



**Université Polytechnique de
Bobo-Dioulasso
(UPB)**

Unité de Formation et de Recherche en
Sciences et Techniques
(U.F.R/S.T)



**Centre National de la Recherche
Scientifique et Technologique
(C.N.R.S.T)**

Institut de Recherche en
Sciences Appliquées et
Technologies
(IRSAT)

Département Technologie
Alimentaire
(D.T.A)

RAPPORT DE FIN DE CYCLE

Pour l'obtention de la

LICENCE PROFESSIONNELLE EN GENIE BIOLOGIQUE

Option : **AGROALIMENTAIRE**

THEME :

**Contribution à la mise en place d'un diagramme de
production de la farine potassée de fonio
(*Digitaria exilis* Stapf)**

Présenté par DEMBELE Fatou Nawihan Elodie

Maitre de stage :

Dr Charles PARKOUDA

Directeur de Rapport :

Dr Jacques KABORE

JANVIER 2016

DEDICACE

*Cher père Ousmane DEMBELE et chère mère Assita
COULIBALY, je vous dédie le présent document.*

*Je ne saurais oublier mon frère Bruno, ma sœur Tiphaine,
mes oncles et tantes, et également toutes les personnes qui
n'ont pas hésité à m'apporter leur appui lors de la
réalisation de ce travail.*

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre vive reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de la présente étude.

Nos remerciements particuliers s'adressent :

- Aux membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail ;
- Au Dr Bréhima DIAWARA, Directeur de l'IRSAT, pour nous avoir acceptée dans sa structure ;
- Au Dr Hagrétou LINGANI/SAWADOGO, Maître de Recherche, Chef du Département Technologie Alimentaire pour nous avoir donnée l'opportunité d'apprendre d'avantage au sein de sa structure ;
- Au Dr Charles PARKOUDA, Chargé de Recherche et notre maître de stage, pour sa disponibilité, ses encouragements et son accompagnement durant l'étude ;
- Au Dr Jacques KABORE, Maître-assistant de Génétique, Biologie moléculaire et Génomique à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, notre directeur de mémoire pour sa disponibilité, sa compréhension et ses encouragements ;
- A la coordonnatrice du « Projet valorisation du fonio » au DTA, Mme Charlotte KONKOBO ;
- A Mme Zoénabo DOUAMBA pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils, sa compréhension et ses encouragements ;
- Au Dr Schémaeza BONZI, Assistant à l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso pour son accompagnement ;
- A Mme Kadjétou ZIDA pour sa disponibilité, son appui et son accompagnement lors des expériences d'analyses sensorielles ;
- A Mme Judith OUEDRAOGO, responsable de l'unité de transformation « REHOBOTH » et à la responsable de l'unité de transformation « GRACE » pour nous avoir acceptée et encadrée dans le cadre des suivis de production de la farine potassée de fonio ;
- A M. Michel COMBARI, Responsable Technique du laboratoire de physico-chimie pour sa disponibilité ;
- A M. Olivier BANHORO pour son accompagnement lors de la production de farine potassée de fonio à l'atelier du DTA ;

- A tous les enseignants et le personnel administratif de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques ;
- A toute l'équipe technique du DTA, pour l'accueil et toutes les formes de contributions à notre formation ;
- A nos parents M. Ousmane DEMBELE et Mme Assita DEMBELE/COULIBALY pour leurs soutiens moral, financier, leurs encouragements et les bénédictions formulées à notre endroit ;
- A nos oncles M. Karimou DEMBELE, Nouna DEMBELE, Souleymane DEMBELE et à nos tantes pour leur soutien et leurs encouragements ;
- AM. Alphonse COULIBALY et à sa femme pour leur accueil et leur accompagnement durant la réalisation de cette étude ;
- A Mme KABORE et à toute la famille KABORE pour tous les bienfaits à notre égard ;
- A nos collègues de stage Korotimi TRAORE, Hortence SOMDA, Richard RAMDE et aux autres ami(e)s et camarades pour leur précieuse participation ;
- A Bruno DEMBELE et à tous nos frères et sœurs pour leur grand soutien.

RESUME

Notre étude avait pour objectif de contribuer à la mise en place d'un diagramme de production de la farine potassée de fonio. A partir du processus de production utilisé par deux transformatrices, huit (08) types de farines ont été produites pendant huit (08) jours successifs. Ces types de farines diffèrent entre eux par la durée de trempage du fonio dans de l'eau (de 0 à 7 jours) avant son alcalinisation. Chacun des huit types de farines a été séparé en deux parties et séché à l'ombre et au séchoir à gaz donnant ainsi au total seize (16) échantillons. Les analyses sensorielles réalisées sur les échantillons de t^ô préparés à partir des seize (16) types de farines produites ont permis de sélectionner quatre types. Il s'est agi de FP2OM, FP3SG, FP6OM et FP7SG. La durée du trempage a été sans influence sur la qualité organoleptique des types de farines produites. Les échantillons de t^ô correspondant à ces différents types de farines ont présenté des caractéristiques organoleptiques satisfaisantes, même si l'échantillon FP2SG a été peu apprécié par rapport aux trois autres. Quant aux analyses physico-chimiques, elles ont porté sur les huit échantillons de farines séchées au séchoir à gaz. Les résultats ont indiqué que la durée du trempage a un impact sur la composition en éléments minéraux des types de farines produites. Pour obtenir une farine riche en éléments minéraux, la durée de trempage du fonio avant l'alcalinisation ne doit pas dépasser 48 h. De plus, le séchage de la farine peut se faire aussi bien au séchoir à gaz qu'à l'ombre.

Mots clés : fonio, farine potassée de fonio, trempage, séchage.

ABSTRACT

Our study aimed to contribute to the establishment of diagram for flour production with fonio soaked in potassic solution. From the production process used by two transformers, eight (08) types of flours were produced for eight (08) consecutive days. These types of flours differ from each other by the fonio soaking time in water (0 to 7 days) before alkalization. Each of the eight types of flour was separated in two portions and dried in the shade and the gas dryer giving a total of sixteen (16) samples. The sensory analyses carried out on samples of "tô" prepared from sixteen (16) types of flour produced were used to select four types. It is FP2OM, FP3SG, FP6OM and FP7SG. The soaking time had no influence on the organoleptic quality of different flours types. Samples of "tô" of these different types of flours presented satisfactory organoleptic characteristics, although FP2SG sample was disliked by the other three. Concerning physical and chemical analyses, they focused on eight flour samples dried in the gas dryer. The results indicated that the soaking time has an impact on the mineral elements composition of flours types. So, for a flour rich in mineral elements, soak time of fonio before alkalization should not exceed 48 hours. Moreover, the drying of the flour can be both at the gas dryer in the shade.

Key words: fonio, flour of fonio soaked in potassic solution, soaking, drying.

Table des matières

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DE TABLEAUX.....	x
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES.....	3
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	3
I.1. Création de l'IRSAT	3
I.2. Organisation du DTA.....	3
I.3. Activités	4
II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
II.1. <i>Digitaria exilis</i>	4
II.1.1. Botanique.....	4
II.2.2. Composition et valeurs nutritionnelles du fonio.....	5
II.3. Bassins de production et utilisation du fonio au Burkina Faso.....	6
II.4. Contraintes de la consommation du fonio	7
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	9
I. MATERIEL.....	9
I.1. Matériel d'étude.....	9
I.2. Matériel de production.....	9
I.3. Matériel d'analyses	9
I.3.1. Matériel d'analyses physico-chimiques.....	9
I.3.2. Matériel d'analyses sensorielles.....	10

II. METHODES	10
III. Méthodologie de suivi	10
II.1. Détermination des paramètres physico-chimiques.....	10
II.1.1. Détermination du taux humidité (% H).....	10
II.1.2. Détermination de la teneur en cendres (% C).....	11
II.1.3. Détermination du taux d'acidité (% AC)	11
II.1.4. Le potentiel Hydrogène (pH).....	12
II.1.5. Détermination de la teneur en matière grasse.....	12
II.1.6. Détermination des teneurs en éléments minéraux	12
II.2. Détermination des paramètres organoleptiques	13
II.2.1. Conditions environnementales.....	13
II.2.2. Préparation et présentation des échantillons.....	13
II.2.3. Panel.....	14
II.2.4. Test de classement	14
II.2.5. Attributs sensoriels.....	14
II.2.6. Epreuve hédonique.....	15
II.3. Traitements des données.....	15
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	16
I. ANALYSE DU DIAGRAMME	16
I.1. Suivi de production du diagramme chez les transformatrices.....	16
I.2. Etude du diagramme de production à l'atelier	18
IV. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES	23
II.1. La teneur en eau	23
II.2. La teneur en cendres	24
II.3. L'acidité	25
II.4. Le potentiel Hydrogène	26
II.5. Les lipides	27

II.6. Les minéraux.....	27
III.1. Résultats du test de classement.....	30
III.2. Résultats des attributs sensoriels.....	31
III.3. Résultats du test hédonique.....	33
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	37
ANNEXES.....	xii
Annexe 1: Fiche d'évaluation: test de classement.....	xii
Annexe 2: Fiche d'évaluation: attributs sensoriels.....	xii
Annexe 3: Fiche d'évaluation: épreuve hédonique.....	xiv
Annexe 4: Séchage de la farine au séchoir à gaz.....	xv
Annexe 5 : Matériel d'analyse sensorielle.....	xv
Annexe 6 : Exemple d'échantillon de tô.....	xv

SIGLES ET ABBREVIATIONS

BUNASOL :	Bureau National des Sols
CIRAD	Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement
CNRST :	Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique
COFRAC :	Comité Français d'Accréditation
DE :	Département Energie
DM :	Département Mécanisation
DSN :	Département Substances Naturelles
DTA :	Département Technologie Alimentaire
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
IRSAT :	Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies
ISO :	International Standard Organization for
LBTA :	Laboratoire de Biochimie et Technologie Alimentaire
MASA	Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire
NF :	Norme Française
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG :	Organisation Non Gouvernementale
UNICEF :	Fond des Nations Unies pour l'Enfance et la Femme
USAID	United States Agency for International Development

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme du Département Technologie Alimentaire (DTA).....	3
Figure 3 : Plant de fonio (CRUZ <i>et al.</i> , 2011).....	5
Figure 2: Grain de fonio (CRUZ <i>et al.</i> , 2011).....	5
Figure 4 : Coupe d'un grain de fonio décortiqué (source : http://fonio.cirad.fr/le_grain).....	6
Figure 5: Zone de production du fonio au BURKINA FASO (CRUZ <i>et al.</i> , 2011).....	7
Figure 6: Diagramme de production de farine potassée de fonio selon « GRACE FARINE ».....	17
Figure 7: Diagramme de production de farine potassée de fonio selon « REHOBOTHE »	18
Figure 8: Premier tamisage	19
Figure 9: Impuretés et brisures issues du premier tamisage.....	19
Figure 10: Deuxième tamisage.....	19
Figure 11: Impuretés issues du deuxième tamisage.....	19
Figure 12: Lavage du fonio	19
Figure 13: Lavage des grains brisés.....	19
Figure 14: Dessablage.....	20
Figure 15: Récupération des grains brisés mélangés au son et au sable fin	20
Figure 16: Diagramme récapitulant les étapes de la production de la farine à l'atelier	22
Figure 17: Analyses en Composantes Principales	30
Figure 18: Attributs sensoriels de l'apparence des échantillons de tô	32
Figure 19: Attributs sensoriels de l'arôme des échantillons de tô	32
Figure 20: Attributs sensoriels de la consistance des échantillons de tô.....	33
Figure 21: Acceptabilité des échantillons de tô.....	34
Figure 22: Diagramme général de production de farine potassée de fonio	35

LISTE DE TABLEAUX

Tableau I : Codes des échantillons pour le test de classement	14
Tableau II: Codes des échantillons pour les attributs sensoriels	15
Tableau III: Codes des échantillons pour le test hédonique	15
Tableau IV : Teneur en eau des échantillons.....	24
Tableau V : Teneur en cendres des échantillons	25
Tableau VI: Acidité des échantillons	25
Tableau VII: Potentiel hydrogène des échantillons	26
Tableau VIII : Teneur en lipides des échantillons	27

Tableau IX: Teneurs en minéraux des échantillons	29
Tableau X: Résultats du test de classement.....	31
Tableau XI: Liste des échantillons retenus après le test de classement	31

INTRODUCTION

Au Burkina Faso comme dans beaucoup de pays de l'Afrique Subsaharienne, l'alimentation est dominée par la consommation de céréales et de tubercules (PODA, 2013). Selon les résultats de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012/2013, la production céréalière a porté essentiellement sur le maïs, le riz, le sorgho, le mil et le fonio (MASA, 2013). Pour la campagne agricole 2012/2013, au moins un million de tonnes ont été produites pour chaque type de céréale sauf pour le fonio (MASA, 2013). La quantité de fonio produite par an pendant les cinq (05) dernières années est comprise entre 14502 et 20659 tonnes (FAOSTAT, 2013). Considéré comme l'une des céréales les plus vieilles d'Afrique, le fonio est cultivé dans presque tous les pays de l'Afrique de l'Ouest (KANFANY, 2008). Les principaux pays producteurs sont le Burkina Faso, le Sénégal, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Mali, le Nigeria et la Guinée (BALLOGOU *et al.*, 2013). La Guinée est le premier producteur mondial de fonio (USAID, 2008) et cette céréale est très importante dans l'alimentation humaine (KANFANY, 2008).

Après avoir été longtemps marginalisé sur le plan alimentaire, le fonio représente actuellement l'aliment de base pour un grand nombre de familles. Cette céréale connaît de nos jours un regain d'intérêt du fait de sa grande digestibilité et de ses qualités nutritionnelle et organoleptique. En effet, le fonio est une céréale fine, légère, très digeste et fait partie des céréales sans gluten. Il contient également des acides aminés essentiels tels que la méthionine et la cystéine. Sa forte teneur en fibres et sa faible teneur en facteurs antinutritionnels expliquent sa bonne digestibilité (TAMBOURA, 2014). En plus, il concourt à la sécurité alimentaire en milieu paysan, car sa récolte est précoce par rapport aux autres céréales de base (SYLLA, 2005). Aussi, cette céréale devient un produit de luxe de plus en plus consommé par les citadins pour sa typicité. Ainsi, il existe dans les villes du Burkina Faso des unités de transformation qui mettent à la disposition des ménages du fonio prêt à l'emploi sous plusieurs formes : fonio nature, étuvé, précuit, farine de fonio et farine potassée de fonio (CIRAD, 2009).

Au Burkina Faso, l'opinion publique et les diabétiques en particulier sont convaincus de la recommandation du fonio chez les malades diabétiques de sorte que, certains patients ont un régime principalement constitué de fonio aux trois repas de la journée, cela pendant des années et voir des dizaines d'années (BAMA, 1999). C'est ainsi que la production de la farine

potassée par « GRACE FARINE » et « REHOBOTHE » est principalement destinée aux personnes diabétiques. Selon ces deux transformatrices, les personnes malades du diabète ont témoigné leur satisfaction pour la farine potassée de fonio. Outre les témoignages de ces transformatrices, les informations scientifiques sur la qualité de la farine potassée à base de fonio sont peu disponibles.

Vu les caractéristiques du fonio et son rôle dans la sécurité alimentaire, nous avons jugé opportun de contribuer à la valorisation de cette céréale, d'où le thème « contribution à l'élaboration d'un diagramme de production de farine potassée de fonio ».

L'objectif général de cette étude est de mettre au point un diagramme de production de farine potassée de fonio pour une diversification alimentaire.

De façon plus spécifique, il s'agit de :

- faire des essais de formulation de farine potassée de fonio,
- déterminer quelques caractéristiques physico-chimiques des différents types de farines produites,
- évaluer les caractéristiques organoleptiques des différents types de farines produites.

Ce document qui synthétise les résultats du travail s'articule autour des points suivants :

- une première partie qui aborde les généralités sur le fonio et la structure d'accueil,
- une deuxième partie présente le matériel utilisé et les méthodes qui ont permis d'obtenir les différentes farines et de les analyser,
- et une troisième partie présente les résultats obtenus suivi d'une discussion.

CHAPITRE 1 : GENERALITES

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

I.1. Création de l'IRSAT

En 1997, la restructuration du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) suite à l'adoption du Plan stratégique national de la recherche scientifique et technologique par le gouvernement burkinabè en 1995, a conduit à la création de l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), l'un des quatre (4) instituts du CNRST. L'IRSAT a également quatre composantes à savoir le Département Technologie Alimentaire (DTA), le Département Mécanisation (DM), le Département Substances Naturelles (DSN) et le Département Energie (DE).

I.2. Organisation du DTA

Depuis 2005, le DTA est composé de cinq (5) laboratoires et de deux (2) ateliers pilotes agroalimentaires (figure 1).

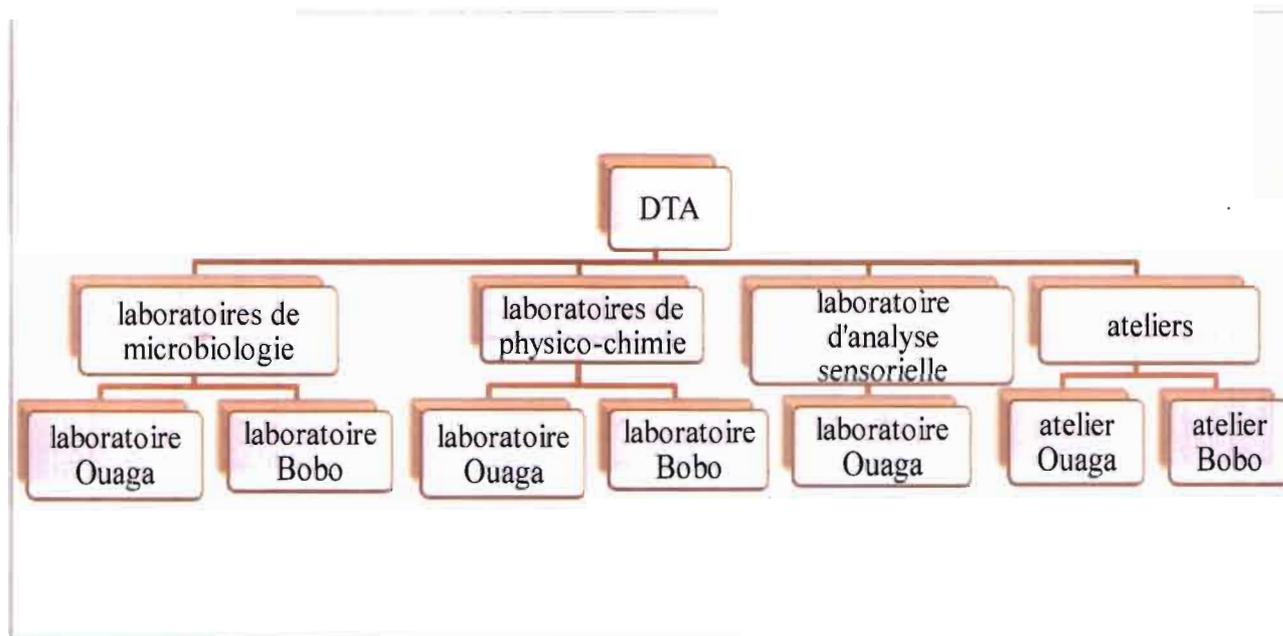
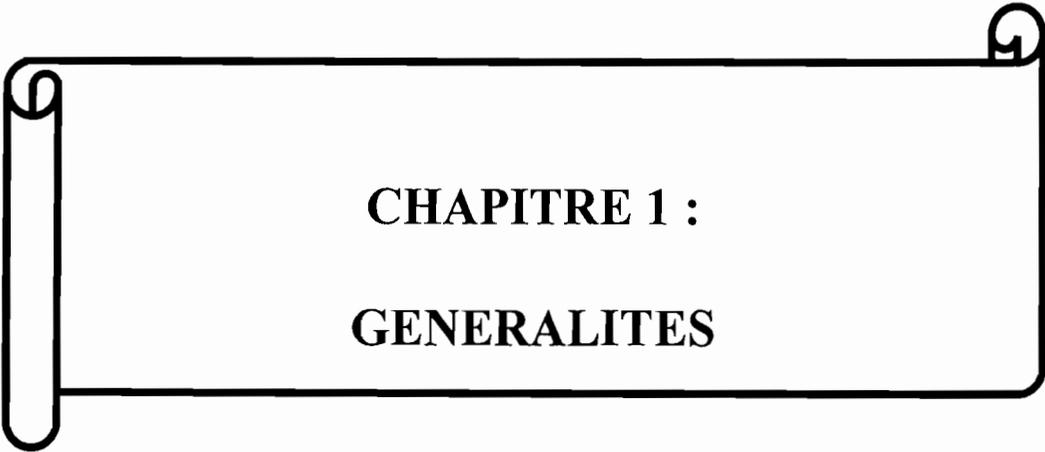


Figure 1: Organigramme du Département Technologie Alimentaire (DTA)

Les laboratoires du DTA sont engagés depuis 2003 dans la démarche qualité selon la norme internationale ISO/CEI 17025 : «*Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*». L'objectif visé est la maîtrise de la qualité du



CHAPITRE 1 :
GENERALITES

système d'organisation et des compétences techniques des laboratoires du département en vue d'une reconnaissance internationale des travaux d'analyse qui y sont réalisés.

Le laboratoire de microbiologie de Ouagadougou a été accrédité (en Août 2012) sur trois paramètres (flore totale, coliformes totaux et coliformes thermo tolérants) pour une durée de 4 ans par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC).

I.3. Activités

Créé à partir du Laboratoire de Biochimie et Technologie Alimentaire (LBTA), le DTA conduit des activités de Recherche-Développement dans le domaine des procédés post-récolte, de transformation, conservation/stockage et de conditionnement/emballage des produits alimentaires. A cela s'ajoute des études de consommation, de la formulation et l'amélioration de la valeur nutritive et sanitaire des aliments dans le but de les valoriser. Les activités de recherche sont axées sur les produits suivants :

- Céréales
- Oléagineux/ Protéagineux
- Fruits et légumes
- Racines et tubercules
- Gommages
- Laits et produits laitiers
- Viandes et produits halieutiques

L'objectif est d'apporter de la valeur ajoutée aux produits agricoles, animaux et forestiers en vue de diversifier et d'accroître la consommation et l'exportation. Les autres domaines d'activité concernés sont : l'analyse et le contrôle-qualité des produits agroalimentaires, la formation et l'appui/accompagnement des entreprises agroalimentaires.

II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. *Digitaria exilis*

II.1.1. Botanique

Le fonio (*Digitaria exilis*) est une monocotylédone appartenant à l'ordre des *Glumales*, à la famille des Graminées ou *Poacées*, à la série des *Panicoides*, à la tribu des *Panicées* et au genre *Digitaria*. C'est une petite plante herbacée annuelle de 30 à 80 cm de haut au tallage multiple (KANFANY, 2008).

Le système racinaire du fonio est très développé avec de nombreuses racines fines et d'abondantes radicelles. L'importance particulière de ce système racinaire qui peut descendre à plus d'un mètre de profondeur permet d'expliquer le bon comportement de la plante durant les périodes de sécheresse et son adaptation aux sols pauvres qu'elle exploite efficacement (CRUZ *et al.*, 2011). En effet, cette plante est peu exigeante quant à la nature du sol (texture et fertilité). Comme le riz, le fonio est une céréale dite vêtue car les grains sont entourés de glumes et de glumelles. Les grains de « fonio paddy » ont une forme ovoïde, légèrement aplatie sur le dos. Elles sont de très petites tailles (leur longueur est d'environ 1,8mm et leur largeur de 0,9mm), de l'ordre du millimètre, et le poids de 1000 grains est en moyenne de 0,5g (CRUZ *et al.*, 2011). En Afrique, l'aire de culture du fonio s'étend du Sénégal au lac Tchad et cette plante tolère les sols légers, relativement pauvres, sablonneux, limoneux ou même caillouteux (KANFANY, 2008).

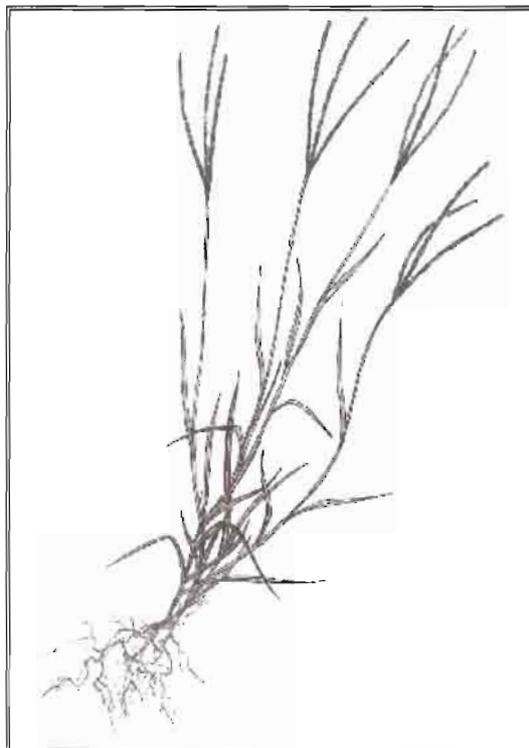


Figure 3 : Plant de fonio (CRUZ *et al.*, 2011)



Figure 2: Grain de fonio (CRUZ *et al.*, 2011)

II.2.2. Composition et valeurs nutritionnelles du fonio

Le fonio décortiqué est constitué de :

- péricarpe correspondant à une enveloppe recouvrant le grain de fonio après décortilage ; il contient peu de nutriments (TAMBOURA, 2014).

- albumen qui représente plus de la moitié du grain et est composé essentiellement d'amidon. Cet amidon est composé 1/4 d'amylose et 3/4 d'amylopectine (TAMBOURA, 2014).
- germe composé de l'embryon et du scutellum. Il contient 1,2% de réserves lipidiques. Il est aussi riche en protéines (TAMBOURA, 2014)

La figure 3 représente les principales parties du fonio décortiqué.

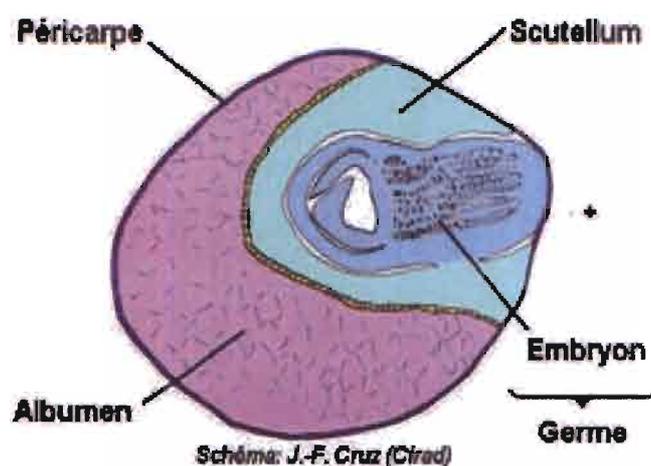


Figure 4 : Coupe d'un grain de fonio décortiqué (source : http://fonio.cirad.fr/le_grain)

Les céréales ont en général des compositions biochimiques qui s'avoisinent entre elles. Leurs constituants majeurs sont les hydrates de carbone et les protéines (THE NATIONAL ACADEMIES, 1996). Le fonio est riche en méthionine et en cystéine, deux acides aminés essentiels pour la santé humaine (THE NATIONAL ACADEMY, 1996)

II.3. Bassins de production et utilisation du fonio au Burkina Faso

Le fonio est surtout produit dans six provinces (06) du Burkina Faso dont la Kossi, le Mouhoun, le Houet, le Kéné Dougou, la Léraba et la Comoé. La zone de production formée par ces six provinces est limitée au nord par la province du Sourou et le Mali, au sud par les provinces du Poni, la Bougouriba et de la Côte d'Ivoire (SON *et al.*, 2001). Cette zone de production est présentée par la figure 4.

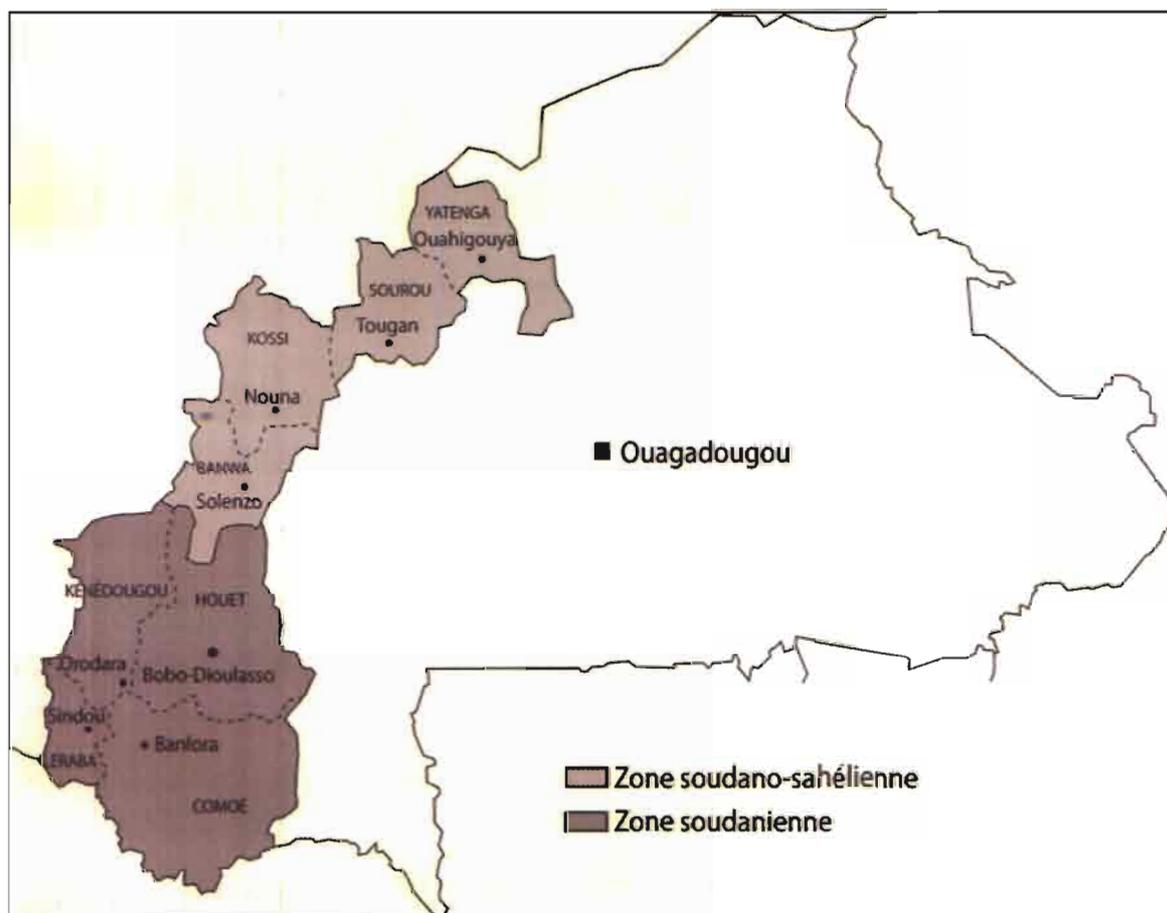


Figure 5: Zone de production du fonio au BURKINA FASO (CRUZ *et al.*, 2011)

Concernant les différentes variétés de fonio cultivées, soulignons qu'elles font généralement référence à un paramètre principalement. Il s'agit de la longueur du cycle. La couleur ou le criblage des grains peut être également considéré. Ainsi, trois (03) principales variétés sont identifiées. Ce sont la variété hâtive, la variété intermédiaire et la variété tardive.

Au Burkina Faso, le fonio est utilisé pour préparer de la bouillie, du couscous, du tô mélangé avec les autres farines comme la farine de mil, de sorgho, de maïs (BAMA, 1999). Lors d'une enquête sur la consommation du fonio à Ouagadougou, environ 40% des personnes interrogées ont déclaré en consommer plus ou moins régulièrement.

La grande majorité des consommateurs en prépare occasionnellement, notamment pour des fêtes, au moment des récoltes lorsqu'ils en reçoivent du village ou quand il est largement disponible et moins cher sur le marché (KONCOBO *et al.*, 2004).

II.4. Contraintes de la consommation du fonio

Céréale dite secondaire, le fonio n'est pas aussi bien connu que les autres céréales telles que le riz par exemple. Aussi, le fonio décortiqué est vendu sur les marchés entre 425 F CFA et 860

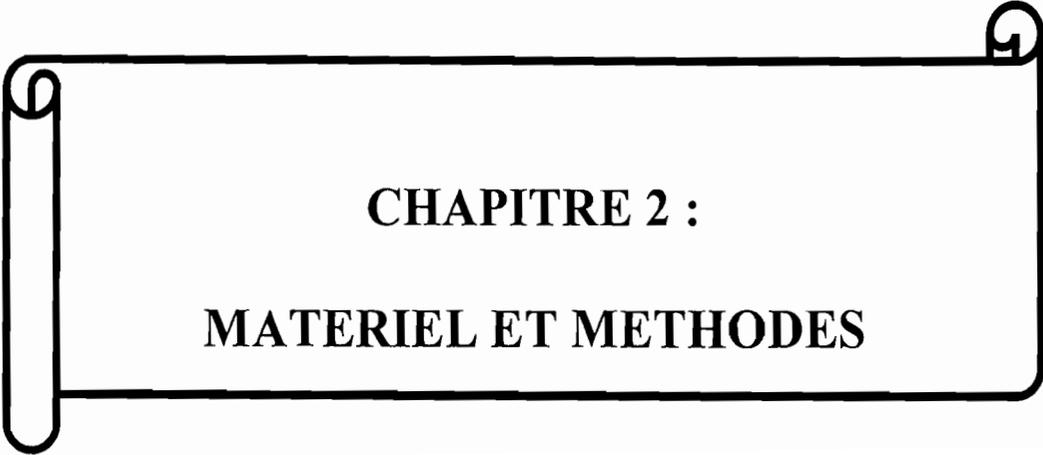
F CFA le kg. Cette céréale est onéreuse, en moyenne 3 fois plus chère que le mil, le maïs et le sorgho, et deux (02) fois plus chère que le riz local ou importé (SON *et al.*, 2001).

Au-delà de la méconnaissance et de la cherté, l'utilisation du fonio est fortement handicapée par la difficulté de séparer le sable des très petits grains qui caractérisent cette céréale (KONKOBO *et al.*, 2004).

En d'autres termes, le lavage et le dessablage sont des opérations très délicates dans le processus de transformation du fonio et dépendent fondamentalement de la quantité de sable et de corps étrangers mélangés aux grains (USAID, 2008). Ces deux opérations requièrent un savoir-faire, de la dextérité et de la patience pour parvenir à un produit de bonne qualité : des grains de fonio exempts de sable et de poussière (SYLLA, 2005). De surcroît, la transformation du fonio nécessite une grande quantité d'eau. La littérature estime à 400L le volume d'eau nécessaire pour laver proprement 25 Kg de fonio, ce qui revient en moyenne à 16L/Kg (USAID, 2008). Le sable, la poussière et les impuretés contenus dans le fonio peuvent avoir plusieurs origines dont les principales sont les opérations post récoltes telles que le battage et le décorticage.

Le battage consiste à séparer les grains des tiges. Un battage réalisé dans de mauvaises conditions pollue les grains par diverses impuretés du sol. Pourtant, à travers les pratiques courantes en milieu de production, il est réalisé sur sol nu (SYLLA, 2005) et se fait à l'aide de bâtons ou de piétinements plus connus sous le nom de foulage (USAID, 2008).

Le décorticage quant à lui permet d'enlever les balles qui protègent les grains à l'état paddy. Il se fait manuellement et depuis quelques années, de manière mécanisée aussi. Le décorticage manuel est réalisé par les femmes aux moyens de mortiers et de pilons en bois. Comme astuce, les femmes procèdent au décorticage après avoir mélangé le fonio à du sable. C'est le frottement des grains de sable contre les grains de céréales qui permet d'enlever plus rapidement la pellicule de ceux-ci (SYLLA, 2005).



CHAPITRE 2 :
MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

I. MATERIEL

I.1. Matériel d'étude

Le matériel biologique est constitué de grains de fonio décortiqués obtenus à Bomborokuy (Province de la Kossi) auprès d'un commerçant. De la potasse achetée au marché a aussi été utilisée pour la transformation des grains de fonio en farine potassée de fonio (par trempage des grains de fonio dans une solution potassée avant la mouture).

I.2. Matériel de production

La production des farines a été faite à l'atelier pilote du Département Technologie Alimentaire. Le matériel utilisé au cours de la production est constitué comme suit :

- un broyeur : il s'agit d'un moulin de marque METRO, qui a permis d'effectuer les différentes moutures lors de la production.
- des séchoirs : il s'agit d'un séchoir pour le séchage à l'ombre et d'un séchoir à gaz de type ATTESTA pour le séchage au gaz.
- des ustensiles de cuisine tels que des calebasses, des tamis, des seaux et des bassines.

I.3. Matériel d'analyses

I.3.1. Matériel d'analyses physico-chimiques

Pour les analyses de laboratoire, le matériel usuel de laboratoire de physico-chimie a été utilisé. Nous pouvons citer :

- une balance analytique OHAUS (SCALTTEC, portée 300g) a été utilisée pour les différentes pesées.
- une verrerie constituée d'erenmeyers, de béchers, de pipette, de burette.
- un dessiccateur a été utilisé pour le refroidissement des différents échantillons
- une étuve de marque MEMMERT (type UM 600) programmée à 105°C a été utilisée pour la détermination de la matière sèche.
- des nacelles ont servi à contenir les échantillons
- une centrifugeuse SIGMA a été utilisée pour la séparation des différentes phases dans la détermination de l'indice d'acidité.
- un four NABERTHERM a été utilisé pour la détermination des cendres

- un agitateur de marque IKA a été utilisé pour l'homogénéisation des échantillons lors de la détermination de l'indice d'acide.
- un pH-mètre de type HANNA a permis de mesurer le pH des échantillons et des solutions de trempage.

I.3.2. Matériel d'analyses sensorielles

Le matériel utilisé pour les évaluations sensorielles se composait d'un panel de dégustation de fiches d'analyses, de petit matériel et équipements de cuisine. Nous pouvons citer entre autre des plateaux, des bols en verre, des cuillères.

II. METHODES

III. Méthodologie de suivi

Pour la production de farine potassée de fonio, la mise au point et l'adoption d'un diagramme de production ont été nécessaires. Ainsi nous avons suivi deux séances de production dans l'unité « GRACE FARINE » à Kolognaba (OUAGADOUGOU) et « REHOBOTHE » à Kalgondin (OUAGADOUGOU). A l'issue de ces suivis, nous sommes passées à la phase formulation/production à l'atelier du DTA.

II.1. Détermination des paramètres physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques telles que l'humidité, les cendres, la matière grasse, l'acidité et le potentiel Hydrogène (pH) de la matière première et les échantillons de farines ont été déterminés.

II.1.1. Détermination du taux d'humidité (% H)

La teneur en eau des échantillons a été déterminée selon la Norme Française V03-707, juillet 2000 qui consiste à peser les échantillons avant et après leur passage à l'étuve à une température de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 h.

Après avoir noté le poids à vide (P_v) d'une nacelle préalablement lavée et séchée à l'étuve, 5 g de l'échantillon (PE) ont été pesés. La nacelle contenant l'échantillon a ensuite été placée à l'étuve à 105°C . Au bout des 24h, la nacelle a été retirée de l'étuve, refroidie dans un dessiccateur pendant 30 mn puis pesée de nouveau (P_f).

Le pourcentage en masse d'eau a été obtenu à l'aide de la formule suivante :

$$\% H = \frac{PE - (Pf - Pv)}{PE}$$

%H : teneur en eau
PE : prise d'essai
Pv : poids à vide des nacelles
Pf : poids final

II.1.2. Détermination de la teneur en cendres (% C)

La détermination des cendres a été faite selon la norme française « NF V03-760, 1981 ». Une prise d'essai de 5g de l'échantillon (PE) a été pesée dans un creuset de poids à vide (Pv) préalablement noté. Puis, le creuset contenant l'échantillon a été placé dans un four à 600°C pendant trois heures (3 h). Les échantillons calcinés ont été sortis du four et placés dans un dessiccateur pour refroidissement avant d'être pesés et le poids final (Pf) a été noté.

Le taux de cendres a été calculé suivant la relation ci-après :

$$\% C = \frac{Pf - Pv}{PE} \times 100$$

Le taux de cendres exprimé par rapport à la matière sèche a été calculé selon la formule suivante :

$$\% \frac{c}{MS} = (Pf - Pv) \times \frac{100}{PE} \times \frac{100}{100 - \%H}$$

%C : pourcentage de cendres par rapport à la matière sèche
PE : prise d'essai
Pf : poids final (creuset + échantillon calciné),
Pv : poids à vide des creusets
MS : matière sèche

II.1.3. Détermination du taux d'acidité (% AC)

L'acidité des céréales est la quantité des acides gras libres extractibles par l'éthanol 95%. Elle a été déterminée selon la Norme Française ISO 7305 1998. Ainsi, 5g de l'échantillon ont été pesés dans des tubes à essais. Ensuite 30 ml d'éthanol à 95% ont été ajoutés et le mélange a été agité pendant une heure à 25°C, suivi d'une centrifugation pendant 5 min à 3500 tour/min. Après la centrifugation, 20 ml du surnageant ont été prélevés dans un bécher puis quelques gouttes (6) de phénolphtaléine ont été ajoutées au surnageant. Du NaOH (0,05 N) a été utilisé pour titrer le mélange tout en agitant jusqu'à l'obtention d'une couleur rose. Un blanc a également été réalisé avec 20 ml d'éthanol et 6 gouttes de phénolphtaléine.

Les résultats ont été déterminés comme suit :

$$\% AC = \frac{7.35 \times (Ve - Vo) \times C}{PE}$$

Le taux de l'acidité s'exprime en g de H₂SO₄ pour 100 g de farine et se détermine par rapport à la matière sèche comme suit :

$$\% AC/MS = \frac{\%AC}{100 - \%H} \times 100$$

Ve : chute de la burette pour l'échantillon (ml)

V₀ : chute de la burette pour le blanc (ml)

PE : prise d'essai de l'échantillon (5g)

C : concentration

II.1.4. Le potentiel Hydrogène (pH)

A l'aide d'un pH-mètre de type HANNA, les différents pH des solutions de trempage et des échantillons ont été déterminés. Pour les solutions de trempage, les valeurs s'affichaient en plongeant l'électrode dans la solution. Pour les échantillons, le même procédé a été suivi après avoir préparé une solution constituée de 5g de l'échantillon et 30ml d'alcool 95%, le tout agité pendant une heure.

II.1.5. Détermination de la teneur en matière grasse

La teneur en lipides a été déterminée selon la par la méthode d'extraction de type soxhlet décrite par la norme ISO 659 (1998). L'extraction a été faite à chaud (65-70°C) par trempage suivie de rinçage à l'hexane de 5g de l'échantillon contenu dans une cartouche d'extraction bouchée avec du coton déshydraté pendant 4h. La teneur en lipides totaux a été déterminée par pesée après évaporation de l'hexane. Le résultat de la teneur en matière grasse a été exprimé comme suit :

$$\% L = \left[\frac{Pf - Pv}{PE} \times 100 \right]$$

La teneur en matière grasse par rapport à la matière sèche a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\% L/MS = \left[\frac{Pf - Pv}{PE} \times 100 \right] \times \frac{100}{100 - \%H}$$

%L/MS : pourcentage en matière grasse par rapport à la matière sèche

Pf : poids final (ballon + matière grasse) (g)

Pv : poids vide du ballon (g) ; PE : prise d'essai (g)

V.1.6. Détermination des teneurs en éléments minéraux

La teneur en minéraux (phosphore, calcium, potassium, sodium, magnésium, cuivre, zinc, manganèse et fer) des différents échantillons a été déterminée par la méthode du spectrophotomètre à flamme au Bureau National des Sols (BUNASOL).

II.2. Détermination des paramètres organoleptiques

L'analyse sensorielle est une technique qui permet d'évaluer les caractéristiques organoleptiques d'un produit. Elle a porté sur les échantillons de tô préparé à partir de chaque type de farine. Pour cette analyse, trois(03) épreuves ont été mises en œuvre. Il s'agit de l'épreuve de classement par rapport à la préférence, l'épreuve d'acceptabilité et enfin celle des attributs sensoriels.

II.2.1. Conditions environnementales

Le laboratoire d'analyse sensorielle du DTA/IRSAT est constitué d'une salle de dégustation comportant huit (08) isoairs, une cuisine et une salle de jury.

Les dégustateurs sont reçus dans la salle de jury pour l'explication du test à faire. Puis ils passent dans la salle de dégustation où ils sont servis.

II.2.2. Préparation et présentation des échantillons

Avec seize (16) échantillons de farines potassées dont huit (08) séchées à l'ombre (farine potassée produite du premier au huitième jour : FPOM) et huit (08) séchées au séchoir à gaz (farine potassée produite du premier au huitième jour : FPSG), des échantillons de tô ont été préparés avec chaque type de farine pour les analyses sensorielles. Après une séance d'essais de formulation, voici la formulation qui a été retenue pour la préparation du tô :

- Verser 1400 ml d'eau dans une marmite et chauffer jusqu'à ébullition
- Préparer et verser un mélange de 174g de farine et 400ml d'eau dans l'eau bouillante pour obtenir de la bouillie
- Attendre 10mn pour que la bouillie soit prête
- Enlever environ 500 ml de bouillie avant de mettre ensuite 294g de farine et bien malaxer
- Après 5 mn de malaxage, verser la moitié de la bouillie et continuer à malaxer. Après 5 mn verser le reste de la bouillie et malaxer à nouveau 2 mn
- Couvrir la marmite pendant 3mn avant de servir le tô tout en malaxant.

Les échantillons de tô ont été codifiés à l'aide de la table normalisée de codes à trois chiffres (COCHRAN AND COX, 1957) conformément aux tableaux III, IV, V et combinés entre eux. Les bols étiquetés aux différents codes ont été par la suite disposés par combinaison sur des plateaux avec un verre d'eau pour le rinçage de la bouche entre deux échantillons. Chaque dégustateur a reçu un plateau avec une combinaison et la fiche d'évaluation.

II.2.3. Panel

Pour le test de classement, le panel était constitué de 33 dégustateurs. Le test hédonique et les attributs sensoriels ont été réalisés avec un panel de 24 dégustateurs pour chaque test.

II.2.4. Test de classement

Avec seize (16) échantillons, le test de classement a permis de sélectionner les meilleurs échantillons pour la suite des analyses. Le classement des seize (16) échantillons a été réalisé en quatre (04) séances de dégustation avec quatre (04) échantillons par séance selon la norme ISO 85 87 : 2006 F. C'est ainsi que pendant chaque séance, les dégustateurs ont été invités à goûter et à ranger les échantillons de t^o, le rang 1 pour l'échantillon le plus préféré, le rang 4 pour l'échantillon le moins préféré et le reste à l'avenant (annexe 1).

Le tableau suivant présente les codes attribués aux différents échantillons.

Tableau I : Codes des échantillons pour le test de classement

Echantillons de t ^o	Code des échantillons	
	Séchage à l'ombre	Séchage au séchoir à gaz
FP1	498	332
FP2	742	688
FP3	549	122
FP4	274	448
FP5	624	834
FP6	258	612
FP7	127	316
FP8	375	119

II.2.5. Attributs sensoriels

Quatre (04) échantillons ont été retenus après le test de classement pour les attributs sensoriels qui a été réalisé selon la norme ISO 11 035 :1994. Les dégustateurs ont eu à observer et à apprécier les échantillons codés qui leur ont été présentés (annexe 2).

Le tableau II présente les codes correspondants aux 4 échantillons retenus pour l'épreuve des attributs sensoriels.

Tableau II: Codes des échantillons pour les attributs sensoriels

Code	245	398	954	537
Echantillons retenus après classement	E1	E2	E3	E4

Légende

E1 : échantillons 1(E1 correspond à l'un des quatre échantillons de farine retenu après le test de classement, l'échantillon correspondant est précisé au niveau des résultats d'analyses sensorielles)

E2 : échantillon 2

E3 : échantillon 3

E4 : échantillon 4

V.2.6. Epreuve hédonique

Réalisée selon AFNOR V 00 150, cette épreuve a porté sur les quatre (04) échantillons codifiés (tableau III) dont les attributs sensoriels ont été déterminés. Les dégustateurs ont été invités à goûter les échantillons suivant l'ordre de la combinaison selon l'échelle suivante : de très désagréable à très agréable (annexe 3).

Tableau III: Codes des échantillons pour le test hédonique

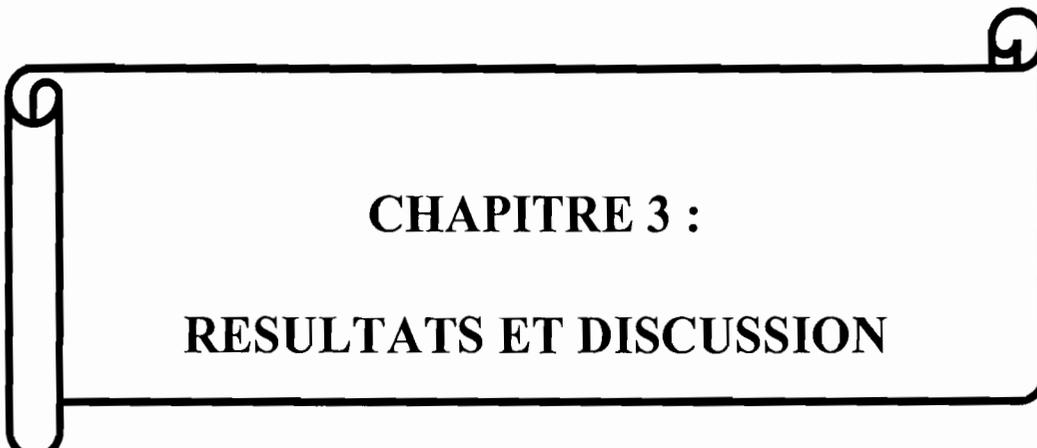
Codes	862	223	756	544
Echantillons retenus après classement	E1	E2	E3	E4

II.3. Traitements des données

Concernant les paramètres physico-chimiques, le classeur Excel 2007 a été utilisé pour les différents calculs du pourcentage d'humidité, de cendres, de matière grasse, d'acidité. Le regroupement des moyennes a été effectué à l'aide du test de classification multiple de Duncan au seuil de 5% en utilisant le logiciel « XLSTAT version 7.5.2 ».

Pour les minéraux, l'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée par le logiciel « XLSTAT version 7.5.2 ».

Le traitement des données des analyses sensorielles a été fait avec le logiciel SPSS version 20 et a porté sur l'analyse fréquentielle.



CHAPITRE 3 :
RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

I. ANALYSE DU DIAGRAMME

I.1. Suivi de production du diagramme chez les transformatrices

Après les deux suivis, deux diagrammes de production ont pu être mis au point en fonction du processus de production de farine au sein de ces deux unités de transformation.

Pour la production de farine potassée de fonio, « GRACE FARINE » suit les étapes suivantes :

- le tamisage : cette opération permet d'éliminer la poussière, le son et certaines impuretés de très petites tailles présentes dans la matière première.
- le lavage : avec de l'eau, le nettoyage est réalisé en frottant le fonio entre la paume des mains.
- le dessablage ou l'épierrage : il est réalisé par un procédé de décantation dans l'eau.

Par ce procédé, il faut parvenir à piéger le sable et les cailloux au fond de la calebasse utilisée pour cet effet.

- le premier trempage : après le lavage, le fonio propre obtenu est trempé dans de l'eau pendant sept (07) jours avec un renouvellement de l'eau de trempage chaque jour, le matin et le soir.
- le deuxième trempage : après une semaine, le fonio est maintenant trempé le soir du septième jour dans une solution potassée pendant environ 12 h.
- l'essorage : le huitième jour, le fonio potassé est essoré à l'aide d'un panier et d'un tissu puis étalé pendant environ deux (02) heures afin de faciliter la mouture en éliminant l'excès d'eau.
- la mouture : le fonio essoré est ensuite écrasé au moulin pour l'obtention de la farine.
- le tamisage : cette fois ci, le tamisage permet de séparer la farine du " son résiduel ". Il permet en plus de faciliter le séchage.
- le séchage : une fois la farine obtenue, elle est étalée à l'ombre pour être séchée.
- le conditionnement : à cette étape, la farine séchée est conditionnée dans des emballages en polyéthylène d'un kilogramme.

Ces opérations sont résumées dans le diagramme ci-après :

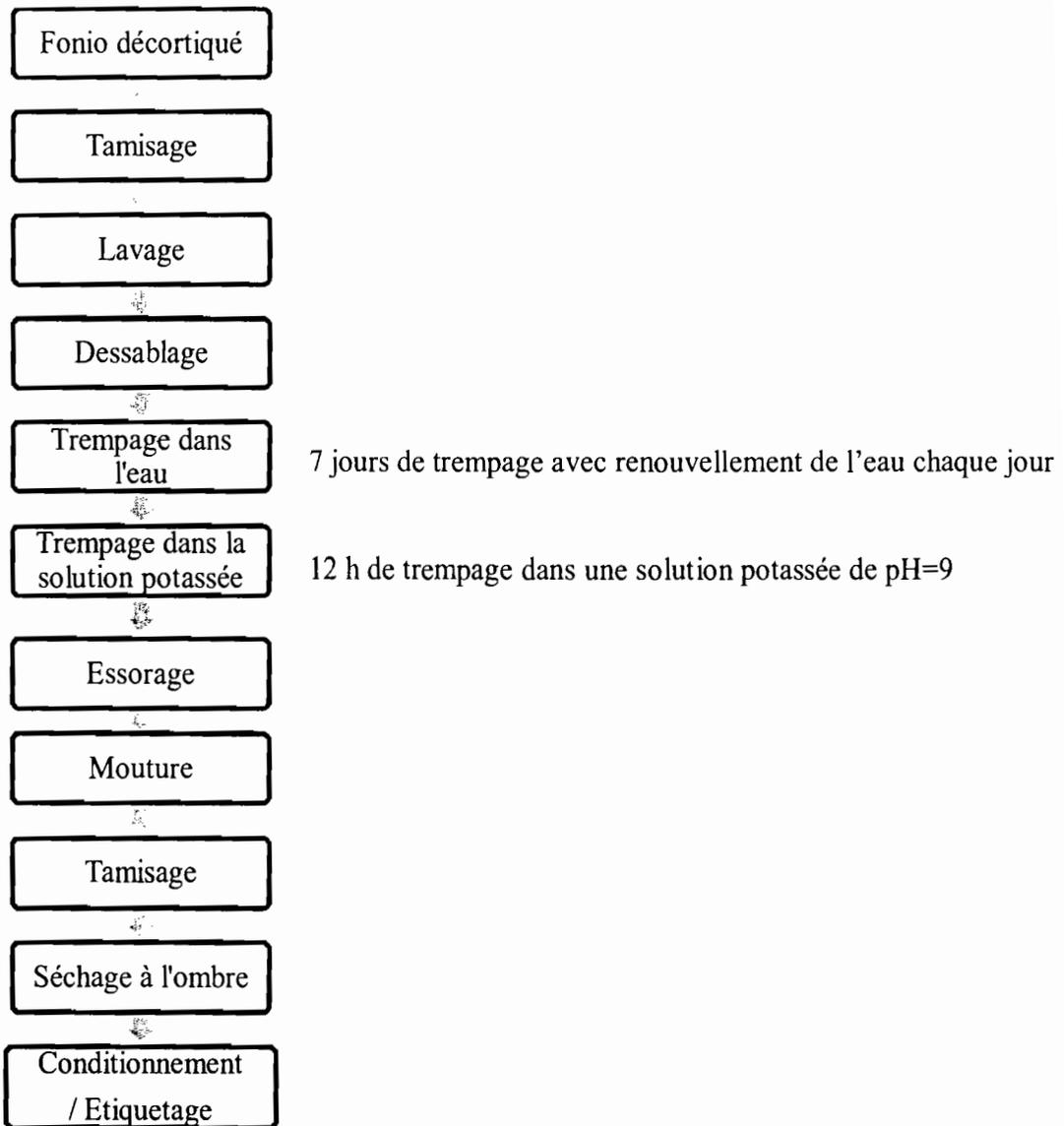


Figure 6: Diagramme de production de farine potassée de fonio selon « GRACE FARINE »

« REHOBOTHE » quant à elle procède de la manière suivante :

- le lavage : ici, le nettoyage est fait directement et s'effectue également en frottant dans l'eau les grains de fonio entre la paume des mains.
- le dessablage : à l'aide d'une calebasse, le dessablage permet de séparer les grains de fonio des grains de sable comme énoncé plus haut.
- le trempage : lorsque le fonio est propre, il est trempé dans une solution potassée pendant 30 mn.
- l'essorage : après 30mn, le fonio potassé est essoré à l'aide d'un panier. Ici aussi, cette étape est suivie d'un séchage. Ce séchage se fait au soleil pendant environ une heure.

- la mouture : après élimination de l'excès de solution potassée par séchage, le fonio est amené au moulin pour être réduit en farine.
- le séchage : contrairement à « Grâce farine », ici le séchage de la farine se fait au soleil sur des claies.
- le conditionnement : lorsque la farine est sèche, elle est conditionnée dans des emballages en polyéthylène.

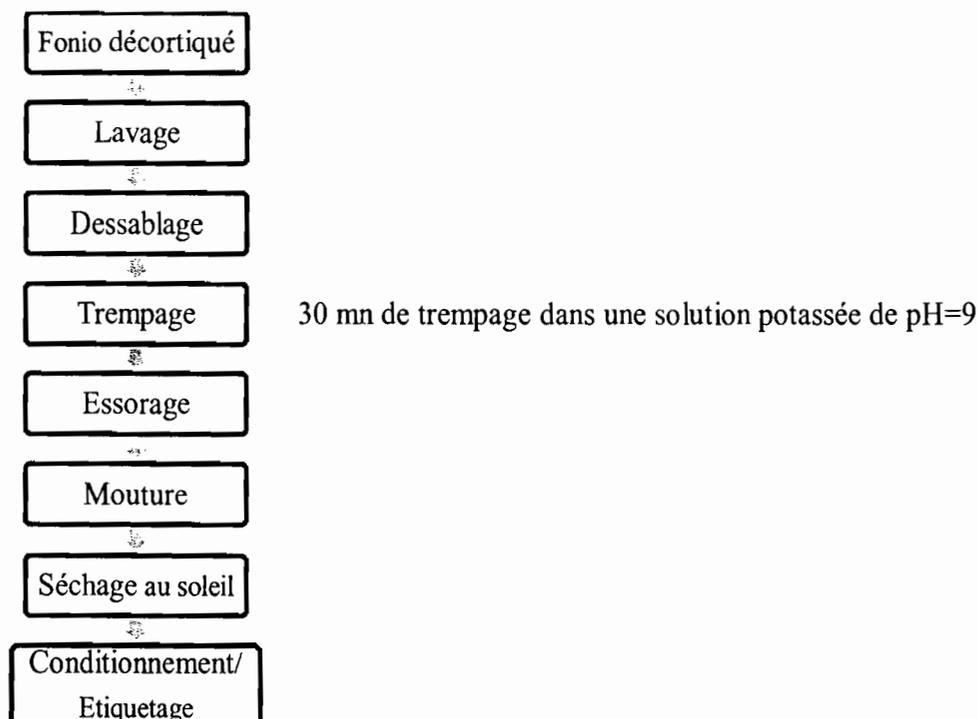


Figure 7: Diagramme de production de farine potassée de fonio selon « REHOBOTHE »

Selon les deux (02) diagrammes qui ont été mis au point, l'une des transformatrices met huit (08) jours pour la production. Cependant l'autre produit la farine en un (01) jour. Les différences entre ces deux (02) diagrammes s'observent au niveau des étapes comme le lavage, la durée du trempage avant l'alcalinisation, le séchage.

1.2. Etude du diagramme de production à l'atelier

Pour la production de la farine à l'atelier du DTA, quelques modifications ont été apportées sur certaines étapes de la production selon les deux (02) transformatrices. La production de farine à l'atelier du DTA a suivi les étapes suivantes :

- le tamisage : cette opération a été réalisée dans le but d'éliminer le maximum d'impuretés présentes dans le fonio avant le lavage. Deux (02) tamisages ont été réalisés :
 - Le premier a été réalisé avec un tamis de maille d'environ 600 μm pour éliminer le son, le sable fin et la poussière. A ces impuretés s'ajoutent les grains brisés. Avec

environ 45 kg de fonio décortiqué, environ 2,2 kg d'impuretés et de grains de fonio brisés ont été obtenus.



Figure 8: Premier tamisage



Figure 9: Impuretés et brisures issues du premier tamisage

- Le deuxième tamisage quant à lui a été réalisé avec un tamis de mailles d'environ 900 μm pour éliminer les grains non décortiqués et les grosses impuretés. Après ce tamisage, environ 0,70 kg d'impuretés constituées de grains non décortiqués et de grosses impuretés comme les mauvaises herbes ont été obtenus.



Figure 10: Deuxième tamisage



Figure 11: Impuretés issues du deuxième tamisage

- Le lavage : le lavage du fonio a été plus facile grâce à l'élimination d'une partie des impuretés par tamisages.



Figure 13: Lavage du fonio

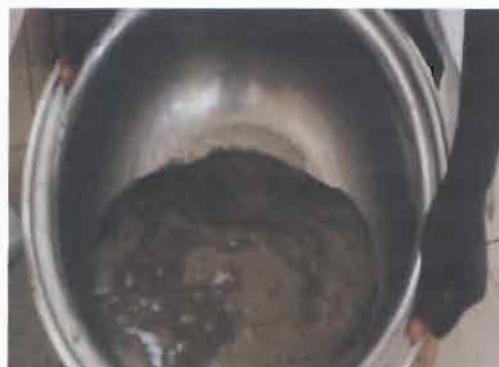


Figure 12: Lavage des grains brisés

- Le dessablage : il se fait selon le principe de la décantation. Avec la taille des grains de fonio par rapport aux grains de sable, cette opération est très délicate. Selon le principe de la décantation, les grains de sable plus lourds que les grains de fonio doivent rester au fond de la calebasse. Pourtant, le fonio contient deux types de grains de sable. Nous avons des grains de sable de masse supérieure à celle des grains de fonio et des grains de masse inférieure à celle du fonio. Pendant le dessablage, les grains de sable de masse inférieure à celle du fonio restent en suspension et sont difficiles à éliminer. Grâce au premier tamisage précédemment réalisé, le dessablage est rendu moins pénible car il élimine la grande partie des grains de sable de masse inférieure à celle du fonio.



Figure 14: Dessablage

A la fin de cette étape, nous avons obtenu environ 1,5 kg de sable dont 0,85 kg proviennent du dessablage des grains brisés obtenus après le premier tamisage. Le dessablage a été réalisé au moins sept (07) fois.



Sable fin
Fonio brisé
Son

Figure 15: Récupération des grains brisés mélangés au son et au sable fin

- le trempage : lors de la production, dès le premier jour, sur une quantité totale égale à 40 kg de fonio lavé et dessablé, seulement 5 kg de fonio sont réduits en farine. A la suite du premier jour, pendant sept (07) jours, 5 kg de fonio sont réduits en farine chaque jour. En dehors de cette quantité, le reste du fonio est trempé dans l'eau avec renouvellement de l'eau de trempage chaque jour, le matin et le soir jusqu'à la fin de la production.

- le trempage avec la potasse : à cette étape, environ 2,5 kg de fonio sont d'abord trempés dans une solution potassée pendant deux (02) heures pour être transformés en farine potassée par la suite. Cette quantité représente la moitié de la quantité de fonio devant être réduite en farine. L'autre moitié sera réduite en farine sans être potassée afin de servir de témoin. Cette opération est répétée du premier au huitième jour de production. Pour l'obtention de la solution potassée, il faut d'abord dissoudre 0,55 kg de potasse dans 2 l d'eau. Ce mélange donne la solution mère dont 0,5 l sont ensuite prélevés et mélangés avec 3,25 l d'eau. La solution de trempage enfin obtenue a un pH de 10.
- l'essorage : il se fait à l'aide d'un panier dont le fond est tapissé d'un tissu.
- le séchage : après essorage, le fonio est étalé sur une table recouverte de tissu pendant deux (02) heures afin de faciliter la mouture en éliminant l'excès d'eau.
- la mouture : avec un moulin de marque METRO, le fonio est réduit en farine chaque jour durant les huit (08) jours de la production.
- le tamisage : la farine obtenue après mouture est tamisée avant le séchage.
- le séchage : le séchage de la farine a été réalisé de deux (02) manières différentes. Le séchage à l'ombre (à température ambiante pendant environ 24 h) et le séchage au séchoir à gaz (50-60° C pendant 2 h).

Ainsi, après la mouture, la farine potassée du jour et son témoin sont chacune divisées en deux (02) parties pour les deux (02) types de séchage.

- le tamisage : lorsque les farines sont sèches, elles sont tamisées avant leur conservation.
- le conditionnement/étiquetage : enfin, les farines sont placées dans des emballages alimentaires en polyéthylène et conservées pour la suite de l'étude.

Le premier jour, la farine potassée est produite selon « REHEBOTHE » et le huitième jour selon « GRACE FARINE ». Du deuxième au septième jour (la production dure huit jours,, six (06) types de farines potassées sont produits en plus des deux (02) autres types produits selon les transformatrices ; avec production de farine non potassée servant de témoin pour chaque type de farine. Par cette méthode, en tout huit (08) types de farines potassées et huit (08) types de farines non potassées ont été produites.

Les différentes étapes de la production sont résumées dans le diagramme ci-après :

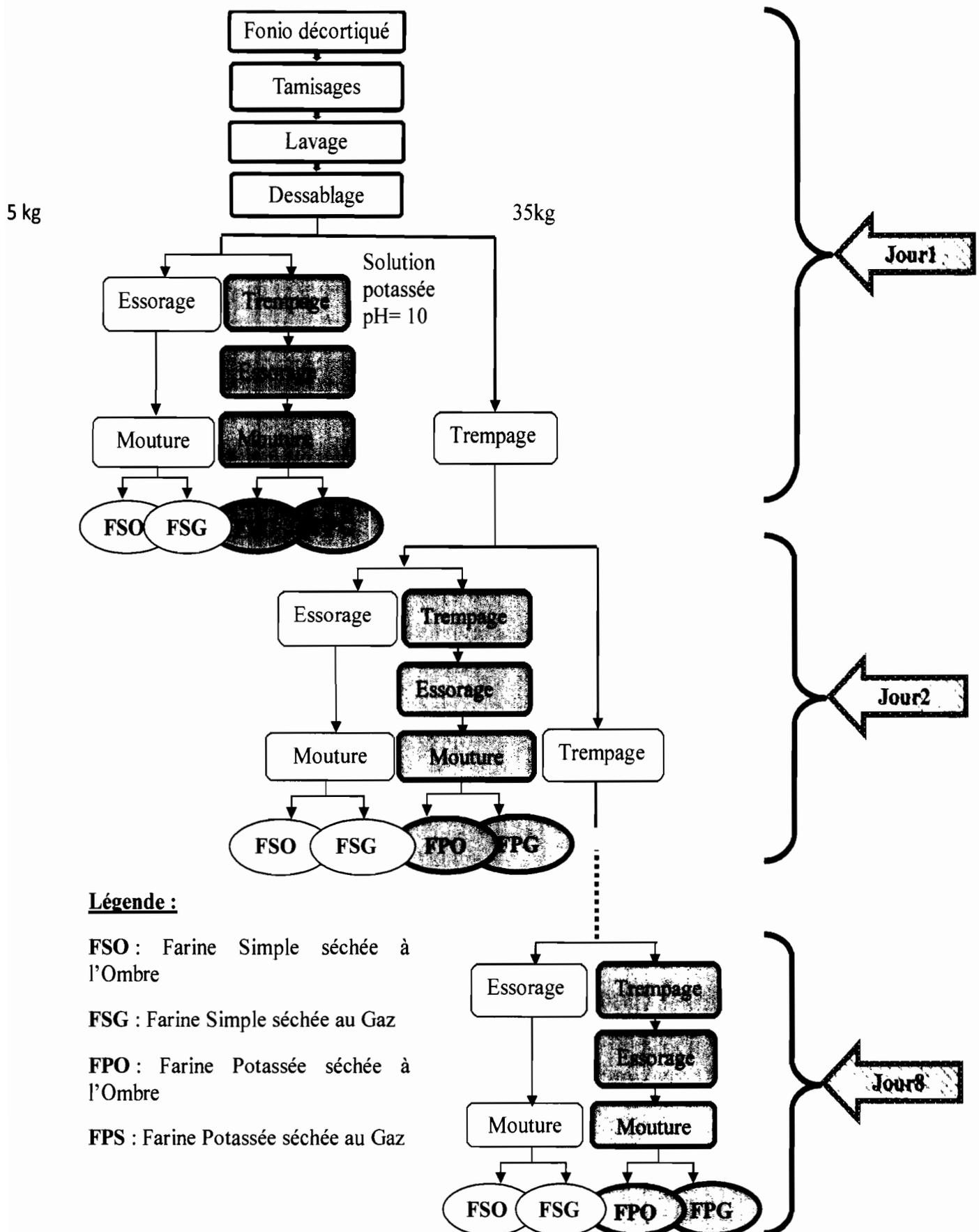


Figure 16: Diagramme récapitulant les étapes de la production de la farine à l'atelier

Vu le nombre des échantillons, seuls les échantillons de farines potassées séchées au séchoir à gaz ont été analysés pour la détermination de quelques paramètres physico-chimiques. Le reste des échantillons sera analysé dans le cadre d'une autre étude.

Pour l'analyse sensorielle, tous les seize (16) échantillons (dont huit séchés à l'ombre et huit séchés au séchoir à gaz) de farines potassées sont été caractérisés.

IV. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

II.1. La teneur en eau

La matière première, c'est-à-dire le fonio propre obtenu après nettoyage a un pourcentage d'humidité égale à 37,76%. Quant au pourcentage d'humidité des échantillons de farines, il est compris entre 7,41 et 7,90% (tableau IV).

La matière première a une teneur en eau supérieure à celle des échantillons de farines. Ceci pourrait s'expliquer par une absorption d'eau des grains de fonio lors du lavage et du dessablage.

Les valeurs obtenues pour les échantillons de farines sont inférieures à la valeur maximale (15%) recommandée par la norme CODEX STAN 154-1989 pour la farine complète de maïs et la norme CODEX STAN 173-1985 pour la farine de sorgho. Ces valeurs pourraient être favorables à une bonne conservation, car l'humidité joue un rôle important dans la conservation. Lorsqu'elle est élevée, elle peut provoquer le développement des microorganismes entraînant ainsi l'altération de la farine. Cette altération pourrait causer également une dégradation de la qualité hygiénique ce qui va sans doute modifier les caractéristiques organoleptiques du produit (TAMBOURA, 2014).

Aussi, l'analyse statistique ANOVA (représentée par des lettres alphabétiques en exposant pour chaque résultat des différents paramètres pour les types de farines) indique que la teneur en eau d'un échantillon de farine à un autre n'est pas significativement différente, excepté les trois (03) premiers. Ceci pourrait être lié à la variation de l'humidité de l'air ambiante et au fonctionnement du séchoir à gaz.

En somme, le séchoir à gaz utilisé et le couple temps/température (50-60°C/2h) choisi permettent un bon séchage pour une bonne conservation.

Tableau IV : Teneur en eau des échantillons

Paramètre	Echantillons								
	FONIO	FP1SG	FP2SG	FP3SG	FP4SG	FP5SG	FP6SG	FP7SG	FP8SG
Humidité	37,76 ±0,05	7,56 ^f ±0,03	7,90 ^a ±0,02	7,41 ^g ±0,05	7,74 ^e ±0,01	7,77 ^{de} ±0,01	7,79 ^{cd} ±0,01	7,81 ^{bc} ±0,01	7,84 ^b ±0,01

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique sur la même ligne ne sont pas significativement différentes et peuvent être regroupées entre elles selon le test de classification multiple de Duncan au seuil de 5%.

FP1SG : Farine Potassée Jour 1 Séchée au Gaz

FP2SG : Farine Potassée Jour 2 Séchée au Gaz

FP3SG : Farine Potassée Jour 3 Séchée au Gaz

FP4SG : Farine Potassée Jour 4 Séchée au Gaz

FP5SG : Farine Potassée Jour 5 Séchée au Gaz

FP6SG : Farine Potassée Jour 6 Séchée au Gaz

FP7SG : Farine Potassée Jour 7 Séchée au Gaz

FP8SG : Farine Potassée Jour 8 Séchée au Gaz

II.2. La teneur en cendres

La teneur en cendres du fonio est égale à 0,65%. Cette valeur est inférieure au taux en cendres des échantillons de farines potassées qui a varié de 1,02 à 1,63%. Ceci pourrait s'expliquer par le trempage du fonio dans une solution potassée.

La teneur en cendres la plus faible correspond à l'échantillon de la farine potassée produite le huitième jour (FP8SG). La teneur la plus élevée correspond à l'échantillon de farine potassée produite le premier jour (le tableau V). En dehors des échantillons de farines produites les jours quatre (FP4SG) et cinq (FP5SG), l'analyse statistique ANOVA renseigne qu'il y'a une différence significative d'un échantillon à un autre par rapport à la teneur en cendres donc en minéraux. Nous remarquons que cette différence est caractérisée par une diminution de la teneur en minéraux au fur et à mesure que le trempage dure. En effet, pendant la production, l'eau de trempage devient de plus en plus trouble à partir du deuxième jour de production. Ce fait pourrait s'expliquer par les transferts de matières qui ont lieu pendant le trempage entraînant la diffusion d'une partie des éléments minéraux (PODA, 2013).

Ces résultats indiquent que la durée du trempage pourrait avoir un impact sur la composition de la farine en minéraux. Les échantillons les plus riches en minéraux sont ceux qui ont un court temps de trempage.

Tableau V : Teneur en cendres des échantillons

Paramètre	Echantillons								
	FONIO	FP1SG	FP2SG	FP3SG	FP4SG	FP5SG	FP6SG	FP7SG	FP8SG
Cendres	0,65 ±0,01	1,69 ^a ±0,01	1,54 ^c ±0,01	1,62 ^b ±0,01	1,33 ^d ±0,01	1,31 ^d ±0,03	1,21 ^e ±0,03	1,12 ^f ±0,03	1,02 ^g ±0,03

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique sur la même ligne ne sont pas significativement différentes et peuvent être regroupées entre elles selon le test de classification multiple de Duncan au seuil de 5%.

FP1SG : Farine Potassée Jour 1 Séchée au Gaz

FP2SG : Farine Potassée Jour 2 Séchée au Gaz

FP3SG : Farine Potassée Jour 3 Séchée au Gaz

FP4SG : Farine Potassée Jour 4 Séchée au Gaz

FP5SG : Farine Potassée Jour 5 Séchée au Gaz

FP6SG : Farine Potassée Jour 6 Séchée au Gaz

FP7SG : Farine Potassée Jour 7 Séchée au Gaz

FP8SG : Farine Potassée Jour 8 Séchée au Gaz

II.3. L'acidité

L'acidité du fonio correspond à 0,05 g de H₂SO₄ pour 100 g de fonio. Celui des échantillons de farines potassées est de 0,008 g de H₂SO₄ pour 100 g de farine. De plus, l'analyse statistique ANOVA confirme qu'il n'ya pas de différence significative entre les échantillons de farines concernant l'acidité (Tableau VI). La valeur de l'acidité des échantillons de farines est faible par rapport à celle de du fonio et pourrait s'expliquer par une éventuelle réaction de neutralisation acido-basique des constituants acides du grain lors du trempage dans la solution potassée. Même si avec le trempage le fonio se fermente et s'acidifie, cette acidité est neutralisée par l'étape de trempage dans la solution potassée qui est une étape commune à la production de tous les échantillons de farine potassée. De même, tout au long de la production, c'est la même quantité de fonio qui est trempée chaque jour dans le même volume de solution potassée à la même dilution. La durée du trempage n'a donc pas un impact significatif sur la teneur en acidité grasse des échantillons de farines potassées produites.

Tableau VI: Acidité des échantillons

Paramètre	Echantillons								
	FONIO	FP1SG	FP2SG	FP3SG	FP4SG	FP5SG	FP6SG	FP7SG	FP8SG
Acidité	0,05 ±0,00	0,008 ^c ±0,00	0,008 ^a ±0,00	0,008 ^{bc} ±0,00	0,008 ^{abc} ±0,00	0,008 ^{abc} ±0,00	0,008 ^{ab} ±0,00	0,008 ^{ab} ±0,00	0,008 ^{abc} ±0,00

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique sur la même ligne ne sont pas significativement différentes et peuvent être regroupées entre elles selon le test de classification multiple de Duncan au seuil de 5%.

FP1SG : Farine Potassée Jour 1 Séchée au Gaz

FP2SG : Farine Potassée Jour 2 Séchée au Gaz

FP3SG : Farine Potassée Jour 3 Séchée au Gaz

FP4SG : Farine Potassée Jour 4 Séchée au Gaz

FP5SG : Farine Potassée Jour 5 Séchée au Gaz

FP6SG : Farine Potassée Jour 6 Séchée au Gaz

FP7SG : Farine Potassée Jour 7 Séchée au Gaz

FP8SG : Farine Potassée Jour 8 Séchée au Gaz

II.4. Le potentiel Hydrogène

Le fonio a un potentiel hydrogène de 5,08. Le potentiel hydrogène des différents échantillons de farine potassée est compris entre 9,35 et 9,64. Le fonio a un potentiel hydrogène inférieur à 7 tandis que tous les échantillons de farines potassées ont un potentiel hydrogène supérieur à 7. Ceci serait lié à l'étape d'alcalinisation dans le but d'obtenir la farine potassée. Egalement, l'analyse ANOVA indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les différents échantillons, car plusieurs échantillons peuvent être regroupés entre eux. Tous les échantillons de farines potassées ont un pH supérieur à 7 donc basiques.

Tout comme l'acidité grasse, la durée du trempage n'affecte pas le pH des échantillons de farines potassées produites.

Le potentiel hydrogène des différents échantillons est donné dans le tableau VII.

Tableau VII: Potentiel hydrogène des échantillons

Paramètre	Echantillons								
	FONIO	FP1SG	FP2SG	FP3SG	FP4SG	FP5SG	FP6SG	FP7SG	FP8SG
pH	5,08 ±0,00	9,52 ^{bc} ±0,01	9,64 ^a ±0,07	9,54 ^b ±0,03	9,49 ^{ab} ±0,01	9,45 ^c ±0,05	9,48 ^{bc} ±0,05	9,47 ^{bc} ±0,03	9,35 ^d ±0,04

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique sur la même ligne ne sont pas significativement différentes et peuvent être regroupées entre elles selon le test de classification multiple de Duncan au seuil de 5%.

FP1SG : Farine Potassée Jour 1 Séchée au Gaz

FP2SG : Farine Potassée Jour 2 Séchée au Gaz

FP3SG : Farine Potassée Jour 3 Séchée au Gaz

FP4SG : Farine Potassée Jour 4 Séchée au Gaz

FP5SG : Farine Potassée Jour 5 Séchée au Gaz

FP6SG : Farine Potassée Jour 6 Séchée au Gaz

FP7SG : Farine Potassée Jour 7 Séchée au Gaz

FP8SG : Farine Potassée Jour 8 Séchée au Gaz

II.5. Les lipides

La matière première a une teneur en matière grasse égale à 1,81%. La matière grasse contenue dans les différents échantillons de farines a une valeur allant de 1,72 pour la farine potassée produite le premier jour à 1,03% pour la farine potassée produite le huitième jour. Le fonio a une teneur en matière grasse supérieure à celle des échantillons de farine. Ceci pourrait s'expliquer par une dégradation des lipides suite à l'alcalinisation du fonio pour l'obtention de farine potassée. L'analyse ANOVA montre qu'il ya une différence significative entre l'échantillon de farine du premier jour et celui du huitième jour. En effet plus le fonio est trempé, plus la teneur en matière grasse diminue.

La diminution de la teneur en matière grasse des échantillons pourrait être aussi liée à la dégradation de l'intégrité des grains (grains brisés lors des renouvellements de l'eau de trempage). Le tableau VIII présente la teneur en lipides des différents échantillons.

Tableau VIII : Teneur en lipides des échantillons

Paramètre	Echantillons								
	FONIO	FP1SG	FP2SG	FP3SG	FP4SG	FP5SG	FP6SG	FP7SG	FP8SG
Lipides	1,81 ±0,01	1,72 ^a ±0,01	1,60 ^{ab} ±0,05	1,48 ^{ab} ±0,04	1,53 ^{ab} ±0,04	1,32 ^{ab} ±0,04	1,63 ^{ab} ±0,04	1,35 ^b ±0,04	1,03 ^c ±0,05

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique sur la même ligne ne sont pas significativement différentes et peuvent être regroupées entre elles selon le test de classification multiple de Duncan au seuil de 5%.

FP1SG : Farine Potassée Jour 1 Séchée au Gaz

FP2SG : Farine Potassée Jour 2 Séchée au Gaz

FP3SG : Farine Potassée Jour 3 Séchée au Gaz

FP4SG : Farine Potassée Jour 4 Séchée au Gaz

FP5SG : Farine Potassée Jour 5 Séchée au Gaz

FP6SG : Farine Potassée Jour 6 Séchée au Gaz

FP7SG : Farine Potassée Jour 7 Séchée au Gaz

FP8SG : Farine Potassée Jour 8 Séchée au Gaz

II.6. Les minéraux

La teneur en phosphore des différents échantillons de farines potassées est comprise entre 660 et 1320 mg/ 100 g soit 0,66 et 1,32%. Ces valeurs sont au dessus de la valeur moyenne qui est de 0,17% dans le fonio décortiqué selon BALLOGOU *et al.*, (2013). Ceci pourrait être lié à la zone de production du fonio utilisé.

La teneur en calcium des différents échantillons de farines potassées varie de 34 à 45 mg/100 g soit 0,034% pour les échantillons des quatre derniers jours de production à 0,045% pour l'échantillon de farine potassée produit dès le premier jour. La teneur en calcium des échantillons tend à diminuer selon la durée de trempage du fonio durant les huit jours de production. Cependant, ces valeurs sont supérieures à la valeur maximum de calcium contenu dans le fonio qui est de 0,03% selon une étude menée par BALLOGOU *et al.*, (2013).

Les valeurs de la teneur en potassium des différents échantillons vont de 714 à 865 mg/100 g soit 0,714 à 0,865%. Selon BALLOGOU *et al.*, (2013), le pourcentage minimal de potassium pour le fonio décortiqué est de 0,02%. La teneur en potassium des différents échantillons est supérieure à cette valeur. Ceci pourrait s'expliquer par l'étape de trempage dans la solution potassée, qui est une étape commune à tous les différents types d'échantillons de farines potassées produites durant huit (08) jours.

La teneur en sodium des différents échantillons de farines potassées est comprise entre 4 et 7 mg/100 g soit 0,004 et 0,007%. Ces valeurs sont en dessous de la valeur minimale (0,005%) rapportée par BALLOGOU *et al.*, (2013). Cela pourrait être lié à la zone de production du fonio utilisé.

Les différents échantillons ont une teneur en magnésium allant de 8 à 30 mg/100 g soit 0,008 (pour les échantillons produits après au moins quatre jours de trempage) à 0,030% (pour l'échantillon produit dès le premier jour). Il ya donc une diminution de la teneur en magnésium en fonction de la durée du trempage pendant la production. Cependant, ces valeurs sont en dessous de la valeur minimale présentée par BALLOGOU *et al.*, (2013) qui est de l'ordre de 0,07%. Cette situation pourrait être liée à la zone de production du fonio utilisé.

La teneur en cuivre des différents échantillons de farines potassées est comprise entre 0,44 et 0,52 mg/100 g soit 0,00044 et 0,00052%. Ces valeurs sont en dessous de la valeur minimale de cuivre contenu dans le fonio qui est de 1,5% selon BALLOGOU *et al.*, (2013). Cette infériorité pourrait être liée à la zone de production du fonio utilisé.

Selon le tableau IX, les échantillons ont une teneur en zinc allant de 1,17 à 2,32 mg/100 g soit 0,00117 (pour l'échantillon de farine potassée produit le huitième jour) à 0,00232% (pour la farine potassée produit le premier jour). La durée du trempage favorise donc la diminution de la teneur en zinc. Cependant, ces valeurs sont en dessous de la valeur minimale (30%) présentée par BALLOGOU *et al.*, (2013). La zone de production du fonio utilisé pourrait être à l'origine de cette différence.

Contribution à la mise en place d'un diagramme de production de la farine potassée de fonio

Les résultats des analyses indiquent une teneur en manganèse des différents échantillons qui est comprise entre 0,748 et 1,092 mg/100 g soit 0,00075 et 0,00109%. En plus, ces résultats laissent voir une diminution de la teneur en manganèse du premier au huitième échantillon. Toutefois, une comparaison de ces valeurs avec celle rapportée par BALLOGOU *et al.*, (2013) permet de dire que les échantillons ont une teneur en zinc largement inférieure à la valeur minimale rapportée(21,6%). La faible teneur en manganèse des échantillons pourrait être liée à la zone de production du fonio.

La teneur en fer des différents échantillons varie entre 9,65 et 23,30 mg/100 g soit 0,00965 et 0,02330%. Une étude dirigée par BALLOGOU *et al.*, (2013) présente une valeur minimale égale à 36%. La teneur en fer des échantillons est en dessous de cette valeur minimale. Ceci pourrait être lié à la zone de production de la matière première utilisée.

Les résultats des éléments minéraux sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau IX: Teneurs en minéraux des échantillons

Paramètres	Echantillons							
	FP1SG	FP2SG	FP3SG	FP4SG	FP5SG	FP6SG	FP7SG	FP8SG
Phosphore (mg/100g)	660	990	1320	660	660	990	1320	990
Calcium (mg/100 g)	45	44	39	37	34	34	34	37
Potassium (mg/100g)	827	752	865	714	677	780	865	714
Sodium (mg/100 g)	7	6	7	6	6	4	6	4
Magnésium (mg/100g)	30	22	15	10	8	8	9	8
Cuivre (mg/100g)	0,44	0,44	0,46	0,47	0,44	0,48	0,48	0,52
Zinc (mg/100 g)	2,32	2,16	2,20	1,91	1,17	1,22	1,52	1,22
Manganèse total (mg/100 g)	1,08	1,092	1,033	0,831	0,748	0,807	0,831	0,765
Fer (mg/100 g)	15,08	18,88	23,30	9,83	15,14	11,75	9,65	14,84

L'analyse en composante principale des huit échantillons montre que seuls les trois premiers échantillons de farines sont les plus riches en minéraux par rapport aux cinq autres. Les minéraux jouent un rôle essentiel dans la production d'enzymes, d'hormones et autres

substances aidant à réguler la croissance, l'activité, le développement et le fonctionnement des systèmes immunitaires et reproducteurs (UNICEF, 1998.)

La figure suivante présente l'analyse en composantes principales des différents échantillons :

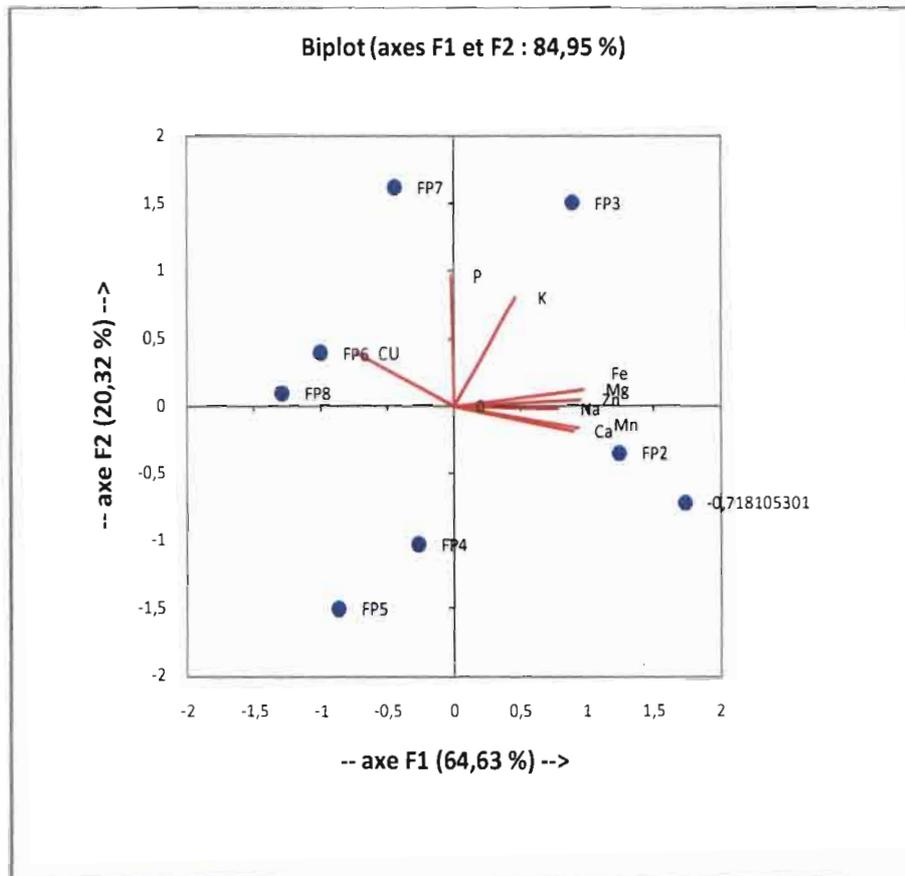


Figure 17: Analyses en Composantes Principales

Au cours du trempage, il se produit une fermentation. A la suite de cette fermentation, les téguments des céréales sont hydrolysés et les minéraux de la matrice deviennent solubles. Autrement dit, des transferts de matière ont lieu entre les grains et l'eau de trempage (PODA, 2013). La durée du trempage a donc eu un impact sur la composition des échantillons en minéraux. Cet impact se caractérise par la diminution progressive de la teneur en calcium, zinc, manganèse et magnésium en fonction de la durée du trempage.

III. CARACTERISTIQUES ORGANOLEPTIQUES

III.1. Résultats du test de classement

Pour chacune des quatre séances du test de classement, les échantillons ont été classés du premier au quatrième. Ainsi, pour l'ensemble des séances, quatre échantillons ont été classés premiers, quatre échantillons deuxièmes, quatre échantillons troisièmes et les quatre autres échantillons ont été classés quatrièmes comme indiqué dans le tableau X.

Tableau X: Résultats du test de classement

N° TEST	Rang des échantillons et pourcentage du panel			
	Rang1	Rang2	Rang3	Rang4
1 ^{er} test	FP3SG (45,5%)	FP5OM (34,4%)	FP7SG (38,7%)	FP1OM (56,3%)
2 ^{em} test	FP4OM (45,5%)	FP6SG (36,4%)	FP8OM (39,4%)	FP2SG (60,6%)
3 ^{em} test	FP7OM (46,7%)	FP5SG (35,7%)	FP3OM (30%)	FP1SG (31%)
4 ^{em} test	FP2OM (30%)	FP6OM (25%)	FP4SG (32,1%)	FP8SG (26,7%)

A partir de ces résultats, quatre échantillons ont été choisis entre les premiers et les deuxièmes pour la réalisation de l'épreuve hédonique et des attributs sensoriels (tableau XI).

Tableau XI: Liste des échantillons retenus après le test de classement

Echantillons retenus	Référence des échantillons retenus	Codes pour le test HEDONIQUE	Codes pour les ATTRIBUTS SENSORIELS
E1	FP3SG	862	245
E2	FP7OM	223	398
E2	FP2OM	756	954
E2	FP6SG	544	537

III.2. Résultats des attributs sensoriels

Il ressort de cette épreuve que :

- L'échantillon FP3SG a un arôme jugé bon pour près de la moitié du panel et une texture souple/élastique pour plus de la moitié du panel. Concernant son apparence, 45,8% du panel ont trouvé qu'elle est belle.
- L'échantillon FP7OM a une apparence belle pour la majorité du panel (62,5%). Pour 20,8% du panel, son arôme est très bon et bon pour 45,8% du panel. La texture est souple pour 47,8% et ferme pour 21,7% du panel.
- L'échantillon FP6SG a une apparence jugée belle pour plus de la moitié du panel et acceptable pour tout le reste. L'arôme est très bon pour 29,2% et bon pour 33,3%. Jusqu'à 73,9% du panel trouve la texture souple. La texture est ferme pour 8,7%.
- L'échantillon FP2OM a une apparence jugée belle pour 41,7%, acceptable pour plus de la moitié (54,2%) du panel. Pour 8,3% sa texture est ferme, souple pour 62,5%. Environ 20,8% jugent son arôme très bon, 29,2% le trouve bon.

Les échantillons présentent un attribut sensoriel acceptable dans l'ensemble.

La figure 18 présente les attributs sensoriels de l'apparence.

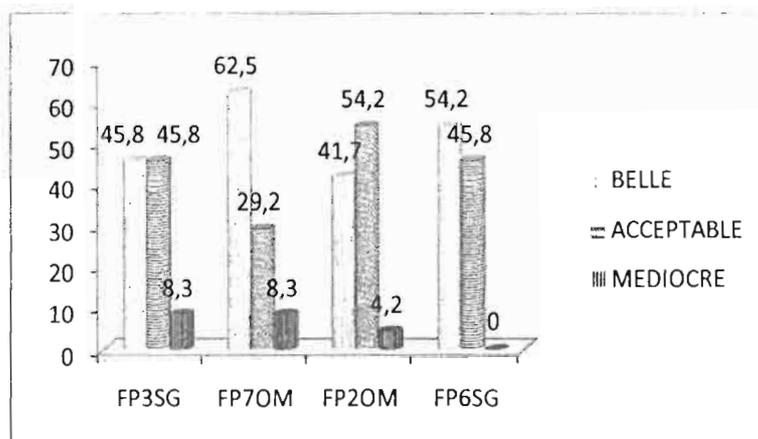


Figure 18: Attributs sensoriels de l'apparence des échantillons de tô

Selon la figure 18, tous les échantillons de manière générale ont une apparence belle. En particulier, l'échantillon FP7OM a présenté la plus belle apparence.

La figure 19 correspond aux attributs sensoriels de l'arôme.

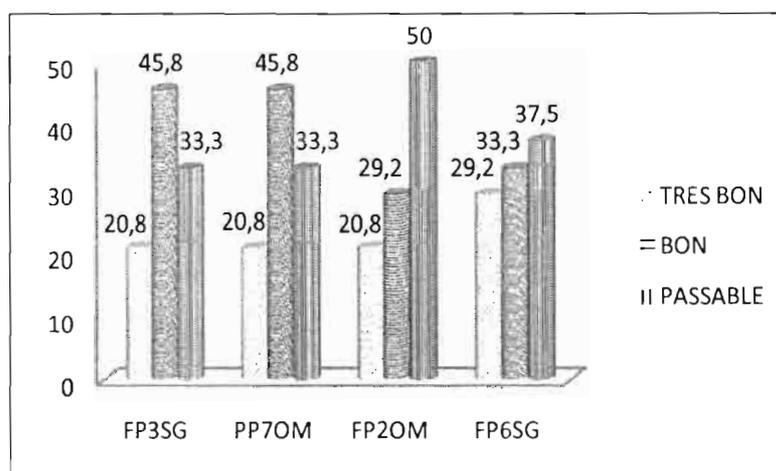


Figure 19: Attributs sensoriels de l'arôme des échantillons de tô

Tous les échantillons ont présenté un arôme acceptable, mais l'échantillon FP6SG a présenté un arôme très bon par rapport aux autres selon les dégustateurs. En plus, l'échantillon FP3SG a présenté un arôme aussi bon que celui de l'échantillon FP7OM.

Enfin, la figure 20 quant à elle présente les attributs sensoriels de la consistance.

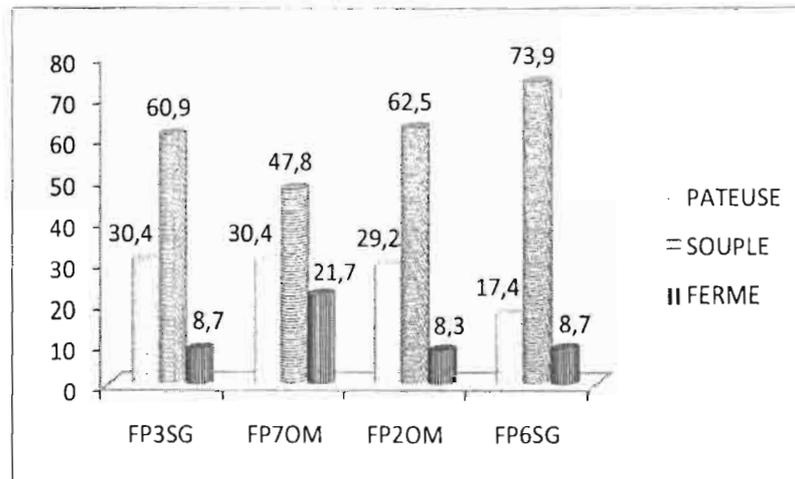


Figure 20: Attributs sensoriels de la consistance des échantillons de tô

Tous les échantillons ont présenté une consistance souple mais surtout l'échantillon FP6SG. Les échantillons sont peu fermes mais le plus ferme selon les dégustateurs est l'échantillon FP7OM.

III.3. Résultats du test hédonique

Les résultats montrent que :

- le goût de l'échantillon FP3SG a été très agréable selon 16,7% du panel et agréable selon 50% du panel. En somme, 66,7% du panel ont jugé que cet échantillon est acceptable. Par contre, 8,3% du panel l'ont trouvé désagréable ;
- pour l'échantillon FP7OM, 83,4% des dégustateurs ont trouvé qu'il est acceptable. En effet, il a présenté un goût très agréable selon 41,7% des dégustateurs et agréable selon également 41,7% des dégustateurs. Cependant, le reste des dégustateurs c'est-à-dire 8,3% l'ont jugé désagréable ;
- l'échantillon FP2OM a été acceptable selon 37,7% du panel avec un goût très agréable pour 8,3% et agréable pour 29,2%. Toutefois, 16,7% du panel l'ont jugés désagréable ;
- l'échantillon FP6SG quant à lui a été acceptable pour 70,8% du panel qui l'a jugé de goût très agréable d'après 20,8% et agréable d'après 50% du panel. Pour 8,3% il a été très désagréable.

L'évaluation de l'acceptabilité des quatre échantillons a donné les résultats présentés par la figure 21.

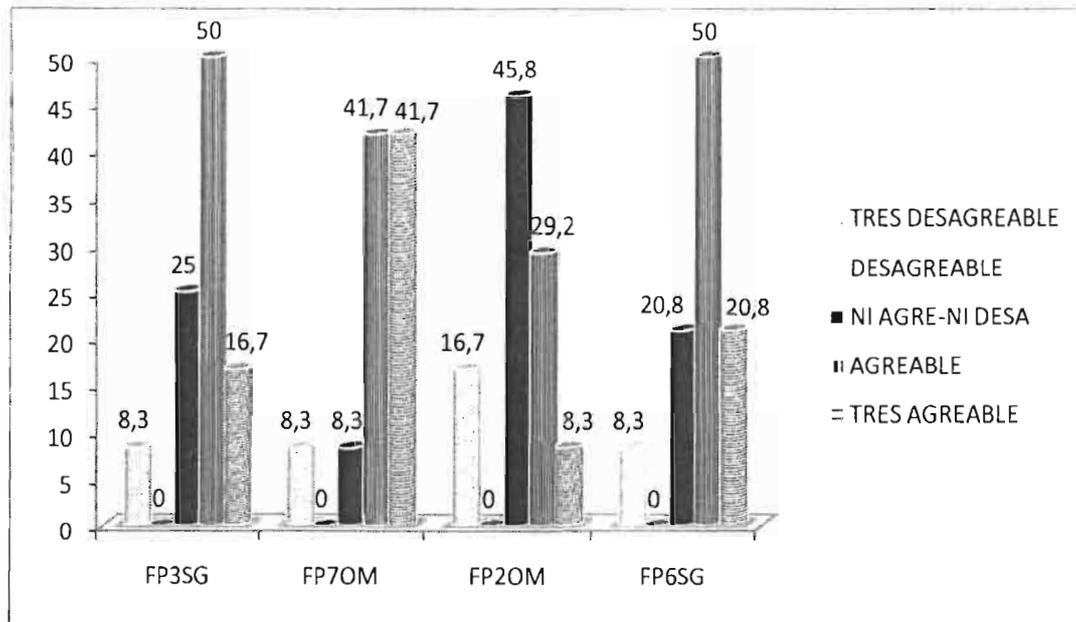


Figure 21: Acceptabilité des échantillons de tô

En dehors de l'échantillon de tô préparé à partir de la farine potassée produite le deuxième jour et séchée à l'ombre (FP2OM), plus de la moitié du panel trouve que les échantillons sont acceptables.

Selon les résultats de l'analyse sensorielle, le tô préparé à partir des échantillons retenus après le test de classement (FP3SG, FP7OM, FP6SG, FP2OM) est acceptable avec des caractéristiques organoleptiques satisfaisantes (un goût agréable, une couleur acceptable et un bon arôme).

Le diagramme pouvant être retenu est celui du deuxième jour (figure 22) car il préserve au mieux les caractéristiques nutritionnelles du fonio donc de la farine produite.

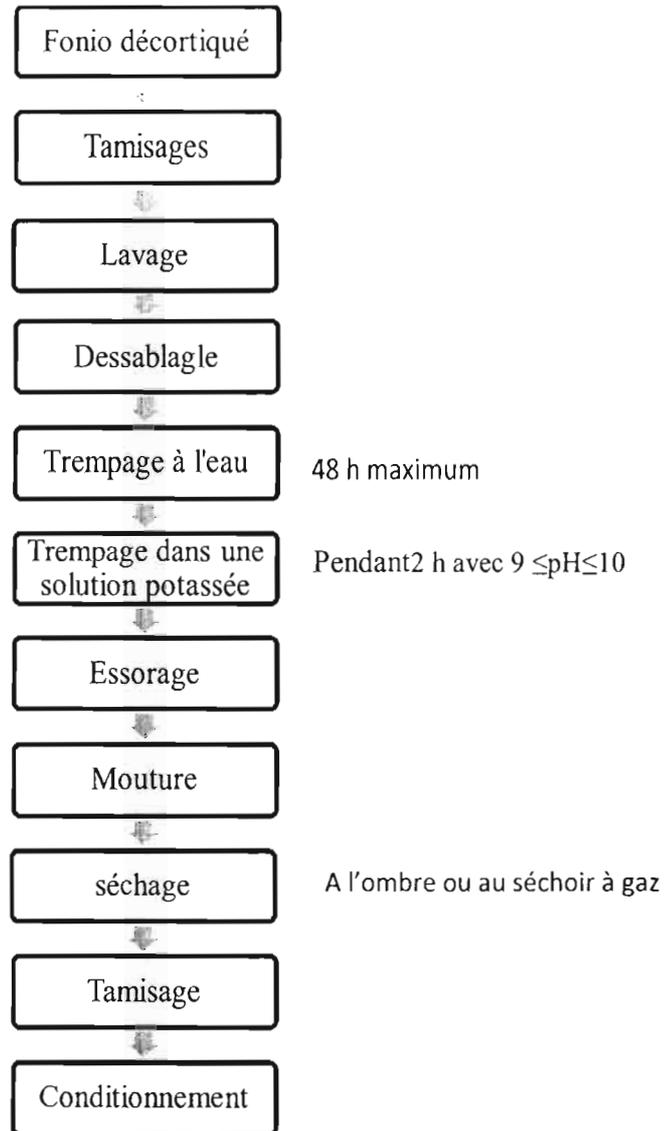


Figure 22: Diagramme général de production de farine potassée de fonio

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il ressort de cette étude que la farine potassée de fonio peut se faire de plusieurs manières. Parmi les étapes de la production, le tamisage effectué en début de production est une étape indispensable pour faciliter la suite du travail tout en réduisant la quantité d'eau à utiliser.

Les analyses sensorielles ont permis de sélectionner quatre échantillons : FP3SG, FP7OM, FP2OM, FP6SG. Ces échantillons sont acceptables même si l'échantillon FP2OM a été peu apprécié par rapport aux trois autres. Nos travaux ont montré que les échantillons sélectionnés présentent des caractéristiques organoleptiques satisfaisantes et que la durée du trempage n'influe pas sur la qualité organoleptique des types de farines produites.

Cependant, les analyses physico-chimiques indiquent que pour obtenir une farine riche en éléments minéraux, la durée de trempage du fonio avant l'alcalinisation ne doit pas dépasser 48 h. Quant au séchage de la farine, il peut se faire aussi bien au séchoir à gaz qu'à l'ombre.

A la fin de cette étude, nous recommandons que les acteurs de la filière fonio soient sensibilisés par rapport aux bonnes pratiques culturelles et aux opérations post-récoltes afin de mettre à la disposition des consommateurs du fonio contenant peu d'impuretés donc facile à transformer. En plus, il serait bien que les transformatrices soient sensibilisées sur l'importance des tamisages pour un lavage plus facile, plus rapide et moins pénible lors de la transformation.

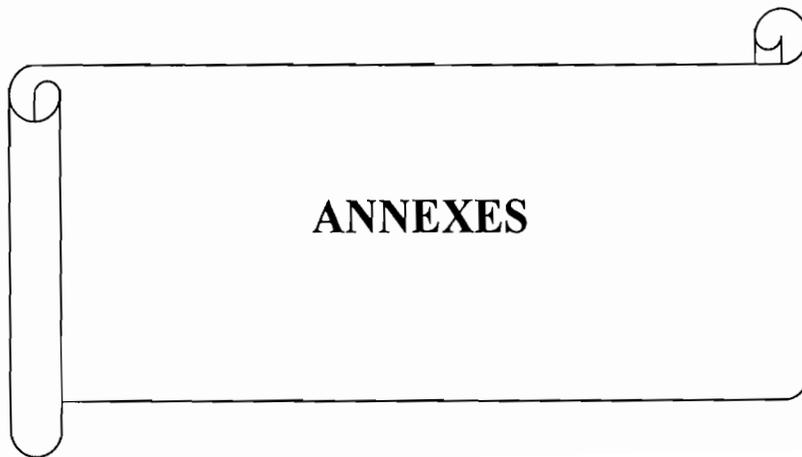
Comme perspectives, nous proposons que :

- Des études approfondies soient faites pour confirmer ou infirmer l'intérêt de la farine potassée à base de fonio dans l'alimentation des diabétiques ;
- Des études de conservation soient faites pour déterminer la durée de conservation des échantillons et l'impact du mode de séchage sur leur qualité à long terme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **BADINI Z., OUEDRAOGO S., SANFO M.**, 2006. Rapport d'étude sur l'élaboration d'une stratégie opérationnelle sur la commercialisation des céréales au Burkina Faso. AFRIQUE VERTE. 78 p.
- **BALLOGOU V. J, SOUMANOU. M, TOUKOUROU F and HOUNHOUGAN J. D.**, 2013. Structure and Nutritional Composition of Fonio (*Digitaria exilis*) Grains: A Review. *International Research Journal of Biological Sciences*. Vol 2 (1), 73-79. ISSN 2278-323202. p 73-79.
- **BAMA J**, 1999. Intérêt du fonio dans l'alimentation des diabétiques. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de la Santé (FSS). Section Pharmacie. Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 83p.
- **COCHRAN, W.G. AND COX, G. M.** 1957. Experimental design; John Wiley /and sons.
- **CRUZ J-F, BEAVOGUI.F, DRAME. D**, 2011. le fonio, une céréale africaine. Collection Agriculture tropicale en poche. éditions. Quea/Cta /Preeses agronomiques de Gembloux. Versailles. France. ISBN 978-2-87016-114-2 ,175p.
- **Faostat**, 2012. Base de données FAO, consulté en ligne (le 25 Août 2014) sur le site www.faostat.fao.fr.
- **Fond des Nations Unies pour l'Enfance (UNICEF)**, 1998. La situation des enfants dans le monde : les micronutriments, 6 p.
- **CIRAD**, 2009. Fonio, consulté en ligne (le 23 Juillet 2014) sur le site www.fonio.cirad.fr.
- **KANFANY G**, 2008. Diagnostic agronomique du fonio (*Digitaria exilis* stapf) dans des parcelles paysannes en Casamance et au Sénégal Oriental. Mémoire d'Ingénieur Agronome. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès .Sénégal. 43 p.
- **KONKOBO-YAMEOGO C, CHALOUB Y, KERGNA A, BRICAS N, KARIMOU R et NDIAYE J-L**, 2004. La consommation d'une céréale traditionnelle en Afrique de l'Ouest : le fonio. *Cahiers Agricultures* Vol 13, N°1.
- **MASA**, 2013. Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012/2013. Ouagadougou. Burkina Faso. p 9-11.
- **NORME INTERNATIONALE ISO 8587**, 2006 F: Analyse Sensorielle- Méthodologie- Classement par rang. 21 p.

- **NORME INTERNATIONALE ISO 11035**, 1994 F : Analyses sensorielles- Recherche et Sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel par approche multidimensionnelle. 21 p.
- **OMS ET FAO**, 2007. CODEX ALIMENTARIUS : céréales, légumineuses secs, légumes et matières protéiques végétales. ISSN : 1020-2560. ISBN : 978-92-5-205842-7. <http://www.codexalimentarius.net> (le 11 Juin 2015).
- **PODA M D**, 2013. Analyses physico chimiques et composition nutritionnelle de farines de maïs transformées pour la personne diabétique. Mémoire pur l'obtention du Diplôme d'Etudes approfondies des Sciences et Techniques, Université de Ouagadougou, Burkina Faso 77 p.
- **SYLLA A**, 2005. Capitalisation d'information sur la filière fonio au MALI. Afrique Verte.115p.
- **SON G, CRUZ J-F, DRAME D, DIALLO T A**. 2001. Amélioration des Technologies Post-récoltes du Fonio. 34 p.
- **TAMBOURA A.K.B.A**, 2014. essais de formulation et de production de farine infantile à base de fonio enrichi en produits locaux. Mémoire de licence en Sciences et Technologies, Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest. Bobo-Dioulasso. Burkina Faso. 40 p.
- **THE NATIONAL ACADEMY**, 1996. Lost Crops of Africa: Volume I: Grains. ISBN: 0-309-58615-1, 408 p.
- **USAID**, 2008. Chaîne de valeur de la filière fonio au Sénégal : analyse et cadre stratégique d'initiatives pour la croissance de la filière. SAGIC IQC N°.685-I-01-06-00005-00.94p.



ANNEXES

Annexe 1: Fiche d'évaluation : test de classement

PRODUIT : Tô à base de farine de fonio **DATE** :

Sexe : Masculin Féminin

Age : 15-30ans 31-40ans Plus de 40 ans

Instructions :

Veillez classer les échantillons codés qui vous sont présentés dans l'ordre indiqué selon leur consistance :

- le rang 1 pour l'échantillon le plus préféré
- le rang 4 pour l'échantillon le moins préféré
- et le reste à l'avenant

NB : Ne pas donner le même rang à deux échantillons

CODE DES ECHANTILLONS	RANGS			
	1	2	3	4
.....
.....
.....
.....

OBSERVATIONS SUR LES ECHANTILLONS :

.....
.....
.....
.....

Annexe 2: Fiche d'évaluation : Attributs sensoriels

Produit : Tô de fonio

Date :

Sexe : Masculin Féminin

Age : 15-30 ans 31- 40 ans Plus de 40 ans

Instructions :

- Veuillez observer et apprécier les échantillons codés dans l'ordre indiqué ;
- Utilisez les descriptions ci-dessous pour donner votre opinion sur chacun des échantillons ;
- Cochez en face du descripteur qui vous paraît le plus rapproché pour indiquer votre appréciation sur chaque échantillon.

Descripteurs

CODES ECHANTILLONS

.....

Apparence

Belle

Acceptable

Médiocre

Odeur/ Arôme

Très bon

Bon

Passable

Texture

Pâteuse

Souple/ Elastique.....

Ferme

Observations sur les échantillons :

.....
.....
.....

Annexe 3: Fiche d'évaluation : épreuve hédonique

Produit : Tô de fonio

Date :

Sexe : Masculin Féminin

Age : 15-30 ans 31-40 ans Plus de 40 ans

Instructions :

- Veuillez goûter les échantillons codés dans l'ordre indiqué ;
- Utilisez l'échelle ci-dessous pour donner votre opinion sur chacun des échantillons ;
- Cochez en face de l'expression qui vous paraît la plus appropriée pour apprécier le caractère agréable- désagréable de chaque échantillon.

ECHELLE

CODES ECHANTILLONS

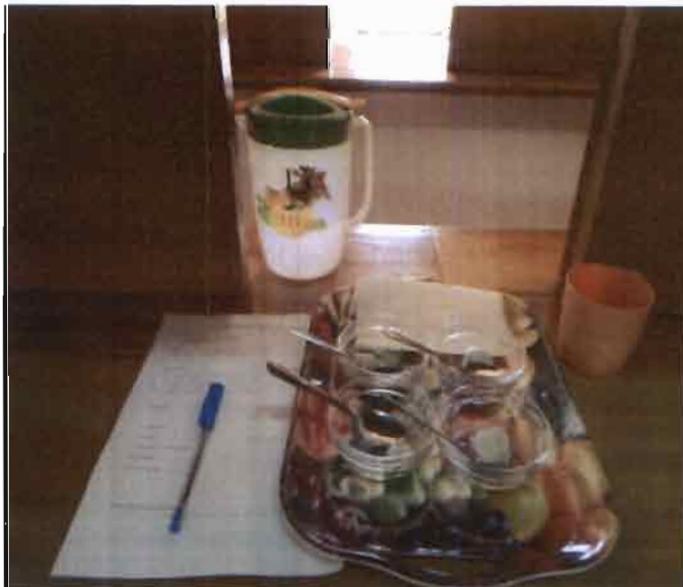
Très agréable.....	.....	.....	.....	.....
Agréable .....	.....	.....	.....	.....
Ni agréable – ni désagréable.....	.....	.....	.....	.....
Désagréable.....	.....	.....	.....	.....
Très désagréable.....	.....	.....	.....	...

Observations sur les échantillons :

.....
.....
.....



Annexe 4: Séchage de la farine au séchoir à gaz



Annexe 5 : Matériel d'analyse sensorielle



Annexe 6 : Exemple d'échantillon de tô