été fixé à l'envers au-dessus de l'eau dans le bécher. La position du tube a été ajustée de manière à ce que la distance entre son ouverture et la surface de l'eau soit exactement de 10cm. Le niveau d'eau dans le becher et l'emplacement du tube ont été marqués avec du ruban adhésif. Ensuite, un gramme de l'échantillon a été pesé dans un tube à essai marqué et son ouverture a été bouchée avec le pouce. Le tube a été délicatement retourné et son ouverture retourné au-dessus de l'eau et fixé à l'aide du support au niveau du repère sans retirer le pouce. Une fois le chronomètre réglé sur l'arrêt, le pouce a été retiré et l'échantillon a été laissé tomber dans l'eau au moment où le chronomètre a été déclenché. L'immersion des échantillons de farine a été observée et le chronomètre s'est arrêté lorsque les derniers échantillons ont été mouillés.

II.2.6 Propriétés techno-fonctionnelles des farines

a. Capacité d'absorption en eau des échantillons de farine(CAE)

La méthode utilisée était celle décrite par **Phillips *et al.* (1988)**.

Principe : la méthode est basée sur la mesure du poids de la farine avant et après absorption d'eau.

Mode opératoire

Une quantité d'un (0,5) 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 (m_e). 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 TD4 Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses notées (m_e'). La capacité d'absorption d'eau pour chaque échantillon est déterminée selon la formule suivante :

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

Avec m_e : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation ;

m_e' : Nouvelle masse du tube contenant la farine après centrifugation ;

PE : Prise d'essai.

b. La capacité de gonflement

Indice de gonflement Pour cette analyse, nous avons utilisé la méthode **d'Okezie et Bello (1988)**.

➤ Principe

Le principe repose sur la détermination du volume occupé par la farine après une période de temps précise.

➤ Mode opératoire

Un volume bien déterminé (volume initial) (10 ml) de la farine a été introduit dans une éprouvette graduée et 50 ml d'eau distillée y ont été ajoutés et laissés pendant 30 minutes. Le nouveau volume atteint par la farine (volume final) est noté après 30 minutes de gonflement. Ainsi, la capacité de gonflement de la farine est obtenue en utilisant la formule ci-dessous :

$$\text{Indice de gonflement}(\%) = \frac{\text{Volume final}}{\text{Volume initial}} * 100$$

II.2.7 Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel SPSS 20.0 (Statistical Package for Social Science) pour Windows en utilisant le test ANOVA suivi d'un teste pos hoc tukey (analyse sensorielles) et T-test pour les échantillons 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 Excel 2016 a été utilisé pour les représentations graphiques et son complément solveur pour déterminer les quantités des ingrédients.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 RESULTATS

Les paramètres relatifs à la connaissance de la composition et aux propriétés fonctionnelles des farines de base d'une part et des farines formulées d'autre part ont été évalués moyennant l'utilisation des mesures instrumentales.

III. 1.1 Présentation des formules obtenues et des farines formulées

La formulation des farines a été réalisée à l'aide d'un complément solveur via le Microsoft Excel, en appliquant des contraintes strictes sur les principaux nutriments et composés bioactifs, à savoir : protéines, valeur énergétique, lipides, fer et zinc. Ce procédé a permis de générer des mélanges optimisés répondant aux besoins nutritionnels des nourrissons et jeunes enfants. Trois formules ont ainsi été retenues : F197, F877 et F663 et présentées dans le tableau 10 :

Tableau 9 : Formules obtenues des différents aliments de complément (F197, F877 et F663) et la composition en éléments cibles

Formule 1(F197)							
Ingrédients	Millet	Soja	Baobab	Moringa	Lait nido	Sucre	Huile de soja
	41,5g	14,3g	5g	1g	13,7g	10g	14,5g
NUTRIMENTS	Energie (Kcal)		Protéine(g)	Lipide(g)	Fer(mg)	Zinc(mg)	
Quantité	546,5		16	26	10	18 ,2	
Formule 2 (F877)							
Ingrédients	Millet	Soja	Baobab	Moringa	Lait nido	Sucre	Huile de soja
	35g	16,4g	10g	1g	13g	10g	14,6g
NUTRIMENTS	Energie (Kcal)		Protéine(g)	Lipide(g)	Fer(mg)	Zinc(mg)	
Quantité	539,5		16	26	10	16,3	
Formule 3 (F663)							
Ingrédients	Millet	Soja	Baobab	Moringa	Lait nido	Sucre	Huile de soja
	28,4g	18,5g	15g	1g	12,4g	10g	14,7g
NUTRIMENTS	Energie (Kcal)		Protéine(g)	Lipide(g)	Fer(mg)	Zinc(mg)	
Quantité	532,5		16	26	10	14 ,5	

Formule témoin(F510)

Ingrédients	Blé 58,9 g	Lait écrémé 19g	Flocons de banane 2g	Flocons de pomme 1g	huile de palme	Sucre	Fer, calcium, potassium	Vitamines A, D, E, C, B1, B3, B5, B6,B8,B9
NUTRIMENT	Energie	Glucide(g)		Protéine(g	Lipide(g	Fer(mg)	Calcium(mg)	
S	(Kcal)	)		)	)			
Quantité	406	77,7		16,5	2,6	10	14 ,5	

Pour illustrer les formulations obtenues et visualiser les mélanges optimisés générés par le solveur, les farines infantiles ont été photographiées. La figure 12 montre l'aspect visuel des trois formules et permet de comparer leur homogénéité et leur apparence.



Figure 10 : Présentation des différentes farines infantiles formulées.

La figure ci-dessous illustre les différentes bouillies préparées :



Figure 11 : Présentation des bouillies à base des farines infantiles instantanées formulées (F197, F877 et F663) et la bouillie témoin (F510).

III.1.2 Caractéristique sensorielle et acceptabilité des bouillies à base de mil perlé, soja, pulpe de baobab et de feuilles de moringa

L'objectif premier de cette étude était de déterminer l'acceptabilité générale des farines formulées, un prérequis indispensable à leur adoption par les familles et à leur efficacité dans un contexte de nutrition communautaire. Pour ce faire, une analyse sensorielle complète, combinant des aspects descriptifs et hédoniques, a été menée auprès d'un panel de 100 évaluateurs.

Les résultats détaillés de cette évaluation sont consolidés dans le Tableau 10, présenté ci-dessous, et serviront de base à la discussion qui suit.

Tableau 10 : Score du paramètre sensoriel des farines infantiles

Partie 1 : analyse sensorielle

Echantillons	F197	F877	F663	F510
Apparence appétissante	2,74±0,97 ^a	3,12±0,99 ^b	3,46±1,03 ^b	3,40±1,08 ^b
Apparence lisse	3,12±0,76 ^b	3,27±0,85 ^b	3,23±0,81 ^b	2,55±1,12 ^a
Odeur agréable	2,91±0,91 ^a	3,13±0,84 ^{ab}	3,28±0,84 ^b	3,36±1,00 ^b
Epaisseur	2,70±0,84 ^a	2,97±1,01 ^a	2,71±0,82 ^a	3,76±1,00 ^b
Fondant en bouche	2,96±0,86 ^a	2,95±0,80 ^a	2,97±0,90 ^a	3,41±0,98 ^b
Caractère collant	2,32±0,98 ^a	2,59±1,02 ^a	3,22±1,28 ^b	2,60±0,98 ^a
Intensité du goût sucré	2,39±0,77 ^a	3,05±0,83 ^b	3,46±1,28 ^c	2,12±0,84 ^a
Intensité du goût de céréales	3,55±0,95 ^c	3,00±0,89 ^b	2,86±0,90 ^a	2,34±0,93 ^a
Intensité du goût lacté	2,14±0,76 ^a	2,50±0,84 ^b	2,46±0,79 ^b	2,61±0,90 ^b
Intensité du goût végétal	2,33±0,84 ^b	2,30±0,79 ^b	2,42±0,94 ^b	1,84±0,69 ^a
Intensité du goût amer	1,44±0,83 ^a	1,51±0,93 ^a	1,51±0,99 ^a	1,28±0,75 ^a

Partie 2 : appréciation et achat

Echantillons	F197	F877	F663	F510
Acceptabilité générale	4,89±1,93 ^a	5,94±2,07 ^b	6,14±2,31 ^b	6,54±2,17 ^b
Appréciation votre enfant	5,37±1,91 ^a	5,95±2,27 ^{ab}	6,02±2,20 ^{ab}	6,22±2,14 ^b

NB : Les résultats des 100 évaluateurs sont exprimés en moyenne ±écart-type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même colonne sont significativement différentes ($p < 0,05$). Les bouillies F197, F877 et F663 sont formulées à base de mil perlé, de soja, de la pulpe de baobab, de feuilles de moringa, de lait nido, de l'huile de soja et du sucre blanc tandis que la bouillie F510 est une bouillie témoin acheté au marché.

III.1.3 Composition en constituants nutritionnels, anti-nutritionnelle, propriétés technofonctionnelles et propriétés instantanées des farines infantiles

L'évaluation de la composition chimique des farines constitue le cœur de cette étude. Elle vise à quantifier leur valeur nutritionnelle et à vérifier que les procédés de transformation ont permis de garantir l'innocuité et la biodisponibilité des nutriments. Cette section présente et discute les résultats relatifs aux macronutriments, aux micronutriments et aux facteurs antinutritionnels.

III.1.3.1 Teneurs en macronutriments des différentes farines infantiles.

La composition en macronutriments détermine la densité énergétique et le potentiel d'un aliment à soutenir la croissance. Les résultats de la composition proximale des farines sont présentés dans le tableau 11. À l'analyse, les teneurs en humidité sont relativement faibles avec des valeurs variant de $4,13 \pm 0,10$ à $5,09 \pm 0,28$ g/100g MS. Des taux de matières sèches significativement élevés étaient observés pour la farine F510 ($95,86 \pm 0,41$) et relativement proches pour F197 ($94,90 \pm 0,28$), F877 ($95,17 \pm 0,12$) et F663 ($95,11 \pm 0,21$). En ce qui concerne les composés nutritifs, la teneur en lipides variait entre 7,54 et 29,82 g/100g MS ; la teneur en protéines était comprise entre 11,43 et 17,75 g/100g MS ; la teneur en fibres quant à elle variait de 3,86 à 7,56 g/100g MS ; et la teneur en cendres était comprise entre 1,82 et 2,42 g/100g MS. La teneur en glucides totaux, calculée par différence, varie de 46,52 à 75,06 g/100g MS. Tandis que la valeur énergétique variait entre 413,32 et 520,11 kcal/100 g.

Tableau 11 : Teneur moyenne en g/100g MS des macronutriments et en Kcal/100g des valeurs énergétiques de nos farines.

Nutriments	F197	F877	F663	F510
Teneurs en eau	$5,09 \pm 0,28^b$	$4,82 \pm 0,12^b$	$4,88 \pm 0,21^b$	$4,13 \pm 0,10^a$
Teneurs en matière sèche	$94,90 \pm 0,28^a$	$95,17 \pm 0,12^a$	$95,11 \pm 0,21^a$	$95,86 \pm 0,41^b$
Teneurs en protéines	$16,00 \pm 0,11^b$	$17,75 \pm 0,02^c$	$16,06 \pm 0,12^b$	$11,43 \pm 0,05^a$
Teneurs en lipides	$29,82 \pm 0,41^b$	$28,74 \pm 2,51^b$	$29,19 \pm 0,92^b$	$7,54 \pm 0,20^a$
Teneurs en glucides totaux	$46,93 \pm 0,64^a$	$46,52 \pm 2,46^a$	$47,43 \pm 0,63^a$	$75,06 \pm 0,37^b$
Teneurs en fibres	$6,76 \pm 0,11^b$	$7,56 \pm 0,20^c$	$6,61 \pm 0,06^b$	$3,86 \pm 0,10^a$
Teneurs en cendres	$2,13 \pm 0,01^b$	$2,15 \pm 0,01^b$	$2,42 \pm 0,02^c$	$1,82 \pm 0,01^a$
Valeurs énergétiques	$520,11 \pm 2,20^b$	$515,72 \pm 12,68$	$516,62 \pm 5,47^b$	$413,32 \pm 0,62^a$

b

NB : Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne $\pm$ écart type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes ($p < 0,05$).

III.1.3.2 Teneurs en composés bioactifs

Les résultats de test de l'expérimentation révèlent des composés bioactifs des farines analysées (Tableau 13). Les teneurs en vitamine C et bêta-carotène ont montré une différence significative au seuil de 5 %. De plus, ces contenus augmentent avec l'ajout du niveau de la pulpe de baobab et du lait nido en présence de feuilles de moringa dans des farines composées à base de mil perlé et du soja. En effet, les résultats ont montré que les teneurs en vitamine C variaient significativement ($p < 0,05$) de 9,74 mg/100g pour F663, 10,55 mg/100g pour F510, 11,31 mg/100g pour F197 à 12,94 mg/100g pour F877. De même, les teneurs bêta-carotène variaient de 18,73 µg/100 g F510 à 34,80 µg/100 g F197.

Tableau 12 : Teneurs moyennes en vitamine c (mg/100g) et bêta carotène (µg/100g) des farines.

Nutriments	F197	F877	F663	F510
Vitamine C	11,31±0,26 ^b	12,94±0,90 ^c	9,74±0,26 ^a	10,55±0,37 ^{ab}
Caroténoïdes totaux	34,80±0,12 ^d	31,09±0,20 ^c	26,44±0,27 ^b	18,73±0,12 ^a

NB : Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne ± écart type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes ($p < 0,05$).

III.1.3.3 Teneurs en minéraux

L'analyse de la composition minérale a révélé des différences significatives entre les échantillons (Tableau 14). La teneur en fer était plus élevée dans les échantillons F197 (6,53±0,12 mg/100g) et F663 (6,34±0,04 mg/100g), suivis de F877 (5,98±0,12 mg/100g), tandis que l'échantillon F510 présentait la valeur la plus faible (4,43±0,02 mg/100g). Concernant le magnésium, l'échantillon F197 s'est distingué par une teneur plus élevée (44,67±0,95 mg/100g), suivi de F510 (36,21±0,21 mg/100g) et F663 (22,55±0,10 mg/100g). L'échantillon F877 a montré la teneur la plus basse (8,56±0,54 mg/100g). Pour le calcium, une progression significative a été observée entre les formulations. L'échantillon F197 a enregistré la valeur la plus faible (86,83±0,25 mg/100g), tandis que F510 a présenté la concentration la plus élevée (107,93±3,28 mg/100g). Les échantillons F877 (98,36±1,09 mg/100g) et F663 (101,93±1,15 mg/100g) ont montré des valeurs intermédiaires. Enfin, en ce qui concerne le zinc, les teneurs les plus fortes ont été obtenues dans F197 et F663 (1,89 mg/100g), suivis de F510 (1,81±0,01 mg/100g), tandis que F877 a affiché la teneur la plus faible (1,01±0,03 mg/100g).

Le tableau 13 ci-après présente la teneur en moyenne des micronutriments :

Tableau 13 : Teneur moyenne en micronutriments : Fer, Magnésium, Calcium et Zinc (mg/100g MS) des farines

Nutriments	F197	F877	F663	F510
Fer	6,53±0,12 ^c	5,98±0,12 ^b	6,34±0,04 ^c	4,43±0,02 ^a
Mg	44,67±0,95 ^d	8,56±0,54 ^a	22,55±0,10 ^b	36,21±0,21 ^c
Ca	86,83±0,25 ^a	98,36±1,09 ^b	101,93±1,15 ^b	107,93±3,28 ^c
Zn	1,89±0,01 ^c	1,01±0,03 ^a	1,89±0,04 ^c	1,81±0,01 ^b

NB : Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne ± écart type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

III.1.3.4 Propriétés techno fonctionnelles des farines infantiles

La connaissance des propriétés fonctionnelles des farines élaborées est appréciée à partir des données présentées dans le tableau 14. Après analyse statistique, la capacité d'absorption d'eau a montré des variations significatives (p<0,05) entre les différents échantillons. Elle est de 138,40 ± 5,30 % pour la farine F197, 124,72 ± 23,39 % pour F877 et 133,19 ± 21,98 % pour F663, tandis que la valeur la plus élevée est enregistrée avec la farine témoin F510 (272,45 ± 15,91 %). Concernant l'indice de gonflement, des différences notables sont également observées. Les farines F197, F510 et F663 présentent respectivement des valeurs identiques de 190,00 ± 0,00%, supérieures à celle de F877(165,00±21,21%).

Tableau 14 : Teneur moyenne des propriétés fonctionnelles des farines exprimées en g/cm³ pour l'indice de gonflement et en % pour la capacité d'absorption d'eau.

Nutriments	F197	F877	F663	F510
Capacité d'absorption d'eau	138,40±5,30 ^a	124,72±23,39 ^a	133,19±21,98 ^a	272,45±15,91 ^b
Indice de gonflement	190,00±0,00 ^b	165,00±21,21 ^a	190,00±0,00 ^b	190,00±14,14 ^b

NB : Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne ± écart type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

III.1.3.5 Propriétés instantanées des farines infantiles

L'analyse des propriétés instantanées a montré des différences significatives (P < 0,05) entre les farines F197, F877, F663 et F510 pour certains paramètres, témoignant de variations dans leur comportement lors de la reconstitution. L'indice de dispersibilité des farines F197, F877, F663 et F510 est respectivement de 83,75 %, 78,75 %, 78,75 % et 76,25 %, indiquant la rapidité et l'homogénéité avec lesquelles chaque farine se mélange à l'eau. En ce qui concerne la stabilité de dispersion, les farines présentent des valeurs de 87,62 %, 88,44 %, 87,43 % et

78,98 % pour F197, F877, F663 et F510 respectivement, traduisant leur capacité à maintenir un mélange homogène sur une période prolongée après agitation. Pour la mouillabilité, les farines affichent des valeurs de 15,50 s, 16,00 s, 14,50 s et 19,00 s pour F197, F877, F663 et F510 respectivement. Ce paramètre reflète la vitesse à laquelle la farine est capable d'absorber l'eau et de s'humidifier complètement. Ainsi, une mouillabilité plus faible indique une absorption plus rapide de l'eau. De ce fait, la farine F663, avec un temps de mouillabilité de 14,50 s, est la plus performante, tandis que F510 (19,00 s) présente la mouillabilité la plus élevée, suggérant une réhydratation plus lente.

Tableau 15 : Teneur moyenne en propriétés instantanées exprimée en % pour l'indice de dispersibilité, stabilité de dispersion et en secondes pour la mouillabilité.

Nutriments	F197	F877	F663	F510
Indice de dispersibilité	83,75±8,83 ^c	78,75±1,76 ^b	78,75±1,76 ^b	76,25±1,76 ^a
Stabilité de dispersion	87,62±2,10 ^b	88,44±0,62 ^b	87,43±0,79 ^{ab}	78,98±3,47 ^a
Mouillabilité	15,50±0,70 ^b	16,00±1,41 ^b	14,50±0,70 ^a	19,00±1,41 ^c

NB : Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne ± écart type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

III.1.3.6 Teneurs en anti-nutriment

Afin d'évaluer l'impact des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle des farines élaborées, les teneurs en principaux antinutriments ont été déterminées et sont consignées dans le tableau 17. Ces teneurs (saponines, phytates, oxalates et tanins) ont montré une différence significative au seuil de 5 %. En effet, les résultats ont montré que les teneurs en saponine variaient de 7,73±0,24 mg/100g pour F877, 8,34±0,15 mg/100g pour F663, 9,56±0,23 mg/100g pour F510 à 10,49±0,34 mg/100g pour F197. Les teneurs en phytate variaient quant à elles de 4,73±0,01mg/100 g pour F877, 4,77±0,01 mg/100g pour F663, 5,22±0,01 mg/100g pour F197 à 5,65±0,00 mg/100 g F510. De même, les teneurs en oxalate variaient de 0,66±0,03 mg/100 g pour F510, 0,81±0,00 mg/100 g pour F663, 1,03±0,05 mg/100 g pour F877 à 1,47±0,10 mg/100 g pour F197. En revanche, les valeurs en tanin variaient de 23,97mg/100 g pour F510, 167,64mg/100 g pour F663, 171,97mg/100 g pour F197 à 194,10mg/100 g pour F877.

Les teneurs en principaux facteurs antinutritionnels des différentes farines formulées sont présentées dans le tableau 16 :

Tableau 16 : teneur moyenne en anti-nutriments : tanin, phytate, saponine et oxalate (mg/100g Ms) des farines formulées.

Nutriments	F197	F877	F663	F510
Saponine	10,49±0,34 ^c	7,73±0,24 ^a	8,34±0,15 ^a	9,56±0,23 ^b
Phytate	5,22±0,01 ^c	4,73±0,01 ^a	4,77±0,01 ^b	5,65±0,00 ^d
Oxalate	1,47±0,10 ^c	1,03±0,05 ^b	0,81±0,00 ^a	0,66±0,03 ^a
Tanin	171,97±13,92 ^b	194,10±11,74 ^c	167,64±14,95 ^b	23,97±6,35 ^a

NB : Les valeurs sont exprimées sous forme de moyenne ± écart type. Les valeurs affectées des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

III.2 DISCUSSION

Dans le contexte de la technologie alimentaire appliquée à la nutrition du nourrisson et du jeune enfant, l'acceptabilité sensorielle occupe une place déterminante, car elle permet de vérifier si les bouillies formulées allient adéquatement qualité nutritionnelle et plaisir de consommation, deux critères indispensables pour assurer leur adoption réelle par les familles. La perception initiale d'un aliment, guidée par la vue et l'odorat, est déterminante pour son acceptation, particulièrement chez l'enfant. Comme l'indique le Tableau 11, des différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) ont été observées pour l'apparence appétissante. La formule F663 a obtenu le score le plus élevé ($3,46 \pm 1,03$), se distinguant de la formule F197 ($2,74 \pm 0,97$) et se rapprochant du témoin F510 ($3,40 \pm 1,08$). Concernant l'odeur agréable, le témoin industriel F510 ($3,36 \pm 1,00$) a été le mieux noté, bien que les formules F663 ($3,28 \pm 0,84$) et F877 ($3,13 \pm 0,84$) aient également été jugées très positivement. La préférence visuelle pour la formule F663 s'explique logiquement par sa composition (décrite au Tableau 10), qui est la plus riche en pulpe de baobab (15g). Cet ingrédient confère à la bouillie une couleur plus claire et un aspect plus homogène, des caractéristiques visuelles souvent privilégiées dans les aliments pour enfants (**Agboton, 2021**). Inversement, la perception moins favorable de F197 est probablement due à sa plus forte proportion de mil perlé et à la présence de moringa, qui assombrissent la couleur finale. L'odeur supérieure de la farine témoin est vraisemblablement due à l'ajout d'arômes industriels (vanilline, etc.). Nos formulations, quant à elles, se distinguent par une odeur naturelle et authentique de céréales et de lait qui, de manière encourageante, a été jugée très agréable, confirmant l'absence de "fausses notes" olfactives. Au-delà de l'apparence, la texture en bouche est un critère de confort et de sécurité pour le jeune consommateur. Le Tableau 11 montre que le témoin industriel F510 se démarque par son épaisseur ($3,76 \pm 1,00$) et son caractère fondant en bouche ($3,41 \pm 0,98$). Les farines formulées présentent une épaisseur moindre, mais jugée adéquate (scores autour de 2,70-2,90). Un résultat notable est le caractère collant de la formule F663 ($3,22 \pm 1,28$), significativement plus élevé que celui des autres formules. La texture optimisée de F510 est typique des produits industriels utilisant des amidons modifiés et des émulsifiants. Le caractère collant plus prononcé de F663 est une conséquence directe de sa concentration élevée en pulpe de baobab. Les polysaccharides et fibres solubles de ce fruit agissent comme des hydrocolloïdes naturels, augmentant la viscosité et liant l'eau, ce qui est cohérent avec les propriétés texturantes du baobab décrit par **Maptouom (2022)**. Si ce caractère peut surprendre, il n'a pas été pénalisant dans l'appréciation globale, et la consistance générale des bouillies a été jugée satisfaisante. L'analyse gustative (Tableau 10) révèle un clivage clair entre les formules. La formule F663 se distingue par

l'intensité de son goût sucré ($3,46 \pm 1,28$), significativement supérieure à toutes les autres. À l'opposé, la formule F197 est plébiscitée pour son goût de céréales authentique et intense ($3,55 \pm 0,95$). Un point crucial est l'absence d'amertume notable : les scores pour le goût amer sont restés très faibles (1,28 à 1,51) et sans différence significative entre toutes les formules. Ce profil gustatif est une signature directe de la formulation. Le succès de F663 auprès des amateurs de douceur est le fruit de la synergie entre la pulpe de baobab, naturellement acidulée et sucrée, et le sucre ajouté. Le caractère céréaliier prononcé de F197 est quant à lui directement lié à sa forte proportion de mil perlé (41,5g). L'absence d'amertume est un succès technologique, prouvant que les procédés de trempage et de torréfaction ont efficacement éliminé les arrière-goûts potentiels du soja et du moringa, qui auraient pu nuire à l'acceptabilité globale (**Ponka et al., 2016**). L'appréciation globale synthétise l'ensemble des perceptions sensorielles et constitue le verdict final du consommateur. En ce qui concerne l'appréciation générale, bien qu'une légère préférence soit accordée au témoin F510 ($6,54 \pm 2,17$), les scores obtenus par F663 ($6,14 \pm 2,31$) et F877 ($5,94 \pm 2,07$) ne sont pas statistiquement différents de ce dernier. La même tendance est observée pour l'appréciation projetée pour l'enfant. Cette absence de différence statistique est le résultat le plus important de cette section. Elle signifie que nos formulations, conçues exclusivement avec des ingrédients locaux et des procédés accessibles, ont atteint un niveau d'acceptabilité qui rivalise avec un produit commercial établi, optimisé et familier pour les consommateurs. En conclusion, l'objectif spécifique 1 est pleinement atteint. L'étude démontre que les farines infantiles formulées à base de mil perlé, soja, baobab et moringa présentent une excellente acceptabilité sensorielle. La variété des profils (plus sucré pour F663, plus céréaliier pour F197) suggère même qu'il est possible de proposer une gamme de produits répondant à différentes préférences, validant ainsi leur immense potentiel d'adoption par les communautés cibles.

Pour apprécier la qualité nutritionnelle des farines destinées aux nourrissons et jeunes enfants, l'analyse des macronutriments avait été indispensable, car elle permettait de déterminer si ces formulations apportaient réellement l'énergie et les nutriments nécessaires au développement harmonieux du nourrisson et du jeune enfant. L'analyse du Tableau 12 révèle des profils nutritionnels distincts. Les teneurs en eau sont faibles pour toutes les farines, variant de 4,13% (F510) à 5,09% (F197), ce qui se traduit par des teneurs en matière sèche élevées, supérieures à 94,90%. Des différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) ont été observées pour tous les macronutriments. Les farines formulées F197, F877 et F663 affichent des teneurs en protéines (allant de 16,00 à 17,75 g/100g MS) et en lipides (de 28,74 à 29,82 g/100g)

nettement supérieures à celles du témoin F510 (respectivement 11,43 g et 7,54 g). Inversement, la teneur en glucides est significativement plus faible dans nos formulations (46,52 à 47,43 g/100g) que dans le témoin (75,06 g/100g). Pour les fibres brutes, la formule F877 présente la teneur la plus élevée (7,56 g/100g), tandis que le témoin F510 a la plus faible (3,86 g/100g). La teneur en cendres est la plus élevée dans la formule F663 (2,42 g/100g). En conséquence, la valeur énergétique des farines formulées (515 à 520 Kcal/100g) est significativement supérieure à celle du témoin (413 Kcal/100g). Cette composition riche et dense est le résultat direct de la formulation. La teneur élevée en protéines est attribuable à l'incorporation de soja et de lait, plaçant nos farines dans la fourchette haute des recommandations de l'**IRD/UNICEF (2020)** (13-25 g/100g) et bien au-dessus des 13,8 g/100g trouvés par Noah (2021). Cet apport protéique est crucial, notamment pour son contenu en lysine qui, selon **Fujiwara et Harigae (2015)**, facilite l'absorption du fer. Les fortes teneurs en lipides, dues à l'ajout d'huile de soja, sont essentielles pour fournir des acides gras et de l'énergie, comme le souligne le Conseil Supérieur de la Santé (**CSS, 2009**). Nos valeurs, bien que légèrement supérieures à la limite de 25 g/100g de l'**IRD/UNICEF (2020)**, contrastent fortement avec les faibles teneurs (environ 7,5 g/100g) rapportées par **Ekeh et al. (2020)** et **Amoïn et al. (2015)** pour des farines de sorgho, démontrant la supériorité de notre formulation. La teneur plus faible en glucides dans nos farines est une conséquence mécanique du "remplacement" de l'espace par les protéines et les lipides, ce qui est nutritionnellement avantageux. La teneur élevée en fibres, en particulier dans F877 (riche en soja et baobab), est bénéfique pour la régulation du transit intestinal (**Koné et al., 2019**) et se situe dans les normes de l'**IRD/UNICEF (2020)** (≤ 5 g/100g), tout en étant comparable aux 7,27 g/100g rapportés par **Ouattara et al. (2023)**. Enfin, la valeur énergétique de nos farines est un atout majeur. Elle respecte les recommandations de l'UNICEF (2022) (510-560 Kcal) et surpasse largement les valeurs trouvées par **Gbogouri (2019)** (414,6 Kcal) et **Tumwine (2019)** (378 Kcal), confirmant leur adéquation pour la récupération nutritionnelle rapide des enfants.

Dans l'évaluation des farines formulées, l'analyse des micronutriments et des composés bioactifs avait également été essentielle, car elle permettait de vérifier si ces bouillies fournissaient les vitamines, minéraux et antioxydants nécessaires à la croissance, au renforcement du système immunitaire et au bon développement cognitif des nourrissons et jeunes enfants. La prévention des carences en vitamines et minéraux est un objectif central de la supplémentation alimentaire. Les Tableaux 12 et 13 montrent des apports significatifs en micronutriments. La teneur en vitamine C est la plus élevée dans la formule F877 (12,94 mg/100g). Pour les caroténoïdes totaux, la formule F197 (34,80 µg/100g) présente les valeurs

les plus élevées, suivie de F877 et F663. Cette teneur élevée en caroténoïdes dans F197 et F877 s'explique principalement par l'ajout des feuilles de moringa, riches en bêta-carotène, et de la pulpe de baobab. Les caroténoïdes jouent un rôle essentiel chez les enfants en tant que précurseurs de la vitamine A, contribuant à la santé oculaire, au renforcement du système immunitaire et au soutien de la croissance. Concernant les minéraux, F197 présente les teneurs les plus élevées en fer (6,53 mg/100g) et en magnésium (44,67 mg/100g). Pour le calcium, le témoin F510 (107,93 mg/100g) a la teneur la plus élevée, suivi de près par F663. Enfin, les teneurs en zinc sont les plus fortes dans les formules F197 et F663 (1,89 mg/100g). Ces résultats confirment l'intérêt des ingrédients locaux. L'apport élevé en vitamine C de F877 est directement lié à sa teneur en pulpe de baobab. Bien que nos valeurs soient inférieures à celles de **Noah (2021)**, elles sont supérieures à celles rapportées par **Ouattara et al. (2023)**, et cet apport reste crucial pour le système immunitaire et l'absorption du fer. Le fer est un minéral clé. La supériorité de nos farines formulées sur le témoin est due à la présence de soja et de moringa. Comme le soulignent **Mwangi et al. (2017)** et **Camaschella (2019)**, le fer est indispensable au développement cognitif. Bien que nos teneurs soient inférieures à la norme de fortification de **l'UNICEF (2022) (10-14 mg/100g)**, elles représentent un apport de base significatif. Les teneurs en zinc, comparables à celles de **Ponka et al. (2016)**, sont également un apport intéressant pour la croissance et la réponse immunitaire (**Tetanye et al., 2020**), même si elles restent en deçà des normes de fortification. Pour le calcium et le magnésium, dont le rôle est déterminant dans la minéralisation osseuse (**Gbogouri et al., 2019**), nos farines apportent des quantités notables, supérieures à celles de **Ponka et al. (2016)**, bien qu'inférieures aux recommandations de **l'UNICEF (2022)**, démontrant l'intérêt de ces formulations comme base à enrichir.

L'analyse des propriétés fonctionnelles des farines infantiles permet d'apprécier leur capacité à assurer une bonne reconstitution, une digestibilité adéquate et une texture adaptée aux besoins nutritionnels des jeunes enfants. L'analyse du Tableau 15 montre des différences significatives ($p < 0,05$) dans le comportement des farines. La farine témoin F510 présente une capacité d'absorption d'eau (CAE) de 272,45%, significativement plus élevée que celle des farines formulées, qui varient de 124,72% (F877) à 138,40% (F197). Concernant l'indice de gonflement, les formules F197, F663 et le témoin F510 présentent des valeurs statistiquement similaires et élevées (190,00%), tandis que la formule F877 affiche un indice significativement plus faible (165,00%). La CAE très élevée du témoin F510 est typique des farines industrielles riches en amidon pré-gélatinisé, conçues pour absorber beaucoup d'eau. Les valeurs plus

modérées de nos formulations, bien que supérieures à celles rapportées par **Djédoux et al. (2021)**, sont une conséquence directe de leur haute teneur en protéines et en lipides. Ces macronutriments, étant moins hydrophiles que l'amidon, entrent en compétition pour l'eau et limitent l'absorption globale. Cet attribut est en réalité un avantage nutritionnel majeur : une CAE plus faible signifie qu'il faut moins d'eau pour atteindre une consistance de bouillie acceptable. La bouillie obtenue est donc plus dense en énergie et en nutriments, ce qui est idéal pour couvrir les besoins élevés des enfants malnutris avec de plus faibles volumes. L'indice de gonflement élevé de F197 et F663, similaire à celui du témoin, confirme leur bonne aptitude à former un gel visqueux et homogène, une propriété essentielle pour la texture de la bouillie (**Tumwine et al., 2019**). L'indice plus faible de F877 peut s'expliquer par sa plus forte teneur en protéines de soja, qui peuvent limiter l'expansion des granules d'amidon.

L'analyse des propriétés liées à l'instantanéité des farines infantiles permet d'évaluer leur aptitude à se disperser rapidement, à se réhydrater efficacement et à former une bouillie homogène répondant aux exigences nutritionnelles et pratiques de l'alimentation du jeune enfant. La dispersibilité mesure la quantité de farine pouvant être reconstituée, et les farines ou poudres présentant une dispersibilité élevée sont meilleures que celles présentant une faible dispersibilité (**Mbame et al., 2021**). Le Tableau 16 confirme l'excellente qualité instantanée des farines formulées. L'indice de dispersibilité, qui mesure la facilité de dissolution, est significativement plus élevé pour la formule F197 (83,75%) par rapport aux autres, y compris le témoin F510 (76,25%). Les formules F877 et F663 présentent des indices intermédiaires (78,75%). Concernant la stabilité de dispersion, qui indique la capacité de la bouillie à rester homogène sans se déphaser, toutes les farines formulées (avec des valeurs de 87,43% à 88,44%) se sont montrées significativement plus stables que la farine témoin F510 (78,98%). Ces excellentes propriétés sont le résultat direct du procédé technologique de pré-cuisson à la vapeur. Cette étape clé induit une gélatinisation de l'amidon, le rendant facilement hydratable et soluble dans l'eau chaude. La haute dispersibilité de F197, riche en mil précuit, signifie qu'elle peut être mélangée pour obtenir une bouillie lisse et sans grumeaux en quelques instants, un avantage pratique considérable (**Cuq, 2008**). La stabilité supérieure de nos formulations, particulièrement F877, est un autre atout majeur. Elle peut être attribuée à la présence de fibres solubles issues du soja et du baobab, qui agissent comme des stabilisants naturels en formant un réseau qui piège l'eau et empêche les particules de sédimenter (**Okezie et Bello, 1988**). Une bouillie stable garantit que chaque cuillère a la même consistance et la même valeur nutritive, du début à la fin du repas. En conclusion, l'objectif spécifique 3 est pleinement atteint. Il est

démontré que les farines développées possèdent des propriétés techno-fonctionnelles et instantanées qui garantissent une préparation pratique, rapide et sûre. Leur capacité à former des bouillies denses en nutriments, homogènes et stables représente un avantage décisif pour leur adoption par les familles et leur efficacité dans les programmes de nutrition infantile.

L'évaluation des facteurs antinutritionnels dans les farines infantiles permet de déterminer l'impact des ingrédients et des traitements technologiques sur la biodisponibilité des nutriments essentiels, garantissant ainsi une formulation sûre et adaptée aux besoins des nourrissons et jeunes enfants. La valeur d'un aliment dépend aussi de la biodisponibilité de ses nutriments, qui peut être entravée par les anti-nutriments. Le Tableau 16 montre des teneurs en anti-nutriments globalement faibles. Les teneurs en saponines varient de 7,73 (F877) à 10,49 mg/100 g (F197). Les phytates sont compris entre 4,73 (F877) et 5,65 mg/100 g (F510). Les oxalates sont très faibles, allant de 0,66 (F510) à 1,47 mg/100 g (F197). Enfin, la teneur en tanins est significativement plus élevée dans les farines formulées (167 à 194 mg/100 g) que dans le témoin (23,97 mg/100 g). La faible teneur en phytates et oxalates est un succès majeur de cette étude. Ces composés réduisent l'absorption des minéraux (OMS, 2016). Les valeurs obtenues, bien inférieures aux seuils de sécurité (Kaufman et al., 2008) et à celles observées par Ouattara et al. (2023), confirment que les procédés de trempage, cuisson et torréfaction ont été très efficaces. Cela garantit une haute biodisponibilité du fer, du zinc et du calcium. La teneur plus élevée en tanins dans nos formules est une conséquence de la présence d'ingrédients riches en polyphénols (soja, baobab, moringa). Cependant, ces valeurs restent bien en deçà des limites maximales recommandées (OMS, 2016) et ne devraient pas impacter négativement la digestion des protéines. En conclusion, l'objectif spécifique 2 est pleinement atteint. Il est démontré que les farines formulées possèdent un profil nutritionnel riche et dense, supérieur au témoin, et que les procédés technologiques ont efficacement réduit les facteurs antinutritionnels, assurant ainsi une haute biodisponibilité des nutriments essentiels pour l'organisme de l'enfant.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

L'alimentation complémentaire à l'âge de 6 à 59 mois en Afrique présente des délicatesses dépendant généralement du niveau d'instruction des mères et des revenus familiaux limités. Cela ne permet pas l'acquisition des farines infantiles de bonne qualité nutritionnelle et expose les enfants au risque de malnutrition par carence. Cette étude propose des stratégies pour formuler, à partir d'ingrédients disponibles localement, des farines infantiles composées respectant des normes de qualité requises par l'OMS :

Le premier objectif de cette étude était la formulation des différentes farines infantiles, parmi lesquelles la formule F197 s'est distinguée en respectant pleinement les contraintes définies pour l'élaboration d'une farine adaptée aux besoins des jeunes enfants. À la suite de cette étape de formulation, l'analyse sensorielle a montré que les formules F663 et F510 étaient les plus appréciées, avec des scores d'acceptabilité générale de 3,41 et 3,63 respectivement. La farine F197, bien que conforme aux exigences de formulation, a été moyennement appréciée, obtenant des scores moyens en goût, couleur, arôme et texture. L'acceptabilité sensorielle demeure un critère essentiel pour assurer une consommation régulière de ces farines et garantir ainsi l'expression optimale de leurs bénéfices nutritionnels.

La composition nutritionnelle de la farine F197 est l'un de ses principaux atouts. La F197 présente un profil nutritionnel équilibré avec 19,78 % de protéines, 10,56 % de lipides et des teneurs intéressantes en fer (6,53 mg/100 g), magnésium (44,67 mg/100 g) et caroténoïdes totaux (34,80 mg/100 g). Ces nutriments contribuent à la prévention de l'anémie, au métabolisme énergétique et au renforcement du système immunitaire.

Les propriétés techno-fonctionnelles de la farine F197 sont également très prometteuses. La F197 se distingue par une excellente instantanéité avec 92 % de dispersibilité, une stabilité de dispersion de 87 % et une capacité d'absorption d'eau de 138,40%. Ces caractéristiques assurent une préparation rapide, homogène et facilement digestible, ce qui représente un avantage considérable pour les familles à faibles ressources.

PERSPECTIVES

Au regard des résultats obtenus, il sera nécessaire de poursuivre et d'approfondir ces recherches afin de renforcer l'applicabilité de la formule F197 à grande échelle :

- ❖ Évaluer la durée de conservation de la farine afin d'assurer la stabilité des nutriments et le maintien des propriétés fonctionnelles au cours du stockage ;
- ❖ Evaluer le profil en acides aminés ;
- ❖ Réaliser des analyses d'innocuité microbiologique pour garantir la sécurité alimentaire et la conformité sanitaire du produit ;

RECOMMANDATIONS

Au vu de ces résultats, nous recommandons aux gouvernements, aux ménages et aux acteurs communautaires de :

- Sensibiliser les ménages, particulièrement en zones rurales, à la préparation correcte des bouillies instantanées à base de cette farine.
- D'user de cet aliment ou tout au moins d'abonder dans le sens de formulation des farines infantiles à base des produits locaux les plus consommés par leurs enfants, pour une meilleure couverture des besoins journaliers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR. (1981).** Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés. Recueil de normes françaises (2^e éd., Vol. 6). Paris : AFNOR.
- AFNOR (Association Française de Normalisation). (1984).** Produits alimentaires : Directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. In B. Godon et A. Popineau (Eds.), Guide pratique des céréales (pp. 263-266). Apria France.
- AFNOR (Gouronnec, A. M.). (2000).** Mesure des odeurs par analyse sensorielle ou « olfactométrie ». *Pollution Atmosphérique*, (168), 583-598.
- Agboton, S. (2021).** Formulation et acceptabilité des farines infantiles instantanées destinées aux enfants de 6 à 23 mois dans l'arrondissement de Lagbè, commune d'Ifangni [Rapport de fin de formation, *Université d'Abomey-Calavi*]. Bénin.
- Aina, V. O., Sambo, B., Zakari, A., Haruna, H. M. S., Umar, K. R. M., Akinboboye, et Adama, M. (2012).** Determination of nutritional and anti-nutrient content of *Vitis vinifera* (grapes) grown in Bomo (Area C) Zaria, Nigeria. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 4(6), 445-448.
- Amadou, M. A. R., Lewami, M., Chaibou, Y., Boureima, A. G., Ibrahim, A., Seini, H. S., et Sadou, H. (2021).** Qualité nutritionnelle et sensorielle d'une farine infantile enrichie au soja et à la spiruline et test de récupération nutritionnelle chez les enfants de 6 à 24 mois au Niger. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 3, 633-647.
- Amoin, A., Agbo, E., Dago, A., Gbogouri, A., Brou, D., et Dago, G. (2015).** Comparaison des caractéristiques nutritionnelles et rhéologiques des bouillies infantiles préparées par les techniques de germination et de fermentation. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 944. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.31>
- A.O.A.C. (1980).** Official Methods of Analysis (13^e éd.). Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990).** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15^e éd., pp. 1105-1106). Arlington.

- Azanmasso, S. M. D. (2018).** Effet des aliments de complément à base de ressources locales sur la croissance pondérale des enfants de 6 à 15 mois [Mémoire de master, Université d'Abomey-Calavi].
- Balogou, V. Y., Djidohokpin, M. E., Manful, J. T., et Soumanou, M. M. (2018).** Formulation d'aliments de complément à partir du soja et de deux écotypes de fonio. *Nature & Technology*, 19, 19-25.
- Bardi, O., et Salah, F. (2015).** Les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* [Mémoire de master, Université d'Adrar]. Algérie.
- Bartholomev, P., Paul, R., et Rohrbach, G. (2002).** The pineapple: Botany, production and uses. Wallingford, England: CABI Publishing.
- Baum, D. A., Small, R. L., & Wendel, J. F. (1998).** Biogeography and floral evolution of baobabs (*Adansonia*, Bombacaceae) as inferred from multiple data sets. *Systematic Biology*, 47(2), 181-207.
- Boukari, I., Nathan, W. S., Fernandez, R., Bruce, J. F., Watkins, A. D., Pawloski, L., et Fly, A. D. (2001).** Calcium analysis of selected West African foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(1), 37-42.
- Bourelly, J. (1982).** Observation sur le dosage de l'huile des graines de cotonnier. *Coton et Fibres Tropicales*, 27(2), 183-196.
- Bryce, J., Boschi-Pinto, C., Shibuya, K., et Black, R. E. (2005).** WHO estimates of the causes of death in children. *The Lancet*, 365(9465), 1147-1152.
- Cissé, I. (2012).** Caractérisation des propriétés biochimiques et nutritionnelles de la pulpe de baobab des espèces endémiques de Madagascar et d'Afrique continentale en vue de leur valorisation [Thèse de doctorat, Université de Montpellier SupAgro]. France.
- Conseil Supérieur de la Santé (CSS). (2009).** Recommandations nutritionnelles pour la Belgique (p. 53).
- Codex Alimentarius Commission. (2023).** Standard for processed cereal-based foods for infants and young children (CXS 74-1981, Rev. 2023). FAO/WHO. <https://www.fao.org/fao-who->

codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%252B74-1981%252FCXS_074e.pdf

- Coulibaly, A. (2022).** Développement d'une farine infantile à forte valeur nutritionnelle pour les enfants de 6 à 12 mois valorisant la biodiversité locale. Thèse de Master, Université Nationale d'Agriculture, Bénin. (Source : CGSpace).
- Cuq, J.-L. (2008).** Technologie des protéines végétales. Montpellier, France : Polytech Montpellier. ISBN 978-2-7430-0229-8.
- Demol, J., Baudoin, J. P., Louant, B. P., Maréchal, R., et Mergeai, G. (2002).** Amélioration des plantes : Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Louvain-la-Neuve : Les Presses Agronomiques de Gembloux.
- Delgado-Murillo, S. A., Zazueta-Morales, J. J., Quintero-Ramos, A. et Delgado Nieblas, C. I. (2024).** Effect of the extrusion process on the physicochemical, phytochemical, and cooking properties of gluten-free pasta made from broken rice and chickpea flours. *Biotechnia*, 26, Article e2142. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26i1.2142>
- Djédoux Maxime, A., Ano Guy Serge, E., et Adjoua Christiane Eunice, B. (2021).** Propriétés physico-chimiques, fonctionnelles et microbiologiques de la farine de maïs germé enrichie de larves d'insectes comestibles *Rhynchophorus phoenicis* et *Oryctes owariensis*. *Journal of Applied Biosciences*, 158, 16310-16320. <https://doi.org/10.35759/jabs.158.5>
- Duteurtre, G., et Corniaux, C. (2018).** Le commerce de poudre de lait ré-engraissée : Situation et enjeux pour les échanges Europe – Afrique de l'Ouest. CIRAD Montpellier : SOS Faim & Oxfam.
- Félix-Sámano, A. L., Félix-Medina, J. V., Quintero-Soto, M. F., Díaz-Peña, I., et Gutiérrez-Dorado, R. (2025).** Nixtamalization and Extrusion Processes: Effects on Physicochemical, Nutritional, and Nutraceutical Properties in the Processing of Corn Into Tortilla. *International Journal of Food Science*, 2025, Article ID 6961009. <https://doi.org/10.1155/ijfo/6961009>
- Fogny, N. F., Madode, E. M. Y., Laleye, F. T. F., Amoussou-Lokossou, Y., et Kayode, A. P. P. (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.

Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF). (2023). État de la nutrition des enfants dans le monde.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). The state of food security and nutrition in the world 2022. FAO. <https://www.fao.org/publications/fao-flagship-publications/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world/en/>

GRET/IRD. (2020). La filière des farines infantiles produites localement dans 6 pays sahéliens. Institut de Recherche pour le Développement et Groupe de Recherche et d'Études Technologiques. (Source: UNICEF/ResearchGate).

Huang, J., Zhang, Y., et Wang, Z. (2022). Evaluating the sterilization effect of wheat flour treated with continuous high-speed-stirring superheated steam. *Journal of Cereal Science*, 105, 103406. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103406>

Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA). (1986). Grain Legume Improvement Program : Rapport annuel 1985. Ibadan (Nigeria).

Javaheri, F., et Baudoin, J. P. (2001). Le soja. In R. H. Raemaekers (Éd.), *Agriculture en Afrique tropicale* (pp. 860-882). Bruxelles, Belgique.

Kone, S., Soro, D., et Koffi, E. (2019). Formulation et caractérisation physicochimique de la farine infantile composée : Attiéké déshydraté-amande de cajou. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25(2), 700-708.

Liu, Z., Yang, Y., Zhao, X., Liao, X., Zhang, Y., Wu, D., Li, J. et Li, J. (2024). Effect of adding konjac glucomannan on the physicochemical properties of Indica rice flour and the quality of its product of instant dry rice noodles. *Foods*, 13(23), Article 3749. <https://doi.org/10.3390/foods13233749>

Maptouom, F. (2022). Optimisation des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles du jus traditionnel de baobab (*Adansonia digitata* L.) et évaluation de ses effets œstrogéniques [Thèse de doctorat, Université de Yaoundé I]. Cameroun.

- Mbame MC, Tiencheu B, Feumba R, Tiepma FD, Ashu AO, Ufuan AA, Oben J (2021).** Formulation d'aliments complémentaires adéquats pour les enfants de 6 à 24 mois à partir d'aliments de base locaux dans la région du Sud-ouest du Cameroun. Eur J Nutr Food Saf. 13(112) :89–108. <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2021/v13i1230471>.
- Mouquet C., Bryeron O. et Treche S. (1998).** Caractéristiques d'une bonne farine infantile. Bulletin du réseau Technologie et Partenariat Agroalimentaire. 15 : 8-11.
- Moussa Abdoul Razak, A., Lewami, M., Chaibou, Y., Boureima, A. G., Ibrahim, A., Seini, H. S., et Sadou, H. (2021).** Qualité nutritionnelle et sensorielle d'une farine infantile enrichie au soja et à la spiruline. International Journal of Advances in Engineering and Management, 3, 633-647.
- N'Gbesso, M. F. D. P. (2011).** Évaluation et amélioration de la productivité de lignées de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] par les techniques d'inoculation et de conservation des semences [Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny]. Côte d'Ivoire.
- Natacha, S., Ngono, N., Mukoro, M., Nindum, N., Yong, S., Voula, V. A., Simo, B. H., et Mounjouenpou, P. (2018).** Formulation et acceptabilité sensorielle d'une farine infantile instantanée à base de maïs germé, riz, soja et sésame. International Journal of Innovation and Applied Studies, 25(1), 388-397.
- Okezie, O. B., et Bello, A. B. (1988).** Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. Journal of Food Science, 53(2), 450-454.
- Olive, F., Mouquet-Rivier, C., Fioroni, N., Bichard, A., Martinaud, C., Kaboré, C., Denizeau, M., Zagré, N., Dain, A.-S., Ndiaye, N., Tou, E., & Aho, A. (2020).** La filière des farines infantiles produites localement dans six pays sahéliens : Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad. Technical Advisory Group, IRD/UNICEF.
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (2021).** L'état de la sécurité alimentaire dans le monde – Rapport 2021 [En ligne]. Consulté le 15 novembre 2021 sur <https://www.alimenterre.org/l-etat-de-la-securite-alimentaire-dans-le-monde-rapport-2021>

Organisation des Nations Unies (ONU). (2021). En Afrique de l'Ouest et centrale, le PAM appelle à éviter une catastrophe alimentaire [En ligne]. Consulté le 15 novembre 2021 sur <https://news.un.org/fr/story/2021/04/1094072>

Organisation mondiale de la santé (OMS). (2016). Recommandations de l'OMS concernant les soins anténatals pour que la grossesse soit une expérience positive (pp. 25-91).

Organisation mondiale de la santé (OMS). (2018). Cadre mondial de suivi de la nutrition : Guide pratique pour le suivi des avancées par rapport aux cibles mondiales 2025.

Organisation mondiale de la santé (OMS). (2020). Concentrations sériques de ferritine permettant d'évaluer le statut en fer au niveau individuel et dans les populations (Document d'information technique).

Organisation mondiale de la santé (OMS). (2022). Rapport sur la nutrition dans le monde.

Organisation mondiale de la santé & FAO. (2011). Directives sur l'enrichissement des aliments en micronutriments (pp. 14-38).

Ouattara, A., Ya, C. K., Koné, D., Disseka, K. W., Bédel, J., Serge, G., Ekissi, E., et Yao, N. (2023). Formulations alimentaires infantiles à base de céréales (mil, maïs) et de poudre de chenille (*Imbrasia oyemensis*) : Composition nutritionnelle et évaluation sensorielle. GSC Advanced Research and Reviews, 16(1), 46-54.

Ponka, R., Lina, E., Nankap, T., Tabot Tambe, S., Fokou, E., et Tambe, S. T. (2016). Composition nutritionnelle de quelques farines infantiles artisanales du Cameroun. International Journal of Innovation and Applied Studies, 16(2), 280-292. <http://www.ijias.issr-journals.org/>

Raizada, T. L. G. N., et Cross, J. M. (2015). Diversité génétique et ressources génomiques disponibles pour les cultures de petit mil pour accélérer une nouvelle révolution verte. Frontiers in Plant Science, 6(57), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00157>

Seewu, N., Amaglo, N., Adevu, M., Glover-Amengor, M., Dosu, G., Adjepong, P., Adams, S., et Attipoe, P. (2010). Produire et transformer les feuilles de moringa. MoringaNews, 36 p.

Sidibé, M. (2019). Évaluation du bilan d'activité de l'URENI du Centre de santé de référence de Kalaban Coro [Thèse de doctorat, Faculté de Médecine et d'Odonto-Stomatologie (FMOS)].

- Simon, J.-P. (2005).** Les légumineuses. In Plantes utilisées par l'homme. Département de sciences biologiques, Université de Montréal, 18 p.
- Singh, J., Kaur, S., Nanda, V., Dhull, S. B., Gunjal, M., Kumar, V., Assouguem, A., Ullah, R., Iqbal, Z., Bari, A., Ercisli, S., et Rasane, P. (2024).** Valorization of corn silk through incorporation in instant mix and analyzing its shelf life by kinetic modelling. *Food Chemistry: X*, Article 101554. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101554>
- Soloviev, P., Niang, T., Gaye, A., et Totte, A. (2004).** Variabilité des caractères physicochimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette, récoltés au Sénégal : *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica*. *Fruits*, 59, 109-119.
- Traoré, F. M. (2014).** Aspects épidémio-cliniques de la malnutrition aiguë sévère des enfants de moins de 5 ans au CHU Gabriel Touré [Mémoire de médecine]. Consulté le 24 février 2023 sur <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/637>
- UNICEF. (2024).** Infant and young child feeding in emergencies: Operational guidance for emergency relief staff and programme managers. *UNICEF*. https://www.enonline.net/sites/default/files/2024-11/ops-guidance-on-ife_v3_english.pdf
- Wickens, G. E., et Lowe, P. (2008).** The baobabs: *Pachycauls* of Africa, Madagascar and Australia. Dordrecht, London : Springer.
- Wolff, J. P. (1968).** Manuel d'analyse des corps gras. Paris: Azoulay Éditeur.
- World Food Programme (WFP). (2018).** Conseils nutritionnels pour les aliments complémentaires (pp. 6-9).
- World Health Organization. (2012).** Safe preparation, storage and handling of powdered infant formula: A training course. *WHO*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241595414>

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Clairance éthique

REPUBLIQUE DU CAMEROUN <i>Paix – Travail – Patrie</i> MINISTÈRE DE LA SANTÉ PUBLIQUE SECRETARIAT GÉNÉRAL COMITÉ RÉGIONAL D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE POUR LA SANTÉ HUMAINE DU CENTRE Tél : 222 21 20 87/ 677 94 48 89/ 677 75 73 30		REPUBLIC OF CAMEROON <i>Peace – Work – Fatherland</i> MINISTRY OF PUBLIC HEALTH SECRETARIAT GENERAL CENTRE REGIONAL ETHICS COMMITTEE FOR HUMAN HEALTH RESEARCH
CE N° 03467/CRERSHC/2025		Yaoundé, le 01 sept 2025

CLAIRANCE ETHIQUE

Le Comité Régional d'Éthique de la Recherche pour la Santé Humaine du Centre (CRERSHC) a reçu la demande de clairance éthique pour le projet de recherche intitulé : « Formulation et évaluation de la qualité d'une farine infantile instantanée à base de *Pennisetum Glaucum*, *Glycine max*, *Adansonia digitata* et de feuilles de *Moringa oleifera* », soumis par Madame/Mademoiselle MADJIRE Séphora.

Après son évaluation, il ressort que le sujet est digne d'intérêt, les objectifs sont bien définis et la procédure de recherche ne comporte pas de méthodes invasives préjudiciables aux participants. Par ailleurs, le formulaire de consentement éclairé destiné aux participants est acceptable.

Pour ces raisons, le Comité Régional d'éthique approuve pour une période de six (06) mois, la mise en œuvre de la présente version du protocole.

L'intéressée est responsable du respect scrupuleux du protocole et ne devra y apporter aucun amendement aussi mineur soit-il sans l'avis favorable du Comité Régional d'Éthique. En outre, elle est tenue de :

- collaborer pour toute descente du Comité Régional d'éthique pour le suivi de la mise en œuvre du protocole approuvé ;
- et soumettre le rapport final de l'étude au Comité Régional d'éthique et aux autorités compétentes concernées par l'étude.

La présente clairance peut être retirée en cas de non-respect de la réglementation en vigueur et des directives sus mentionnées.

En foi de quoi la présente Clairance Ethique est délivrée pour servir et valoir ce que de droit. J-

Ampliations:
CNERSH

LE PRESIDENT,



Dr. Doko Boye Essimeux
Pharmacien



www.minsante.gov.cm

Annexe 2 : Fiche de l'analyse sensorielle

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES



REPUBLIC OF CAMEROON

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

LABORATOIRE DES SCIENCES ALIMENTAIRES ET METABOLISME

LABORATORY FOR FOOD SCIENCE AND METABOLISM

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

POUR LA PARTICIPATION À UNE ÉTUDE SENSORIELLE

Titre de l'étude : Évaluation sensorielle d'une nouvelle recette de bouillie infantile.

Madame, Monsieur,

Nous vous invitons à participer à une étude visant à évaluer des produits alimentaires. Votre opinion de consommateur est très importante pour nous. Avant de donner votre accord, veuillez prendre le temps de lire attentivement les informations suivantes.

1. Objectif de l'étude :

Votre participation nous aidera à comprendre les préférences des consommateurs afin de développer une nouvelle recette de bouillie infantile qui réponde au mieux aux attentes des parents et aux besoins des enfants.

2. Déroulement de votre participation :

Il vous sera demandé de goûter 4 échantillons de bouillie infantile, préparés dans des conditions d'hygiène strictes. Pour chaque échantillon, vous devrez répondre à une série de questions sur son apparence, son odeur, son goût et sa texture. La session durera environ **20-25** minutes.

3. Caractère volontaire :

Votre participation est entièrement volontaire. Vous êtes libre de refuser de participer ou de vous retirer de l'étude à tout moment, sans avoir à vous justifier et sans que cela vous porte préjudice. Vous pouvez également choisir de ne pas répondre à une question ou de ne pas goûter un produit si vous ne le souhaitez pas.

4. Risques et Allergies :

Le principal risque associé à ce type d'étude est une possible réaction allergique. Les produits que vous allez goûter sont des bouillies à base de céréales et peuvent contenir (ou avoir été en contact avec) les allergènes suivants : **lait, gluten, soja, fruits à coque, moringa.**

- **Veillez déclarer ci-dessous si vous, ou une personne de votre foyer pour qui vous pourriez goûter, avez des allergies ou intolérances alimentaires connues :**

☐ **NON**, je ne déclare aucune allergie ou intolérance alimentaire.

☐ **OUI**, je déclare la ou les allergies/intolérances suivantes :

(Note pour l'animateur : En cas de OUI, vérifier la compatibilité des allergies avec les produits testés avant de poursuivre.)

5. Confidentialité des données :

Toutes les réponses que vous fournirez seront traitées de manière confidentielle et anonyme. Un code d'identification unique vous sera attribué pour garantir qu'aucune de vos données personnelles ne soit directement associée à vos réponses dans l'analyse finale. Les résultats seront présentés sous forme de statistiques agrégées.

6. Personne à contacter :

Si vous avez des questions sur cette étude, vous pouvez contacter le responsable du projet :

- **Nom :**
- **Poste :**
- **Email :** / **Téléphone :**

DÉCLARATION DE CONSENTEMENT

- J'ai lu et compris les informations présentées dans ce formulaire.
- J'ai eu l'occasion de poser toutes mes questions et j'ai reçu des réponses satisfaisantes.
- Je comprends les risques, notamment allergiques, et j'ai déclaré toute information pertinente ci-dessus.
- Je comprends que ma participation est volontaire et que je peux me retirer à tout moment.

Je consens librement et de manière éclairée à participer à cette étude.

Nom du participant (en majuscules) : _____

Signature : _____

Date : ____ / ____ / ____

FICHE D'ANALYSE SENSORIELLE – ÉVALUATION MULTI-PRODUITS

INFORMATIONS PARTICIPANT

- **ID Participant(e) :** _____ (à remplir par l'animateur)
 - **Date :** _____
 - **Sexe :** ☐ Homme ☐ Femme
 - **Age :** _____
- _____

Instructions :

Vous allez évaluer **4 produits**. Pour chaque produit, **remplissez entièrement la colonne correspondante de haut en bas**.

1. L'animateur vous servira le premier produit. Notez son code dans la première colonne.
 2. Évaluez-le en cochant les cases de cette colonne.
 3. Une fois terminé, rincez-vous la bouche. Passez ensuite au produit suivant.
- _____

TABLEAU D'ÉVALUATION SENSORIELLE

	F197	F877	F663	F510
Partie 1 : Aspect & odeur				
Apparence appétissante (1 : Pas du tout appétissante, 2 : Peu appétissante, 3 : Moyennement appétissante, 4 : Assez appétissante, 5 : Très appétissante)				
Apparence lisse (sans grumeau) (1 : Très grumeleuse, 2 : Légèrement grumeleuse, 3 : Moyennement lisse (quelques petits grumeaux), 4 : Assez lisse, 5 : Parfaitement lisse)				
Odeur agréable (1 : Pas du tout agréable, 2 : Peu agréable, 3 : Moyennement agréable, 4 : Assez agréable, 5 : Très agréable)				
Partie 2 : Texture & Goût en Bouche				
ÉPAISSEUR (1 : Beaucoup trop liquide, 2 : Un peu trop liquide, 3 : Juste comme il faut, 4 : Un peu trop épaisse, 5 : Beaucoup trop épaisse)				
FONDANT EN BOUCHE (1 : Très granuleux / Sableux, 2 : Légèrement granuleux, 3 : Moyennement fondant, 4 : Assez fondant, 5 : Très fondant / Parfaitement lisse)				
CARACTÈRE COLLANT (Échelle d'intensité) (1 : Pas du tout collant, 2 : Très légèrement collant, 3				

: Modérément collant, 4 : Assez collant, 5 : Très collant)				
INTENSITÉ du goût Sucré (1 : Nulle / Imperceptible, 2 : Très faible, 3 : Modérée, 4 : Forte, 5 : Très forte)				
INTENSITÉ du goût de Céréales (1 : Nulle / Imperceptible, 2 : Très faible, 3 : Modérée, 4 : Forte, 5 : Très forte)				
INTENSITÉ du goût Lacté (1 : Nulle / Imperceptible, 2 : Très faible, 3 : Modérée, 4 : Forte, 5 : Très forte)				
INTENSITÉ du goût Végétal (1 : Nulle / Imperceptible, 2 : Très faible, 3 : Modérée, 4 : Forte, 5 : Très forte)				
INTENSITÉ de l'Amertume (1 : Nulle / Imperceptible, 2 : Très faible, 3 : Modérée, 4 : Forte, 5 : Très forte)				

PARTIE 3 : APPRÉCIATION & ACHAT

ATTRIBUTS À ÉVALUER	F197	F877	F663	F510
Appréciation personnelle (1=Je déteste extrêmement, 2=Je n'aime pas beaucoup, 3=Je n'aime pas modérément 4=Je n'aime pas légèrement, 5=Ni j'aime, ni je déteste, 6=J'aime légèrement, 7=J'aime modérément, 8=J'aime beaucoup, 9=J'aime extrêmement)				
Appréciation pour votre enfant (1=Il détestera extrêmement, 2=il n'aimera pas beaucoup, 3=Il n'aimera pas modérément, 4=Il n'aimera pas légèrement, 5=Ni il aimera, ni il détestera, 6=Il aimera légèrement, 7=Il aimera modérément, 8=Il aimera beaucoup, 9=Il aimera extrêmement)				
Intention d'achat :				

<i>J'en achèterais certainement</i>	☐	☐	☐	☐
<i>J'en achèterais probablement</i>	☐	☐	☐	☐
<i>Je ne sais pas</i>	☐	☐	☐	☐
<i>Je n'en achèterais probablement pas</i>	☐	☐	☐	☐
<i>Je n'en achèterais certainement pas</i>	☐	☐	☐	☐

PARTIE 4 : COMMENTAIRES COMPARATIFS FINALS

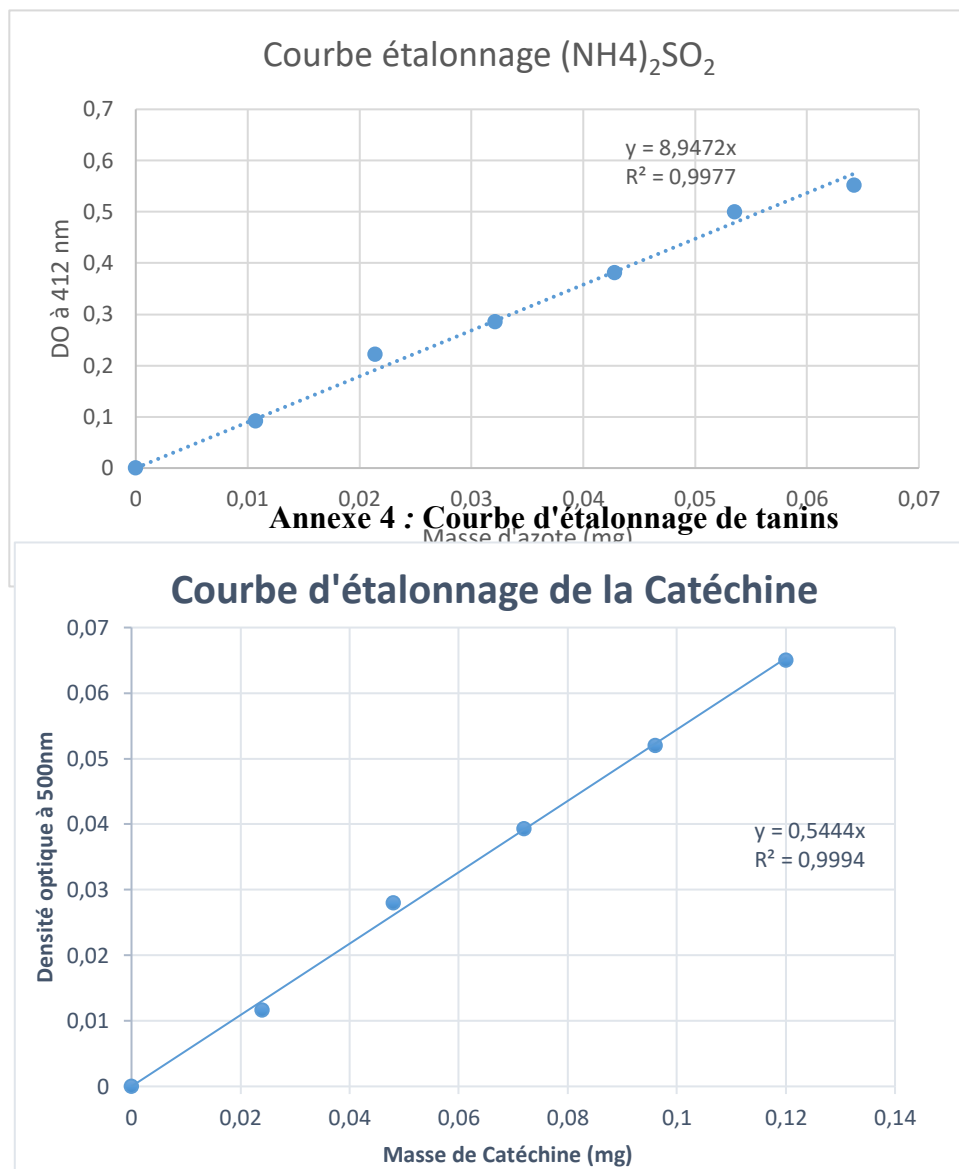
1. Parmi les 4 produits que vous venez de goûter, lequel avez-vous globalement **PRÉFÉRÉ** ? (Indiquez le code du produit) **CODE** : _____
Pourquoi ? Qu'est-ce qui l'a rendu meilleur que les autres ?

2. Et lequel avez-vous le **MOINS** apprécié ?
 (Indiquez le code du produit) **CODE** : _____
Pourquoi ? Qu'est-ce qui vous a déplu ?

3. Avez-vous d'autres commentaires ou suggestions sur l'un des produits en particulier ?
 (N'hésitez pas à mentionner le code du produit concerné pour nous aider)

MERCI INFINIMENT POUR VOTRE TEMPS ET VOTRE AIDE PRÉCIEUSE !

Annexe 3 : Courbe d'étalonnage de protéines



Annexe 5: Equipement de laboratoire



Balance électronique(ZH-VBC)



Centrifugeuse(modèle TD4)



Spectrophotomètre model zuzi 4211/50



Broyeur(Micro-Mill H37250)



Celleuse modèle Onlock



