

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

-----  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR

-----  
UNIVERSITE DE NGAOUNDERE



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace – Work – Fatherland*

-----  
MINISTRY OF HIGHER  
EDUCATION

-----  
THE UNIVERSITY OF NGAOUNDERE



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES  
AGRO-INDUSTRIELLES

NATIONAL ADVANCED SCHOOL OF AGRO-INDUSTRIAL SCIENCES

B.P:455 Ngaoundéré-CAMEROUN Tel / Fax: (+237) 22 15 81 89

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES ET NUTRITION

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCES AND NUTRITION

**ETUDE DU SECHAGE-FUMAGE DE LA PATE ROUIE DE  
MANIOC (*Manihot esculenta* Crantz) : CARACTERISATION  
PHYSICOCHIMIQUE ET FONCTIONNELLE DE LA FARINE ET  
DE L'AMIDON**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
en Sciences Alimentaires et Nutrition

Par :

**BINDZI Jean Marcel**

*Matricule : 09S182EN*

*Maître ès Sciences (option Biochimie)*

Sous la Direction de :

**NDJOUENKEU Robert**

*Professeur*

*ENSAI*

*Université de Ngaoundéré*

Année académique 2010 - 2011

Ce travail a été réalisé avec le soutien :

- du projet « Production durable du manioc en Afrique centrale et intégration au marché » (DCI-FOOD/2010/252-886-PRASAC) financé par l'Union Européenne et coordonné par le PRASAC (Pôle Régional de Recherche Appliquée au Développement des Systèmes Agricoles d'Afrique Centrale



- et du programme Jeune Equipe AIRD (JEAI) / Equipe de Recherche TQI2A (Technologie, Qualité et Innovations Agro-alimentaires)



# DEDICACE

A

David Précieux BINDZI, mon cher fils

Jeanne Gaelle BINDZI, ma tendre épouse

Et aux

Familles ELANGA et ASSIGA

*Votre amour est ma force !*

## REMERCIEMENTS

Je rends grâce à **Dieu Tout-Puissant** qui m'a donné santé, force et courage d'affronter cet exercice laborieux.

Au terme de ce travail de recherche effectué au Laboratoire de Physicochimie et Technologie Alimentaires (LPCTA) de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-Industrielles (ENSAI) de l'Université de Ngaoundéré, qu'il me soit permis d'exprimer ma sincère gratitude à l'endroit :

Des directeurs de l'ENSAI, successivement les Professeurs **Mbofung C. M.** et **Nso E. J.** qui ont créé, au sein de cet établissement, des conditions favorables au bon déroulement des présents travaux.

Du Pr. **Ndjouenkeu R.**, Directeur de ce travail de recherche qui a bien voulu inspirer et encadrer ce mémoire de bout en bout. Par ses conseils, ses rudes critiques et sa rigueur scientifique, il m'a inculqué le souci de bien faire. Qu'il soit assuré de ma parfaite déférence.

De tous les enseignants de L'ENSAI pour le partage de leurs connaissances. Une gratitude spéciale à l'endroit de Dr. **Ndi Koungou S.**, Dr. **Nguimbou R. M.**, Dr. **Djantou E. B.** et M. **Biyanzi P.** pour leur disponibilité et leurs conseils.

De l'ensemble des membres du jury qui me font l'honneur d'examiner les résultats de mon travail.

De Dr. **Gibert O.**, Chercheur au CIRAD Montpellier (France) pour le partage d'expérience et ses orientations.

De **Shittu T.A.**, Ph.D, Enseignant-chercheur au Nigéria pour l'aide à la documentation.

De MM. **Mbonomo J.M.** et **Simo A.**, respectivement ingénieur agronome (IRAD, Adamaoua) et Technicien de laboratoire pour leur disponibilité et leur sollicitude.

De mes camarades de Master 2 et ceux du LPCTA, pour le climat convivial qui aura régné pendant la durée des manipulations.

De mes parent et amis personnels **Fouda Zibi J.M.**, **Guiama V.D.**, **Aboubakar D.**, **Klang M.J.**, **Olivier M.M.**, **Ngangoum E.S.** et **Tegue J.V.** pour leurs aides multiformes.

De mon épouse **Jeanne Gaëlle** et mon cher fils **Précieux** pour leur patience et leur soutien moral tout au long de ces interminables mois de recherche.

De l'ENSAI pour la mise à ma disposition d'un cadre propice à l'éclosion d'un esprit de recherche en moi.

Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, qu'ils soient convaincus de ma profonde reconnaissance !

# TABLE DES MATIERES

REPUBLIC OF CAMEROUN.....	1
DEDICACE .....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIERES .....	iv
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ILLUSTRATIONS .....	xi
LISTE DES ABREVIATIONS.....	xii
RESUME.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA LITTERATURE.....	3
I.    GENERALITES SUR LE MANIOC .....	3
I.1 Historique .....	3
I.2 Aspects botaniques et agronomiques.....	3
I.3 Production, consommation, utilisation et importance du manioc .....	4
I.3.1 Production du manioc en Afrique et au Cameroun .....	4
I.3.1 Exigences écologiques et tolérance aux ravageurs .....	5
I.3.2 Contraintes à la production .....	5
I.3.3 Consommation et utilisation du manioc .....	6
I.4 Facteurs de pertes post-récoltes .....	7
I.4.1 Décomposition physiologique (striure vasculaire).....	7
I.4.2 Pertes post-récoltes des racines de manioc fraîches.....	7
I.5 Stockage du manioc.....	8
I.5.1 Stockage des racines et des produits de transformation du manioc .....	8

I.6	Transformation .....	9
I.6.1	Toxicité du manioc .....	10
I.6.2	Détoxication des racines.....	10
I.6.3	Le rouissage : une fermentation en milieu liquide .....	12
I.6.4	Techniques et produits de transformation .....	12
I.6.5	Les produits de transformation du manioc au Cameroun .....	13
I.6.6	Contraintes de la transformation du manioc en Afrique .....	13
II.	LE SECHAGE.....	16
II.1	Généralités sur le séchage.....	16
II.2	Séchage-fumage du manioc .....	17
II.3	Séchage au soleil du manioc.....	17
II.4	Caractéristiques des farines et amidons.....	18
II.4.1	La farine de manioc .....	18
II.4.2	Les amidons.....	19
II.4.2.1	Propriétés physiques .....	20
II.4.2.2	Rétrogradation .....	20
II.4.2.3	La viscosité.....	21
	DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES .....	23
I.	DIAGNOSTIC DES PRATIQUES DE TRANSFORMATION DU MANIOC EN FARINE.....	23
I.1	Zones d'étude .....	23
I.2	Déroulement de l'enquête.....	24
I.2.1	Le questionnaire .....	24
I.2.2	Exploitation des données.....	24
II.	PRODUCTION DE LA FARINE DE FOUFOU.....	24
II.1	Origine et préparation du matériel végétal .....	24
II.2	Procédé de transformation des tubercules de manioc.....	25
II.2.1	Epluchage .....	25

II.2.2	Lavage .....	25
II.2.3	Rouissage .....	25
II.2.4	Lavage / défibrage .....	25
II.2.5	Essorage .....	25
II.2.6	Mise en boules.....	26
II.2.7	Séchage.....	27
II.2.8	Séchage-fumage .....	27
II.2.8.1	Procédé traditionnel .....	27
II.2.8.2	Séchage au fumoir électrique .....	27
II.2.8.3	Séchage au four électrique sans fumage.....	28
II.3	Obtention de la farine .....	28
III.	ETUDE DE LA CINETIQUE DE SECHAGE .....	29
III.1	Mise en œuvre du séchage.....	29
III.1.1	Approche globale .....	29
III.1.2	Essai de suivi du transfert d'eau dans les tranches unitaires de la boule .....	29
III.2	Analyse des paramètres du séchage : .....	30
IV.	EXTRACTION DE L'AMIDON TOTAL .....	31
V.	ANALYSE DE LA FARINE ET DE L'AMIDON DE MANIOC ROUI .....	32
V.1	Propriétés physicochimiques de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	32
V.1.1	Teneur en eau et matière sèche de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	32
V.1.2	Teneur en amidon total, amylose et amylopectine de la farine et de l'amidon de manioc .....	32
V.1.3	Mesure du pH de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	34
V.1.4	Acidité totale de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	34
V.1.5	Teneur en lipides totaux de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	34
V.1.6	Teneur en sucres réducteurs de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	35
V.1.6.1	Extraction des sucres solubles .....	35
V.1.6.2	Dosage des sucres extraits (Méthode au DNS) .....	35

V.1.7	Teneur en fibres brutes de la farine et de l'amidon de manioc roui.....	37
V.1.8	Teneur en cendres totales des farines et amidons de manioc rouis .....	37
V.1.9	Teneur en protéines brutes des racines, farine et amidon de manioc rouis .....	38
V.1.10	Teneur en glucosides cyanogénétiques de la farine et de l'amidon de manioc	39
V.1.11	Teneur en phosphore de la farine et de l'amidon de manioc roui.....	41
V.1.12	Distribution granulométrique de l'amidon de manioc roui.....	42
V.1.13	Analyse de la couleur de la farine et de l'amidon de manioc roui.....	43
V.2	Propriétés techno-fonctionnelles .....	43
V.2.1	Capacités d'absorption d'eau et indice de solubilité à l'eau de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	43
V.2.2	Densité volumique de la farine et de l'amidon de manioc roui .....	44
V.2.3	Gonflement et solubilité de l'amidon de manioc roui.....	44
V.2.4	Etude de la rétrogradation de l'amidon de manioc roui .....	44
V.2.4.1	La clarté des amidons de manioc.....	45
V.2.4.2	La synérèse des amidons de manioc.....	45
V.2.5	Propriétés viscosimétriques de la farine et de l'amidon de manioc roui.....	45
VI.	ANALYSES STATISTIQUES.....	46
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....		47
I.	PRATIQUES LOCALES DE PRODUCTION DE LA FARINE DE FOUFOU AU CAMEROUN .....	47
I.1	Les acteurs de la production de farine de fofou.....	47
I.2	Le procédé de transformation .....	48
I.2.1	Matière première .....	51
I.2.2	Capacité de transformation des unités de production.....	52
I.3	Procédés de transformation .....	53
I.3.1	Durée des opérations unitaires des procédés de fabrication du fofou .....	53
I.3.2	Main-d'œuvre utilisée .....	54



I.3.3 Points critiques de production et qualité du fofou.....	56
II. PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET FONCTIONNELLES DES FARINES ET AMIDONS DE MANIOC ROUIS .....	57
II.1 Composition chimique des racines, farines et amidons de manioc .....	57
II.2 Acidité titrable, pH et indice de blancheur des farines et amidons de manioc rouis.	58
II.3 Granulométrie laser et forme des granules de l'amidon.....	61
II.4 Propriétés fonctionnelles des farines et amidons de manioc rouis .....	62
II.4.1 Capacité d'absorption d'eau et indice de solubilité de l'amidon de manioc roui	62
II.4.2 Gonflement et solubilité des amidons .....	63
II.4.3 Rétrogradation de l'amidon issu des différents traitements.....	66
II.5 Les propriétés viscosimétriques des farines et amidons de manioc .....	67
III. ETUDE DU SECHAGE-FUMAGE DU MANIOC.....	71
III.1 Approche globale.....	71
III.2 Approche analytique.....	72
CONCLUSION .....	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	76
ANNEXES .....	LXXVII

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Processus de production des principaux dérivés du manioc (PNDRT, 2006).....	15
Figure 2: Schéma général du travail.....	22
Figure 3 : Localisation géographique des zones d'étude .....	23
Figure 4: Dispositif de mise en boule de la pâte de manioc roui .....	26
Figure 5 : Schéma d'un dispositif traditionnel de séchage-fumage.....	27
Figure 6: Plan de tranchage d'une boule de fufou .....	29
Figure 7 : Schéma de la trancheuse de boule de fabrication artisanale.....	30
Figure 8 : Equation de la réaction de réduction du DNS .....	36
Figure 9 : Réaction de l'ammoniac avec l'acétylacétone et le formaldéhyde en milieu aqueux (réaction de Hantzsch).....	38
Figure 10: Espace chromatique CIE L*a*b* .....	43
Figure 11 : Fréquence des répondants en fonction du type d'unité de production.....	48
Figure 12 : Fréquence des répondants en fonction de leur origine tribale .....	48
Figure 13 : Schéma du procédé général (séchage-fumage et séchage au soleil) de production de la farine de fufou .....	50
Figure 14: Nature de la matière première utilisée dans la production du fufou.....	51
Figure 15: Distribution de la nomenclature locale des cultivars de manioc. ....	51
Figure 16: Justification de la préférence d'un cultivar de manioc par rapport à une autre .....	52
Figure 17 : Capacité de transformation des unités de production du fufou .....	53
Figure 18 : Durée de réalisation (h/personne/100 Kg de racines de manioc) des opérations unitaires des technologies traditionnelles étudiées.....	54
Figure 19: Contribution des genres à la main-d'œuvre pendant la production du fufou. ....	55
Figure 20: Carte AFC des opérations unitaires difficiles lors de la production du fufou .....	55
Figure 21 : Analyse des correspondances multiples des critères de qualité du fufou .....	57
<b>Figure 22</b> : Distribution granulométrique des amidons issus des différents traitements .....	62
Figure 23 : Evolution de la solubilité (A) et du gonflement (B) des amidons en fonction de la température.....	65
Figure 24 : Cinétique de la rétrogradation des amidons en 28.....	67
Figure 25: Cinétique de séchage des boules humides de fufou en fonction du taux d'humidité. ....	72

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Classement mondial des grands pays producteurs de manioc*.....	5
Tableau 2: Composition nutritionnelle des feuilles et racines de manioc.....	7
Tableau 3: Teneur en HCN de divers produits de la transformation du manioc.....	12
Tableau 4 : Etablissement de la courbe d'étalonnage.....	33
Tableau 5: Dosage de l'amidon dans les farines.....	33
Tableau 6 : Procédure de dosage des sucres réducteurs par la méthode au DNS.....	36
Tableau 7 : Etalonnage pour le dosage des protéines brutes.....	39
Tableau 8: Distribution des transformateurs en fonction du sexe et de la tranche d'âge.....	47
Tableau 9: Distribution des opérations unitaires en fonction de leur durée et des quantités transformées.....	53
Tableau 10: Composition chimique des racines fraîches, farines et amidons de manioc.....	60
Tableau 11 : pH, acidité titrable, densité volumique et indice de blancheur (IB) des farines et amidons de manioc.....	60
Tableau 12 : Indice de solubilité à l'eau et capacités d'absorption d'eau et d'huile des farines et amidons de manioc rouis.....	63
Tableau 13: Propriétés d'empesage de la farine et de l'amidon de manioc issus des trois types de séchage.....	70
Tableau 14 : Paramètres temporels d'empesage et facilité de cuisson de l'amidon.....	71
Tableau 15 : Humidité d'équilibre ( $H_e$ ) et constante de séchage ( $k$ ) à la fin du séchage en fonction du mode de séchage.....	72
Tableau 16 : Valeurs de $H_e$ (g.H <sub>2</sub> O/g.MS) et de $k$ (h <sup>-1</sup> ) pour les tranches de boules issues des différents traitements.....	73

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Photo 1 : Vue partielle d'un plant de manioc.....	4
Photo 2: Des tubercules frais de manioc .....	4
Photo 3 : Rouissage de pulpe de manioc.....	25
Photo 4 : Une boule humide à base de pâte rouie de manioc.....	26
Photo 5 : (A) Séchoir - fumoir électrique (Matindex) ; (B) Etuve (Memmert) .....	28
Photo 6: Rapid Visco Analyser (Perten instruments).....	46
Photo 7 : Microscopie optique des grains d'amidon roui : séchage-fumage traditionnel (A), séchage-fumage électrique (B) et séchage à l'étuve (C), grossissement (x100).....	62

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

AFNOR : Association Française de Normalisation

AIRD : Agence Internationale de Recherche et de Développement

CAE : Capacité d'absorption d'eau

cP : Centipoise

DO : densité optique

FAO : Food and Agriculture Organization

FIDA : Fonds International pour le Développement de l'Agriculture

HCN : Acide Cyanhydrique

IB : Indice de blancheur

IITA : Institut International d'Agriculture Tropicale

ISE : Indice de solubilité dans l'eau

MINADER : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

MS : Matière sèche

NEPAD : Nouveau partenariat pour le Développement de l'Afrique

pH : Potentiel d'hydrogène

PNDRT : Programme National de Développement des Racines et Tubercules

RVA : Rapid Visco Analyser

## RESUME

Le fofou - farine de manioc roui, ou alors la pâte cuite obtenue à partir de cette farine - constitue un des principaux produits de la pratique traditionnelle du séchage du manioc. Dans les pratiques techniques traditionnelles, ce séchage se fait généralement au soleil, notamment dans les zones de savane qui bénéficient d'une longue période d'ensoleillement. Dans les zones forestières pluvieuses, le séchage du fofou se fait par fumage au grenier, ce qui correspond à une combinaison des opérations de séchage et de fumage. Partant d'une hypothèse générale de l'existence d'une différence de qualité entre le fofou séché et le fofou fumé, le présent travail avait pour objectif d'investiguer les particularités du séchage-fumage de la pâte rouie de manioc, tel que pratiqué en zone forestière méridionale du Cameroun. A cet effet, une enquête de terrain, destinée à caractériser les pratiques techniques traditionnelles, a été menée auprès de trente opérateurs du système traditionnel de transformation du manioc en fofou dans cinq (05) localités du pays. Pour l'étude de la dynamique de séchage - fumage, des tubercules frais de la variété 4115 ont été parés, rouis, défibrés, essorés, broyés, mis en boules puis séchés selon trois approches : fumage traditionnel, fumage au fumoir électrique et séchage à l'étuve. Les paramètres du séchage ont été suivis pour chacun des traitements. La farine produite et l'amidon extrait ont été caractérisés. Les résultats montrent que l'obtention de 100 Kg de fofou séché-fumé traditionnellement en zone forestière demande 171 heures ( $\approx 7$  jours) contre 51 heures ( $\approx 2$  jours) pour le séchage solaire direct en zone sahélienne. Le fumage n'influence pas la vitesse du séchage de la boule humide. Les vitesses de séchage des boules humides ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ ) pour les trois modes de séchage étudiés. La couleur plus claire du fofou séché à l'étuve tranche avec une couleur plus sombre du même fofou séché-fumé traditionnellement ou dans un fumoir électrique. Dans des conditions comparables de température de séchage, l'amidon de la farine séchée-fumée traditionnellement gonfle plus que celui de la farine séchée ou séchée-fumée électriquement. Dans le même ordre d'idées, les mesures viscosimétriques montrent que la farine séchée-fumée et son amidon sont plus aptes à la cuisson et donc plus économique en énergie que les farines séchées électriquement et leur amidon. A masses et volumes d'eau égaux, la pâte d'amidon de farine séchée-fumée traditionnellement est plus stable au chauffage et forme un gel plus consistant. Il pourrait ainsi servir d'épaississant dans des formulations alimentaires.

**Mots clés :** *M. esculenta*, fofou, farine, amidon roui, séchage-fumage.

## ABSTRACT

Fufu - retted cassava flour, or cooked paste obtained from this flour - is one of the main products of traditional practice for drying cassava. In the traditional technical practices, it is usually sun dried, particularly in the savannah areas that have a long period of sunshine. In the rain forest areas, the drying of fufu is done by smoking in the attic, which is a combination of the drying and smoking. Based on a general assumption of the existence of a difference in quality between the dried fufu and smoked-fufu, the present work aimed to investigate the characteristics of the drying-smoking retted cassava dough, as practiced in southern forest area of Cameroon. For this purpose, a field investigation, designed to characterize the traditional technical practices was conducted with thirty operators of the traditional processing of cassava into fufu in five (05) parts of the country. To study the dynamics of smoking - drying, fresh tuber variety 4115 were peeled, retted, defibred, drained, crushed, rounded into lumps and then dried using three approaches : traditional smoking, smoking with an electric smoke dryer and oven-drying. The drying parameters were monitored for each treatment. The flour produced and starch extract were characterized. The results show that, approximately 171 hours ( $\approx 7$  days) is needed to obtain 100 kg of traditionally smoked-dried fufu in forest area against 51 hours ( $\approx 2$  days) for direct solar drying in the Sahel. Smoking does not influence the rate of drying of the wet ball. No matter the drying method, wet ball drying kinetics were the same. The brighter color of oven-dried fufu differed from the darker color of the same fufu smoked and dried in a traditional or electric smoke dryer. Under comparable conditions of drying temperature, starch issued from traditionally smoke-dried flour swells better than oven-dried or smoked-dried electrical flour. Likewise, viscometric measurements showed that starch from smoked-dried flour had a cooking ability higher than starch from electrically dried flour and therefore consumes less energy. Starch granules from traditionally smoked-dried fufu are more stable to heat and consistent. Thus, it could be used in food formulations.

Keywords: *M. esculenta*, fufu, flour, retted starch, smoking-drying.

## INTRODUCTION

Importantes sources de calories pour plus de deux milliards de personnes dans le monde, les racines et tubercules constituent le deuxième groupe de plantes vivrières amyloacées derrière les céréales (**Lebot, 2008**). Dans ce groupe, figure le manioc (*Manihot esculenta* Crantz), l'un des tubercules les plus consommés en Asie, en Amérique latine et en Afrique (**Nweke, 2004**). Au Cameroun, le manioc est la denrée agricole la plus produite en termes de tonnage annuel (**FAO, 2010**). Pour les paysans pauvres qui cultivent ce tubercule, il est vital à la fois pour leur sécurité alimentaire et comme source de revenus (**FAO, 2010 ; FIDA, 2010**). Seulement, l'utilisation post-récolte du tubercule présente deux contraintes majeures : d'une part une périssabilité précoce en raison de sa charge en eau, ce qui entraîne des pertes en produits ; d'autre part une toxicité liée à la présence des composés cyanogénétiques dans la racine (**MLingi, Assey, Swai, Mc Larty, Karle & Rosling, 1993**). Pour vaincre ces contraintes, la racine fraîche doit être transformée en divers produits (cossettes, gari, bâtons, farine,) dont les processus impliqués permettent de réduire la charge en eau et/ou en composés cyanogénétiques. Parmi ces procédés de transformation, le séchage constitue l'un des meilleurs moyens de conservation du manioc, notamment sous forme de cossettes ou de farine (**El Mokretar, Miri & Belhamel, 2004**). Les cossettes et farines produites servent essentiellement à la préparation du fofou, pâte fermentée et cuite de manioc, couramment consommée dans l'ensemble des régions du Cameroun (**Simeu Kamdem, 1996**).

La production des farines de manioc au Cameroun se fait surtout par séchage artisanal. Le manioc est séché au soleil dans les zones tropicales sèches (sahel, savane). En zone forestière, où pluviométrie et hygrométrie sont importantes sur une grande partie l'année, c'est le séchage-fumage qui y est surtout pratiqué. La qualité des fofous préparés à partir des farines issues des deux modalités de séchage est fondamentalement différente (**Shittu & Adedokun, 2010**). En effet, le mode de production des farines avec apport de fumée assure les fonctions d'aromatisation et de coloration ; ce qui les diffère des autres produits fermentés de manioc (**Maas-Van Berkel 2005 ; Osundahunsi & Oluwatooyin, 2005**). Cependant, la consommation du fofou séché-fumé reste relativement localisée dans certains espaces ethniques de la zone forestière du Cameroun. C'est peut-être ce qui explique que sur le plan national, la production des farines séchées-fumées de manioc a peu suscité l'intérêt des chercheurs, comparé au séchage solaire direct. En effet, la valeur technologique actuelle de



ces farines au sein du système traditionnel de transformation du manioc en fufou reste mal connue.

Le manioc a fait l'objet de moindres efforts de recherche et de développement, comparé aux autres plantes à racines et tubercules tels que l'igname, le taro, la pomme de terre et la patate (Njintang, 2003 ; Medoua, 2005 ; FAO, 2010). La recherche sur la production des farines de manioc a accordé l'exclusivité à l'optimisation du séchage solaire (Rasoanantoandro-Gothard, 2003 ; Zomahoun, Aminou & Megnanglo, 2005 ; Mkandawire, 2008). Hormis Favier (1977), l'intérêt porté sur le séchage-fumage est récent. Ainsi au Nigeria, Osundahunsi et Oluwatooyin (2005) ont examiné l'effet des méthodes de séchage sur quelques propriétés physicochimiques et la composition chimique de la boule séchée-fumée, denrée de base pour des millions de personnes. La stabilité et les risques de dégradation de la farine séchée-fumée par les microorganismes au cours du stockage ont aussi été évalués (Shittu, Edema, Dada & Atayese, 2009 ; Famurewa, Oluwamukomi & Alaba, 2012). Cependant, les travaux sus cités n'ont abordé ni la dynamique de séchage associée au fumage, ni l'effet dudit procédé sur les propriétés fonctionnelles de l'amidon (principal constituant du manioc) extrait de la farine séchée-fumée.

La présente étude vise une meilleure connaissance du procédé de fumage de la pâte rouie de manioc, une caractérisation des points critiques de manière à voir quelles innovations sont envisageables dans ce système.

L'objectif général de ce travail est d'examiner le procédé de séchage-fumage du manioc et ses effets sur les propriétés des farines et amidons. Spécifiquement, il s'agira de :

- Diagnostiquer le système traditionnel de production du fufou de manioc ;
- Etudier, dans le processus de séchage-fumage, l'influence des conditions d'application de l'opération de séchage sur la qualité de la farine et sur les propriétés de l'amidon. Trois conditions sont à prendre en compte ici :
  - Séchage au cours du processus traditionnel de production de fufou fumé
  - Séchage dans un fumoir pilote
  - Séchage sans fumage dans un séchoir électrique

# PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA LITTERATURE

## I. GENERALITES SUR LE MANIOC

### I.1 Historique

Le manioc (*Manihot esculenta*, Crantz) appartient à la famille botanique des *Euphorbiaceae*. Comme certains autres membres de cette famille, notamment l'hévéa qui fournit le caoutchouc, il contient un latex blanc. Les régions d'origine du manioc sont le nord-ouest du Brésil et probablement, l'Amérique centrale. Il a été introduit en Afrique de l'Ouest et dans le bassin du Congo par les Portugais dans la seconde moitié du XVI<sup>e</sup> siècle (**Agueguia, Apedo-Ama, Fontem, Manga, Mboua, Mouen *et al.*, 2000**). C'est seulement au cours du XX<sup>e</sup> siècle que le manioc a été largement répandu à travers l'Afrique par les autorités coloniales du fait qu'il constituait une réserve idéale contre la famine.

### I.2 Aspects botaniques et agronomiques

Le manioc se présente sous la forme d'un arbuste (Photo 1) de 1 à 5 m de hauteur environ (**Agueguia *et al.*, 2000**). Les racines tubérisées (Photo 2), qui sont les principaux produits alimentaires provenant de cette plante, se trouvent à quelques centimètres de la surface du sol et sont au nombre de 05 à 10. Ces racines sont fixées au collet de la plante par un pédoncule. Leur longueur varie de 15 à 100 cm environ, et leur poids peut atteindre 3 Kg. Un plant de manioc produit environ 5 à 6 Kg de racines ou même davantage. Dans la suite du texte, nous désignerons le tubercule par le nom manioc. Les feuilles, caduques, sont alternes et palmilobées ; elles constituent également un aliment apprécié. Il existe plusieurs centaines de variétés de manioc. D'un point de vue pratique, on les classe en deux grands groupes suivant leur teneur en glucosides cyanogénétiques (manihotoxosides) : variétés douces et variétés amères (<http://www.practicalaction.org/>). Une autre classification est possible du fait des prouesses de la biotechnologie qui a mis sur le marché de nombreuses variétés de manioc plus résistantes dites améliorées venant s'ajouter aux variétés locales (**Chuzel, 1997 ; Nagib & Rodomiro, 2010**). Toutefois, pour une meilleure caractérisation des différentes variétés de manioc, l'étude morphologique doit être couplée à des analyses génétiques (**Manusset, 2006**).



**Photo 1 :** Vue partielle d'un plant de manioc



**Photo 2:** Des tubercules frais de manioc

### **I.3 Production, consommation, utilisation et importance du manioc**

#### **I.3.1 Production du manioc en Afrique et au Cameroun**

Le manioc fait partie des principales plantes à racines et tubercules amylacés cultivés partout sous les tropiques dans près de 100 pays en voie de développement dont plus de 30 en Afrique (**Purseglove, 1987 ; Djilemo, 2007 ; FIDA, 2010**). Depuis le début des années soixante, la production mondiale de manioc a plus que doublé, principalement en raison d'une augmentation des productions africaine et asiatique. La production a presque triplé pour la seule Afrique, en partie grâce à l'utilisation des variétés améliorées. Durant cette période, les surfaces cultivées ont augmenté de plus de 50 %. La production africaine de manioc correspond à un peu plus de la moitié de la production mondiale (**Manyong, 2000**). Au Cameroun, le manioc est de loin la première production agricole, soient 2,8 millions de tonnes en 2009 (**FAO, 2009**), faisant de ce pays le 1<sup>er</sup> producteur de l'Afrique Centrale. La région du Centre Cameroun vient en tête du classement sur le plan local avec plus de 800 mille tonnes de manioc produit en 2008 (**MINADER, 2008**), soit environ 50% de la production nationale de racines et tubercules (**PNDRT, 2006**). Le tableau 1 répertorie les plus grands producteurs mondiaux de manioc (**FAO, 2009**).

**Tableau 1:** Classement mondial des grands pays producteurs de manioc\*

Rang	Pays	Production (Tonnes)
1	Nigeria	36 804 300
2	Thaïlande	30 088 000
3	Indonésie	22 039 100
4	République Démocratique du Congo	15 000 000
5	Angola	12 827 600

\*Le Cameroun est 19<sup>e</sup> dans ce classement avec une production annuelle de 2 800 000 tonnes.

### I.3.1 Exigences écologiques et tolérance aux ravageurs

La culture généralisée du manioc est due entre autres aux capacités d'adaptation et aux exigences minimales de cette plante en matière de sol, de pluies et de soins pendant la production au champ (FAO, 2010). Le manioc est une plante des basses altitudes tropicales et préfère les températures moyennes d'environ 25 à 29 °C. Au début de sa croissance, le manioc ne fait pas concurrence aux cultures associées pour les éléments nutritifs, ce qui explique son utilisation fréquente en culture mixte, surtout avec le maïs. Le sol idéal pour le manioc doit être sablonneux et argileux et présenter une fertilité moyenne. Néanmoins, des rendements raisonnables peuvent être obtenus sur des sols épuisés où l'on ne peut plus produire d'autres cultures (Onwueme, 1978 ; Onwueme & Sinha, 1991 ; Purseglove, 1987). En outre, le manioc présente une caractéristique avantageuse pour les paysans africains qui manquent de ressources. En effet, il possède une protection efficace contre beaucoup de ravageurs, y compris les acridiens et la chenille légionnaire (*Spodoptera exempta*), en raison de sa teneur en glucosides cyanogénétiques. Les autres ravageurs, contribuent toutefois dans l'ensemble au piètre rendement moyen du manioc en Afrique (environ 7,5 tonnes/hectare) par rapport au rendement mondial, qui est d'environ 10 t/ha (IITA, 1990).

### I.3.2 Contraintes à la production

Malgré le grand nombre d'avantages présentés par la culture du manioc, il existe certaines contraintes de production qui freinent son développement :

- ✓ les maladies virales, fongiques et bactériennes (mosaïque africaine du manioc, bactériose, anthracnose, pourriture des racines) (Mvila & Magma, 2006) ;
- ✓ les ravageurs (acariens verts, etc.) ;
- ✓ la faible productivité de certaines variétés ;
- ✓ les pratiques culturelles rudimentaires, qui contribuent au faible rendement de la culture du manioc en Afrique.

Les approches de solutions proposées par la recherche et la vulgarisation agricole sont : le développement de variétés tolérantes aux diverses maladies, la diffusion de variétés plus productives à teneur en cyanure réduite et riches en amidon, ainsi que l'amélioration de certaines pratiques agricoles.

### **I.3.3 Consommation et utilisation du manioc**

Le manioc est cultivé pour ses racines et ses feuilles ; ces dernières étant relativement riches en protéines (**Manyong et al., 1997**). Les pénuries annuelles, les famines périodiques et les crises mondiales ont fait progresser la culture du manioc de façon cyclique (**Rocksloh-Papendieck, 1989**). Avec plus de 110 millions de tonnes de racines et leurs produits de transformation consommés, le manioc est la plus importante plante alimentaire d'Afrique, avant le maïs (**Nweke, 2004 ; FAO, 2009**). Il est cultivé (souvent dans des zones marginales) par des agriculteurs pauvres, des femmes pour la plupart. Pour ces agriculteurs et leurs familles, le manioc est vital à la fois pour la sécurité alimentaire et comme source de revenus (**FAO, 2010**). C'est dans cette optique que, lors de la tenue de son initiative panafricaine pour le manioc, le NEPAD (Nouveau partenariat pour le Développement de l'Afrique), avait adopté le slogan « *Le manioc : un puissant moyen de lutte contre la pauvreté en Afrique* » (**Maziya-Dixon et al., 2005**). Depuis les indépendances, la quantité consommée par l'homme en Afrique a été multipliée par 2,3. Plus de 200 millions de personnes (soit plus d'un quart de la population totale du continent) vivent du manioc comme aliment de base de première nécessité. Chacune d'elles consomme en moyenne plus de 100 Kg de manioc par an. Compte tenu de la nécessité d'approvisionner les villes, le manioc est aussi devenue une culture de rente qui assure l'emploi et des revenus (**Kibamba et al., 1995 ; Tolendeli, 2006**). En effet, la demande urbaine en manioc stimule le développement de cette culture, qui permet de valoriser les terres pauvres d'Afrique (**Osswald, 1995**). Chaque année au Cameroun, les consommateurs déboursent plusieurs milliards de Francs CFA pour l'achat du manioc (**Hatcheu, 2003**). En effet, cet aliment occupe une place primordiale dans la ration de nombreuses populations des zones guinéenne et équatoriale (**Tollens, 2003**).

Les manières de consommer le manioc varient grandement avec la diversité des techniques de transformation et des produits dans les différentes régions d'Afrique. Les jeunes feuilles de manioc et les branches apicales peuvent être récoltées 4 à 5 fois pendant le cycle végétatif et utilisées comme légumes et dans des sauces. Les feuilles de manioc constituent un aliment riche en protéines et en vitamines C. Leur valeur nutritive par rapport aux racines est indiquée au tableau 2 (**Onwueme, 1978**).

**Tableau 2:** Composition nutritionnelle des feuilles et racines de manioc

Nutriments	Feuilles	Racines
Eau	80 %	62 à 68 %
Glucides	7 %	35 % (dont 20 à 25 % d'amidon)
Lipides	1 %	0,3 %
Protéines	6 %	env. 1 %
Vitamine C	200 mg/100g	35 mg/100g
Vitamine B <sub>1</sub>	0,2 mg/100g	Négligeable
Vitamine B <sub>2</sub>	0,3 mg/100g	Négligeable

Environ deux tiers de la production africaine de manioc sont consommés par l'homme, la plus grande part de la quantité restante étant utilisée pour l'alimentation animale (APICA, 1998). L'amidon fait exception car son utilisation principale est la blanchisserie et autres finalités industrielles. La proportion des racines de manioc transformées en produits industriels en Afrique est relativement faible.

#### **I.4 Facteurs de pertes post-récoltes**

##### **I.4.1 Décomposition physiologique (striure vasculaire)**

Le problème de la durée de conservation extrêmement courte des racines de manioc (quelques jours suivant les conditions) est dû à leur décomposition physiologique rapide. Il s'agit en effet d'un phénomène connu sous le nom de striure vasculaire. Celle-ci se manifeste d'abord par des décolorations d'un brun bleuâtre le long des faisceaux vasculaires pour s'étendre par la suite aux autres tissus. Apparaissent ensuite des pourritures, des fermentations et un ramollissement des racines, qui deviennent totalement inutilisables. La striure vasculaire est causée par un processus enzymatique. En même temps, la qualité de l'amidon dans les racines se détériore. Cette détérioration physiologique peut être inhibée pendant 1 à 8 semaines par certaines techniques de stockage impliquant un trempage dans l'eau chaude ou une conservation dans des conditions anaérobies (Agueguia *et al.*, 2000).

##### **I.4.2 Pertes post-récoltes des racines de manioc fraîches**

La décomposition physiologique rapide des racines de manioc ne laisse pas suffisamment de temps pour une attaque qui serait due à des maladies spécifiques d'après-récolte. Généralement, diverses pourritures non spécifiques accompagnent la décomposition physiologique lorsque la racine est déjà détériorée. Seuls les rongeurs sont en mesure de provoquer des dégâts et pertes sensibles dans un délai de quelques jours de conservation (Agueguia *et al.*, 2000). La situation apparaît plus préoccupante quand on considère les pertes

intervenant au cours des opérations post-récoltes, qui sont principalement dues à des technologies rudimentaires. Dans les systèmes post-moisson ouest-africains, ces pertes atteignent environ 45 % de la production potentielle (**Jeon & Halos, 1991**). Lors de la récolte, 14 % environ des racines sont perdues, plus 9 % pendant la manutention et 22 % durant la transformation. En ce qui concerne cette dernière opération, la moitié des pertes se produit déjà au cours de l'épluchage et l'autre moitié lors des étapes suivantes du processus.

## **I.5 Stockage du manioc**

### **I.5.1 Stockage des racines et des produits de transformation du manioc**

Dû à leur caractère périssable, le stockage des racines fraîches est peu pratiqué en Afrique (**Agueguia et al., 2000**). Cette périssabilité du manioc frais implique des interventions post-récoltes probablement plus importantes que pour d'autres cultures (**Westby, 2002**). Il existe des méthodes rudimentaires destinées à prolonger la durée de conservation des tubercules frais. C'est le cas des pratiques consistant à élaguer les plantes trois semaines avant la récolte, à les stocker dans des fosses, les tasser et les arroser, les enrober à l'aide de boue ou les stocker sous l'eau. Malgré cela, les racines se détériorent au bout de quelques jours. Après la récolte, on cherche à réduire le temps à courir jusqu'à la transformation ou à l'utilisation. Considérant les distances entre les zones de production et les principaux lieux de consommation et l'état souvent misérable des routes, il est cependant très difficile d'éviter des pertes substantielles. C'est pourquoi il y a un intérêt majeur, du point de vue économique, à prolonger la période de conservation du manioc. **Cock (1985)** énumère quelques pistes de pratiques courantes pour une conservation améliorée :

- ✓ le stockage dans des silos-fosses qui sont recouverts d'un toit de chaume ;
- ✓ le stockage dans de la sciure humide ;
- ✓ l'immersion dans un fongicide et la mise en sacs de polyéthylène ;
- ✓ le stockage réfrigéré, parfois associé à la méthode précédente ;
- ✓ le stockage sous bâche en plastique de racines trempées dans de l'eau.

Ces méthodes peuvent porter la durée de conservation à deux semaines tout au plus. Toutefois, les racines à stocker doivent être dépourvues de blessures, posséder leurs pédoncules et être bien propres. Certaines de ces méthodes présentent des limites :

- ✓ le manque de possibilité de contrôler la qualité des racines et l'éventualité d'attaques de rongeurs dans les silos-fosses ;
- ✓ la difficulté de pouvoir trouver suffisamment de sciure dans certaines régions ;
- ✓ le coût des fongicides, des sacs de polyéthylène et de la réfrigération.

Le fait que les racines de manioc pourrissent très vite est l'une des deux raisons principales de la transformation fréquente du manioc partout où il est cultivé et consommé (**Cock, 1985**). La deuxième raison est liée à la nécessité de rendre les racines consommables par l'homme en éliminant les glucosides cyanogénétiques. Pour augmenter la durée de conservation, il faut réduire la teneur en eau, soit par séchage, soit par torréfaction. Les cossettes et le gari se conservent facilement en sacs dans des endroits frais et secs pendant environ un an. La farine dérivée des cossettes peut être conservée comme toute autre farine. L'importance économique de cette denrée réside dans la création de valeur ajoutée par transformation.

## **I.6 Transformation**

La transformation du manioc est une opération très importante en Afrique. On estime qu'on y transforme 70% du manioc avant utilisation (**Agueguia et al., 2000**). Les racines de manioc sont transformées afin de fabriquer des produits dérivés plus stables et dont la plus-value dépasse celle des racines elles-mêmes. Les avantages de la transformation sont :

- ✓ Augmentation de la valeur nutritive liée à la fermentation ;
- ✓ Réduction de la teneur en glucosides cyanogénétiques ;
- ✓ Fabrication de produits se conservant mieux que les racines fraîches ;
- ✓ Réduction des coûts de transport des zones rurales vers les centres urbains ;
- ✓ Stabilisation des fluctuations annuelles des quantités disponibles sur le marché.

La transformation en produits durables permet d'éviter la détérioration des racines avant la transformation secondaire pendant la préparation des aliments. Au cours des opérations de trempage, fermentation, torréfaction ou de cuisson, la teneur en composés cyanogénétiques est réduite à un minimum, rendant le produit comestible pour l'homme. Généralement, le taux d'élimination du cyanure oscille entre 70 et 100 % (**IITA, 1990**). Ce sont surtout les facteurs d'ordre culinaire qui sont à l'origine de la diversification des produits issus du manioc dans le monde. La gamme variée de produits alimentaires est l'expression de la culture de chaque peuple et ainsi, de nombreuses ethnies s'identifient à certains plats traditionnels (**Shittu & Adedokun, 2010**). La transformation du manioc dans les villages dépend de l'accès au marché, de la mécanisation, ainsi que des facteurs démographiques. En Afrique dans plus de deux tiers des cas (68 %), ce sont les femmes qui assurent la transformation du manioc, les deux sexes collaborant dans 30 % des cas et seuls les 2 % restants constituent une activité uniquement masculine (**Nweke et al., 1997**).



### **I.6.1 Toxicité du manioc**

Les glucosides cyanogénétiques sont contenus dans les vacuoles cellulaires de tous les tissus du manioc. Il s'agit de substances à groupe nitrile (-CN). Les deux principaux glucosides cyanogénétiques sont la linamarine (la plus abondante) et la lotaustraline (**Nout, Hounhouigan & Van Boekel, 2003**). Leur toxicité est due à la libération d'acide cyanhydrique ou acide prussique (HCN), d'acétone cyanohydrine (ACN) et de cyanure (CN) suite à une réaction d'hydrolyse par l'enzyme endogène : la linamarinase contenue dans les parois cellulaires. L'acide cyanhydrique est particulièrement létal s'il est présent à une dose comprise entre 50 et 100 mg dans un aliment ingéré par un homme adulte (**Nout *et al.*, 2003**). La teneur en glucosides cyanogénétiques est beaucoup plus élevée dans l'écorce du manioc que dans la pulpe (**Fiagan, 2007**). Les efforts de recherche visant à réduire ou éliminer les glucosides cyanogénétiques se sont focalisés sur :

- ✓ le développement de variétés de manioc acyanogénétiques par hybridation (**Nagib & Rodomiro, 2010**) ;
- ✓ le contrôle du métabolisme du manioc ;
- ✓ et la transformation pour ôter les cyanogènes (**Agbor-Egbe & Lape Mbome, 2006**).

L'acide prussique est volatil et fortement soluble dans l'eau, d'où il s'échappe pendant la transformation, soit en se diluant dans l'eau de trempage, soit dans l'air pendant le séchage, soit en s'évaporant pendant la cuisson ou la torréfaction. La teneur en glucosides cyanogénétiques des racines et la quantité de cyanure qu'elles peuvent générer sont liées jusqu'à un certain degré au caractère doux ou amer d'une variété de manioc. En général, les variétés amères ont de plus fortes teneurs (**Hongbete, 2004**) comprises entre 100 et 400 mg équivalent HCN que les racines douces (moins de 100 mg).

### **I.6.2 Détoxification des racines**

De nombreuses opérations sont utilisées pendant la transformation du manioc dans le but d'éliminer l'acide cyanhydrique des produits (**Nambisan, 2011**).

#### **Epluchage**

La peau contient beaucoup plus de glucosides cyanogénétiques que les autres tissus des racines. Le rapport varie de 5 unités dans la peau pour 1 à l'intérieur, et va jusqu'à 10 pour 1. En épluchant, on peut déjà enlever environ 80 % du poison (**Bencini & Walston, 1991**).

#### **Cuisson à l'étuvée**

Le taux d'élimination de l'acide cyanhydrique par cuisson dépend de la quantité d'eau utilisée, de la durée de la cuisson et de la taille des morceaux de racine. Plus on utilise d'eau et plus la cuisson est longue, plus l'acide cyanhydrique est lessivé.

### **Séchage**

Le séchage a été identifié comme étant le plus grand défi dans la croissance de la production industrielle du manioc (**Mkandawire & Taalo, 2008**). Il est recommandé pour les variétés à faible teneur en cyanogènes. Des essais ont montré que lors du séchage naturel au soleil, l'élimination des glucosides cyanogénétiques est beaucoup plus efficace que celle réalisée par séchage artificiel à 50 °C. Des cossettes de petite taille facilitent ce processus. Après séchage, la teneur en cyanogènes peut encore varier entre 25 et 80 % selon la technique ; mais si le séchage est accéléré, l'élimination est de 10 à 30 % seulement (**Agueguia et al., 2000**).

### **Râpage et séchage au soleil**

Cette méthode favorise grandement l'élimination des cyanogènes (**Hongbete, 2004**). La rétention se situe autour de 1,5 à 3,2 % du contenu original, ce qui correspond à environ 0,5 à 17 mg d'équivalent HCN/Kg (**Agueguia et al., 2000**).

### **Rouissage/fermentation**

Le rouissage est une fermentation lactique spontanée (**Nout et al., 2003**). On obtient une forte réduction de la teneur en cyanogènes suite à un lessivage et à une hydrolyse par les microorganismes qui provoquent le rouissage.

### **Garification**

Pendant les différentes opérations de fabrication de gari, 80 à 95 % des cyanogènes disparaissent. La transformation en certains plats amène une réduction supplémentaire de la teneur restante (**Agueguia et al., 2000**).

### **Stockage**

Un stockage prolongé des produits transformés contribue à la réduction des cyanogènes. Ce phénomène a été observé sur un gari stocké pendant 4 mois. La baisse constatée était de 26,6 à 2,9 mg d'équivalent HCN/Kg (**Agueguia et al., 2000**).

Le tableau 3 donne un aperçu comparatif de l'efficacité de quelques techniques de transformation, en termes d'élimination des glucosides cyanogénétiques, par rapport à des denrées qui n'ont pas subi de traitement (**Hahn, 1989**). Les denrées non transformées sont loin de satisfaire à la norme FAO/OMS (10 mg d'équivalent HCN/Kg au maximum), mais aussi la plupart des traitements résultent en teneurs toujours élevées. Cependant, la combinaison rouissage-séchage, suivie d'une cuisson, remplit la norme.

**Tableau 3:** Teneur en HCN de divers produits de la transformation du manioc

Denrée	Méthode de transformation	Teneur en HCN (mg équivalent/Kg)
Racines	Sans traitement	112
	Séchage au soleil	3,5
	Séchage artificiel	13
	Rouissage pendant 3 jours	19
	Rouissage + cuisson	1,5
	Rouissage + séchage	16
	Garification	6
	Production de fougou	10 à 25

### I.6.3 Le rouissage : une fermentation en milieu liquide

Une des étapes clés dans la transformation des racines de manioc est le rouissage qui se fait dans l'eau. Une importante flore anaérobie agit sur les racines pour les transformer. La fermentation du manioc permet la préservation des aliments, fournit une large variété de texture et saveurs particulières appréciées des consommateurs, améliore considérablement les propriétés nutritionnelles des matières premières, améliore la stabilité interne des granules d'amidon, avec un gonflement et une solubilité réduite de l'amylose pendant le traitement thermique, favorise l'élimination des composés cyanogénétiques et rend le manioc plus digestible (Numfor *et al.*, 1998 ; Fiagan, 2007). La fermentation qui se produit au cours du rouissage de la racine ou de l'égouttage de la pulpe entraîne un net enrichissement en riboflavine (Favier *et al.*, 1995). En vue d'améliorer le procédé de rouissage, Djoulde (2005) a mis au point un ferment mixte (*Lactobacillus plantarum* et *Rhizopus oryzae*) destiné à la bioconversion des tubercules de manioc cyanogène.

### I.6.4 Techniques et produits de transformation

Le manioc est l'une des rares denrées alimentaires qui se prête autant aux transformations et qui se mange sous des formes aussi diverses. La transformation traditionnelle englobe les activités énumérées ci-dessous, bien que le nombre des étapes et leur chronologie soient variables : éplucher, réduire en petits morceaux (découper, écraser, broyer, trancher, râper), déshydrater (presser, décanter, sécher au soleil ou au feu), fermenter (à l'air ou sous l'eau), sédimenter, tamiser et cuire (faire bouillir, griller, torréfier).

A côté de quelques préparations de racines fraîches qui sont consommées cuites ou frites, il existe des produits non fermentés (pulpe sèche ou farine) et divers produits fermentés (Zakhia & Raoult-Wack, 1997). Parmi ces derniers, on distingue les produits dérivés d'une fermentation aérobie (à l'air) et ceux qui ont subi une fermentation anaérobie (sous l'eau). Ici, on note la gamme de produits suivants : pulpes sèches, farines, pulpes humides, gari. Quelle

que soit la technique de transformation, la préparation est toujours complétée par la cuisson. Les produits du type « bâton de manioc » sont nombreux. On a le *chickwangue*, encore appelé pain de manioc, aliment typique du Congo démocratique (Tollens, 2003). Il existe au Cameroun, le *miondo* et le *bobolo* (qui diffèrent par leur fermentation simple), le *mboung* au Gabon et le *mangbele* en République Centrafricaine.

#### **I.6.5 Les produits de transformation du manioc au Cameroun**

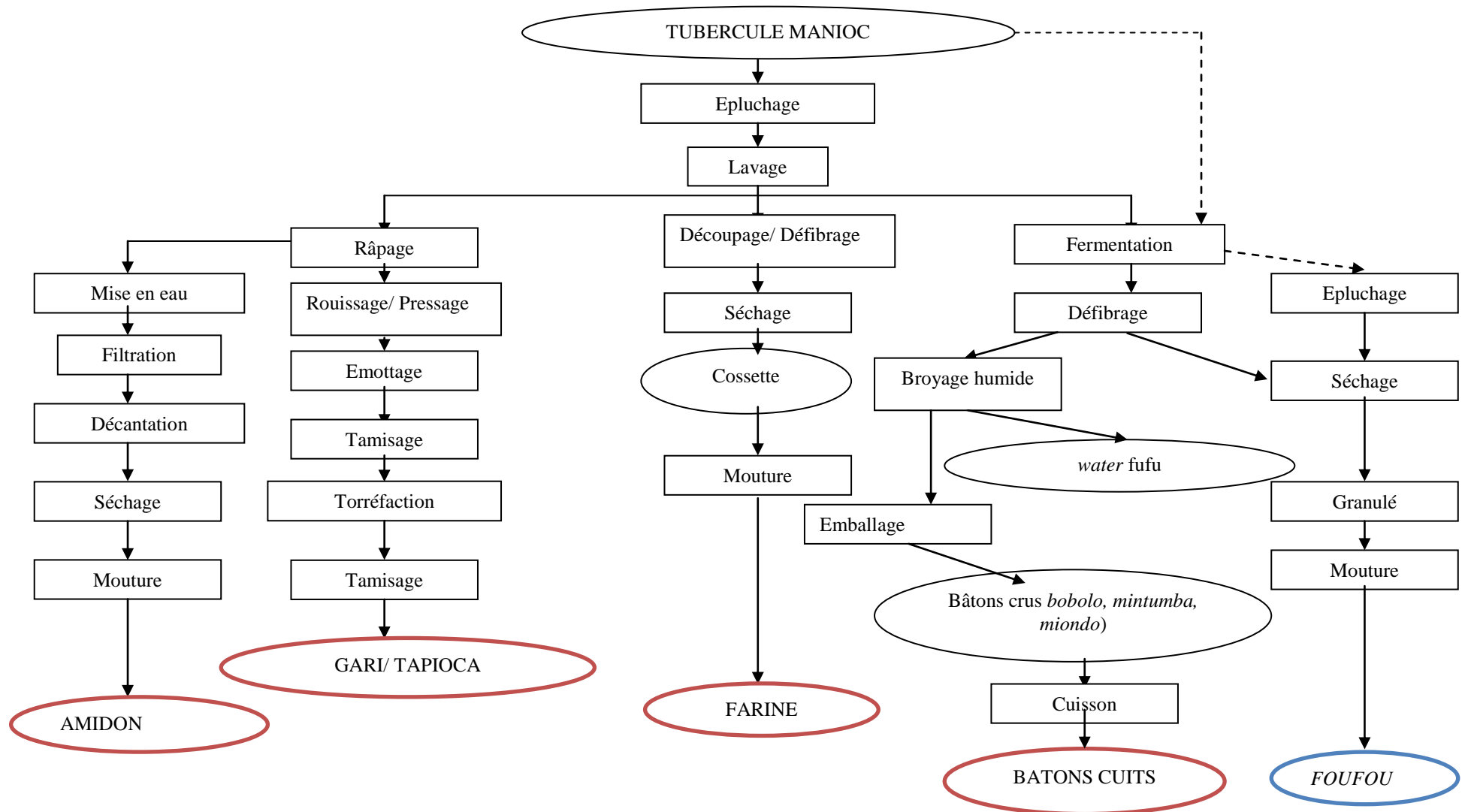
L'avenir du manioc dans les pays en voie de développement repose essentiellement sur ses produits et/ou ses dérivés (Djilemo, 2007). Au Cameroun, les produits fréquemment préparés à base de manioc (figure 1) sont :

- ✓ le *miondo* (pâte sous forme de ficelle d'environ 27 cm de long, composée de deux parties et moulée dans de feuilles de jonc ou de bananier) ;
- ✓ le *bobolo* (pâte sous forme de fil d'environ 40 cm de long, moulée dans des feuilles) ;
- ✓ le *mintoumba* (pâte jaune contenant de l'huile de palme sous forme de pain de mie, moulée dans des feuilles) ;
- ✓ les beignets de manioc obtenus par friture d'un mélange de pâtes de pulpe de manioc et de banane mûre ;
- ✓ le *gari* (semoule torréfiée) ;
- ✓ le *water fufu* : pulpe humide qui sert de base à la préparation du *miondo*, du *bobolo* et du *mintoumba*, constitue un produit semi-fini ;
- ✓ le fougou (ou *fufu*) : pâte préparée à partir de farine de cossettes ou de pulpe fermentée séchée avec de l'eau chaude (Hahn, 1989 ; Tiky Mpondo, 1995). Dans l'ensemble, le fougou est un plat à base de manioc très populaire en l'Afrique. Le groupe des fougous comprend l'*amala* du Nigeria, le *toh* de Guinée, l'*ugali* et l'*atap* (Ouganda et Tanzanie), l'*ubugali* du Rwanda et le *funge* consommé en Angola (Morlon-Guyot *et al.*, 1998 ; Rasoanantoandro-Gothard, 2003 ; Djoulde *et al.*, 2005). Des essais d'amélioration de la valeur protéique du manioc et des produits dérivés ont été menés. C'est ainsi que certains auteurs ont partiellement substitué le manioc par une source protéique d'origine végétale (Odetokun, Ayesanmi & Osuoso, 1998) ou microbienne (Essia Ngang, Kouebou & Djoulde, 2003).

#### **I.6.6 Contraintes de la transformation du manioc en Afrique**

Les méthodes traditionnelles de transformation sont souvent peu efficaces et demandent beaucoup de travail. Certains facteurs liés aux techniques culturelles, au temps, aux méthodes de récolte et au transport peuvent diminuer la qualité des racines (baisse de la teneur en amidon) et minimiser ainsi les bénéfices de la transformation. Nombre de produits issus de

la transformation artisanale des racines de manioc sont fabriqués de manière peu hygiénique et contaminés par des impuretés. En outre, certaines techniques de transformation du manioc demandent beaucoup d'intrants tels que l'utilisation abondante d'eau pendant la fermentation anaérobie ou l'emploi de bois (fabrication du gari ou séchage des boules de farine). Par conséquent, ces transformations ne peuvent se pratiquer que là où ces ressources sont suffisamment abondantes pour permettre une exploitation rentable. Si ces ressources sont mal gérées, la transformation du manioc pourrait contribuer à leur épuisement. Les racines de manioc contiennent des tannins qui donnent une couleur grise peu attrayante à certains produits dérivés, abaissant leur valeur commerciale. Selon **Hongbete (2004)**, les caractéristiques des cultivars diffèrent du point de vue de leur aptitude à des transformations spécifiques. Par ailleurs, quelques maladies sont associées à la consommation du manioc ayant été transformé dans de mauvaises conditions : le goitre, le Konzo, le diabète et le cancer (**Ranivontsoarivony *et al.*, 2001 ; Cardoso, Mirione, Ernesto, Massaza, Cliff, Rezaul *et al.*, 2005**).



**Figure 1:** Processus de production des principaux dérivés du manioc (PNDRT, 2006)

## II. LE SECHAGE

### II.1 Généralités sur le séchage

Le séchage est une méthode de conservation des aliments au cours de laquelle il y a élimination de l'eau du produit par apport de chaleur. Pour **El Mokretar et al. (2004)**, le séchage est, soit un moyen de conservation, soit une étape dans la transformation de certains produits. Il est utilisé à la fois dans le monde rural (séchage des produits agricoles, viandes, poissons) et dans le monde industriel (agro-alimentaire, textile). Ce traitement a pour objectif premier de conserver les produits (même à température ambiante) en assurant leur bonne stabilité par abaissement de l'activité de l'eau. Mais il a également pour but d'alléger le produit de manière à réduire le coût de transport et de stockage ou de donner une présentation particulière au produit. Cependant, le séchage influence significativement la forme, le goût, la texture et la valeur nutritionnelle du produit qui s'en trouvent modifiés (**Jannot, 2011**). De plus, il est coûteux en termes d'énergie. Plusieurs méthodes de séchage existent : le séchage utilisant l'énergie solaire, le séchage par entraînement (ou convectif), le séchage par conduction, le séchage par les radiations électromagnétiques et la lyophilisation (**Jiokap, 2005**). Pour ces méthodes, l'abaissement de l'activité de l'eau est le principal objectif. Un séchage correct n'est réalisable toute l'année qu'à condition de contrôler la température, l'hygrométrie et la ventilation : la maîtrise de ces trois paramètres permet de réduire les temps de séchage (**Knockaert, 1995**). En effet, tout produit d'origine végétale ou animale contient de l'eau, on peut donc distinguer dans un tel produit de masse  $m$  :

- une masse  $m_e$  d'eau,

- et la masse restante  $m_s = m - m_e$  appelée masse sèche ou anhydre du produit.

Comme pour l'air humide, on définit l'humidité ou la teneur en eau d'un produit (en base sèche) exprimé en  $\text{Kg}_{\text{eau}}/\text{Kg}_{\text{ms}}$  par :

$$X = \frac{m_e}{m_s}$$

L'activité de l'eau est le rapport entre la pression de vapeur d'eau à la surface du produit et la pression de la vapeur d'eau sur la surface plane d'un liquide à la même température.

$$A_w = \frac{p_v}{p_{\text{sat}}(T)}$$

L'humidité relative de l'air  $HR$  s'écrit :  $HR = 100 \times \frac{p_{va}}{p_s(T)}$  d'où  $HR = 100A_w$ ,  $p_{va}$  étant la pression de l'air. L'activité de l'eau dans un produit est donc également l'humidité relative

d'un air en équilibre avec le produit. Le moyen le plus simple à mettre en œuvre pour sécher un produit est de le ventiler avec un air suffisamment chaud et sec pour qu'un échange de chaleur et d'humidité s'effectue entre cet air et le produit (**Jannot, 2011**).

## **II.2 Séchage-fumage du manioc**

La technique traditionnelle consiste à exposer directement l'aliment à la chaleur et à la fumée dégagées par la combustion de bois de feu voire de biomasses plus variées selon le coût et la disponibilité. Ce procédé est très utilisé dans la conservation de la viande et du poisson (**Werlich, 2001 ; Sebastian et al., 2004**). Sur le continent noir, le fumage est généralement pratiqué afin de stabiliser des denrées alimentaires périssables (**Rivier et al., 2009**). En Afrique de l'ouest, les farines de manioc produites par ce procédé sont très consommées. Ainsi, au Nigeria, plusieurs millions de personnes consomment la farine séchée-fumée de manioc roui et connue sous le nom *pupuru* (**Odetokun et al., 1998 ; Famurewa et al., 2012**). Au Cameroun, le séchage-fumage se pratique en zone forestière humide, où pluviométrie et hygrométrie sont importantes le long de l'année. Pour déshydrater la pâte de manioc, les transformateurs mettent à profit la chaleur du feu de bois (**Shittu & Adedokun, 2010**). Des boules de pâte sont déposées sur la claie montée au-dessus du foyer (feu de bois ou de sciure de bois). Les boules de farine obtenues ont une forte odeur de fumée et doivent être raclées superficiellement sur une épaisseur d'environ 1 cm pour éliminer la croûte noirâtre les recouvrant (**Famurewa et al., 2012**). Elles sont ensuite moulues et la farine obtenue est tamisée. Les boules brutes fournissent 85 à 90% de farine, après rejet de la partie noirâtre et tamisage (**Shittu et al., 2003**). Le fumage d'une denrée lui assure deux types d'actions : antioxydante et bactériostatique (**Knockaert, 1995 ; Maas-Van Berkel, 2005**). **Rivier et al. (2009)** montrent que les fonctions préservatrices, d'aromatisation et de coloration sont bien corrélées à l'apport de fumée mais cette dernière pourrait véhiculer des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), connus pour leur pouvoir cancérigène.

## **II.3 Séchage au soleil du manioc**

Le séchage au soleil est une opération importante dans les domaines agricoles et industriels. Il consiste à éliminer totalement ou partiellement l'eau d'un produit humide autre que son eau d'hydratation (**Benaouda et al., 2005**). Il s'agit d'un séchage convectif.

Le séchage solaire est réalisé de deux manières :



- La méthode traditionnelle de séchage consistant à étaler les denrées en plein air sur une surface plane et à les exposer à l'action déshydratante du soleil. C'est la méthode actuellement pratiquée par les producteurs de farine avec plus ou moins d'améliorations.
- La méthode utilisant des capteurs solaires pour concentrer le rayonnement solaire assurant une augmentation de la température de l'air et donc une humidité relative plus faible : ce qui permet l'augmentation de la vitesse de séchage (**Jiokap, 2005**).

De nombreux travaux ont été réalisés sur le séchage solaire concernant sa cinétique de transfert de matière et de chaleur, ainsi que les effets thermiques (**Pavon-Melendez, 2002 ; Lertworasirikul, 2007**) et les effets du séchage sur les composants du manioc et sur l'influence de l'activité de l'eau (**Lertworasirikul & Tipsuwan, 2008**). Le séchage du manioc au soleil est rare en zone forestière mais plus présente en zones de savane et de sahel.

## **II.4 Caractéristiques des farines et amidons**

### **II.4.1 La farine de manioc**

D'après le **Codex Stan 176 (1991)**, la farine comestible de manioc est le produit préparé à partir de flocons ou de pâte de manioc desséché par un procédé de pilage, de broyage ou de mouture, suivi d'un tamisage pour séparer la fibre de la farine. La farine de manioc est très souvent préparée à partir de racines de manioc préalablement trempées dans l'eau quelques jours, avant d'être desséchées entières. Cette farine est blanche ou blanchâtre selon les procédés de fabrication (**Hongbete, 2004**). Elle peut être caractérisée par :

- ✓ ses propriétés structurales : la granulométrie, la structure cristalline des amidons, la porosité et l'écoulement ;
- ✓ ses propriétés fonctionnelles : le pouvoir de solubilité, le pouvoir de gonflement, la viscosité, la gélatinisation, la rétrogradation ;
- ✓ ses propriétés chimiques : le niveau d'acidité, la teneur en biopolymère (amidons, protéines, lipides), la présence des sucres réducteurs, la teneur en fibres brutes, la teneur en cendres, la teneur en glucosides cyanogénétiques et teneur en eau ;
- ✓ ses propriétés organoleptiques : la couleur, la saveur et l'odeur de la farine comestible de manioc doivent être caractéristiques du produit (**Codex Stan 176, 1991**).

Le **Codex Stan 176 (1991)** recommande la préparation de la farine comestible de manioc conformément aux bonnes pratiques de fabrication, de manière à éliminer ou à réduire au minimum les résidus des pesticides dont l'emploi peut s'avérer nécessaire pendant la production, l'entreposage ou la transformation du manioc, des flocons de manioc, de la farine de manioc ou des locaux et de l'équipement utilisés pour le traitement. Mais assez souvent, la

farine séchée-fumée de manioc présente une activité de l'eau supérieure à celle du produit séché au soleil (**Osundahunsi & Oluwatooyin, 2005**) et s'expose ainsi aux risques de dégradation au cours de stockage, liés à l'action des microorganismes tels que *Penicillium* et *Aspergillus flavus* (**Shittu et al., 2009**).

#### **II.4.2 Les amidons**

L'amidon vient du latin *amylum*, c'est-à-dire non moulu. Aussi appelé fleur de farine, l'amidon est un glucide complexe (polyoside) composé de chaînes de molécules de D-Glucose (**Rainer, 2006**). L'amidon est la principale substance glucidique de réserve des végétaux supérieurs et la plus importante source d'énergie pour la vie animale. 50 % de l'amidon produit industriellement est destiné à l'alimentation humaine. L'amidon est un composé nutritionnel abondant, renouvelable, peu coûteux, qui trouve dans les aliments de multiples fonctions comme épaississant, gélifiant, liant sous sa forme d'empois d'amidon granulaire et comme matières sucrantes, liantes, support lorsqu'il est employé sous forme hydrolysé. L'amidon est un mélange de deux homopolymères : l'amylose et l'amylopectine (isoamylose) composés d'unités de D-Anhydroglucopyranose (AGU) appartenant à la famille des polysaccharides de formule chimique générale  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Les unités AGU sont liées entre elles par des liaisons  $\alpha$  (1-4) et des liaisons  $\alpha$  (1-6) qui sont à l'origine de ramifications dans la structure de la molécule. Les deux homopolymères diffèrent par leur degré de branchement et leur degré de polymérisation. Le ratio amylose/amylopectine dépend de la source botanique de l'amidon et est généralement compris entre 0,19 et 0,36 pour le manioc (**Nuwamanya, Baguma, Emmambux, Taylor, & Rubaihayo, 2010**). Le grain d'amidon se présente sous forme de granules semi-cristallins : l'amylopectine est organisée en feuillets et forme ainsi la zone cristalline, tandis que l'amylose forme une zone amorphe entre les différents feuillets. Chez les tubercules et les racines de certaines plantes, l'amidon est appelé féculé. Au contact d'une solution iodo-iodurée, l'amidon prend une teinte violette (réaction entre l'amylose et l'iode).

L'amidon est la molécule la plus importante présente dans le manioc. 10% seulement des 60 millions de tonnes d'amidon produits annuellement proviennent du manioc. Or, l'amidon de manioc présente des caractéristiques biologiques et techniques offrant des avantages comparatifs pour compétir avec les amidons extraits du maïs, du blé et de la patate (**Henry, 1999**). Ainsi, les pays en développement pourraient transformer une plus grande partie des plus de 200 millions de tonnes de racines de manioc (bon marché) produits annuellement en amidon à valeur ajoutée et, renforceraient de ce fait, leurs économies rurales

(FAO, 2010). En outre, les propriétés physicochimiques de l'amidon de manioc diffèrent d'une variété à une autre (Sidibe, Sako & Agbo N'zig, 2007). L'amidon de manioc a une taille moyenne des grains de l'ordre de 20 µm, une forte teneur en amylopectine (83 %), une teneur en amylose de 17%, une faible teneur en protéines et en matières grasses (Djilemo, 2007). De la composition biochimique, découlent les propriétés fonctionnelles suivantes : une viscosité élevée, une résistance élevée à l'acidité et un degré de réhumidification élevé. En outre, certains procédés de séchage conduisent à une hausse de la gélatinisation. L'amidon de manioc peut être produit à partir du matériel frais (rendement 25%) ou du matériel séché avec un rendement de 60% d'amidon (Ashveen *et al.*, 2008).

#### ***II.4.2.1 Propriétés physiques***

L'amidon a, comme tout produit, des propriétés physiques qui lui sont propres :

- ✓ Influence de la température : l'amidon natif est insoluble dans l'eau mais, il forme à chaud une solution colloïdale, visqueuse et translucide qui épaisse en donnant un gel appelé empois. Les propriétés viscosimétriques ou d'empesage de l'amidon peuvent être mesurées (Crosbie & Ross, 2009).
- ✓ Température de gélification : la gélification commence graduellement à 50°C mais est effective ensuite à une température dépendante de l'agitation moléculaire, de la grosseur des grains, de la nature de l'amidon, de l'eau employée et de la concentration en amidon.
- ✓ Effet stabilisant

#### ***II.4.2.2 Rétrogradation***

Il y'a rétrogradation quand l'amidon gélatinisé retourne à sa structure cristalline initiale suite à une exposition au froid ou à température ambiante. L'amidon gélatinisé est instable et, à mesure qu'il vieillit ou refroidit, il y'a réassociation progressive des granules : les chaînes d'amylose et d'amylopectine se réorganisent entre elles pour retourner à leurs structures initiales. Les chaînes d'amylose, après être sorties du grain au cours de la gélatinisation, se recombinent sous forme de double hélice et retournent à leur structure cristalline initiale (Tara, 2005). L'amylose se réassocie ou recristallise plus rapidement que l'amylopectine. Cette différence de temps de recristallisation entre les deux familles de macromolécules est due aux chaînes de degré de polymérisation (DP) moyen de 15 de l'amylopectine qui sont les seules à subir cette transformation (les branchements étant des freins à la recristallisation) tandis que les amyloses plus mobiles peuvent tous recristalliser. Au cours de la rétrogradation, la recristallisation de l'amylopectine s'accompagne d'une libération partielle de l'eau emprisonnée dans le gel et d'une séparation de phases : c'est le

phénomène de synérèse (**Miles et al., 1985**). La rétrogradation induit la formation des amidons résistants de type III, participant ainsi à une augmentation de la teneur en amidon résistant dans les aliments ; ce qui limite le rôle énergétique de l'amidon. Les amidons résistants échappent à l'action des enzymes digestives ( $\alpha$ -amylase) et se retrouvent intacts dans le gros intestin où ils sont fermentés par la flore microbienne intestinale (**Worawikunya, 2007**). La rétrogradation peut être influencée par la composition chimique de l'amidon : le rapport amylose/amylopectine (la rétrogradation est d'autant plus importante que les amidons sont riches en amylose), la concentration en amidon et son origine botanique, la concentration en d'autres constituants du milieu (les sels d'anions monovalents retardent la rétrogradation). L'influence sur la rétrogradation peut aussi être de nature physique : la température, le pH (la rétrogradation est lente ou faible à pH inférieur à 2, rapide à pH compris entre 5 et 7, et ne survient pas à pH >10) et le temps de stockage du gel d'amidon (**Fredriksson, Silverio, Andersson, Eliasson & Aman, 1998**).

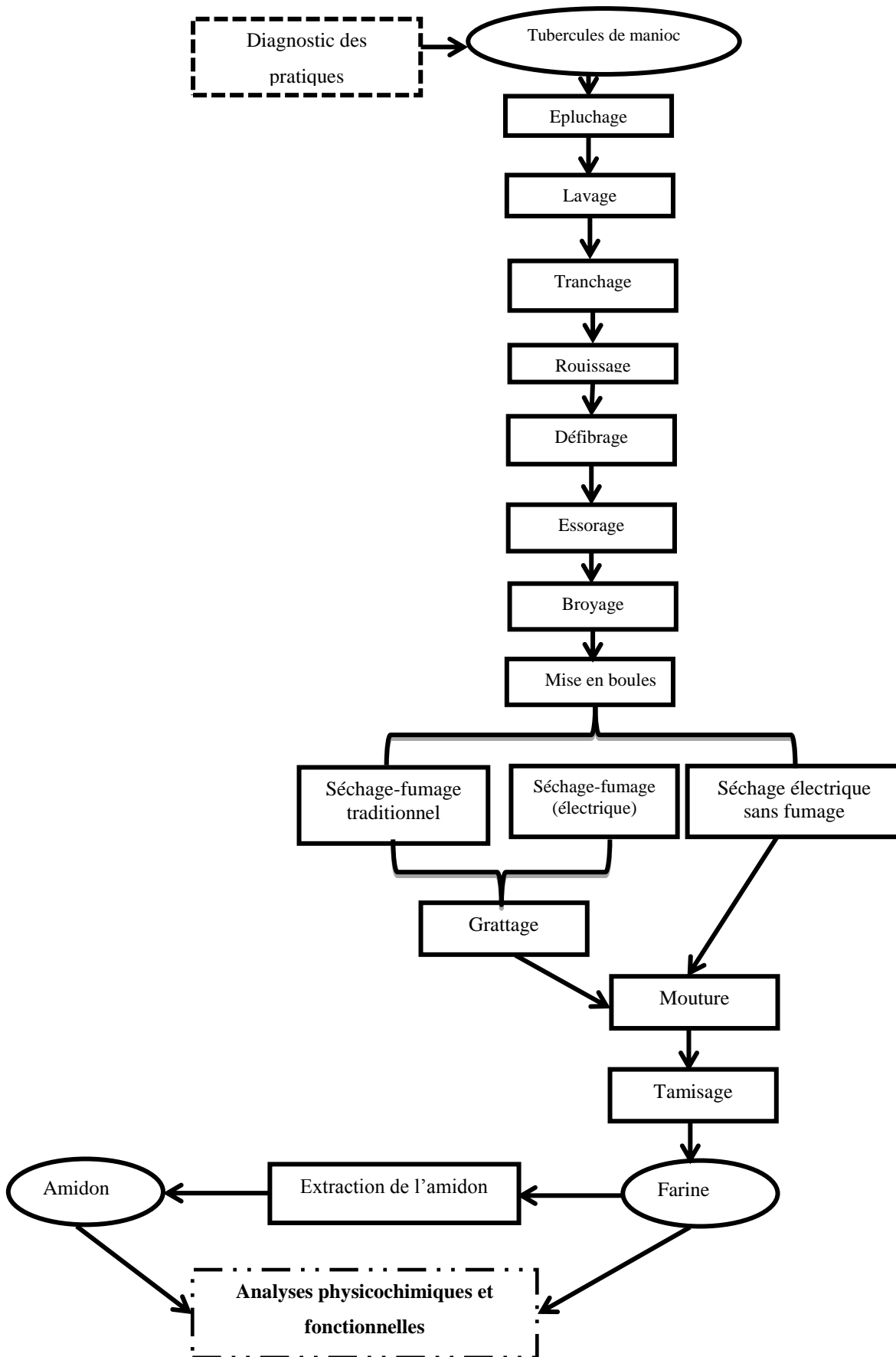
#### **II.4.2.3 La viscosité**

La viscosité est la résistance d'un fluide à l'écoulement. Lorsque les amidons sont chauffés en présence d'eau, ils développent une viscosité dans le milieu, ce qui leur confère un pouvoir épaississant. La viscosité d'une solution d'amidon est influencée par la taille des grains d'amidon : son pic est d'autant plus élevé que les grains sont gros.

Du fait d'une pluviométrie abondante, le fumage de la pâte de manioc roui constitue une pratique technique courante des populations des zones forestières. La faiblesse des données bibliographiques sur ce système, justifie qu'il soit analysé en comparaison avec les systèmes techniques de séchage au soleil. Cette étude s'appuie sur deux approches, dans le cadre du présent travail :

1. Un diagnostic des pratiques de transformation du manioc en fofou dans les régions de forêt et de savane du Cameroun. Il s'agira notamment d'analyser les charges de travail impliquées dans les opérations, les rendements induits et la perception de la qualité des produits par les opérateurs.
2. Une étude de l'influence du fumage sur la qualité de la farine de fofou. A cet égard, trois conditions de séchage de la pâte rouie seront comparées :
  - Séchage au cours du processus traditionnel de production de fofou fumé
  - Séchage dans un fumoir pilote
  - Séchage sans fumage dans un séchoir électrique.

Le schéma de la figure 2 illustre le plan général du travail envisagé.



**Figure 2:** Schéma général du travail

## DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

### I. DIAGNOSTIC DES PRATIQUES DE TRANSFORMATION DU MANIOC EN FARINE

Le diagnostic a été fait suivant une enquête structurée menée aux mois de décembre 2011 et janvier 2012.

#### I.1 Zones d'étude

Trois zones agro-écologiques de production et transformation du manioc ont été identifiées et retenues pour l'enquête de terrain (figure 3). Il s'agissait des zones :

- forestière humide à régime pluviométrique monomodal : Bafia, Ombessa, Mbankomo dans la région du Centre ;
- forestière à régime pluviométrique bimodal : Edéa dans la région du Littoral ;
- soudano-sahélienne : Garoua dans la région du Nord.

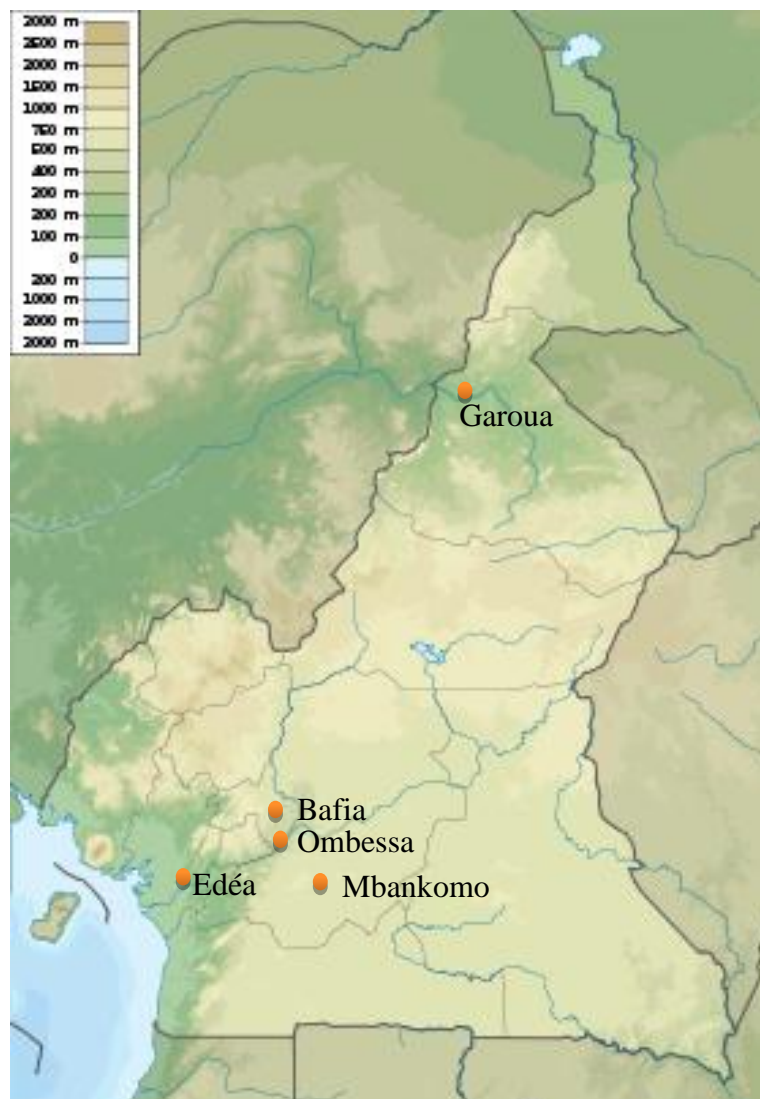


Figure 3 : Localisation géographique des zones d'étude

## **I.2 Dérroulement de l'enquête**

L'enquête de terrain a consisté à l'observation des pratiques, à des entretiens avec les opérateurs et à l'administration de questionnaires aux transformateurs de manioc.

### **I.2.1 Le questionnaire**

Le questionnaire administré aux producteurs de fofou comprenait quatre groupes de questions :

- **Identification des répondants :** il était question ici de récolter des données socioéconomiques des enquêtés. Il s'agissait des données relatives à l'âge, au sexe, à la situation matrimoniale, au niveau d'étude et au niveau de responsabilité dans l'unité de production.
- **Matière première :** cette partie comprenait des questions relatives à l'origine, la qualité, la quantité, au rythme de transformation et au rendement de matière première transformée.
- **Procédés de transformation :** dans cette rubrique, les détails sur le déroulement des opérations unitaires ont été relevés.
- **Perception de la qualité des produits obtenus :** il s'agissait ici d'évaluer les critères d'appréciation de la qualité du fofou et son mode de conservation.

### **I.2.2 Exploitation des données**

L'exploitation des données de l'enquête de terrain a été effectuée à l'aide du logiciel de gestion des enquêtes Sphinx Plus<sup>2</sup>.

## **II. PRODUCTION DE LA FARINE DE FOUFOU**

Afin de produire la farine de fofou, les tubercules ont été transformés suivant un procédé mis sur pied à la lumière des données de terrain et comportant une succession d'opérations unitaires manuelles.

### **II.1 Origine et préparation du matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé était constitué de tubercules de manioc frais, intègres et matures (variété 4115) achetés dans les plantations expérimentales de l'IRAD-Adamaoua situées à Mbang-Mboum (60 km de Ngaoundéré). Après la récolte, les tubercules ont été transportés au laboratoire de Physicochimie et Technologie Alimentaires (LPCTA) de l'ENSAI (Université de Ngaoundéré) où ils étaient directement traités dans un délai maximum de deux jours.

## **II.2 Procédé de transformation des tubercules de manioc**

### **II.2.1 Epluchage**

Les tubercules ont été épluchés à l'aide d'un couteau muni d'une lame en acier inoxydable afin de les débarrasser de leur peau.

### **II.2.2 Lavage**

La pulpe a été lavée à l'eau de robinet, puis découpée en petits morceaux parallélépipédiques de (6 cm de longueur, 4cm de largeur et 2 cm d'épaisseur).

### **II.2.3 Rouissage**

Pendant le rouissage, les morceaux obtenus ci-dessus ont été entièrement immergés dans de l'eau, pendant cinq jours dans des récipients en plastique ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Le rouissage a été réalisé suivant un rapport de 3 kg de pulpe de manioc pour 2 L d'eau (photo 3).



**Photo 3 : Rouissage de pulpe de manioc**

### **II.2.4 Lavage / défibrage**

La pulpe fermentée a été retirée de l'eau de trempage et lavée à l'eau de robinet. Cette étape permet de ralentir la fermentation (par réduction de la charge microbienne au cours du lavage) et d'éliminer des fibres grossières.

### **II.2.5 Essorage**

L'essorage a ensuite été pratiqué par introduction du produit roui et lavé dans des sacs en nylon tissé (style *banco*). Lesdits sacs ont été surmontés de charges lourdes à l'entreposage



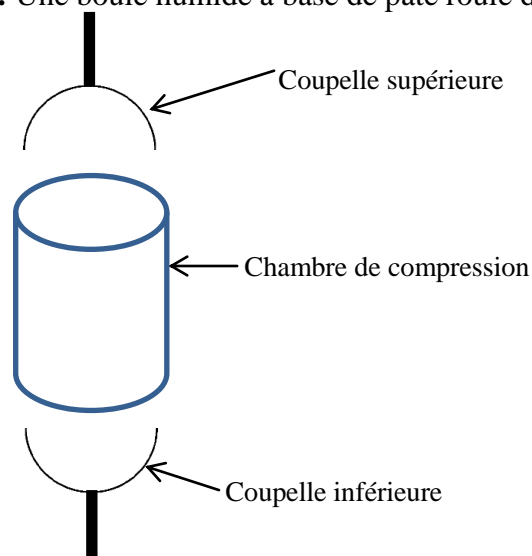
afin d'augmenter la pression sur le contenu et la teneur en eau a été réduite à environ 45%, base humide (Shittu & Adedokun, 2010). En effet, la pâte pressée sèche plus vite que les autres variantes (Barry & Diallo, 1990).

### II.2.6 Mise en boules

Le produit essoré a été soumis au broyage à l'aide d'un moulin électrique de fabrication artisanale. Pour former des boules humides, la pâte molle obtenue après broyage a été pesée à l'aide d'une balance (Denver Instruments, XL-300, Etats-Unis) et des boules sphériques pesant 300 g chacune ont été produites à l'aide d'un moule de fabrication artisanale (figure 4) constitué de 2 hémisphères de 7 cm diamètre et d'une chambre de compression. Le dispositif était réglé à l'aide d'une manivelle reliée à une vis sans fin verticale. La coupelle de base, entourée de la chambre de combustion était fixée sur une plateforme métallique horizontale. La seconde coupelle guidée par une vis sans fin descendant verticalement et s'emboîtait à l'autre. Une fois, la pression unique exercée, la coupelle supérieure était retirée et la boule formée était extraite (photo 4).



**Photo 4 :** Une boule humide à base de pâte rouie de manioc



**Figure 4:** Dispositif de mise en boule de la pâte de manioc roui

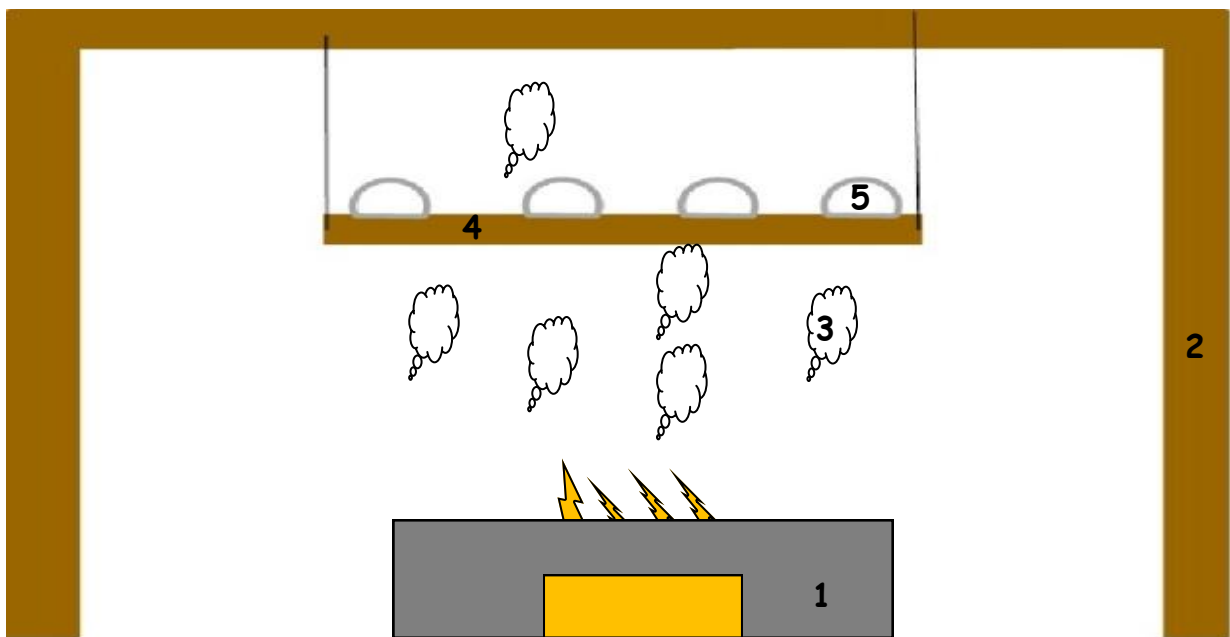
## II.2.7 Séchage

Le séchage s'est fait suivant trois modalités : le procédé traditionnel de séchage-fumage, le séchage au fumoir électrique et le séchage des boules humides à l'étuve suivant les conditions définies par **Osundahunsi et Oluwatooyin (2005)**.

## II.2.8 Séchage-fumage

### II.2.8.1 Procédé traditionnel

L'échantillon a été traité de façon similaire aux conditions traditionnelles de séchage-fumage. Une claie de fabrication artisanale a été placée à 90 cm au-dessus du foyer à sciure de bois et du bois provenant de l'essence végétale (*Ayous*) a été utilisée (figure 5). La claie était constituée d'un cadre rectangulaire en bois (100 cm x 75 cm) muni d'une grille disposant de mailles de 1 cm de diamètre. La température était comprise entre 57 et 68°C. L'hygrométrie ambiante mesurée à l'aide d'un hygromètre (Hanna Instruments, Roumanie) était de 68 %. L'échantillon a été séché-fumé jusqu'à obtention d'une masse constante.



**Figure 5** : Schéma d'un dispositif traditionnel de séchage-fumage  
1 : Foyer (bois et sciure de bois), 2 : Support du séchoir ; 3 : Fumée émise, 4 : Séchoir, 5 : Boule à sécher

### II.2.8.2 Séchage au fumoir électrique

L'échantillon a été traité dans un séchoir-fumoir électrique (Matindex, France). Il s'agit d'un appareil [photo (B)] équipé d'un moteur et constitué d'une enceinte de séchage à plusieurs claies et d'un four périphérique fumigène muni d'un souffleur, alimentant la

chambre de séchage en fumée, elle-même issue de la combustion de la sciure de bois de l'essence végétale *Ayous*. La température réglée à  $62 \pm 2^\circ\text{C}$  était la médiane de l'intervalle de température obtenue au paragraphe II.2.7.1. L'hygrométrie moyenne, mesurée à l'aide d'un hygromètre (Hanna Instruments, Roumanie), était de 68 % à l'intérieur. La vitesse de l'air était de 0,8 m/s. Les boules humides ont été disposées au milieu de l'enceinte de séchage sur des claies. L'échantillon a été séché-fumé jusqu'à obtention d'une masse constante.



**Photo 5 :** (A) Séchoir - fumoir électrique (Matindex) ; (B) Etuve (Memmert)

### ***II.2.8.3 Séchage au four électrique sans fumage***

Le témoin a été séché dans une étuve de marque Memmert [photo (B)]. La température réglée à  $62 \pm 2^\circ\text{C}$  était la médiane de l'intervalle de température obtenue au paragraphe II.2.7.1. L'hygrométrie moyenne, mesurée à l'aide d'un hygromètre (Hanna Instruments, Roumanie), était de 68 % à l'intérieur. La vitesse de l'air était de 0,8 m/s. Les boules humides ont été disposées à l'intérieur de la chambre de séchage sur des claies. Les boules humides ont été séchées-fumées jusqu'à obtention d'une masse constante.

## **II.3 Obtention de la farine**

A la fin de l'opération de séchage-fumage, les boules séchées-fumées ont été grattées à l'aide d'un couteau muni d'une lame en acier inoxydable, afin d'éliminer la croûte noirâtre. Les boules séchées sans fumage n'ont pas été grattées. Toutes les boules ont été ensuite moulues à l'aide d'un mortier traditionnel. La poudre grossière obtenue a été tamisée à l'aide

d'un tamis de 300 $\mu$ m de maille afin d'éliminer les fibres. La farine obtenue a été emballée dans des sacs plastiques étanches à l'humidité et préalablement étiquetés. Une partie des boules de fougou humides a servi à l'étude de la cinétique de séchage d'après les trois conditions énumérées au paragraphe II.2.7.

### III. ETUDE DE LA CINETIQUE DE SECHAGE

#### III.1 Mise en œuvre du séchage

Deux approches ont été utilisées dans la mise en œuvre de l'étude du séchage : une approche globale (cinétique de séchage de la boule entière) et une approche fine (cinétique de séchage des tranches unitaires de boules).

##### III.1.1 III.1 Approche globale

Les boules ont été prélevées à intervalles de temps prédéfinis (0, 1, 2, 3,4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16 heures), puis pesées à l'aide d'une balance électronique (Denver Instruments, XL-300, Etats-Unis) et leur teneur en eau a été déterminée (AFNOR, 1982). Le séchage s'est fait jusqu'à poids constant des boules.

##### III.1.2 Essai de suivi du transfert d'eau dans les tranches unitaires de la boule

Les boules ont été prélevées à intervalles de temps prédéfinis (0, 1/2, 1, 3/2, 2, 3, 4 heures), puis tranchées en lamelles minces de 1cm d'épaisseur (figure 6) à l'aide d'une trancheuse de fabrication artisanale (figure 7). Cette dernière était constituée de deux compartiments reliés par des paumelles. Un compartiment inférieur fait d'un morceau de planche carrée de 7 cm x 7 cm et un compartiment supérieur constitué d'un cadre en bois carré (dimension 7 cm x 7 cm) traversé par 06 lames d'acier inoxydable espacées les unes des autres de 1 cm. Les tranches ont été pesées à l'aide d'une balance électronique (Denver Instruments, XL-300, Etats-Unis) et leur teneur en eau a été déterminée (AFNOR, 1982).

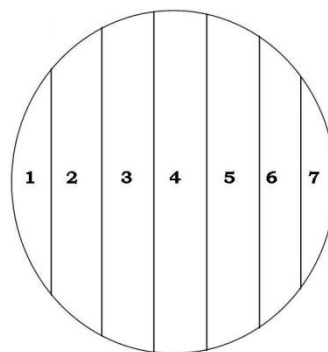
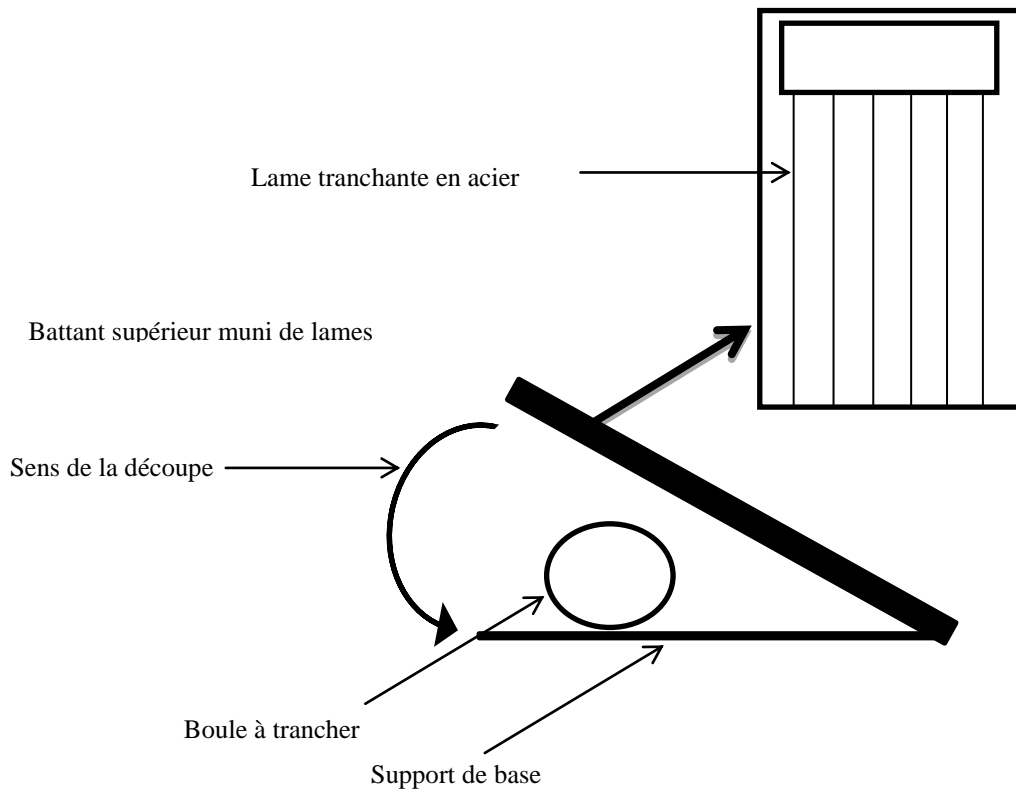


Figure 6: Plan de tranchage d'une boule de fougou



**Figure 7 :** Schéma de la trancheuse de boule de fabrication artisanale

### III.2 Analyse des paramètres du séchage :

Les données collectées dans le suivi du séchage ont permis de déterminer la vitesse instantanée de séchage, la constante de séchage et l'humidité d'équilibre (considéré comme teneur en eau du produit sec dans les conditions de l'analyse). Pour ce faire, les surfaces d'évaporation de l'eau de la boule entière et des tranches ont été considérées comme étant infiniment grandes par rapport à l'épaisseur des échantillons, ce qui permet de supposer que le transfert d'eau se fait selon la seconde loi de Fick. De ce fait l'équation simplifiée de **Henderson et Perry (1976)** a été utilisée comme modèle descriptif de diffusion de l'eau. Cette équation (équation 1) donne la variation de l'eau libre ( $H_r$ ) de l'échantillon au cours du temps.

$$H_r = \frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = A e^{(-kt)} \quad (1)$$

$H_r$  : Humidité résiduelle, en g [H<sub>2</sub>O] g<sup>-1</sup>[MS]

$H_t$  : Teneur en eau après un temps (t) en g [H<sub>2</sub>O] g<sup>-1</sup>[MS]

$H_0$  : Teneur en eau initiale (g), en g [H<sub>2</sub>O] g<sup>-1</sup>[MS]

$H_e$  : Humidité d'équilibre, en g [H<sub>2</sub>O] g<sup>-1</sup>[MS]

A : constante pré exponentielle

t : temps de séchage (h)

k : constante de séchage ( $h^{-1}$ )

En considérant qu'à l'équilibre :

- La vitesse de séchage est nulle, c'est-à-dire :  $dH_t/dt = 0$

- et  $H_t = H_e$

Alors, la représentation graphique de la variation de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau du produit, c'est-à-dire  $dH_t/dt = f(H_t)$  permet de calculer  $H_e$ , qui est la valeur à laquelle la courbe coupe l'axe des abscisses. Cette détermination se fait en procédant à une régression linéaire des dernières valeurs de la courbe  $dH_t/dt = f(H_t)$ .  $H_e$  est alors l'ordonnée à l'origine de la régression linéaire.

En remplaçant  $H_e$  dans l'équation (1) et en linéarisant cette dernière sous la forme logarithmique (équation 2), La valeur de k est obtenue à partir du tracé de la droite de régression linéaire  $\ln H_t$ , en fonction de t, k étant la pente de la droite de régression.

$$\ln H_t = f(t) = -kt + \ln A \quad (2)$$

#### IV. EXTRACTION DE L'AMIDON TOTAL

L'extraction de l'amidon à partir des farines a été faite suivant la méthode modifiée de **Sathe, Desphande & Salunkhe (1982)**. Dans la procédure d'extraction, 1 Kg de farine a été mélangé à 10 L d'eau distillée contenue dans une cuvette et l'ensemble agité pendant 30 min. La cuvette a été par la suite recouverte à l'aide de papier aluminium et placé à 40°C pendant 5 h pour l'extraction de l'amidon. Le mélange ainsi obtenu a été filtré sur mousseline (**Filtrat 1**). Au culot obtenu 10 L d'une solution NaCl 2% ont été ajoutés et l'ensemble agité pendant 10 mn dans les mêmes conditions que précédemment. La cuvette a à nouveau été recouverte de papier aluminium et laissé au repos pendant 12 h avant que son contenu soit à nouveau filtré sur mousseline (**Filtrat 2**). Le résidu a été lavé à plusieurs reprises à l'eau distillée puis 10 L de NaOH 0,03 M ont été ajoutés et l'ensemble laissé au repos à 4°C pendant 12 h. Le mélange obtenu a été une fois de plus filtré sur mousseline (**Filtrat 3**). Le résidu a été ensuite lavé à l'eau plusieurs fois et passé à travers un tamis de maille 75  $\mu m$  pour l'élimination des fibres (**Filtrat 4**). L'ensemble des filtrats a été centrifugé à 3500 trs/min pendant 15 min et le culot (amidon frais) obtenu a été étalé sur une plaque en aluminium et séché dans une étuve à la température de  $30^{\circ} \pm 2^{\circ}C$  pendant 12h. L'amidon obtenu a ensuite été pesé puis le rendement d'extraction ( $R_E$ , %) a été déterminé.

$$R_E = \frac{\text{Masse d'amidon sec (g)}}{\text{Masse de farine (g)}} \times 100 \quad (3)$$

L'amidon a été scellé dans des sachets en polyéthylène et stocké dans un réfrigérateur à 4°C pour analyses ultérieures.

## V. ANALYSE DE LA FARINE ET DE L'AMIDON DE MANIOC ROUI

### V.1 Propriétés physicochimiques de la farine et de l'amidon de manioc roui

#### V.1.1 Teneur en eau et matière sèche de la farine et de l'amidon de manioc roui

La teneur en eau (TE) désigne la perte de masse après dessiccation complète. La méthode utilisée est celle décrite par **AFNOR (1982)** qui consiste à déshydrater l'échantillon à 105°C dans une étuve isotherme à la pression atmosphérique jusqu'à masse pratiquement constante (24 h). 100 g d'échantillon ont été utilisés. Après refroidissement dans un dessiccateur, les échantillons ont été pesés. Le résidu sec total ou matière sèche (MS) est exprimé en pourcentage de matière fraîche suivant la formule :

$$MS (\%) = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100 \quad (4)$$

$M_1$  : masse de la capsule contenant l'échantillon avant le séchage à l'étuve

$M_2$  : masse de la capsule contenant l'échantillon après le séchage à l'étuve

$M_0$  : masse de la capsule vide.

Les résultats sont la moyenne de 3 déterminations.

La teneur en eau et en matières volatiles notée H se réduit au taux de matière sèche par la formule :  $TE(\%) = 100 - MS$  (5)

#### V.1.2 Teneur en amidon total, amylose et amylopectine de la farine et de l'amidon de manioc

Ces dosages ont été réalisés selon la méthode décrite par **Jarvis & Walker (1993)**. L'iode ( $I_2$ ) interagit avec l'amylose et l'amylopectine pour donner une coloration respectivement bleue et brune. Les spectres des complexes  $I_2$ -amylose et  $I_2$ -amylopectine sont différents. De ce fait ces complexes ont des longueurs d'ondes maximales pour l'amylose ( $\lambda_{\text{max}} = 630 \text{ nm}$ ) et l'amylopectine ( $\lambda_{\text{max}} = 548 \text{ nm}$ ) qui sont différentes. En plus l'amylose absorbe dans le proche visible tandis que l'amylopectine n'y absorbe pas. On peut donc utiliser cette différence spectrale pour doser simultanément l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine dans un matériel biologique. Dans cette manipulation, on a considéré que l'absorbance à 580 nm est liée à la fois à l'amylose et à l'amylopectine, par contre l'absorbance à 720 nm est liée essentiellement à l'amylose.

## Matériels et réactifs

Matériel : un bain-marie, un spectrophotomètre UV-visible, des tubes à essais, une centrifugeuse, une plaque chauffante.

Réactif : réactif de l'iode [0.2 g de I<sub>2</sub> dissout dans 100 mL de KI à 2 % (p/v) dans 0.1 N HCl], amidon de pomme de terre, KOH (1N), HCl (1N).

## Mode opératoire

0,5 g d'amidon a été dispersé dans 20 mL d'eau distillée. 80 mL d'eau distillée bouillante y ont été ajoutées. Le mélange a été légèrement agité et l'ébullition a continué pendant 5 min sur une plaque chauffante pour obtenir une solution d'amidon limpide. Le mélange a été refroidi et complété à un volume de 100 mL avec l'eau distillée. Ceci a constitué une solution stock d'amidon à 5 mg/mL. La courbe d'étalonnage a été établie (tableau 4).

## Courbe d'étalonnage de l'amidon standard

**Tableau 4** : Etablissement de la courbe d'étalonnage

Réactif/tube	T <sub>0</sub> (Blanc)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Amidon (5 mg/mL) en mL	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
H <sub>2</sub> O (mL)	4,9	4,88	4,86	4,84	4,82	4,80
Réactif I <sub>2</sub> /KI (mL)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calcul [amidon] (mg/mL)						
Durée d'incubation		10 min avant les lectures des DOs				
DO <sub>1</sub> (580 nm)	0	0,03	0,078	0,127	0,183	0,255
DO <sub>2</sub> (720 nm)	0	0,026	0,068	0,123	0,174	0,249

Pour l'amidon :  $DO = 0,0509Q - 0,0661$  avec  $Q =$  quantité d'amidon ;  $R^2 = 0,9843$

Pour l'amylose :  $DO = 0,0498Q - 0,0677$   $Q =$  quantité d'amylose ;  $R^2 = 0,9777$

Préparation de l'échantillon à analyser : 0,1 g de farine a été pris et 5 mL de 1 N KOH y ont été ajoutés. La solution a été bien homogénéisée à la température ambiante, puis neutralisée avec 5 mL de 1 N HCl. La neutralité de la solution a été assurée à l'aide d'un papier pH. Le mélange a ensuite été mis en ébullition au bain-marie pendant 15 min. Le volume du mélange a été réajusté à 10 mL. Le mélange a été centrifugé et le surnageant récupéré. Ce dernier a été filtré et utilisé pour le dosage de l'amidon (tableau 5).

**Tableau 5**: Dosage de l'amidon dans les farines

Réactif / Echantillon	Blanc (mL)	Echantillon 1 (mL)	Echantillon 2 (mL)
Echantillon	0	0,05	0,05
H <sub>2</sub> O	4,90	4,85	4,85
Réactif I <sub>2</sub> /KI	0,1	0,1	0,1
Durée d'incubation	10 min avant les lectures des DOs		
Moy. DO (580 nm)			
Moy. DO (720 nm)			



A l'aide de ces mesures, les proportions d'amidon total, d'amylose et d'amylopectine dans les échantillons ont été calculées. Les mesures ont été faites en triplet.

### V.1.3 Mesure du pH de la farine et de l'amidon de manioc roui

Le pH a été mesuré selon la méthode décrite par (AOAC, 1990). 5g de matière sèche de chaque poudre ont été pesés dans des béchers et mélangés avec 20 mL d'eau distillée. La suspension obtenue a été agitée à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 5 min puis laissée au repos pendant 10 min. Le pH de la phase aqueuse a été mesuré en utilisant un pH-mètre calibré, à  $25,03 \pm 0,22$  °C.

### V.1.4 Acidité totale de la farine et de l'amidon de manioc roui

L'acidité totale a été dosée dans un volume du surnageant décrit ci-dessus (paragraphe V.2.2) par la titration d'une solution de NaOH 0,1 N en présence de 0,1% d'une solution de phénolphthaléine-alcool par la méthode normée (AFNOR, 1982).

0,1 mL de phénolphthaléine (0,05 % dans eau-éthanol 1/1 (v/v) dans l'échantillon) a été ajouté ; le mélange a été titré avec la solution de NaOH 0,1 N (4g/l). La titration a été arrêtée lorsque la couleur jaune initiale a viré au rose, persistant pendant au moins 30 secondes ; la descente de la burette a été lue et le volume  $V_{\text{NaOH}}$  (en mL) a été noté.

L'acidité titrable (AT), exprimée en milliéquivalent pour 100 grammes d'échantillon, a été calculée suivant la formule :

$$AT = \frac{V_i \times 100}{m_i \times f}$$

Avec :  $V_i$  : volume (mL) de la soude noté au point de virage ;  $m_i$  : la prise d'essai et  $f$  : facteur de dilution de la soude ( $f = 10$  dans le présent cas).

### V.1.5 Teneur en lipides totaux de la farine et de l'amidon de manioc roui

Elle est déterminée selon la méthode Russe décrite par Bourely (1982). Le dosage des lipides repose sur l'extraction basée sur la solubilité différentielle des lipides dans les solvants d'extraction. Elle se fait à chaud dans un Soxhlet pendant 08 heures. Après extraction, le solvant est éliminé par évaporation et l'huile obtenue est séchée à l'étuve.

20 g de poudre ont été introduits dans des sachets de papier filtre Whatman séchés et tarés. La masse  $M_1$  de l'ensemble ballon et billes d'extraction a été notée avant extraction de l'huile. L'extraction de l'huile a été effectuée au Soxhlet avec de l'hexane pendant une durée de 8 H. Après extraction, le solvant est éliminé par évaporation au rota vapor et l'extraction d'huile a été parachevée par le séchage du ballon à l'étuve, pendant 20 min. afin d'éliminer l'hexane résiduel. La masse  $M_2$  de l'ensemble ballon, billes et huile a été notée après extraction totale de l'huile.

## Expression des résultats

La teneur en lipides totaux (TH), pour 100g d'échantillon, exprimée en g/100g MS à 0% d'humidité est donnée par la formule suivante :

$$TH = (M_2 - M_1) / MS \times 100$$

$M_1$  : masse de l'ensemble ballon-billes avant traitement ;

$M_2$  : masse de l'ensemble ballon-billes-huile après extraction d'huile ;

MS : masse sèche de l'échantillon traité.

Le résultat est la moyenne de trois déterminations.

## V.1.6 Teneur en sucres réducteurs de la farine et de l'amidon de manioc roui

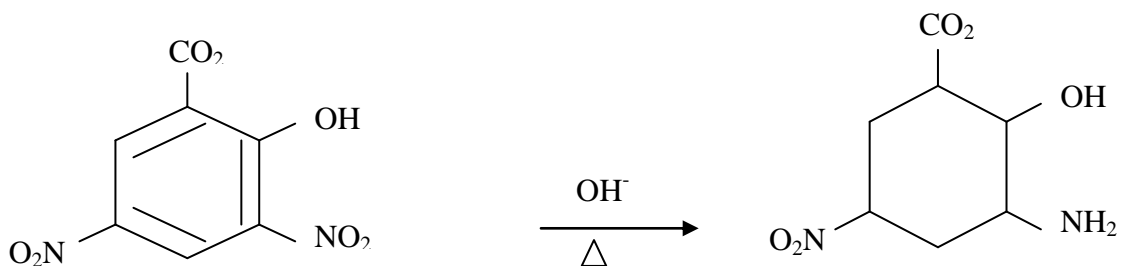
### V.1.6.1 Extraction des sucres solubles

5g d'échantillon ont été introduits dans 50 mL d'eau distillée et l'ensemble porté au bain- marie bouillant pendant 15 minutes. Le mélange a été ensuite filtré à l'aide d'un papier filtre Whatman N°1, le résidu a été rincé deux fois avec 2 x 10 mL d'eau distillée. 1mL d'acétate de zinc (2g/100mL) et 1mL de ferrocyanure de potassium (10,6g/100mL) ont été ajoutés au surnageant et filtrés à nouveau à l'aide d'un papier filtre Whatman N°1 dans une fiole de 100 mL. Le volume du filtrat est alors complété à 100 mL avec l'eau distillée.

### V.1.6.2 Dosage des sucres extraits (Méthode au DNS)

Les glucides disponibles ont été déterminés par analyse des sucres réducteurs en utilisant la méthode à l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS) de **Fischer & Stein (1961)**, après traitement hydrothermique. 0,5 g d'échantillon ont été introduits dans un Erlen muni d'un bouchon avec un tube de dégagement et 10 mL d'eau distillée y ont été ajoutés, puis l'Erlen a été fermé et le mélange chauffé dans un bain-marie bouillant pendant 60 mn. Après refroidissement à température ambiante, 10 mL d'éthanol à 70%, 0,5 mL de sulfate de zinc (2 g/100 mL) et 0,5 mL de ferrocyanure de potassium (10,6 g/100 mL) ont été ajoutés dans le milieu puis, le mélange a été filtré avec du papier filtre dans une fiole de 50 mL et le volume du filtrat ajusté jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

0,25 mL du filtrat dilué ont été ajoutés dans un tube à essai, ainsi que 0,5 mL de NaOH 1 N et 0,25 mL de DNS. Le mélange a été chauffé dans un bain-marie bouillant pendant 5 min puis 4 mL d'eau distillée ont été ajoutés dans le milieu. Le mélange a été agité et l'absorbance lue à 540 nm contre un blanc. La coloration est proportionnelle à la longueur d'onde et permet de quantifier les sucres réducteurs en solution (Figure 8).



Acide 3, 5 dinitrosalicylique  
(Composé jaune)

Acide 3-amino 5-nitrosalicylique  
(Composé orangé)

**Figure 8 :** Equation de la réaction de réduction du DNS

### Réactifs

#### **Solution de DNS**

Dans une fiole de 100 mL, 1 g de DNS a été pesé et dissout dans 20 mL de NaOH 10%. 30 g de tartrate double de Na et de K ont été pesés et dissouts dans 50 mL d'eau distillée jusqu'à la jauge de la fiole. Les deux solutions ont été mélangées et le volume complété à 100 mL avec l'eau distillée.

#### **Standard de glucose**

La solution standard  $S_1$  de glucose de concentration 1 mg/mL a été préparée. Ainsi, 0,2 g de glucose a été mélangé dans 100 mL d'eau distillée. Les solutions standard respectives  $S_2= 0,25$  mg/mL;  $S_3= 0,5$  mg/mL;  $S_4= 1$  mg/mL;  $S_5 = 1,5$  mg/mL ont été préparées par dilution de la solution  $S_1$ .

#### **Mode opératoire**

A l'aide des solutions étalon  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  du glucose, la gamme d'étalonnage a été préparée et le dosage des échantillons a été effectué comme indiquée dans le tableau 6.

#### **Expression des résultats**

La quantité de sucres réducteurs de chaque prise d'essai est déterminée en se reportant sur la courbe d'étalonnage d'équation de régression :  $DO=0,3921Q-0,263$ . Avec DO : Densité Optique, Q : quantité de sucres réducteurs et  $R^2 = 0,9838$ .

**Tableau 6 :** Procédure de dosage des sucres réducteurs par la méthode au DNS

N° de tubes	1	2	3	4	5	6	Inconnu
		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	
Standard glucose 1mg/mL (mL)	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	/
Solution à doser (mL)	/	/	/	/	/	/	0,25
NaOH	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Eau distillée (mL)	1,25	1	1	1	1	1	1
DNS (mL)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Incuber les tubes dans un bain marie bouillant pendant 5 min, refroidir immédiatement dans l'eau glacée							
Eau distillée (mL)	4	4	4	4	4	4	4
DO à 540 nm							

### V.1.7 Teneur en fibres brutes de la farine et de l'amidon de manioc roui

La teneur en fibres brutes ou fibres insolubles des échantillons a été déterminée par la méthode de Weende (**Wolff, 1968**). Cette méthode consiste à traiter l'échantillon à ébullition par l'acide sulfurique et ensuite par la soude. Le résidu obtenu est séché puis calciné et pesé. Le principe est basé sur l'extraction des substances solubles dans l'acide sulfurique dilué et ensuite dans la solution de soude. La différence entre masse du résidu séché et celle du résidu incinéré représente les fibres brutes de l'échantillon.

1g de la poudre d'échantillon a été introduit dans un bêcher contenant de l'acide sulfurique 0,255 N, le mélange a été ensuite porté à ébullition pendant 30 min puis filtré. Au résidu a été ajouté de la soude 0,313 N puis le mélange a été à nouveau porté à ébullition pendant 30 min. Après filtration, le résidu a été lavé 3 fois à l'eau distillée chaude et 2 fois à l'acétone. L'insoluble obtenu a été séché à 105°C pendant 8H et pesé ( $M_1$ ). Ce résidu sec a été soumis à une incinération à 550°C pendant 3H et les cendres ont été pesées ( $M_2$ ).

#### Expression des résultats

La teneur en fibres brutes (g/100g MS) est donnée par la relation suivante :

$$TF(\%MS) = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M} \times \frac{100}{MS}$$

M : Masse de l'échantillon ;

$M_1$  : Masse de l'échantillon après étuvage ;

$M_2$  : Masse de l'échantillon après incinération ;

MS : Matière sèche.

Le résultat est la moyenne de trois déterminations.

### V.1.8 Teneur en cendres totales des farines et amidons de manioc rouis

Les cendres totales ont été déterminées suivant la méthode 920.87 (**AOAC, 1990**) qui consiste à calciner environ 10 g d'échantillon sec dans un four à moufle à une température de 550 °C en atmosphère oxydante, jusqu'à obtention d'un résidu blanchâtre. Les cendres totales ont été déterminées suivant la méthode 920.87 (**AOAC, 1990**) qui consiste à calciner environ 10 g d'échantillon sec dans un four à moufle à une température de 550 °C en atmosphère oxydante, jusqu'à obtention d'un résidu blanchâtre.

Après détermination du taux de matière sèche, le creuset en porcelaine contenant la matière sèche a été chauffé à 550 °C pendant une nuit et refroidi dans un dessiccateur pendant 1 h avant d'être pesé.

#### Expression de résultats

La teneur en cendres, pour 100 g de matière sèche est calculée par la formule :



## Préparation de la gamme d'étalonnage pour dosage des protéines

Dans une série de tubes à essai, les solutions ont été introduites comme indiqué dans le tableau 7. Le tube inconnu (i) est celui contenant le minéralisât d'échantillon. La solution réactive est un mélange de 15 mL de formaldéhyde 37 % (v/v), de 7,8mL d'acétylacétone et de l'eau distillée, quantité nécessaire pour obtenir 100 mL de solution.

**Tableau 7 :** Etalonnage pour le dosage des protéines brutes

<b>Tubes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Inconnu</b>
Echantillon	/	/	/	/	/	/	/	0,1
Solution standard 0,004 mg de N/mL (mL)	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	/
Acétate de Na à 41 g/500 mL H <sub>2</sub> O (mL)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Solution réactive (en mL)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Plonger les tubes dans de l'eau bouillante (100°C) pendant 15mn puis refroidir dans un courant d'eau froide pour baisser la température à 30°C.								
Eau distillée (en mL)	7,2	6,95	6,7	6,45	6,2	5,95	5,7	7,1
Quantité d'azote (µg)	0	10	20	30	40	50	60	-
DO à 412 nm								

### Expression des résultats

La quantité d'azote de chaque prise d'essai est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage de sulfate d'ammonium d'équation de régression :

$$DO = aQ + b$$

Avec un coefficient de corrélation R (à déterminer).

Soient Q = la quantité d'azote en µg dans le volume d'échantillon analysé (0,1 mL), m la prise d'essai et Q' la quantité d'azote en µg dans 100g d'échantillon sec on a :

$$Q' = 100 \times 250 \times Q \frac{100}{(m \times (100 - T_e))}$$

Où :

m : masse d'échantillon minéralisée,

Te : teneur en eau résiduelle de l'échantillon analysé.

La teneur en protéines brutes (TP) est déterminée par la formule :

$$TP = (g/100g MS) = 6,25 * Q$$

Le résultat est la moyenne de trois déterminations.

### V.1.10 Teneur en glucosides cyanogénétiques de la farine et de l'amidon de manioc

La préparation du papier picrate alcalin a été réalisée selon la méthode décrite par **Makkar, Siddhuraju et Becker (2007)**. L'acide cyanhydrique, libéré de l'échantillon, réduit le picrate de sodium en composé coloré rouge : l'intensité de la coloration étant proportionnelle à la quantité dudit composé dans le milieu. L'intensité de la couleur est mesurée à 510 nm.

## Réactifs

Du tampon phosphate de sodium (0,2 M, pH8) a été préparé à partir d'une solution stock A 0,2 M  $\text{NaHPO}_4$  (27,8g dans 1L d'eau distillée) et d'une solution stock B 0,2 M  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (35,6g dans 1L d'eau distillée). 5,3 mL de la solution A ont été prélevés, puis mélangés avec 94,7 mL de la solution B. Le pH a été ajusté à 8 et le volume complété à 200 mL avec l'eau distillée.

### Carbonate de sodium (2,5%) :

2,5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ont été dissouts dans 80 mL d'eau distillée et le volume complété à 100 mL avec de l'eau distillée.

### Acide picrique (1,4%) dans 2,5% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

1,4 g d'acide picrique humide a été dissout dans 100 mL de 2,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Après avoir mélangé la solution, des dilutions de 1 : 500 avec l'eau distillée ont été préparées et la valeur de l'absorbance a été lue à 385 nm (l'absorbance doit être au moins égale 1,0).

### Papier picrate :

Un morceau de papier filtre Whatman N°1 a été plongé dans la solution d'acide picrique et sa couleur a immédiatement viré du blanc au jaune. 30 min après, les papiers. Le papier filtre a ensuite été séché à l'air, puis découpé (3 cm x 1 cm). Le papier picrate a été stocké à 4°C dans un milieu obscur jusqu'à utilisation.

## Préparation de l'extrait

100 mg de poudre ont été pesés dans un Erlen Meyer muni d'un bouchon et 1 mL du tampon phosphate (0,2 M ; pH8) y a été versé. Un papier picrate a été inséré en l'attachant à un bouchon circulaire et placé de façon à ce qu'il pende dans le vide au-dessus de la phase liquide. La bouteille a été immédiatement fermée avec un bouchon à vis. Après 24 h d'incubation à 30°C, le papier picrate a été retiré avec précaution, puis immergé dans un tube en verre contenant 5 mL d'eau distillée et agité légèrement pendant 30 min à température ambiante. Le papier décoloré a été retiré et le tube a été placé dans un bain d'eau bouillante pendant 5 min. La solution a été centrifugée à 4000g pendant 5min et l'absorbance a été mesurée à 510 nm contre le blanc.

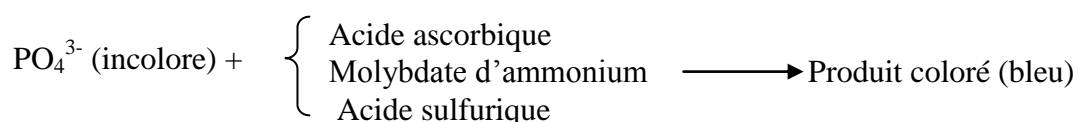
## Préparation de la courbe d'étalonnage

241 mg de KCN ont été dissouts dans 1 mL d'eau distillée. La solution équivaut à 100  $\mu\text{g}$  de HCN/mL. A partir de cette solution, un aliquote a été prélevé séparément de 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 et 1,0 mL dans une bouteille en verre muni d'un bouchon et 0,9 ; 0,8 ; 0,7 ; 0,6 ; 0,5 ; 0,4 ; 0,3 ; 0,2 ; 0,1 et 0,0 mL d'eau distillée ont été ajoutés respectivement. 4 mL d'eau distillée ont été ajoutés dans chaque tube; le papier picrate y a été

plongé et le mélange a été agité doucement pendant 30 min. le papier filtre décoloré a été sorti et le tube placé dans un bain d'eau bouillante pendant 5 min. la solution a été centrifugé à 4000g pendant 5min et l'absorbance lue à 510 nm contre le blanc. La courbe d'étalonnage a été utilisée pour déterminer la concentration en HCN dans l'échantillon. Les résultats sont exprimés en mg de HCN/100 g d'échantillon.

#### V.1.11 Teneur en phosphore de la farine et de l'amidon de manioc roui

La méthode utilisée a été celle décrite par **Rodier (1978)**. En milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>MoO<sub>24</sub>, 4H<sub>2</sub>O), les phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique. Certaines formes peuvent être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des phosphates. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur qui est le tartrate double d'antimoine et de potassium (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub> O<sub>7</sub>KS, 1/2H<sub>2</sub>O). Le produit coloré formé présente un maximum d'absorption à 690nm.



La courbe d'étalonnage a été établie à partir d'une solution mère de dihydrogénophosphate de potassium (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> PM= 136g/mole) de concentration 14,315 mg/L dans l'eau distillée correspondant à 10 mg de phosphate/L. Le réactif utilisé a été préparé de la manière suivante : à 20mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (5N), 2 mL de tartrate double d'antimoine et de potassium à 0,274g/L ont été ajoutés, puis 12mL de vitamine C à 17,6g/L et 6mL de molybdate d'ammonium à 6% (P/V). On introduit dans une série de fioles de 25 mL la solution étalon et les différents réactifs en agitant après chaque ajout successivement comme indiqué dans le tableau 8.

#### Expression des résultats

La quantité en phosphate en mg dans les échantillons est obtenue en se référant à la courbe d'étalonnage du dihydrogénophosphate de potassium d'équation :

$$DO = aQ + b$$

Avec un coefficient de corrélation R<sup>2</sup> à déterminer.

Avec Q = la quantité de phosphate de potassium dans le volume d'échantillon analysé au spectrophotomètre.

La concentration en phosphore dans la solution a été obtenue comme suit :



$$C_p = \frac{DO}{a}$$

La teneur en ortho-phosphates est donnée par :

$$TPO_4 = \frac{C_p \times 100 \times V_c \times \%C \times 1000 \times 100}{V_i \times m \times MS}$$

Sachant que 31 est le poids moléculaire phosphore et 95 g/mol le poids moléculaire de  $TPO_4$ , l'équivalent en phosphore (TP) est donné par la relation :

$$TP(\%MF) = \frac{(TPO_4 \times 31)}{95}$$

Avec :

$V_c$  : volume total de la solution des cendres ;

$\%C$  : teneur en cendres pour 100 g de MS ;

$V_i$  : volume de la solution d'essai ;

$m$  : quantité des cendres utilisées pour obtenir  $V_c$ .

Le résultat est la moyenne des trois déterminations.

#### **V.1.12 Distribution granulométrique de l'amidon de manioc roui**

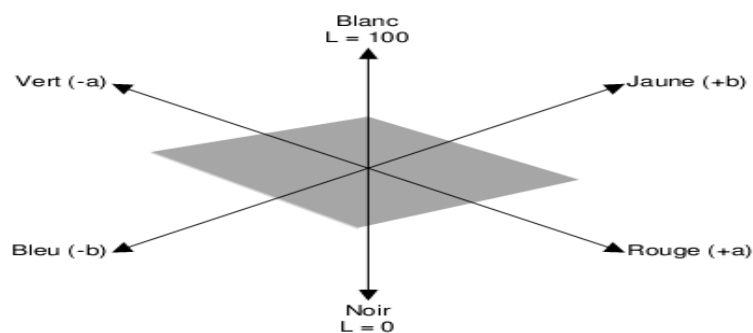
La taille des particules des amidons isolés a été mesurée à l'aide d'un *Master Sizer* (Malvern Master Sizer, Ltd, UK), un appareil d'analyse par diffraction laser. La technique de la granulométrie laser se base sur le principe de diffraction et de diffusion d'un faisceau de lumière. L'échantillon à analyser est convoyé par l'éthanol à 95% (v/v) et passe dans le faisceau de lumière (laser). Le faisceau de lumière est dévié par les particules rencontrées. Cette déviation dépend de la dimension et de la forme des particules, toutes considérées comme étant opaques et sphériques.

Les mesures granulométriques, réalisées par voie humide, ont consisté à prélever 1 g d'amidon de chaque échantillon, puis à le disperser dans l'éthanol à 95% (v/v) ; la suspension a été agitée et introduit dans le dispositif de mise en suspension des granules dans l'appareil.

Les résultats obtenus correspondent à des sphères équivalentes en volume. L'affichage présentait une distribution de volume comme mesure fondamentale, avec des médianes de diamètres  $D[v ; 0,1]$ ,  $D[v ; 0,5]$  et  $D[v ; 0,9]$  étant les diamètres en-dessous desquels se situent 10, 50 et 90% des granules respectivement. Les mesures ont été triplées à température ambiante ( $25 \pm 1^\circ C$ ). Ces données dérivées sont des transformations numériques des angles de lumière diffractée.

### V.1.13 Analyse de la couleur de la farine et de l'amidon de manioc roui

La couleur est un attribut perceptif subjectif élaboré par le système visuel à partir de la lumière renvoyée par les objets et par leur environnement. La colorimétrie consiste en un ensemble de données et de méthodes permettant de quantifier la couleur de manière objective. L'espace chromatique CIE  $L^*a^*b^*$  défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1976), est un espace à trois dimensions uniforme du point de vue des éclats chromatiques. Les 3 coordonnées de CIE  $L^*a^*b^*$  sont des correspondants de la luminance ( $L^*$ ) encore désignée par clarté ou blancheur, de la balance rouge-vert ( $a^*$ ) et de la balance jaune-bleu ( $b^*$ ) (Figure 10).



**Figure 10:** Espace chromatique CIE  $L^*a^*b^*$

Dans la présente étude, des mesures ont été effectuées sur l'amidon séché. La couleur a été mesurée à l'aide d'un chromamètre (Lovibond RT 100, Afrique du sud). L'instrument a été calibré avec un standard blanc ( $L^* = 93,89$  ;  $a^* = 0,15$  ;  $b^* = 2,74$ ) et les coordonnées CIE  $L^*a^*b^*$  de chaque échantillon ont été déterminées sur la base de 4 répétitions provenant de 4 essais différents. Le produit a été mis dans le réceptacle jusqu'à son bord. Après avoir placé le couvercle, on adapte au réceptacle la tête de lecture afin de procéder à la mesure proprement dite. Les valeurs obtenues sont affichées sur l'écran du moniteur. L'indice de blancheur (IB) a été calculé selon la formule suivante :

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \text{ (Saricoban \& Yilmaz, 2010).}$$

## V.2 Propriétés techno-fonctionnelles

### V.2.1 Capacités d'absorption d'eau et indice de solubilité à l'eau de la farine et de l'amidon de manioc roui

La capacité d'absorption d'eau (CAE) et l'indice de solubilité à l'eau (ISE) ont été déterminés suivant la méthode de **Philips *et al.* (1988)**. 1 g ( $M_0$ ) d'amidon a été dispersé dans 10 mL d'eau distillée. Après agitation pendant 30 min à l'aide d'un agitateur (Oscill 12, Prolabo, France), l'ensemble a été centrifugé à 4500 trs/min pendant 10 min et le culot

humide ( $M_2$ ) a été pesé puis séché à l'étuve à  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à poids constant ( $M_1$ ). Les capacités d'absorption d'eau ont été calculées par les formules respectives :

$$CAE_r = \frac{M_2 - M_0}{M_1} \times 100 \quad (6)$$

$CAE_r$  : Capacité d'absorption d'eau réelle.

Tandis que l'indice de solubilité à l'eau a été calculé par la formule :  $ISE = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (7)$

### V.2.2 Densité volumique de la farine et de l'amidon de manioc roui

La densité volumique des farines et des amidons a été déterminée par la méthode décrite par **Narayana et Narasinga Rao (1984)**. Un tube cylindrique gradué a été pesé et l'échantillon d'amidon y a été versé jusqu'à la marque 5 mL, avec une vibration constante, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de changement dans le volume. Le contenu a été pesé et la différence en masse déterminée. La masse volumique ( $\rho$ ) d'un échantillon de farine a été déterminée en calculant le rapport de la masse de farine  $m_f$  sur le volume de farine tassé  $v_f$  selon la formule :  $\rho = \frac{m_f}{v_f}$ . Avec  $\rho$  en gramme d'échantillon par centimètres cube ( $\text{g/cm}^3$ ).

### V.2.3 Gonflement et solubilité de l'amidon de manioc roui

Le pouvoir gonflant de l'amidon de manioc se définit comme le poids des granules gonflés par gramme d'amidon sec. Le pouvoir gonflant de l'amidon dans l'eau a été déterminé en fonction de la température. Une solution d'amidon à 1% (P/V) a été préparée, puis mise au bain-marie à différentes températures allant de  $50^\circ\text{C}$  à  $100^\circ\text{C}$  avec des intervalles de  $5^\circ\text{C}$ . Le mélange a été mis sous agitation maximale pendant 30 minutes, puis centrifugé à 5000 tr/min pendant 15 min. Le gonflement a été estimé par la quantité d'eau retenue par l'échantillon en faisant la matière sèche sur le culot (2 h à  $130^\circ\text{C}$ ).

La solubilité ( $S_o$ ) des amidons a été déterminée suivant la méthode de **Leach et al. (1959)** par le dosage de la quantité d'amidon solubilisé dans le surnageant.  $S_o$  est la masse de soluble par gramme d'amidon sec. Le surnageant issu de la centrifugation ci-dessus a été recueilli dans une capsule tarée qui est introduite à l'étuve à  $105^\circ\text{C}$  jusqu'à évaporation complète de l'eau (après environ 12 heures). La capsule est retirée de l'étuve, refroidie dans un dessiccateur et pesée.

### V.2.4 Etude de la rétrogradation de l'amidon de manioc roui

Cette étude est faite par le suivi de la synérèse et de la clarté des gels d'amidon sur une période de 7 jours. La synérèse est exprimée par la proportion (%) d'eau surnageant après centrifugation du gel (4% p/p) selon la formule :  $\text{Synérèse}(\%) = \text{Liquide séparé (g)} \times 100 /$

Masse de gel (g). La clarté quant à elle consiste à lire à 650 nm, la densité optique des gels (1% p/p) d'amidon exprimée en Transmittance (%T) contre un blanc (eau distillée).

#### **V.2.4.1 La clarté des amidons de manioc**

La clarté de l'amidon a été déterminée par la méthode décrite par **Davies (2009)**. Une suspension d'amidon de 1% (p/v) a été préparée en mélangeant 0,1g d'amidon (matière sèche) à 10mL d'eau distillée dans un tube à essai. Après agitation, la suspension a été chauffée à 100°C dans un bain d'eau bouillante pendant 30 min. avec une agitation toutes les 5 min. L'amidon gélatinisé a été refroidi à température ambiante pendant 1h. L'empois d'amidon obtenu a été introduit dans une cuve et la transmittance, exprimée en pourcentage (%T) a été mesurée à 650nm contre un blanc (eau distillée) à l'aide d'un spectrophotomètre. On définit la Transmittance (T) comme le rapport, exprimé en pourcentage, de l'intensité lumineuse transmise (I) sur celle du rayon incident (I°) :  $T=I/I^{\circ}$ . La clarté a été déterminée sur 28 jours.

#### **V.2.4.2 La synérèse des amidons de manioc**

L'étude de la synérèse s'est faite suivant la méthode décrite par **Singh (2004)** avec quelques modifications. La synérèse est déterminée sur les gels d'amidon après 28 jours de stockage à 4°C. Pour la préparation du gel, une suspension d'amidon à 2% (p/v) dans de l'eau distillée a été introduite dans un tube à essai, chauffée à 85°C pendant 30 min au bain-marie et agité toutes les 5 min. pour la mesure de la synérèse au jour zéro, la suspension a été refroidie à température ambiante pendant 5h. La synérèse est exprimée par la proportion (%) d'eau surnageant après centrifugation du gel à 3200 trs/min pendant 10 min selon la formule:

$$\text{synérèse} = \frac{\text{liquide séparé (g)}}{\text{masse de gel (g)}} \times 100$$

### **V.2.5 Propriétés viscosimétriques de la farine et de l'amidon de manioc roui**

Les propriétés d'empesage ont été déterminées d'après la méthode décrite par **(Crosbie & Ross, 2009)**. Les profils de viscosité à chaud des dispersions de farines et amidons ont été investigués en utilisant un *Rapid Visco Analyser* (RVA) modèle Tec Master (Perten Instruments, Australie) représenté à la photo 6. Le profil standard 1 a été sélectionné. La viscosité a été enregistrée en utilisant le profil de température suivant : un mélange préalable à 960 trs.min<sup>-1</sup> pendant 10s, maintien à 50°C pendant 1 min, chauffage de 50 à 95°C à 6°C.min<sup>-1</sup>, maintien du plateau de 95°C pendant 5 min et refroidissement à 50°C à 6°C.min<sup>-1</sup> et utilisant des dispersions 7% et 10% (p/v) pour les amidons et les farines respectivement. Six paramètres ont ainsi été mesurés sur le viscoamylogramme : la température d'empesage (Pt), le pic de viscosité (PV), le temps lié au pic de viscosité (PVt), la viscosité minimale à

chaud de la pâte (HPV), la viscosité à la fin du plateau (VEP), la viscosité de la pâte refroidie à 50°C (CPV), la rupture de viscosité ou *breakdown* (BD) et la reprise de viscosité ou *setback* (SB). Deux paramètres additionnels ont été calculés : aptitude à la cuisson (CA), estimée par PVt-Pt ; et la consistance ou indice de gel (CS), estimé par CPV-HPV.



**Photo 6:** Rapid Visco Analyser (Perten instruments)

## VI. ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les mesures ont été effectuées en triple. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel Statgraphics Centurion XV.II et les courbes tracées par Sigma Plot 11.0. Les comparaisons entre les variables dépendantes ont été déterminées à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA), du test de Duncan et de l'analyse de corrélation. La signification statistique a été définie à  $P < 0,05$ .

## TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### I. PRATIQUES LOCALES DE PRODUCTION DE LA FARINE DE FOUFOU AU CAMEROUN

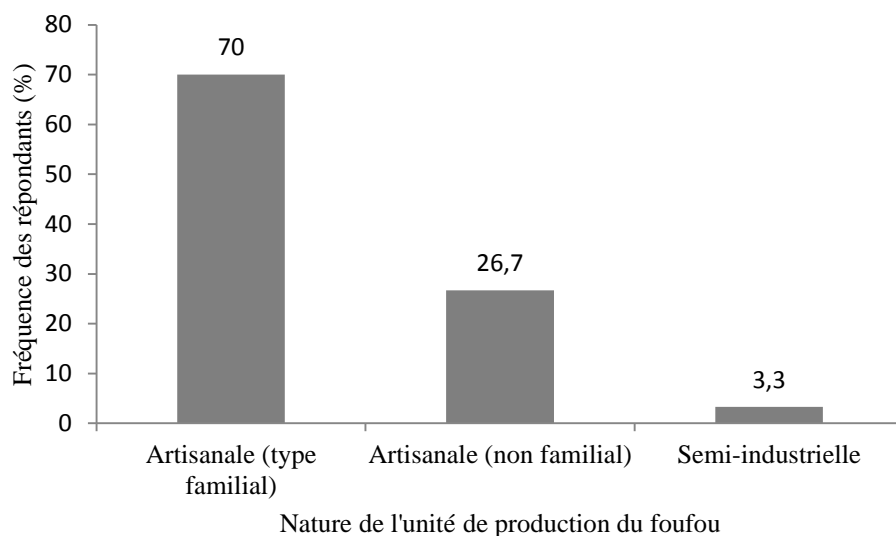
#### I.1 Les acteurs de la production de farine de fofou

La production de farine de manioc est une activité à prédominance féminine, puisque 80% des acteurs interviewés dans notre aire d'étude sont des femmes (Tableau 8). Cette observation confirme les constats fait antérieurement dans divers espaces Africains (Nweke *et al.*, 1997 ; Fao, 2010). Par ailleurs, la transformation du manioc est principalement réalisée par des personnes âgées de plus de 30 ans, soient 93,3%. La recherche des ressources financières pour subvenir aux besoins de leur famille seraient la raison poussant cette catégorie de personnes à s'impliquer plus dans la production du fofou.

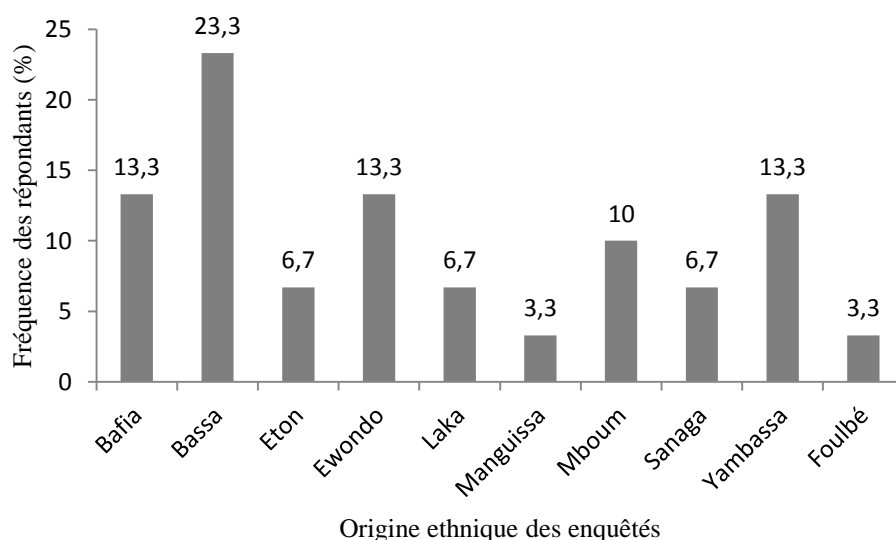
L'implication de différentes origines tribales (figure 12) dans la production du fofou confirme les observations de Simeu Kamdem (1996) selon lesquelles cette denrée est commune à l'ensemble des régions du Cameroun. Et, la diversité des pratiques de transformation et des produits dérivés du manioc est l'expression culturelle de chaque peuple (Shittu & Adedokun, 2010). Qu'il s'agisse du séchage solaire direct ou du séchage-fumage, les unités de transformation enquêtées (96,7%) sont de type artisanal (figure 11) et donc, utilisent des équipements rudimentaires : machettes, couteaux, bassines, mortiers, bâches et claies. Ces unités utilisent également une main-d'œuvre non salariée. Ce qui est normal au regard du caractère traditionnel et familial de l'activité. Ces personnels des unités de transformation sont soit des membres de la famille (70%) ou des relations de quartier ou du village (27,7%). Ces derniers sont rémunérés soit en argent soit en nature (une partie de la production leur est ainsi concédée). Seuls 3,3% des unités de transformation enquêtées étaient dotées d'équipements semi-industriels et pratiquaient uniquement le séchage solaire direct.

**Tableau 8:** Distribution des transformateurs en fonction du sexe et de la tranche d'âge

	Variables	Fréquence	20 à 30 ans	30 à 40 ans	> 40 ans	Total
Sexe	Masculin	20%	-	50%	50%	100%
	Féminin	80%	8,3%	37,5%	54,2%	100%
	Total	100%	6,7%	40%	53,3%	



**Figure 11 :** Fréquence des répondants en fonction du type d'unité de production



**Figure 12 :** Fréquence des répondants en fonction de leur origine tribale

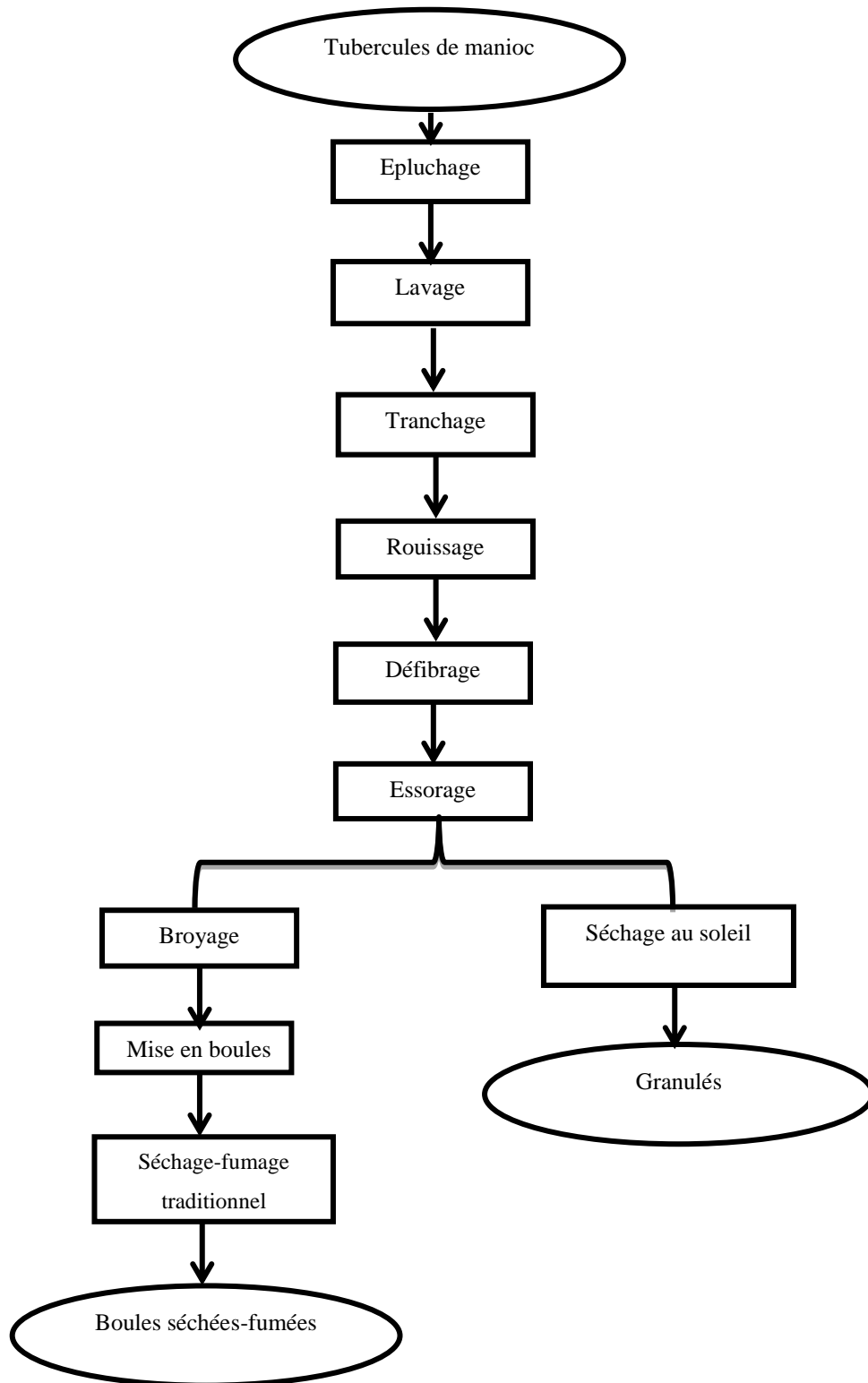
## I.2 Le procédé de transformation

Le schéma général du procédé de transformation des racines de manioc en fufou, tel que pratiqué dans la majorité des cas, est présenté à la figure 13. Qu'il s'agisse de la production de fufou en zone sahélienne (granulés) ou en zone forestière (boules fumées), les opérations unitaires sont semblables de l'épluchage à l'essorage. Le matériel utilisé dans les étapes d'épluchage ou de tranchage était constitué de couteaux ou de machettes pour toutes les unités de transformation évaluées. Dans toutes les unités de production étudiées, au moment du lavage, la pulpe préalablement immergées dans l'eau est frottée à la main ou à l'aide d'une éponge. Le rouissage de la pulpe de manioc est pratiqué dans des récipients

ménagers (seaux, bassines, fûts) en aluminium ou en plastique dans le but de réduire la teneur en cyanogènes (**Agbor-Egbe et al., 2006**). Au sein des unités de production enquêtées, l'essorage de la pâte rouie était fait à l'aide d'un sac filet perméable du type *banco* surmonté ou non d'une lourde charge (grosse pierre). L'ensemble était laissé au repos pendant une nuit (environ 14 heures).

En zone sahélienne fortement ensoleillé, le produit essoré est étalé en plein air, sur des nattes, des bâches ou le sol cimenté afin d'être séché (24 à 72 heures selon l'intensité de l'ensoleillement). Par contre, en zone forestière pluvieuse, deux étapes additionnelles s'interposent entre l'essorage et le séchage-fumage proprement dit. Il s'agit des opérations de broyage et de mise en boules. Le broyage se fait au mortier ou au moulin à écraser le cas échéant. Cette opération permet d'obtenir une pâte apte à la mise en boule. L'opération de mise en boules était manuelle dans toutes les unités de production de fougou séché-fumé. Les boules obtenues présentent des formes sphéroïdes et des masses variables. Quant au séchage-fumage, il se réalise sur des séchoirs artisanaux (tôles perforées, nattes de bambou ou grillage métallique) ou des greniers suspendus au-dessus des foyers de bois ou des fours à sciures de bois. Les boules humides sont disposées sur la claie et le feu est régulièrement attisé. Très souvent, les boules même déjà bien sèches sont conservées sur ces séchoirs jusqu'au moment de leur utilisation. Un séchage prolongé des boules de fougou (plusieurs semaines) les expose à de fortes pertes en minéraux (**Favier, 1977**).

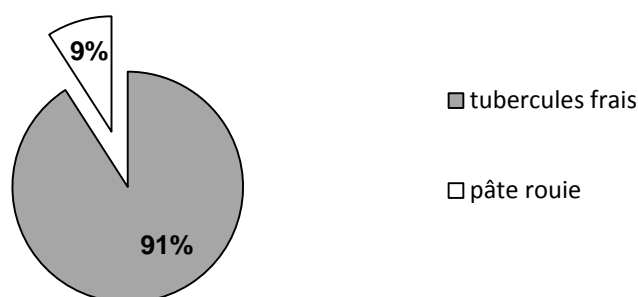




**Figure 13 :** Schéma du procédé général (séchage-fumage et séchage au soleil) de production de la farine de fufou

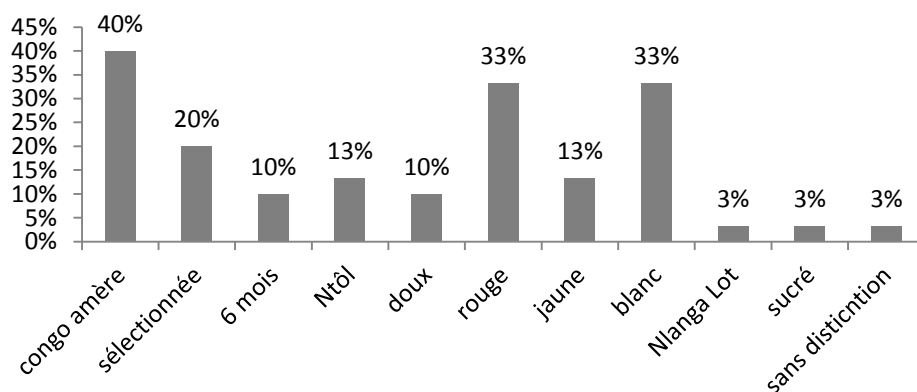
### I.2.1 Matière première

La totalité des producteurs de fofou utilisent des tubercules frais comme matière première de leur transformation (figure 14). Cependant, 9% d'entre eux recourent à l'achat de la pâte préalablement rouie pour compléter leur tonnage. C'est le cas des localités où l'offre en racines de manioc est déficitaire (Garoua notamment). Une importante partie de la matière première est constituée de racines fraîches (91%) dont 2/5 sont acquis sur le marché et les 3/5 restants sont produits par les transformateurs.



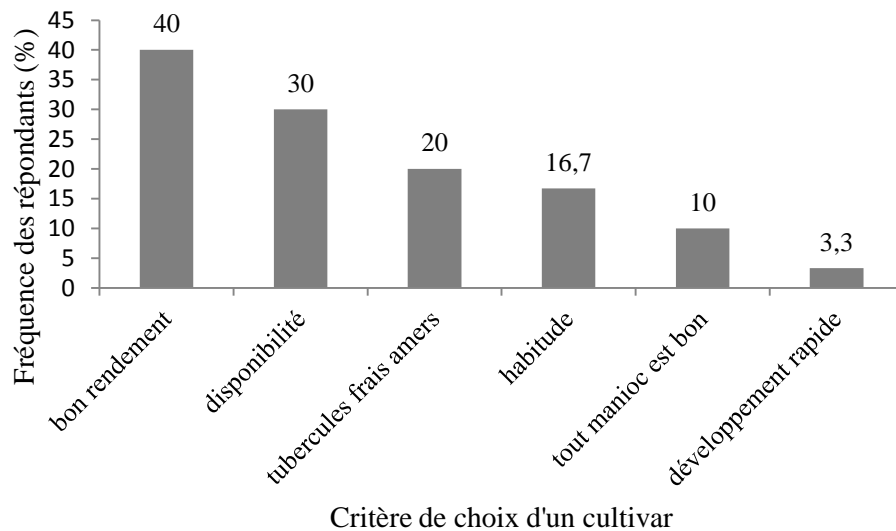
**Figure 14:** Nature de la matière première utilisée dans la production du fofou

La figure 15 montre la fréquence des transformateurs en fonction des variétés de manioc utilisées. Selon les appellations propres à chaque localité, 10 cultivars de manioc ont été répertoriés au cours de l'enquête. Les spéculations manioc *congo amer* (40 %), manioc *rouge* (33,3 %) et manioc *blanc* (33,3 %) sont significativement préférées ( $p < 0,05$ ) par les transformateurs. Pour la fabrication d'un produit dérivé spécifique, la majorité des enquêtés (96,7 %) sélectionnent des cultivars précis de manioc à utiliser. Seuls 3,3% des opérateurs utilisent indifféremment les cultivars dans leurs unités. Toutefois, cette nomenclature propre à chaque localité ne permet pas réellement de classer les variétés de manioc utilisées. Très souvent, des noms différents sont employés pour désigner le même cultivar de manioc.



**Figure 15:** Distribution de la nomenclature locale des cultivars de manioc.

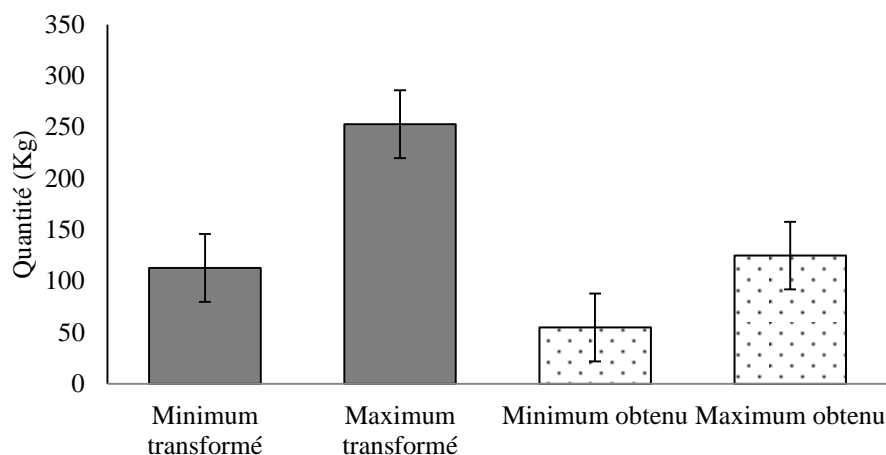
Les raisons justifiant la préférence d'un cultivar à un autre sont diverses (figure 16). Les principaux arguments évoqués par les répondants afin de justifier leur préférence pour un cultivar donné sont : le rendement (40%) et la disponibilité (30%). Pour produire leur fofou, les répondants sélectionnent donc des cultivars précis de manioc sur la base de leurs attributs post-récoltes. En effet, **Hongbete (2004)** stipule que les caractéristiques des cultivars diffèrent significativement du point de vue de leur aptitude à des transformations spécifiques. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par **Nweke et al., (1994)**.



**Figure 16:** Justification de la préférence d'un cultivar de manioc par rapport à une autre

### I.2.2 Capacité de transformation des unités de production

La capacité de transformation des unités de production de l'enquête tient compte des quantités minimales ( $113 \pm 61$  kg) et maximales ( $253 \pm 88$  kg) de racines fraîches utilisées et les quantités minimales ( $55 \pm 33$  kg) et maximales ( $125 \pm 69$  kg) des produits dérivés obtenus (figure 17). Ces valeurs ont permis de calculer le rendement global moyen R compris entre 38 et 40 % (poids de fofou sec / poids de racines fraîches) pour le séchage-fumage et le séchage au soleil direct respectivement. Ce rendement est plus élevé que celui trouvé par **Favier (1977)** et qui oscillait entre 30-34% pour les mêmes types de séchage traditionnel étudiés. Les différences liées aux variétés de manioc utilisées ou aux conditions de transformation auraient influencé les rendements obtenus.



**Figure 17 :** Capacité de transformation des unités de production du fufou

### I.3 Procédés de transformation

#### I.3.1 Durée des opérations unitaires des procédés de fabrication du fufou

Les opérations unitaires qui ont lieu pendant la transformation du manioc sont présentées dans le tableau 9 en fonction de leur durée et de la quantité de produits transformés respectivement. Il faudrait en moyenne six jours ( $\approx 146$  heures) pour une transformation du manioc allant de l'épluchage au séchage-fumage contre un peu plus de deux jours ( $\approx 50$  h) pour le traitement par séchage solaire direct. Le rouissage quant à lui nécessite en moyenne près de 03 jours ( $\approx 69$  h).

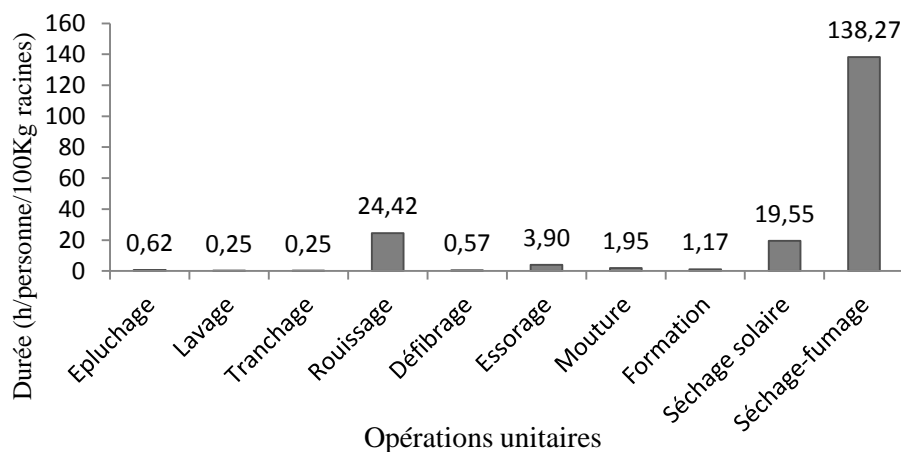
**Tableau 9:** Distribution des opérations unitaires en fonction de leur durée et des quantités transformées

	Durée minimale (h)	Durée maximale (h)	Quantité minimale (Kg)	Quantité maximale (Kg)
Epluchage	1	7	50	300
Lavage	0,1	1	40	280
Découpage	0,5	1	40	240
Rouissage	12	96	45	280
Défibrage	0,85	1	60	230
Essorage	0,35	16	35	240
Broyage*	0,5	12	25	180
Formation des boules*	1	4	50	200
Séchage au soleil	8	72	35	200
Séchage-fumage	72	96	35	130

\*Opérations unitaires uniquement présentes dans le procédé de séchage-fumage

La figure 18 présente la durée de réalisation (en minutes par personne et pour 100 Kg de racines fraîches) de chaque opération unitaire de la production du fufou. La durée de réalisation moyenne de l'épluchage semble assez courte (37mn/personne/100Kg). En effet, une main-d'œuvre importante y est régulièrement impliquée à cause de sa pénibilité. Par

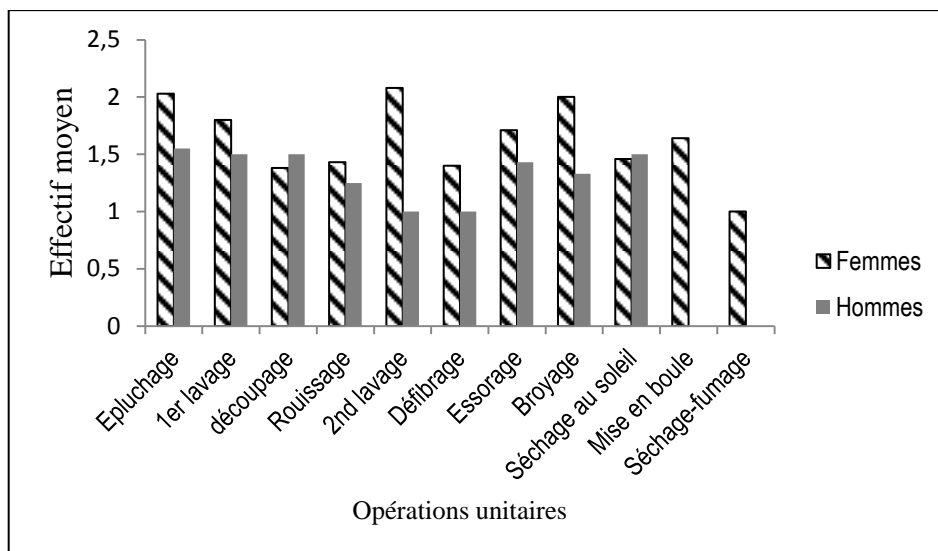
ailleurs, pour une personne seule et pour 100 Kg de manioc frais, la durée de réalisation d'un cycle complet de production du fufou par la méthode de séchage-fumage est de sept jours ( $\approx$  171 heures) et d'un peu plus de deux jours ( $\approx$  51 heures) pour le séchage solaire naturel.



**Figure 18 :** Durée de réalisation (h/personne/100 Kg de racines de manioc) des opérations unitaires des technologies traditionnelles étudiées

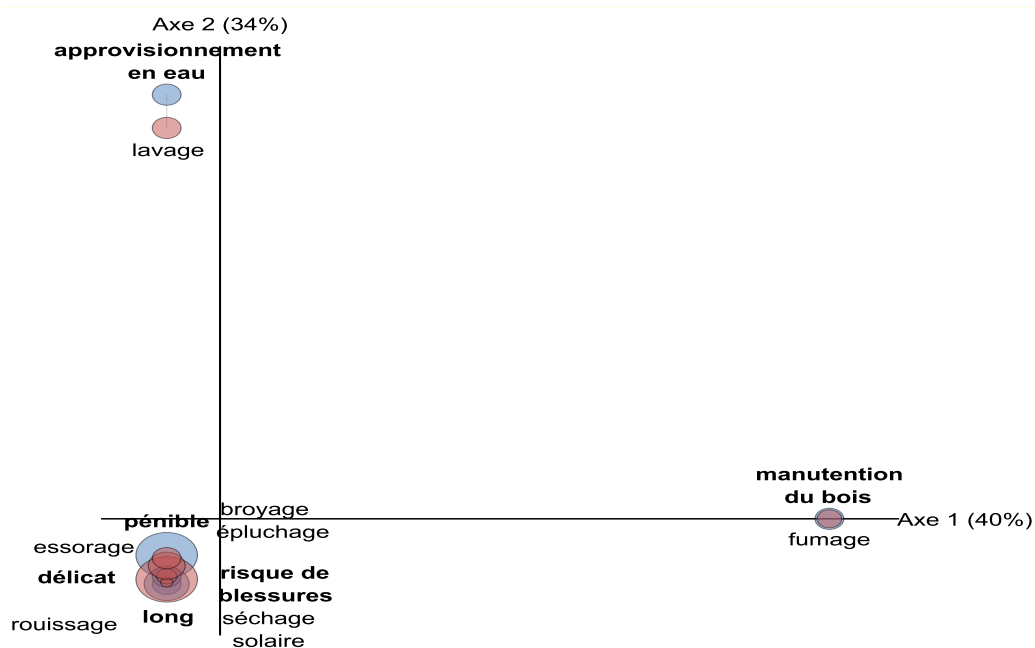
### I.3.2 Main-d'œuvre utilisée

La pénibilité des opérations ci-dessus exige la collaboration de la main-d'œuvre féminine et masculine. La figure 19 donne les effectifs moyens par genre en fonction des opérations unitaires du procédé de transformation du manioc en fufou. La main-d'œuvre utilisée est mixte et implique plus de trois personnes en moyenne par opération unitaire. L'apport masculin est important dans toutes les tâches physiques telles que l'épluchage, le broyage. Par ailleurs, l'homme intervient indirectement à l'étape du lavage à travers le puisage et le transport de l'eau (le puits ou la source étant parfois éloignés de l'unité de production). La phase finale du procédé de séchage-fumage (mise en boule et séchage-fumage) est essentiellement féminine. Cependant, la manutention du bois (transport et bûcheronnage) revient généralement au genre masculin dans le cas du séchage-fumage du fufou.



**Figure 19:** Contribution des genres à la main-d'œuvre pendant la production du fufou.

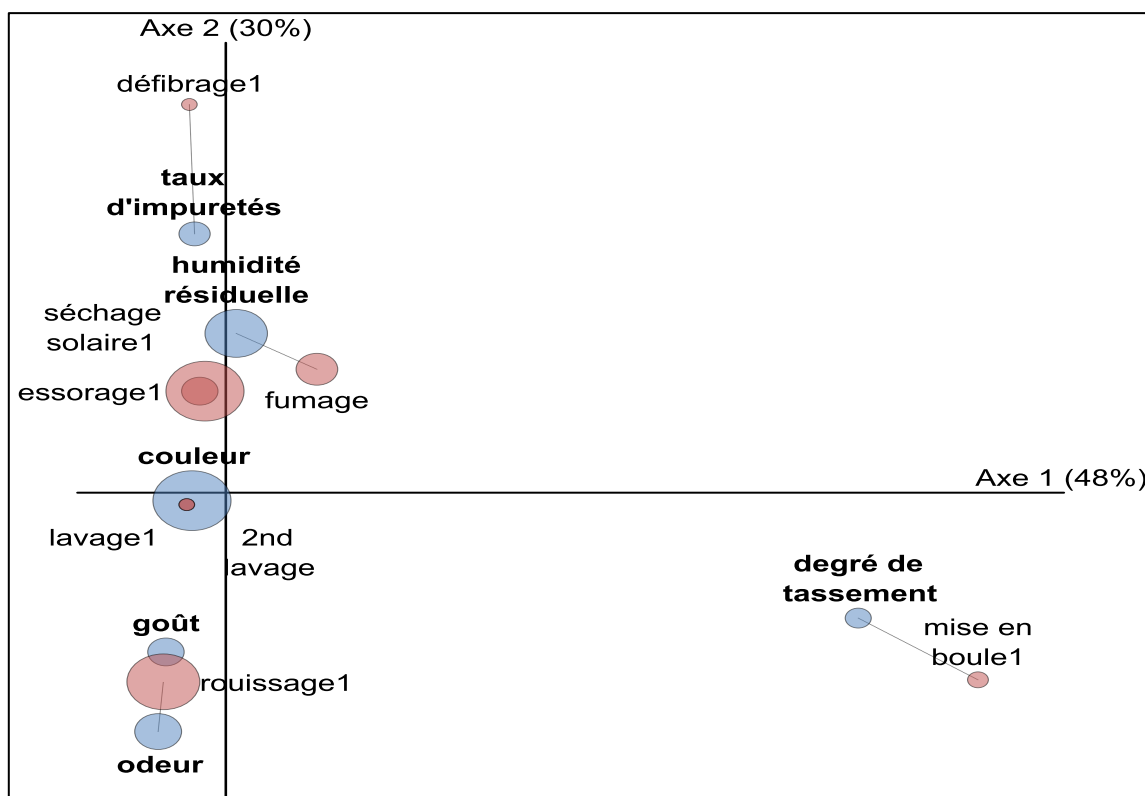
Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été menée, à l'aide du logiciel Sphinx Plus<sup>2</sup>, pour démontrer le niveau de difficulté de certaines opérations unitaires au cours de la production du fufou (figure 20). Les variables étudiées pour cette analyse s'organisent sur deux axes principales Axe 1 et Axe 2 qui ensemble expliquent 74% de l'information. Au cours de la production du fufou, l'épluchage (100% des répondants), le broyage au mortier et la mise en boules (spécifique au séchage-fumage), sont les opérations unitaires les plus pénibles. L'AFC montre que la durée de réalisation, associée aux risques de blessures pendant l'épluchage, rend cette étape difficile. Le broyage est une activité énergique qui sollicite très souvent l'apport d'une main-d'œuvre masculine est corrélé au facteur pénibilité.



**Figure 20:** Carte AFC des opérations unitaires difficiles lors de la production du fufou

### I.3.3 Points critiques de production et qualité du fofou

Les points critiques du système de transformation sont les opérations qui, si elles sont mal exécutées, conduisent à un produit dérivé de mauvaise qualité. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été menée afin d'expliquer le degré de nuisance de certaines opérations unitaires sur la qualité du fofou (figure 21). Les critères d'appréciation de la qualité du fofou par les transformateurs sont principalement : la couleur, l'odeur, le goût et la texture qui doivent être caractéristiques de ceux habituellement connus des consommateurs du fofou (85% des répondants). La couleur de la farine ne devrait pas être terne tant pour les produits séchés au soleil que pour la boule fumée après grattage de la couche superficielle de suie. La granulométrie fine après mouture est tributaire d'une bonne friabilité des produits séchés au soleil (75% des producteurs) et la dureté associée à la légèreté des boules séchées-fumées (68% des producteurs), ce qui est synonyme de la réussite du séchage. Ces observations sont conformes à celles faites par **Agueguia et al. (2000)**. Les opérations de séchage et de rouissage constituent des étapes délicates en sens qu'ils influencent l'odeur et le goût caractéristiques du produit s'ils sont mal conduits. En effet, la couleur caractéristique du produit sec attendu et la faible teneur en eau du produit contribuent très significativement ( $p < 0,01$ ) à la réussite du séchage au soleil. Un rouissage prolongé et la présence de tannins entraînent généralement l'assombrissement de la couleur de la pâte obtenue (**Agueguia et al., 2000**). La couleur de la pâte dépend principalement du lavage, de l'essorage et du séchage. La délicatesse du séchage dépend des conditions dans lesquelles il se déroule. En période de faible ensoleillement, la pâte rouie de manioc séchée au soleil est très souvent de coloration blanc terne. Pour le séchage-fumage, le feu doit être nourri et continu pour éviter le pourrissement dû à l'activité enzymatique et des microbes d'altération.



**Figure 21 :** Analyse des correspondances multiples des critères de qualité du fufou

La qualité de la farine de fufou dérivée et de son amidon repose sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles développées pendant le processus de séchage.

## II. PROPRIETES PHYSICO-CIMIQUES ET FONCTIONNELLES DES FARINES ET AMIDONS DE MANIOC ROUIS

### II.1 Composition chimique des racines, farines et amidons de manioc

Le tableau 10 présente la composition chimique des racines, farines et amidons tirés de la variété 4115. La composition des farines n'est pas significativement différente pour les paramètres suivants : teneurs en cendres, protéines, lipides, sucres solubles, fibres alimentaires et phosphore. La teneur en eau présente une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les farines séchées électriquement (12,6% et 12,9 %) et celle séchée-fumée traditionnellement (13,9%). Les deux premières teneurs en eau sont bien intégrées dans l'intervalle de sûreté recommandé (12 – 13%) pour le stockage des farines de manioc (FAO, 1992). La valeur relativement élevée de la teneur en eau de la farine séchée-fumée traditionnellement (13,9%) est proche de celle obtenue par Shittu et Adedokun (2010) et qui était de 14%, mais supérieure à celle trouvée (12,9%) par Osundahunsi et Oluwatooyin (2005). La teneur en eau de la farine séchée-fumée traditionnellement indique que ce produit présente une faible stabilité au stockage, notamment en régions tropicales où l'humidité



relative est élevée et la température moyenne étant de 29°C (**Famurewa et al., 2012**). C'est ce qui explique peut-être le fait que les producteurs maintiennent les boules séchées-fumées sur la claie jusqu'au moment de leur utilisation.

L'analyse chimique des amidons extraits montre des teneurs en amidon de l'ordre de 94,86 à 96,58 (%MS) ; ce qui semble indiquer une bonne extraction de cet hydrate de carbone à partir des farines. La composition chimique des amidons (teneurs en cendres, protéines, lipides, sucres solubles, fibres alimentaires et phosphore) sont en accord avec celles rencontrées dans la littérature (**Vilpoux & Perdrix, 1991 ; Numfor & Walter, 1996**).

La teneur en composés cyanogénétiques passent de  $24 \pm 0,7$  mg HCN équivalent/100g MS pour la racine fraîche à  $0,37 \pm 0,03$  mg HCN équivalent/100g MS dans la farine séchée-fumée traditionnellement qui présente d'ailleurs la plus faible valeur en ce composé. Dans l'ensemble, les teneurs en composés cyanogénétiques des farines respectent la norme FAO/OMS (10 mg d'équivalent HCN/Kg au maximum).

## **II.2 Acidité titrable, pH et indice de blancheur des farines et amidons de manioc rouis**

Le tableau 11 présente les propriétés physicochimiques des farines et amidons de manioc (variété 4115). Les farines présentent des différences significatives ( $p > 0,05$ ) pour les valeurs de pH et de l'acidité titrable ; il en est de même pour les amidons. Le pH final de la fermentation étant proche du pKa de l'acide lactique (3,45), l'acidité du milieu serait principalement liée à la production d'acide lactique due au métabolisme de la flore lactique. Il existe par ailleurs une différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les pH de la farine et l'amidon. Cette différence relève des traitements subis. En effet, le rouissage a permis l'acidification des matrices, en raison de la production d'acides organiques (principalement l'acide lactique). Ces résultats présentent des valeurs de pH plus faibles que celles trouvées sur un cultivar de manioc au Nigéria (**Osundahunsi & Oluwatooyin, 2005**). Ces derniers ont obtenu 4,69 et 5,4 pour la farine séchée-fumée traditionnellement et celle séchée à l'étuve. Les conditions de fermentation seraient à l'origine de cette différence. Les amidons extraits ont un pH supérieur à celui des farines ; en effet, l'élimination d'une partie des acides organiques (par neutralisation au NaOH et lessivage) au cours de l'extraction a permis la remontée du pH et donc la réduction de l'acidité.

L'indice de blancheur (IB) représente la blancheur globale des produits alimentaires et peut indiquer l'ampleur de la décoloration pendant le processus de séchage. La différence entre les indices de blancheur (IB), ainsi que les coordonnées  $L^*a^*b^*$  de couleur des farines issues des trois modalités de séchage est significative ( $p < 0,05$ ). Toutefois, les farines

séchées-fumées (traditionnellement et électriquement) ne présentent pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) au niveau de leur couleur. Elle est sombre avec des indices de blancheur compris entre 65,48 et 68,18. La farine séchée à l'étuve est quant à elle claire (IB = 86,11). La différence observée entre les farines séchées-fumées et celles séchées sans fumage proviendrait l'apport de fumée avec imprégnation de phénols et de suie (**Trapp, Cammarano, Capri, Reichenberg & Mayer, 2007**). Pour les amidons, la différence de couleur est significative ( $p < 0,05$ ) entre l'amidon de farine séchée-fumée traditionnellement et les amidons des farines traitées dans des séchoirs électriques. En effet, le premier est plus sombre que les deux autres. Les opérations de lavage au cours de l'extraction de l'amidon ont permis le lessivage des complexes entre certains composés organiques de la farine et les particules de la fumée. Cependant, il est à noter que si l'amidon de farine traditionnelle est resté plus sombre, ce serait à cause de la formation de complexes entre l'amylose-composants volatils de la fumée. La présence de fissures à la surface des granules d'amidon aurait facilité le contact et l'établissement de liaisons entre l'amylose et les composants de la fumée. **Nguimbou (2012)** a trouvé des indices de blancheur compris entre 67,12 et 78,75 pour des tubercules de *Cyrtosperma merkusii*, un taro bicolore.

**Tableau 10:** Composition chimique des racines fraîches, farines et amidons de manioc

	Mode de séchage	TE (%)	Cendres (%)	Phosphore (%)	Sucres réducteurs (%)	Fibres (%)	Protéines (%)	Lipides(%)	Amidon (%)	HCN (mg HCN équ./100g)
<b>Tubercules frais</b>		63,5±0,08 <sup>f</sup>	2,77 ± 0,1	0,42±0,02	3,12±0,5 <sup>c</sup>	5,14±0,7 <sup>c</sup>	1,1±0,1	1,07 ± 0,2 <sup>d</sup>	74,13± 0,50 <sup>c</sup>	24±0,7 <sup>f</sup>
<b>Farines</b>	Fumage traditionnel	13,90±0,1 <sup>a</sup>	1,42 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,3±0,05 <sup>a</sup>	2,57±0,1 <sup>a</sup>	3,73±0,1 <sup>a</sup>	0,9±0,09 <sup>a</sup>	0,20±0,05 <sup>a</sup>	72,49±0,74 <sup>a</sup>	0,37±0,03 <sup>a</sup>
	Fumoir	12,90±0,1 <sup>b</sup>	1,54 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,28±0,01 <sup>a</sup>	2,45±0,1 <sup>a</sup>	3,75±0,3 <sup>a</sup>	0,91±0,1 <sup>a</sup>	0,55±0,03 <sup>b</sup>	74,70±2,75 <sup>a</sup>	0,39±0,05 <sup>a</sup>
	Séchage électrique	12,60±0,5 <sup>b</sup>	1,56±0,0 <sup>a</sup>	0,31±0,01 <sup>a</sup>	2,80±0,3 <sup>a</sup>	3,7±0,6 <sup>a</sup>	0,88±0,03 <sup>a</sup>	0,15±0,03 <sup>a</sup>	73,34±0,80 <sup>a</sup>	0,40±0,02 <sup>a</sup>
<b>Amidons</b>	Fumage traditionnel	10,80±0,3 <sup>c</sup>	0,48±0,05 <sup>b</sup>	0,23±0,03 <sup>b</sup>	0,15±0,01 <sup>b</sup>	0,66±0,06 <sup>b</sup>	0,23±0,03 <sup>b</sup>	0,01±0,00 <sup>c</sup>	96,58±1,43 <sup>b</sup>	0
	Fumoir électrique	8,60±0,0 <sup>d</sup>	0,50±0,03 <sup>b</sup>	0,22±0,01 <sup>b</sup>	0,16±0,01 <sup>b</sup>	0,52±0,09 <sup>b</sup>	0,24±0,01 <sup>b</sup>	0,02±0,00 <sup>d</sup>	95,86±0,74 <sup>b</sup>	0
	Séchage électrique	12,20±0,2 <sup>e</sup>	0,50±0,05 <sup>b</sup>	0,25±0,03 <sup>b</sup>	0,15±0,01 <sup>b</sup>	0,65±0,02 <sup>b</sup>	0,23±0,02 <sup>b</sup>	0,01±0,00 <sup>c</sup>	96,37±1,25 <sup>b</sup>	0

*Les chiffres dans la même colonne ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.*

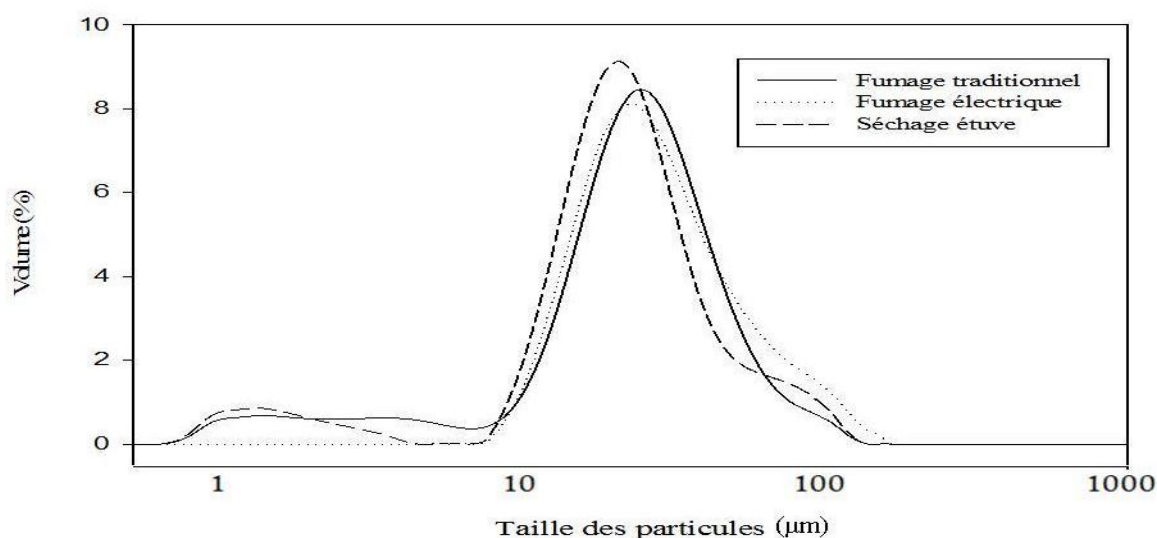
**Tableau 11 :** pH, acidité titrable, densité volumique et indice de blancheur (IB) des farines et amidons de manioc

	Mode de séchage	pH	Acidité (mL NaOH)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	IB
Farines	Fumage Traditionnel	4,3±0,1 <sup>a</sup>	5,90±0,2 <sup>a</sup>	0,48±0,06 <sup>a</sup>	65,41±4,35 <sup>a</sup>
	Fumoir	3,85±0,2 <sup>b</sup>	6,5±0,3 <sup>b</sup>	0,50±0,07 <sup>a</sup>	68,18±3,98 <sup>a</sup>
	Sans fumage	3,93±0,1 <sup>b</sup>	6,26±0,2 <sup>b</sup>	0,56±0,02 <sup>a</sup>	86,11±0,76 <sup>b</sup>
Amidons	Fumage traditionnel	5,46±0,0 <sup>c</sup>	4,51±0,3 <sup>c</sup>	0,62±0,07 <sup>a</sup>	85,20±1,69 <sup>c</sup>
	Fumage électrique	4,46±0,2 <sup>d</sup>	5,03±0,2 <sup>d</sup>	0,61±0,08 <sup>a</sup>	89,37±0,69 <sup>c</sup>
	Séchage électrique	5,8±0,3 <sup>e</sup>	4,07±0,1 <sup>c</sup>	0,57±0,05 <sup>a</sup>	89,24±0,33 <sup>d</sup>

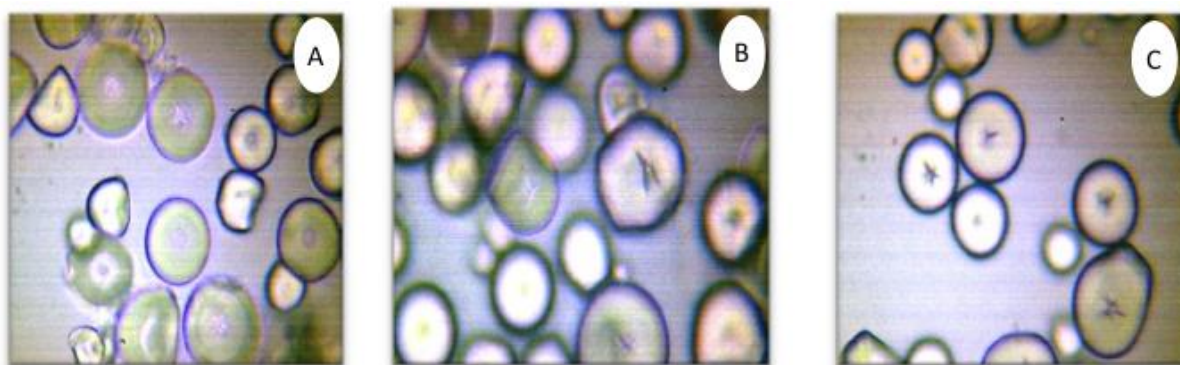
*Les chiffres dans la même colonne ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.*

### II.3 Granulométrie laser et forme des granules de l'amidon

La granulométrie est une caractérisation fondamentale d'un produit pulvérulent. Selon **Melcion (2000)**, la granulométrie est en relation avec les phénomènes d'échange et de réactivité, qu'ils soient physiques (migration d'eau, séchage, solubilisation), chimiques (oxydation) ou enzymatiques (digestion des aliments). La granulométrie étudiée (figure 22) diffère significativement selon le mode de séchage ( $p < 0,05$ ). Tous les amidons ont présenté une distribution monomodale avec des gammes de distribution particulière allant de 7,75 à 52,31  $\mu\text{m}$  (traditionnel), de 10,67 à 79,43  $\mu\text{m}$  (fumoir électrique) et de 8,29 à 57,56  $\mu\text{m}$  (étuve). Cette distribution monomodale des farines serait le reflet de leur homogénéité autour d'une valeur centrale. Le diamètre moyen de l'amidon séché-fumé traditionnellement, est compris entre les valeurs des diamètres des amidons des deux autres traitements. 50% du volume d'amidon séché-fumé traditionnellement étaient faits de granules de diamètres inférieurs à 20,51  $\mu\text{m}$ . A 90% du volume d'amidon, les granules séchées électriquement présentent les granules de plus grands diamètres (79,43 et 57,56  $\mu\text{m}$ ). Dans tous les cas, les diamètres des granules en-deçà de  $d(0,5)$  sont caractéristiques de l'amidon natif de manioc dont le diamètre des granules est compris entre 9 et 20  $\mu\text{m}$  (**Niba, Bokanga, Jackson, Schlimme & Li 2002**). Au-delà de la médiane, les granules sont plus gros. Ces diamètres élevés seraient liés à l'agrégation de deux ou plusieurs granules sous l'influence des phénomènes de séchage. Certains granules se seraient fissurés au cours du séchage et les molécules d'amylose de deux granules voisins, à cause de leur caractère amorphe, auraient favorisé la formation des ponts inter-granulaires, donnant ainsi des gros agrégats au refroidissement. Les granules d'amidon présentent en effet une forme sphéroïde avec une indentation caractéristique des amidons de manioc (photo 7). Certains granules d'amidon issu de la farine fumée traditionnellement (A) présentent des altérations en surface. Ces microstructures rendent les granules d'amidon friables et accélèrent la pénétration de l'eau dans les granules au cours d'un traitement hydrothermique (**Crosbie & Ross, 2009**). La nature de la source de chaleur serait à l'origine des différences observées entre les méthodes électriques et la méthode traditionnelle de séchage. L'amidon de farine séchée-fumée traditionnellement avec de fines particules (7 – 53  $\mu\text{m}$ ) conviendrait mieux à des formulations alimentaires requérant une amélioration de leur aspect épaississant (**Aprianita, 2010**). La granulation des particules d'une farine ou de son amidon est la caractéristique la plus importante, qui peut influencer d'autres propriétés d'usage telles que le gonflement, la clarté des pâtes, sa CAE et plusieurs applications alimentaires (**Singh et al., 2003**).



**Figure 22 :** Distribution granulométrique des amidons issus des différents traitements



**Photo 7 :** Microscopie optique des grains d'amidon roui : séchage-fumage traditionnel (A), séchage-fumage électrique (B) et séchage à l'étuve (C), grossissement (x100).

Les données des propriétés physicochimiques des farines et amidons étudiés montrent que malgré le non contrôle de sa température, le séchage-fumage conserve aussi bien la composition chimique des farines que les séchoirs électriques.

## II.4 Propriétés fonctionnelles des farines et amidons de manioc rouis

### II.4.1 Capacité d'absorption d'eau et indice de solubilité de l'amidon de manioc roui

Le tableau 12 présente l'indice de solubilité à l'eau et les capacités d'absorption d'eau et d'huile des farines et amidons de manioc rouis. La capacité d'absorption d'eau est une mesure de l'aptitude de l'amidon à absorber de l'eau à froid. La différence des capacités d'absorption d'eau des farines et amidons étudiés est significative ( $p < 0,05$ ). En effet, la farine séchée-fumée traditionnellement et son amidon ont les valeurs les plus élevées de capacité d'absorption (166,28 et 159,04 g/100g MS) comparées à celles des farines et amidons issus des séchages électriques (121,35 - 139, 53 g/100g MS). Il a été montré que la

taille des granules influençait la capacité d'absorption d'eau. En effet, **Tian et al. (1991)** avaient suggéré que les granules de petite taille disposaient d'une plus grande affinité avec l'eau, ce qui améliore par conséquent leur capacité d'absorption d'eau. Cette dernière a des implications sur la fonctionnalité des farines et des amidons. La nature de la source de chaleur serait à l'origine des différences observées. La variation dans la CAE des farines et amidons étudiés serait due à la différence du degré d'engagement des groupements hydroxyl à former des liaisons hydrogènes et covalentes entre les chaînes d'amidon (**Hoover & Sosulski, 1986**).

L'indice de solubilité (IS) permet de mesurer la quantité d'amylose solubilisée dans une suspension aqueuse d'amidon pendant le chauffage. Pendant le traitement hydrothermique de l'amidon, l'amylose diffuse hors du granule et se solubilise dans le milieu aqueux (**Boursier, 2006**). La solubilité de l'amidon est donc liée à l'amylose. A froid, les indices de solubilité à l'eau tant des farines que des amidons présentent une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre eux.

**Tableau 12 :** Indice de solubilité à l'eau et capacités d'absorption d'eau et d'huile des farines et amidons de manioc rouis

	Mode de séchage	CAE (%)	ISE (%)
Farines	Fumage traditionnel	159,04±0,4 <sup>a</sup>	11±0,1 <sup>a</sup>
	Fumoir électrique	139,53±0,1 <sup>b</sup>	14±0,8 <sup>b</sup>
	Séchage électrique	121,35±0,1 <sup>c</sup>	15±0,6 <sup>b</sup>
Amidons	Fumage traditionnel	166,28±0,2 <sup>d</sup>	14±0,9 <sup>c</sup>
	Fumoir électrique	123,53±0,3 <sup>e</sup>	15±0,8 <sup>c</sup>
	Séchage électrique	109,52±0,3 <sup>f</sup>	16±0,8 <sup>c</sup>

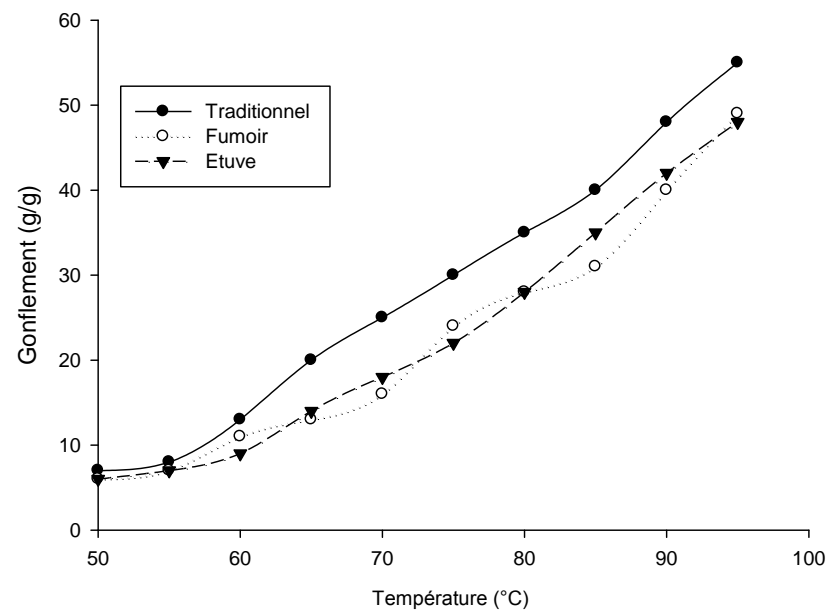
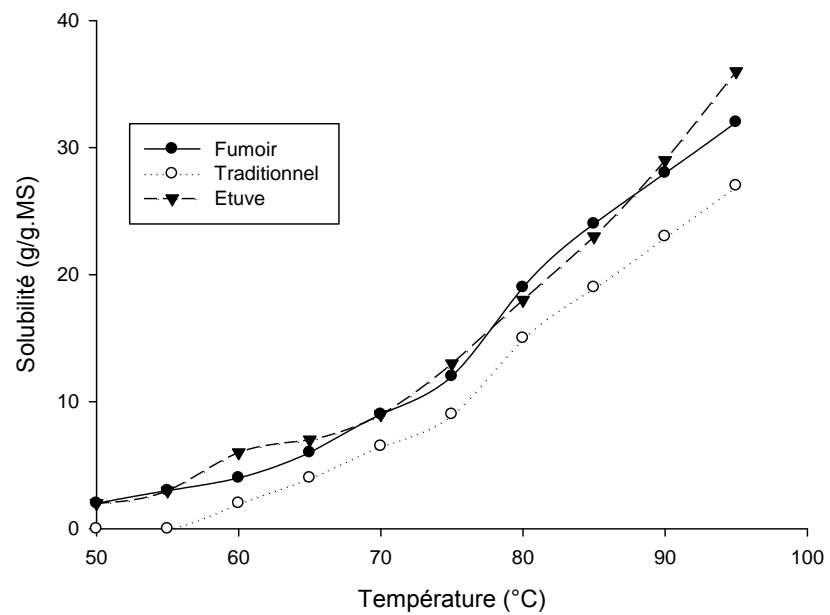
*Les chiffres dans la même colonne ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.*

#### II.4.2 Gonflement et solubilité des amidons

Les courbes représentant le gonflement et la solubilité de l'amidon issu des différents séchages en fonction de la température sont présentées sur la figure 23. Le chauffage d'une suspension aqueuse d'amidon conduit à une absorption d'eau et à un gonflement des granules (**Boursier, 2006**). Le gonflement augmente avec l'élévation de la température pour tous les amidons étudiés. Il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre le profil de gonflement de l'amidon séché-fumé traditionnellement et ceux issus des farines traitées électriquement. Il en est de même pour le profil de solubilité. Les granules de l'amidon de farine séchée-fumée traditionnellement gonflent plus que ceux séchés électriquement, mais sont moins solubles que ces derniers. Ces amidons doués d'une capacité de gonflement importante permettent d'obtenir des gels de grande viscosité. Les granules de petite taille de l'amidon de farine séchée-fumée traditionnellement gonflent plus rapidement et atteignent de fait plus

rapidement leur pic de viscosité plus élevé. Le gonflement de l'amidon est influencé par le rapport amylose-amylopectine, de la taille des granules, du degré de cristallinité, le complexe amylose-lipide, des teneurs en lipides et en phosphore (**Aprianita, 2010**). Le gonflement indique l'intensité des forces de cohésion entre les polymères de la phase amorphe et ceux de la région cristalline des granules (**Singh et al., 2003**). Plus le gonflement des granules est important, plus l'intensité des forces de cohésion entre les polymères est faible (**Ikegwu et al., 2004**). Les différences observées au niveau du gonflement des amidons étudiés attestent des différences structurales à l'intérieur des granules lesquelles résulteraient des modalités de séchage mises en œuvre.

L'amylose diffuse hors du granule, au cours du traitement hydrothermique de l'amidon, et se solubilise dans le milieu aqueux (**Boursier, 2006**). L'amylose est le composé responsable de la solubilité de l'amidon (**Yi et al., 2007**). Les résultats montrent que la solubilité augmente avec l'élévation de la température pour tous les amidons étudiés. Et, il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre le profil de solubilité de l'amidon séché-fumé traditionnellement et ceux issus des farines séchées électriquement. Cette différence serait liée à l'effet propre de chaque type de source de chaleur sur les produits à sécher.



**Figure 23 :** Evolution de la solubilité (A) et du gonflement (B) des amidons en fonction de la température



### II.4.3 Rétrogradation de l'amidon issu des différents traitements

La rétrogradation a été mesurée à l'aide des deux paramètres que sont la clarté et la synérèse (Figure 24). Malgré la différence non significative entre les trois types d'amidon, on remarque cependant que l'amidon de farine séchée-fumée traditionnellement montre une tendance à la rétrogradation supérieure à celle des autres. Pour tous les amidons, il n'y a aucune différence significative. La synérèse croît du jour 0 (autour de 45%) au jour 7 (environ de 63%), puis se stabilise avec une légère augmentation jusqu'au 28<sup>e</sup> jour. La clarté, quant à elle, décroît pendant les sept premiers jours puis se stabilise jusqu'au 28<sup>e</sup> jour. Même après 7 jours, les pâtes d'amidon de manioc roui étudiées ont une clarté supérieure à 35%. Les variations de ces deux phénomènes : la croissance de synérèse et la décroissance de la clarté expriment la rétrogradation qui est en fait une réorganisation des molécules d'amylose et d'amylopectine ayant diffusé hors du grain d'amidon lors de la gélatinisation. Ces molécules se recombinaient sous forme de double hélice et retournent à leur structure cristalline initiale. L'amidon gélatinisé est instable et, à mesure qu'il vieillit ou refroidit, il cherche à se stabiliser. La stabilisation traduit le maximum de rétrogradation et par conséquent la fin de la réorganisation de ces deux polymères. Jusqu'au 7<sup>e</sup> jour, les pâtes étudiées présentent une vitesse de rétrogradation moyenne. En effet, cette rétrogradation se déroule dans des conditions d'acidité comprise entre vitesse lente ( $\text{pH} > 2$ ) et vitesse rapide ( $\text{pH} < 5$ ) (**Fredriksson et al., 1998**). Une rétrogradation plus rapide, en deux jours, a été observée chez les amidons de gingembre (**Amani et al., 2004**). **Sidibe et al. (2007)** ont trouvé des valeurs de synérèse augmentant jusqu'à 67% et celles de la clarté décroissant jusqu'à 32% chez les amidons natifs. Selon **Craig, Maningat, Seib & Hoseney (1989)**, la rétrogradation de l'amylose pourrait causer une raide opacification, une agrégation et une séparation de phase, lesquelles font décroître la clarté de la pâte. A cause de la clarté limitée de son gel, l'amidon séché-fumé ne peut pas être utilisé dans des formulations alimentaires nécessitant une forte clarté de la pâte mais, il pourrait être incorporé dans des sauces (**Craig et al., 1989**) .

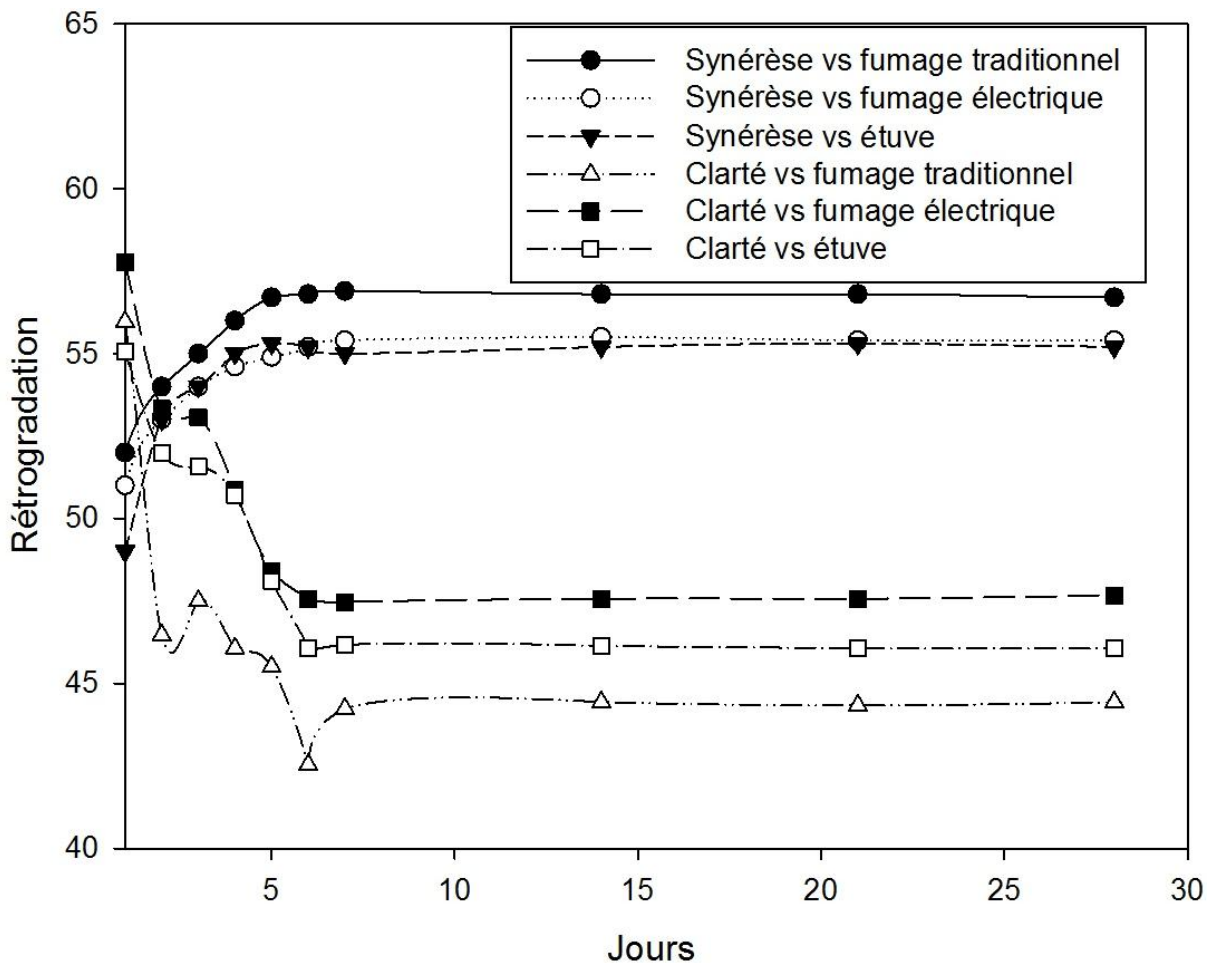


Figure 24 : Cinétique de la rétrogradation des amidons en 28

## II.5 Les propriétés viscosimétriques des farines et amidons de manioc

Les propriétés viscosimétriques ou d'empesage de l'amidon et de la farine de manioc rouis sont représentées dans le tableau 13. Ces propriétés doivent être étudiées car le fofou se consomme sous forme de pâte cuite à l'eau chaude. Elles représentent par ailleurs d'importants indicateurs du comportement de l'amidon au cours du traitement hydrothermique.

Les températures requises pour débiter la formation de la pâte sont comprises entre 70 et 71°C pour les farines et entre 64,5 et 71°C pour les amidons rouis. Ces températures d'empesage sont des indices de l'énergie minimale requise pour initier une absorption rapide d'eau et un gonflement des granules d'amidon entraînant l'augmentation de la viscosité. Le fait que les températures d'empesage des farines et amidons étudiés se situent autour de 70°C, indique que les conditions de température au cours du séchage par la méthode traditionnelle étaient similaires à celles des méthodes électriques. En effet, **Crosbie et Ross (2009)** montrent la température de séchage de l'amidon influence significativement ses températures d'empesage et de gélatinisation. Les valeurs relativement moyennes des températures

d'empesage laissent penser que les farines et amidons étudiés conviendraient mieux à des applications alimentaires. **Dufour *et al.* (1995)** ont trouvé une température d'empesage de 62,5°C chez les amidons aigres de manioc des variétés CMC 40, *Amarga* et *Algodona*.

La viscosité de pic est la viscosité maximale pouvant être atteinte par une suspension au cours d'un cycle de chauffage (ou cuisson). Elle détermine l'aptitude à la manipulation d'une pâte chaude. Ainsi, la pâte de farine séchée électriquement est plus facile à manipuler (3259 cP) que les autres. Les amidons séché-fumés traditionnellement et séchés sans fumage présentent des viscosités de pic non significativement différentes au seuil de 95% de degré de liberté (4088 et 4072 cP respectivement) alors que l'amidon séché-fumé au fumoir électrique culmine à une viscosité de 3579 cP. En effet, la viscosité est la résistance d'un fluide à l'écoulement. Lorsque l'amidon pur est soumis à une température élevée, en excès d'eau, sa structure granulaire disparaît progressivement et l'amylose, préférentiellement solubilisé, diffuse hors du grain. Cet amidon est capable de développer une viscosité dans le milieu, ce qui lui confère un pouvoir épaississant. Ceci conduit à une augmentation de la viscosité de la suspension et à la formation d'un empois constitué de granules éclatés et de macromolécules (**Nago, 1997**). Les différences dans les valeurs de viscosité de pic seraient liées à la différence de répartition de la taille des grains d'amidon dans les différents échantillons. Le pic de viscosité sera d'autant plus élevé que les grains seront gros. Les granules de l'amidon issu de la farine séchée sans fumage sont les plus gros, ce qui favorise l'importante viscosité de pic. Quant à l'amidon séché-fumé traditionnellement, son gonflement serait favorisé par la présence de fêlures sur les granules causées par le traitement thermique et qui favoriseraient l'absorption d'eau pas le granule (**Crosbie & Ross, 2009**).

La viscosité de fin de plateau (95°C) représente une mesure de la stabilité à chaud de la pâte c'est-à-dire un indice de stabilité des granules d'amidon au chauffage. Elle est intimement liée au *breakdown* ou chute de viscosité (cP). Le *breakdown*, est la différence entre la viscosité de pic et la viscosité minimale à chaud. En effet, plus le *breakdown* d'une pâte est faible, plus sa stabilité sera élevée. La pâte de farine séchée-fumée traditionnellement et de son amidon présente les plus petites valeurs de *breakdown* (791 cP) et donc, la meilleure stabilité au cisaillement à chaud. Cette pâte présente ainsi une texture dure et cohésive qui rend l'amidon issu du fumage traditionnel apte à être utilisé dans des formulations alimentaires comme épaississant (**Crosbie & Ross, 2009**). Ces données confirment d'ailleurs celles liées à la consistance du gel. En effet, la consistance du gel ou indice de gel est la différence entre la viscosité finale au refroidissement et la viscosité minimale à chaud. Les valeurs de l'indice de gel indiquent que les farines et amidons séchés-fumés

traditionnellement sont plus consistants que leurs analogues issus des autres traitements. Les farines et amidons séchés-fumés traditionnellement présentent ainsi une texture plus dure et plus cohésive comparée aux autres farines et amidons. Comparées à leur viscosité de pic, c'est la farine et l'amidon séchés-fumés traditionnellement qui présentent les plus hautes viscosités finales lorsqu'ils sont refroidis à 50°C (4189 et 4036 cP). Ces fortes viscosités finales indiquent une tendance à la rétrogradation plus élevée desdits produits (**Moorthy, 2002**). Tous les amidons étudiés et leurs farines se comportent comme des composés riches en amylose, avec des indices de gel plus élevés que ceux couramment observés chez les amidons natifs de manioc. La polymérisation et les modifications structurales (altération des forces de liaison intra-granulaires) survenues au cours du séchage ont pu favoriser cet état de chose (**Nguimbou, 2012**). Ces résultats sont contraires à ceux trouvés par **Osundahunsi et Oluwatooyin (2005)** sur les farines d'un cultivar nigérian. La variété botanique utilisée serait la raison de cette différence.

Le *setback* ou reprise de viscosité est la différence entre la viscosité finale et la viscosité de pic observée sur un viscoamylogramme. Le *setback* exprime la tendance à la rétrogradation. Il est négatif (-52 à -839 cP) pour tous les amidons étudiés et positif (27 à 817 cP) pour toutes les farines de l'étude. Ces données indiquent que les amidons pris seuls rétrogradent moins bien que les farines dont ils sont issus. L'important *setback* dans les farines serait lié à l'action concertée de l'amidon et d'autres composés présents tels que les fibres alimentaires (**Crosbie et Ross, 2009**). Ces dernières contribuent significativement à la reprise de viscosité du milieu au cours du refroidissement. La chute de température est responsable de la reprise de viscosité, suivi par les phénomènes qui se déroulent à la rétrogradation de l'amidon (**Crosbie & Ross, 2009**). Au cours du refroidissement, les chaînes glucanes de l'amidon s'enchevêtrent les unes les autres et contribuent à l'augmentation de la viscosité du milieu. La farine fumée traditionnellement et son amidon présentent les *setback* les plus élevés et donc, une tendance plus accentuée à la rétrogradation. L'aptitude à la rétrogradation pourrait induire la formation des amidons résistants de type III, participant ainsi à l'augmentation de leur teneur dans les aliments et limitant le rôle énergétique de l'amidon (**Worawikunya, 2007**).

**Tableau 13:** Propriétés d'empesage de la farine et de l'amidon de manioc issus des trois types de séchage

Produits	Mode de séchage	Mesures	Paramètres du viscoamylogramme RVA						
			Point d'empesage	Pic	Fin de plateau	Fin refroidissement	Chute de viscosité	Reprise de viscosité	Consistance du gel
<b>Farine</b>	Fumage traditionnel	Viscosité (cP)	31 <sup>a</sup>	3372 <sup>a</sup>	2581 <sup>a</sup>	4189 <sup>a</sup>	791 <sup>a</sup>	817 <sup>a</sup>	1608 <sup>a</sup>
		Température (°C)	70,95	95,08	92,28	-	-	-	-
	Fumage électrique	Viscosité (cP)	28 <sup>c</sup>	3350 <sup>a</sup>	2064 <sup>c</sup>	3377 <sup>b</sup>	1286 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>	1313 <sup>b</sup>
		Température (°C)	70,55	94,99	91,9	-	-	-	-
	Séchage (étuve)	Viscosité (cP)	21 <sup>d</sup>	3259 <sup>d</sup>	2156 <sup>c</sup>	3571 <sup>c</sup>	1103 <sup>c</sup>	312 <sup>c</sup>	1415 <sup>b</sup>
		Température (°C)	70,46	95,04	92,3	-	-	-	-
<b>Amidon</b>	Fumage traditionnel	Viscosité (cP)	17 <sup>a</sup>	4088 <sup>a</sup>	2475 <sup>a</sup>	4036 <sup>a</sup>	1613 <sup>a</sup>	-52 <sup>a</sup>	1561 <sup>a</sup>
		Température (°C)	70,86	94,92	90,93	-	-	-	-
	Fumage électrique	Viscosité (cP)	21 <sup>a</sup>	3579 <sup>b</sup>	1757 <sup>b</sup>	2740 <sup>b</sup>	1822 <sup>b</sup>	-839 <sup>b</sup>	983 <sup>b</sup>
		Température (°C)	69,67	94,89	91,34	-	-	-	-
	Séchage (étuve)	Viscosité (cP)	7 <sup>b</sup>	4072 <sup>a</sup>	2314 <sup>c</sup>	3583 <sup>c</sup>	1758 <sup>b</sup>	-489 <sup>c</sup>	1269 <sup>c</sup>
		Température (°C)	64,58	95,01	92,09	-	-	-	-

*Les chiffres dans la même colonne et pour le même produit ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.*

Le tableau 14 présente les paramètres temporels d'empesage tels que la facilité de cuisson. Il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les amidons pour ces paramètres. Pour un amidon donné, plus la différence entre le temps lié à la viscosité de pic et le temps de début d'empesage est faible, plus il est facile à cuire. Les amidons séchés-fumés sont plus aptes à la cuisson (2 mn 40s et 2 mn 32s respectivement) que l'amidon non fumé. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par **Osundahunsi et Oluwatooyin (2005)** sur les farines d'un cultivar nigérian. Ces différences pourraient être attribuées aux différences dans la distribution des tailles des granules d'amidon et offriraient plus d'opportunités d'utilisation de l'amidon et de la farine fumée traditionnellement (**Nuwamanya *et al.*, 2010**). La courte durée de cuisson des pâtes d'amidon issu des farines fumées indique que celles-ci requièrent peu d'énergie pour son processus de cuisson (**Shittu & Adedokun, 2010**).

**Tableau 14** : Paramètres temporels d'empesage et facilité de cuisson de l'amidon

	Fumage traditionnel	Fumoir électrique	Séchage électrique
Début d'empesage (s)	164	158	134
Temps d'atteinte du pic (s)	324	310	324
Facilité de cuisson (s)	160	152	190

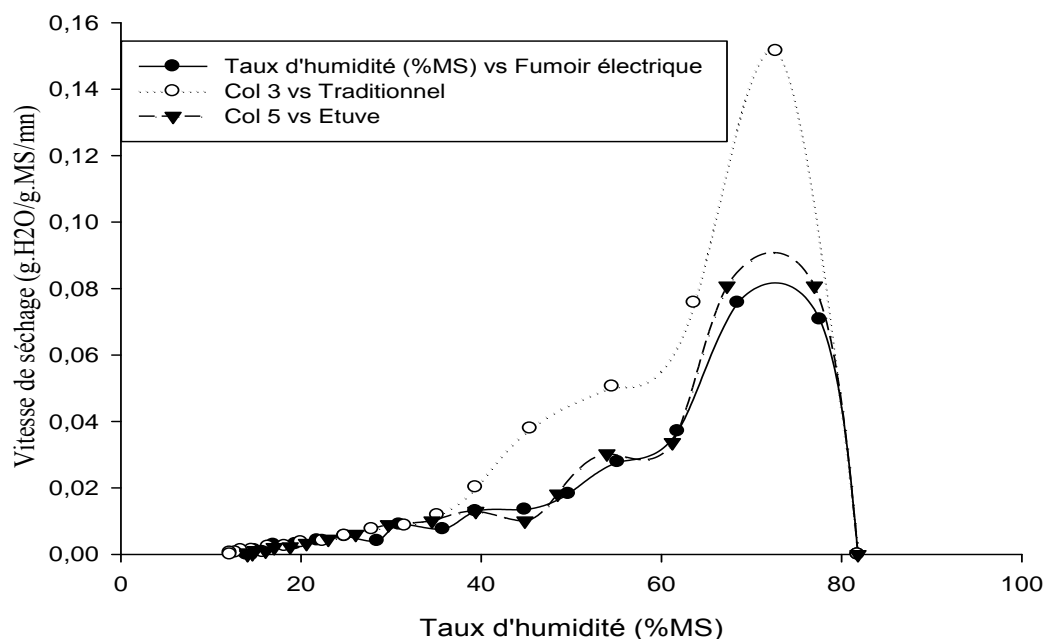
Les propriétés physicochimiques et fonctionnelles étudiées découlent des conditions de séchage (paragraphe III).

### III. ETUDE DU SECHAGE-FUMAGE DU MANIOC

#### III.1 Approche globale

La figure 25 présente la vitesse de séchage en fonction du taux d'humidité dans les trois modes de séchage : le séchage-fumage traditionnel, le séchage au fumoir moderne et le séchage à l'étuve. La vitesse de séchage décroît rapidement avec la baisse du taux d'humidité à partir des valeurs initiales se rangeant autour de 0,82 g.H<sub>2</sub>O/ g.MS à approximativement 0,4 g.H<sub>2</sub>O/ g.MS. Pendant cette période, les boules séchées-fumées traditionnellement présentent la plus grande vitesse initiale et la plus forte décroissance. Pour les méthodes électriques, le profil des vitesses de séchage est similaire. Après ce rapide changement initial, la décroissance devient très graduelle. Le tableau 15 donne les constantes de séchage  $k$  (pour les boules séchées selon les différentes modalités) déterminées par le tracé de l'humidité résiduelle ( $H_r$ ) en fonction du temps ( $t$ ) sur la base de l'équation de **Henderson et Perry (1976)**. Les valeurs de l'humidité d'équilibre ( $H_e$ ) ont été déterminées à partir du tracé de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau : les points de rencontre de ces courbes

avec l'axe des abscisses correspondent à  $H_e$ . Les constantes de séchage des deux méthodes électriques ( $0,19 \text{ h}^{-1}$  et  $0,20 \text{ h}^{-1}$ ) étudiées ne sont pas significativement différentes de celle liée au séchage-fumage traditionnel ( $0,22 \text{ h}^{-1}$ ). Les taux d'humidité ( $H_e$ ) à l'équilibre ne sont pas significativement différents ( $p < 0,05$ ) et sont situés dans la zone ( $0,12 - 0,13$ ) de teneur en eau considérée comme sûre pour la conservation des aliments séchés (FAO, 1992). De ce qui précède, on peut déduire que l'apport de fumée n'influence pas la vitesse d'élimination de l'eau au sein de la boule de fougou à sécher.



**Figure 25:** Cinétique de séchage des boules humides de fougou en fonction du taux d'humidité.

**Tableau 15 :** Humidité d'équilibre ( $H_e$ ) et constante de séchage ( $k$ ) à la fin du séchage en fonction du mode de séchage

	$H_e$ (g $H_2O$ /g MS)	$k_1$ ( $h^{-1}$ )	$R^2$
<b>Fumage traditionnel</b>	0,12 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	0,99
<b>Fumage électrique</b>	0,11 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	0,99
<b>Sans fumage</b>	0,12 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>	0,99

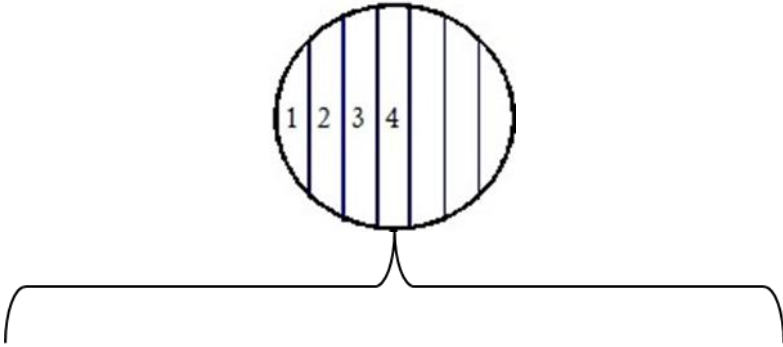
*Les chiffres dans la même colonne ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.*

### III.2 Approche analytique

Le tableau 16 présente les valeurs de l'humidité d'équilibre ( $H_e$ ) (g. $H_2O$ /g.MS) et de  $k$  ( $h^{-1}$ ) pour les tranches obtenues des boules au cours des différentes modalités de séchage. Les valeurs de la constante de séchage augmentent à mesure que l'on part des tranches externes vers les tranches internes. Ce qui veut dire que les compartiments de la boule ne sèchent pas au même moment et que la montée de la température de séchage à cœur se fait graduellement.

L'humidité d'équilibre ( $H_e$  [g.H<sub>2</sub>O/g.MS]) des tranches ou quantité d'eau mobilisable est considérée comme la teneur en eau résiduelle des tranches à la valeur nulle de la vitesse de séchage (c'est-à-dire la valeur de teneur en eau où la courbe coupe l'axe des abscisses).

**Tableau 16 :** Valeurs de  $H_e$  (g.H<sub>2</sub>O/g.MS) et de  $k$  (h<sup>-1</sup>) pour les tranches de boules issues des différents traitements



	Tranche 1		Tranche 2		Tranche 3		Tranche 4	
	He	k	He	k	He	k	He	k
	(g.H <sub>2</sub> O/ g.MS)	(h <sup>-1</sup> )	(g.H <sub>2</sub> O/ g.MS)	(h <sup>-1</sup> )	(g.H <sub>2</sub> O/ g.MS)	(h <sup>-1</sup> )	(g.H <sub>2</sub> O/ g.MS)	(h <sup>-1</sup> )
<b>Fumoir traditionnel</b>	0,16 <sup>a</sup>	0,51 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>
<b>Fumoir électrique</b>	0,15 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,28 <sup>b</sup>	0,15 <sup>c</sup>	0,23 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>
<b>Etuve</b>	0,15 <sup>a</sup>	0,31 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,15 <sup>c</sup>	0,24 <sup>a</sup>	0,15 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>

*Les chiffres dans la même colonne ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.*

Les valeurs de  $H_e$  (g.H<sub>2</sub>O/g.MS) des boules de fufou entières et des tranches sont significativement différentes ( $p < 0,05$ ). Ce qui est normal car l'humidité d'équilibre des tranches est une donnée apparente et ne reflète que les instants initiaux (quatre premières heures) du séchage. L'opération de tranchage n'a pas pu se poursuivre correctement à cause du phénomène de croutage des boules de fufou, rendant impossible la différenciation des tranches obtenues. Les teneurs en eau résiduelle trouvées dans les tranches sont donc liées aux instants initiaux du séchage ; c'est ce qui explique qu'elles soient plus élevées que celles des boules de fufou entières.

Les constantes de séchage des boules entières et des tranches sont significativement différentes ( $p < 0,05$ ). Les boules entières semblent sécher plus lentement par rapport aux tranches prises individuellement. En effet, la vitesse de séchage d'une boule entière découle de l'association des phénomènes complexes se déroulant en son sein. Ainsi, la boule de fufou, au cours du séchage se comporte comme un assemblage de plusieurs tranches unitaires, comportant des taux d'humidité et des vitesses de séchage variables, perdant ou se



chargeant en eau libre de façon graduelle jusqu'à l'atteinte de l'équilibre. Les valeurs de  $k$  des tranches étudiées diminuent lorsqu'on les considère de l'extérieur vers l'intérieur de la boule. Ainsi donc, pendant les premières heures de séchage, les tranches les plus externes ont séché plus vite que les internes. En effet, pendant la phase initiale de séchage d'un matériel alimentaire, c'est l'eau des couches superficielles qui est principalement éliminée. Par la suite, les différences de concentration en eau, entre l'intérieur et la surface de l'aliment, induisent la diffusion de l'eau à travers le produit (**Karel & Lund, 2003**). Cependant, la diffusion en sens opposé des composantes de la fumée de la surface vers l'intérieur du produit ne semble pas avoir affecté la vitesse de séchage des tranches (et donc des boules) puisqu'il n'y a pas de différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les constantes de séchage  $k$  des boules issues des deux types de séchage électrique effectués. Ce qui laisse supposer que l'imprégnation de la boule par la fumée s'est faite plus intensément vers la fin de l'opération de séchage. En effet, quand il reste très peu d'eau dans l'aliment, à l'approche de la fin du processus de séchage, cette eau diffuse à travers le produit sous forme de vapeur d'eau (**Chappell & Lebel, 2009**). La différence de pression entre les vapeurs d'eau sortantes et les composantes des fumées entrantes deviendrait de plus en plus favorable à ces dernières au fur et à mesure que l'on tend vers la fin du séchage. Cela aurait permis la pénétration accrue de la fumée à travers les pores et les interstices et l'imprégnation en profondeur de la boule de fufou par celle-ci. Ce phénomène justifierait peut-être le fait que les boules de fufou, ayant longtemps séjourné au grenier bien que déjà sèches, donnent une farine beaucoup plus sombre que celles y ayant passé moins de temps (**Favier, 1977**).

## CONCLUSION

L'objectif général du présent travail était d'examiner le procédé de séchage-fumage de la pâte de manioc roui et ses effets sur les propriétés des farines et amidons. Il s'est agi d'une part de diagnostiquer le système traditionnel de production du fofou de manioc, et d'autre part d'étudier, dans le processus de séchage-fumage, l'influence des conditions d'application de l'opération de séchage sur la qualité de la farine et sur les propriétés de l'amidon. Trois conditions ont été prises en compte ici : le séchage au cours du processus traditionnel de production de fofou fumé, le séchage dans un fumoir pilote, le séchage sans fumage dans un séchoir électrique.

Il ressort de cette étude que :

- la production de fofou séché-fumé traditionnellement en zone forestière exige trois fois plus d'investissement en termes de temps de travail que le séchage solaire direct en zone sahélienne. Par ailleurs sa qualité s'apprécie à travers des attributs organoleptiques (couleur, texture et odeur caractéristiques).
- le séchage-fumage traditionnel de la pâte rouie de manioc influence significativement les propriétés physiques (couleur, granulométrie), fonctionnelles (CAE et ISE) et rhéologiques de la farine et de l'amidon issus de ce traitement. La préparation de ceux-ci est énergétiquement économique en ce sens qu'ils sont plus aptes à cuire, comparés aux amidons et farines issus des séchoirs électriques. L'amidon séché-fumé traditionnellement donne une pâte plus consistante et plus stable au chauffage, lui conférant l'aptitude à être utilisé comme épaississant dans des formulations alimentaires.
- Le fumage n'influence pas la vitesse de séchage de la boule humide mais influence significativement la couleur de la farine de fofou et de son amidon. Malgré le non contrôle de sa température, le séchage-fumage pourrait aussi bien conserver la composition chimique des farines que le séchage électrique. L'imprégnation de l'intérieur des boules par la fumée a principalement lieu vers la dernière phase de séchage-fumage.

Les résultats obtenus montrent que cette denrée présente un potentiel technologique valorisable. Cependant pour y parvenir, il serait important d'étendre la recherche en étudiant :

- l'influence des paramètres intrinsèques de la boule humide sur le mode de séchage (taille des granules, forme de la boule, tassement) ;
- l'influence de la nature du bois sur la qualité des farines de fofou ;
- l'influence du séchage-fumage sur la digestibilité de l'amidon de manioc fermenté.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR** (Association Française de Normalisation), (1982). Recueil des normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits. 1ère édition. Paris (France). 327 p.
- Agbor-Egbe, T. & Lape Mbome, I. (2006)**. The effects of processing techniques in reducing cyanogen levels during the production of some Cameroonian cassava foods. Elsevier Science Ltd, *Journal of Food Composition and Analysis* 19 354–363..
- Agueguia, A., Apedo-Ama, A., Fontem, D. A., Manga, G. A., Mboua, J. C., Mouen, M., Ndzana, X., Ngeve, M. J., Poné, K. D., Tchuanyo, M., Tetka, J., Tiki Mpondo, G., Wouamane, M. & Zok, S. (2000)**. Le manioc un aliment pour tout le monde. In Les richesses du sol. Les plantes à racines et tubercules en Afrique : une contribution au développement des technologies de récolte et d'après-récolte. Eds Bell, A. Mück, O. & Schuler, B. Deutsche Stiftung für internationale Entwicklung (DSE). *Zentralstelle für Ernährung und Landwirtschaft (ZEL)*. 43 – 94.
- AOAC (1990)**. Official methods of Analysis (15th ed). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA pp 125-126, 132, 877-878.
- APICA (1998)**. Rapport de l'atelier international sur les « petites technologies de transformation du manioc ». Douala, Cameroun, 132 p. + annexes.
- Aprianita, A. (2010)**. Assessment of underutilized starchy roots and tubers for their applications in the food industry School of Biomedical and Health Sciences. Master of Science thesis. Victoria University (Australia). 138 p.
- Ashveen, V. N., Randhir, P. C., Rohindra, D. & Jagjit, R. K. (2008)**. Isolation and properties of starch from some local cultivars of cassava and taro in Fiji. *The South Pacific Journal of Natural Science*, 26.
- Barry, M. B. & Diallo, M. L. (1990)**. Le séchage du manioc par l'énergie solaire. International Atomic Energy Agency. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. International Centre for Theoretical Physics. IC/90/327. Internal report. Trieste, Italy.
- Benaouda, N. E, Boulemtafes, A. & Balhamel, M. (2005)**. Etude du comportement thermique et dynamique d'un séchoir solaire. 12èmes Journées Internationales de Thermique. Tanger, Maroc.
- Bencini, M. C. & Walston, J. P. (1991)**. Post-harvest and processing technologies of African staple foods: a technical compendium. FAO, Rome, Italie, 354 p.
- Bourelly, J. (1982)**. Observation sur le dosage de l'huile des graines de cotonnier. *Cot. Fib. Trop.* 27 (2): 183 – 196.
- Boursier, B. (2006)**. Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires. Technique de l'ingénieur tome F4. 690.
- Cardoso, A. P., Mirione, E., Ernesto, M., Massaza, F., Cliff, J., Rezaul Haque, M. & Bradbury, J. H. (2005)**. Processing of cassava roots to remove cyanogens. *Journal of Food Composition and Analysis* 18 : 451–460. ELSEVIER.
- Chappell, C. & Lebel S. (2009)**. Solar drying shed for cassava in Malawi. Design 3 BREE 495. McGill University, Quebec, Canada, 62 p.

- Chuzel, G. (1997).** Applications de la biotechnologie dans l'industrie de transformation du manioc : panorama actuel et perspectives. International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network. Kampala, Ouganda. CBN In: *African journal of root and tuber crops*. 2: N°1-2, special issue.
- CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) (1976).** Official recommendations on uniform colour spaces colour differences equations and metric colour terms. Supplement N°2 to CIE publication, N°15, Paris, France.
- Cock, J. H. (1985).** Cassava: New potential for a neglected crop. International Agricultural Development Service. *Westview Press, Inc.*, Colorado. 192 p.
- Codex Stan 176 (1991).** Norme CODEX pour la farine comestible de manioc. Norme régionale africaine. 03 p.
- Craig, S. A. S., Maningat, C. C., Seib, P. A & Hosney, R. C. (1989).** Starch paste clarity. *Cereal Chemistry*, 66, 173-182.
- Crosbie, G. B. & Ross, A. S.(2009).** The RVA handbook. AACC International, Minnesota, USA. 152 p.
- Davies, E. M. (2009).** Physiochemical, functional and structural properties of native Malawian cocoyam and sweetpotato starches. Ph.D Thesis, University of the free State (South Africa). 224 p.
- Devani, M. B., Shishoo, J. C., Shal, S. A & Suhagia, B. N. (1989).** Spectrophotometrical method for determination of nitrogen in Kjeldahl digests. *JAOAC*, 72 : 953-956.
- Djilemo, L. (2007).** La farine de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) non fermentée : l'avenir de la culture du manioc en Afrique in : Potentialités à la transformation du manioc (*Manihot Esculenta* Crantz) en Afrique de l'Ouest. (eds Amani, G., Nindjin, C., N'zue, B., Tschannen, A. & Aka, D.). Actes du 1er Atelier International, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Djoulde, D. R. (2005) :** Mise au point d'un ferment mixte destiné à la bioconversion des tubercules de manioc cyanogène. Thèse Ph.D, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Ngaoundéré, Cameroun. 220 p.
- Djoulde, D. R., Etoa, F.-X., Essia Ngang, J.-J. & Mbofung, C. M. F. (2005) :** Screening des microorganismes à potentialités fermentaires pour le manioc. *Tropicicultura*, 23, 1, 11-18.
- Dufour, D., Brabet, C., Zakhia, N. & Chuzel, G. (1995).** Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc. *In* Transformation Alimentaire du Manioc. Agbor Egbe, T., Brauman, A., Griffon, D. & Trèche, S. (éd). Editions ORSTOM. 399-416
- El Mokretar, S., Miri, R. & Belhamel, M. (2004).** Etude du Bilan d'Energie et de Masse d'un Séchoir de Type Serre Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires. *Rev. Energ. Ren.* 7 : 109-123.
- Essia Ngang, J.-J., Kouebou, C. & Djoulde, D. R. (2003).** Enrichissement protéique de l'attiéké (semoule à base de manioc): comparaison de deux sources protéiques, *Saccharomyces cerevisiae* et *Voandzeia subterranea* (pois de terre). *In* Thème 4: Production et fortification des aliments par les petites industries agroalimentaires en vue d'améliorer la (bio) disponibilité des (micro) nutriments. 2<sup>ème</sup> Atelier international. Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles. Ouagadougou. 589-598

- Famurewa, J. A. V., Oluwamukomi, M. O. & Alaba, J. O. (2005).** Storage stability of Pupuru flour (a cassava product) at room temperature. *British Journal of Applied Science & Technology* 2(2): 138-145, 2012.
- FAO (2009).** FAOSTAT website. <http://www.fao.org/>
- FAO (2010).** Pourquoi le manioc ? <http://www.fao.org/wairdocs/x5695f/x5695f03.htm>. Consulté le 22 juin 2011 à 11 h 51 min
- Favier, J. C. (1977).** Valeur alimentaire de deux aliments de base africains : le manioc et le sorgho. Travaux et documents de l'ORSTOM. Editions de l'office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM). 118 p.
- Favier, J. C., Ireland-Ripert, J., Feinberg, M. & Mourel, R. M. (1995).** Les dérivés du manioc dans une banque de données et dans un système international de codification descriptive des aliments. In : Transformation Alimentaire du Manioc Agbor Egbe, T., Brauman, A. Griffon, D. Trèche, S. (éd). Éditions ORSTOM.
- Fiagan, Y. S. (2007).** Les utilisations du manioc. Première rencontre des projets de développement des plantes racines et tubercules du FIDA en Afrique de l'Ouest et du Centre. Yaoundé. 11 p.
- FIDA (2010).** Sur le terrain. <http://www.ifad.org/story/index.htm>
- Fischer, E. & Stein, E. A. (1961).** DNS colorimetric determination of available carbohydrates in foods. *Biochemical Preparation*, 8: 30 – 37.
- Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A.-C. & Aman P., (1998).** The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starch. *Carbohydr. Polym.* 35, 119-134.
- Hahn, S. K. (1989).** An Overview of African Traditional Cassava Processing and Utilization. *Outlook on Agriculture* 18 (3) : 110 - 118.
- Hatcheu, E. T. (2003).** L'approvisionnement et la distribution alimentaires à Douala (Cameroun) : logiques sociales et pratiques spatiales des acteurs. Thèse de Doctorat. Institut d'Etudes de Développement Economique et Social (IEDES). Université de Paris I Panthéon Sorbonne.
- Henry, G. (1999).** Globalization and valorization: the case of cassava. Paper for presentation at the joint congress SOBER/IAAE. Brazil.
- Hongbete, F., Nago, M. C., Mestres, C. (2004).** Effet de la variété et de la technologie sur la qualité sanitaire et la couleur de deux farines dérivées du manioc. Journées scientifiques internationales des universités nationales du Bénin. 2
- Hoover, R. & Sosulski, F. (1986).** Effect of cross linking on functional properties of legumes starches. *Starch*, 38 : 149-155.
- IITA (1990).** Le manioc en Afrique tropicale. Un manuel de référence. Ibadan, Nigeria, 190p.
- Ikegwu, O. J., Nwabasi V. N., Odoh M. O. & Oledinma N. U. (2004).** Evaluation of the pasting and some functional properties of starch isolated from some improved cassava varieties in Nigeria. *Carbohydrates polymers.* 56: 367-370
- Jannot, Y. (2011) :** Thermique solaire. Cours. Ecole des mines. Nancy. 161p.
- Jarvis, C. E. & Walker, J. R. L. (1993).** Simultaneous, rapid, spectrophotometric determination of total starch, amylose and amylopectin. *J. Sci. Food Agric.* 63 , 53-57

- Jeon, Y. W. & Halos L. S. (1991).** Addressing R&D for Cassava Postharvest System in West Africa. Paper N<sup>o</sup>. 915530 ASAEN Meeting Presentation. 9 p.
- Jiokap, N. Y. (2005).** Support de cours pour les étudiants en DEA Génie des Procédés, Option ACEM, Université de Ngaoundéré, 61 p. (Disponibles en Bibliothèque).
- Karel, M. & Lund, D. B. (2003).** Physical Principles of Food Preservation: 2<sup>nd</sup> Edition, revised and expanded. New York, USA, Marcel Dekker, Inc.
- Kibamba, E., Tessier, K. & Treche, S. (1995).** Transformation et commercialisation du manioc dans le district rural de Mouyondzi au Congo In : *Transformation Alimentaire du Manioc*, (éd) Agbor, T., Egbe, Brauman, A., Griffon, D., Trèche, S. éditions ORSTOM.
- Knockaert, C. (1995).** Le fumage du poisson in : Collection « Valorisation des produits de la mer ». Éditions IFREMER. Plouzané, France.
- Leach, M. W., Mc Cowen L. D. & Schoch T. J., 1969.** Structure of starch granule, swelling and solubility pattern of various starches. *Cereal chem.* 36, p 534-544.
- Lebot, V. (2008).** Améliorer les plantes à racines et tubercules tropicales. CIRAD. 2 p.
- Lertworasirikul, S. & Tipsuwan, Y. (2008).** Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. *Journal of Food Engineering.* 84, 65–74.
- Lertworasirikul, S. (2008).** Drying kinetics of semi-finished cassava crackers: A comparative study. *Science Direct.* LWT41, 1360–1371.
- Maas-Van Berkel, B., Van Den Boogaard, B. & Heijnen, C. (2005).** La conservation du poisson et de la viande. *Agrodok* 12. Fondation Agromisa, Wageningen.
- Makkar, H. P. S., Siddhuraju, P. & Becker, K. (2007).** Plant secondary metabolites. In *Methods in molecular biology.* Humana Press Inc., Totowa, NJ, Vol. 393, pp. 61-68.
- Manusset, S. (2006).** Proposition pour une clé d'identification des variétés de manioc chez différents groupes culturels en Guyane française. Colloques du Groupement des Anthropologistes de Langue Française (GALF). *Antropo*, 11, 61-73.
- Manyong, V. M., Dixon, A. G. O., Makinde, K. O, Bokanga, M. & Whyte, J. (2000).** The contribution of IITA-improved cassava to food security in sub-Saharan Africa : an impact study. International Institute of Tropical Agriculture (IITA) and Modern Design & Associates Ltd, Ibadan, Nigeria. 13 p.
- Maziya-Dixon, B., Adebowale, A. A., Onabanjo, O. O. & Dixon, A. G. O. (2005).** Effect of variety and drying methods on physico-chemical properties of high quality cassava flour from yellow cassava roots. African Crop Science Conference Proceedings, Vol. 7. pp. 635-641. African Crop Science Society. Uganda. 7 p.
- Medoua, N. G. J. M. (2005).** Potentiels nutritionnel et technologique des tubercules durcis de l'igname *Dioscorea dumetorum* (Kunth) pax : Etude du durcissement post-récolte et des conditions de transformation des tubercules durcis en farine. Thèse, Université de Ngaoundéré. 254 p.
- Melcion, J.-P. (2000).** La granulométrie de l'aliment : principe, mesure et obtention. INRA Prod. Anim. 13 (2), 81-97.

- Miles, M. J., Morris, V. J., Orford, P. D. & Ring, S. G. (1985).** The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research* 135, 271–281.
- MINADER (2008).** [http:// www.minader.cm/](http://www.minader.cm/)
- Mkandawire, R. W. & Taulo, J. L. (2008).** Status of cassava drying in Malawi. Malawi Industrial Research and Technology Development Centre.
- MLingi, N. L. V., Assey, V., Swai, A., Mc Larty, D., Karle, H. & Rosling H. (1993).** Determinants of cyanide exposure from cassava. In: kunzo-affected population in northern. *J. Food Sci. Nutr.*; 44:137-44.
- Moorthy, S. (2002).** Tuber crop starches. *Tech Bulletin*. No. 18 CTCRI, Trivandrum.
- Moorthy, S. N., Blanshard, J. W. V. & Richard, J. E. (1992).** Starch Properties in Relation to Cooking Qualities of Cassava. Proceedings of the First International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network, Cartagena, Colombia, 25–28 August 1992. Working Document No. 123, Centro Internationale De Agriculture Tropical (CIAT), Cali, Colombia, pp. 265–269.
- Morlon-Guyot, J., Guyot, J.P., Pot, B., De Haut, J. & Raimbaut, M. (1998).** *Lactobacillus manihotivorans* sp. nov., a new starch-hydrolysing lactic acid bacterium isolated during cassava sour starch fermentation. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 48, 1101-1109. Great Britain.
- Mvila, A. C. & Magma Mbongo, J. M. (2006).** Situation du manioc en République du Congo : Etat des lieux et perspectives. FIAT PANIS, FAO.
- Nagib, N. & Rodomiro, O. (2010).** Breeding cassava to feed the poor. *Scientific American*. 06 p.
- Nago, C. M. (1997).** La transformation alimentaire traditionnelle du maïs au Bénin : détermination des caractéristiques physico-chimiques des variétés en usage, relation avec l'obtention et la qualité des principaux produits dérivés. Thèse de doctorat d'état es-sciences, Université Paris 7, 201p.
- Nambisan, B. (2011).** Strategies for elimination of cyanogens from cassava for reducing toxicity and improving food safety. *Food and Chemical Toxicology* 49, 690–693.
- Narayana, K. & Narasinga Rao, M. S. (1984).** Effect of partial proteolysis on the functional properties of winged pea (*Psophocarpus tetragonolobus*) flour. *J. Food Sci.* 49: 944 - 947.
- Nguimbou, R.M. (2012).** Potentiel nutritionnel et propriétés physico-chimiques des poudres de tubercules de *Cyrtosperma merkusii* (H. Schott), taro bicolore non-conventionnel. Thèse de Doctorat/Ph.D, Université de Ngaoundéré, Cameroun et université de Lorraine, France, 246 p.
- Niba, L.L., Bokanga, M.M., Jackson, F.L., Schlimme, D.S. & Li, B.W. (2002).** Physicochemical properties and starch granular characteristics of flour from various *Manihot Esculenta* (Cassava) Genotypes. *Food Chemistry and Toxicology* 1701, 1-5.
- Njintang, Y. N. (2003).** Studies on the production of taro (*Colocasia esculenta*) flour for use in the preparation of Achu -a taro base food. Doctorat/Ph.D thesis, University of Ngaoundere, Cameroon, 298 p.
- Nout, R., Hounhouigan, J.D. & Van Boekel, T. (2003).** Les aliments, transformation, conservation et qualité. Backhuys Publishers. CTA. Allemagne.

- Numfor, F.A., Walters Jr, W.M. & Schwartz, S. J. (1998).** Emulsifiers affect the texture of pastes made from fermented and non-fermented cassava flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 455-460. Blackwell Science Ltd.
- Nuwamanya, E., Baguma, Y., Emmambux, N., Taylor, J. & Rubaihayo P. (2010).** Physicochemical and functional characteristics of cassava starch in Ugandan varieties and their progenies *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. Vol. 2(1). pp. 001-011
- Nweke, F.I. (2004).** New challenges in the cassava transformation in Nigeria and Ghana. EPTD Discussion Paper N° 118. Environment and Production Technology Division International. Food Policy Research Institute. Washington.
- Nweke, F.I., Ajobo, O., Ugwu, B.O., Dixon, A.G.O., Halegoah, J. & Al-Hassan, R. (1997).** Cassava Production in Ghana. *COSCA working paper* N° 21, IITA, Ibadan, Nigeria.
- Nweke, F.I., Dixon, A.G.O., Assiedu, R., Folayan, S.A., (1994).** Cassava varietal needs of farmers and potentials for production growth in sub-Saharan Africa. COSCA Working Paper N° 10, Collaborative Study of Cassava in Africa, IITA, Ibadan, Nigeria.
- Odetokun, S.M., Ayesanmi, A.F & Osuoso, K.O. (1998).** Enhancement of the nutritive value of Pupuru, a fermented cassava product. *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 75: 155 – 158.
- Onwueme, I.C. & Sinha, T.D. (1991).** Field Crop Production in Tropical Africa. CTA, Ede, The Netherlands, 480 p.
- Onwueme, I.C. (1978).** The Tropical Tuber Crops. Chichester, United Kingdom, 234 p.
- Osswald, P. (1995).** Economie des racines et tubercules. Solagral, Paris, France, 66 p.
- Osundahunsi & Oluwatooyin, F. (2005).** Effect of Drying Methods on Composition, Sensory Evaluation and rheological Value of Pupuru (Fermented Cassava Product). *Journal of Food Technology* 3 (3): 353-355. Grace Publications.
- Pavon-Melendez, G., Hernandez, J.A., Salgado, M.A. & Garcia, M.A. (2002).** Dimensionless analysis of the simultaneous heat and mass transfer in food drying. *Journal of Food Engineering*. 51: 347–353.
- PNDRT (2006).** Etude sur l'observatoire des racines et tubercules. Rapport de première phase. Programme National de Développement des Racines et Tubercules, MINADER, Cameroun. 143p.
- Purseglove, J.W. (1987).** Tropical Crops. Dicotyledons. Harlow, United Kingdom, 719 p.
- Rainer, O. (2006).** Etude de conception d'une unité d'extraction d'amidon d'igname. Haute école valaisanne. *Sciences de l'ingénieur*. 77p.
- Ranivontsoarivony, M. Noronavalona, A. Raharison, N. & Rajaona, H. R. (2001).** Le manioc est-il un facteur diabétogène ? A propos d'un cas de diabète sucré chez un gros mangeur de manioc cru. *Manuscrit N°2144*, 3. Clinique.
- Rasoanantoandro-Gothard, M.C. (2003).** L'amélioration des techniques de transformation du manioc en cossettes en RCA : Rouissage en vase clos et séchage en encage thermique in : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (éds scientifiques), 2003. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. 06 p.



- Rivier, M., Kebe, F. & Goli, T. (2009).** Fumage de poissons en Afrique de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportation. Rapport intermédiaire. Agence Universitaire de la Francophonie.
- Rocksloh-Papendieck, B. (1989).** Manioc : le travail des femmes. Pp. 328 - 357, in : Veelbehr, E. (Edit.) : Racines, tubercules et légumineuses. Potentiel et limites pour résoudre les problèmes alimentaires en Afrique. DSE - DWHH - CTA, Feldafing, R.F.A., 368 p.
- Rodier, J. (1978).** L'analyse de l'eau : chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. 6<sup>ème</sup> édition, Dunod Techniques, Paris (France). 213.
- Saricoban, C. & Tahsin Yilmaz, M. (2010).** Modeling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. *World Applied Science Journal*, 9(1), 14–22.
- Sathe, P. D., Deshpande, S. S., & Salumkhe, D. K. (1982).** Isolation and partial characterisation of black gram (*Phaseolus mango* L.) starch. *Journal of Food Science*, 47, 1524-1527.
- Sebastian, P., Bruneau, D., Collignan, A. & Rivier, M. (2004).** Drying and smoking of meat: heat and mass transfer modeling and experimental analysis. *Journal of Food Engineering*.70 (2005) 227–243.
- Shittu, T. A., Oyewole, O. B., Olawuyi, O. & Daramola, O. (2003).** Processing technology of pupuru: a survey of practices and product quality in the south west of Nigeria. ASSET series B, 2 (2) : 17 - 27 .
- Shittu, T.A & Adedokun, I.I. (2010).** Comparative evaluation of the functional and sensory characteristics of three traditional fermented cassava products. *Journal of Natural Sciences, Engineering and Technology*, 9(2):106-116. UNAAB
- Shittu, T.A. Edema, M.O. Dada, O. Atayese , A.O. (2009).** Microorganisms associated with the spoilage of Pupuru. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.05.012>
- Sidibe, D., Sako, A. & Agbo N'zig. (2007).** Etude de quelques propriétés physico-chimiques des amidons de cinq (5) variétés de maniocs (Attiéké Mossi 1, Attiéké Mossi 2, Agbablé1, Kétévie et TA(8)) cultivées en Côte-d'Ivoire. *Sciences et médecine. Rev. CAMES - Série A*, 5. 06p.
- Simeu Kamdem, M. (1996).** (Sous la coordination de). Etude de la filière manioc au Cameroun, Yaoundé; Cisca, 94 p.
- Singh, N., Chawla, D. & Singh, J. (2004).** Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food chemistry* 86: 601-608.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S. & Gill, B. S. (2003).** Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81,219-231.
- Tara A. (2005).** Modification chimique de l'amidon par extrusion réactive. Thèse de doctorat, Sciences pour l'Ingénieur, Université de Reims Champagne-Ardenne, France, 230 p.
- Tian, S.J., Rickard, J.E. & Blanchard, J.M.V. (1991).** Physi-chemical properties of sweet potato starch. *J Sci Food Agric* 57 : 459 - 461.
- Tiky Mpondo, G. (1995).** Traitement du manioc, propriétés des farines et qualités du fofou. Note de recherche. *Cahiers Agricultures* 4 : 57 – 90.

- Tolendeli, B. (2006).** Identification des opportunités d'emplois dans la filière manioc au Sud du Bénin. Centre d'Information de Recherche et d'Action pour la Promotion des Initiatives Privées. EurAfrik, Bénin. 87p.
- Tollens, E. (2003).** Sécurité alimentaire à Kinshasa : un face à face quotidien avec l'adversité. *Working Paper* 82. Faculté des Sciences Agronomiques et de la Biologie Appliquée. Katholieke Universiteit Leuven Willem de Croylaan 42, Belgium.
- Trapp, S. , Cammarano, A., Capri, E., Reichenberg, F. & Mayer (2007).** Diffusion of PAH in Potato and Carrot Slices and Application for a Potato Model. *Environ. Sci. Technol.* 41, 3103-3108 pp.
- Vilpoux, O. & Perdrix, E. (1995).** Une agro-industrie rurale en mutation. La fabrication d'amidon fermenté de manioc au Brésil. Document de travail du CIRAD-SAR N°5-95, 114 p.
- Werlich, M. (2001).** Fumage du poisson et fours de fumage. Gate Information Service. GTZ, Germany.
- Westby, A. (2002).** Cassava utilization, storage and small-scale processing. In Cassava: biology, production and utilization. (eds Hillocks, R.J., Tresh, J.M., Belloti, A.C.). *CAB International*. 20 p.
- Wolff, J. P. (1968).** Manuel d'analyse des corps gras; Azoulay éd., Paris, 519 p.
- Worawikunya, K. (2007).** Production of enzymes resistant starch from cassava starch. Degree of Master of Science in Food Technology. Suranaree University of Technology, Inde, pp. 7-23.
- Zakhia, N. & Raoult-Wack, A.-L. (1997).** Le procédé de séchage: variantes techniques et innovations. p.1-5, In : Séminaire séchage des produits alimentaires à haute teneur en eau en Afrique francophone. Atelier : les produits séchés pour les marchés africains. Coopération Française; CTA. - Québec : IEPF.
- Zomahoun, J.P., Aminou, A. & Megnanglo, M. (2005).** Conception of a dryer for the semi - industrial production of cassava chips. Conference on International Agricultural Research for Development. Stuttgart-Hohenheim.

# ANNEXES

## TRANSFORMATION DU MANIOC

Décembre 2011 à Janvier 2012 - Jean Marcel BINDZI

Cette étude permet de comprendre les pratiques artisanales de la transformation du manioc en fofou au Cameroun.

### MATIERES PREMIERES UTILISEES

Répondre à toutes les questions.

1. Quelles matières premières utilisez-vous dans votre transformation ?

1. tubercules frais     2. pâte rouie

*Vous pouvez cocher plusieurs cases.*

2. Comment vous procurez-vous de la matière première utilisée dans votre transformation ?

1. Auto production     2. Achat

*Vous pouvez cocher plusieurs cases.*

3. En cas d'achat, d'où provient la matière première (localité)?

1. Boumnyebel     2. Eseka  
 3. Sud-Cameroun     4. Villages environnants

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).*

*La question n'est pertinente que si Acquisition = "Achat"*

4. Quelles sont les différentes variétés de manioc que vous utilisez dans votre transformation ?

1. congo amère     2. sélectionnée  
 3. 6 mois     4. Ntòl  
 5. doux     6. rouge  
 7. jaune     8. blanc  
 9. Nlanga Lot     10. sucré  
 11. sans distiction

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).*

5. Pourquoi préférez-vous cette (ces) variété(s)?

1. disponibilité  
 2. bon rendement  
 3. tubercules frais amers  
 4. habitude  
 5. blancheur de la pulpe  
 6. développement rapide  
 7. bon goût  
 8. tout manioc conduit au fofou

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).*

6. Quels sont les principaux ingrédients que vous utilisez dans votre transformation ?

1. manioc     2. eau     3. starter

*Vous pouvez cocher plusieurs cases.*

Quelle quantité (en Kg) de manioc transformez-vous au même moment?

7. Quantité minimale transformée

8. Quantité maximale transformée

Quelle quantité (en Kg) de produit fini en obtenez-vous au même moment?

9. Quantité minimale obtenue

10. Quantité maximale obtenue

Combien de fois le faites-vous ?

	1	2	3	4	5
11. par jour	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. par semaine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. par mois	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*1 (1), 2 (2), 3 (3), 4 (4), 5 (5).*

### PROCEDES DE TRANSFORMATION ET PRODUITS FINIS

14. Quels sont les produits de transformation du manioc que vous connaissez ?

1. amidon     2. attiéké  
 3. beignets     4. bobolo  
 5. bouillie     6. boules fumées  
 7. boules sèches     8. cossettes  
 9. farine     10. fofou granulé  
 11. frites     12. gari  
 13. macaroni     14. mintoumba  
 15. miondo     16. nkonda

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (10 au maximum).*

15. Quels produits obtenez-vous à la suite de la transformation du manioc dans votre unité ?

1. amidon     2. attiéké  
 3. beignets     4. bobolo  
 5. bouillie     6. boules fumées  
 7. boules sèches     8. cossettes  
 9. farine     10. fofou granulé  
 11. frites     12. gari  
 13. macaroni     14. mintoumba  
 15. miondo     16. nkonda  
 17. Rikvan     18. yaga-yaga

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (11 au maximum).*

Quelle est la durée (en heure) de chacune des opérations unitaires suivantes ?

16. Epluchage	<input type="text"/>
17. 1er lavage	<input type="text"/>
18. Découpage	<input type="text"/>
19. Rouissage	<input type="text"/>
20. 2nd lavage	<input type="text"/>
21. Défilage	<input type="text"/>
22. Pressage/ Egouttage	<input type="text"/>
23. Séchage au soleil	<input type="text"/>
24. 1ère mouture	<input type="text"/>
25. Mise en boule	<input type="text"/>
26. Séchage -fumage	<input type="text"/>

Quelle masse de produits intermédiaires ou finis obtenez-vous après chaque opération unitaire de votre procédé ?

27. Epluchage	<input type="text"/>
28. 1er lavage	<input type="text"/>
29. Découpage	<input type="text"/>
30. Rouissage	<input type="text"/>
31. 2e lavage	<input type="text"/>
32. Défilage	<input type="text"/>
33. Essorage	<input type="text"/>
34. 2nde mouture	<input type="text"/>
35. Séchage au soleil	<input type="text"/>
36. mise en boule	<input type="text"/>
37. séchage -fumage	<input type="text"/>

38. Epluchage

1. Couteaux  2. machettes  3. bassines  
 4. seaux  5. cuvettes

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).*

39. 1er lavage

1. bassines  2. seaux  3. cuvettes

*Vous pouvez cocher plusieurs cases.*

40. Découpage

1. Couteaux  2. machettes  3. bassines  
 4. seaux  5. cuvettes

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).*

41. Rouissage

1. bassines  2. seaux  3. cuvettes  4. fûts

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).*

42. 2e lavage

1. bassines  2. seaux  3. cuvettes

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).*

43. Défilage

1. bassines  2. seaux  3. paniers  4. bâches

44. Essorage

1. sacs perméables  2. bâton  3. grosse pierre  
 4. manuel

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).*

45. Séchage au soleil

1. bâches  2. tôles  3. surface plane solide

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).*

46. 1ère mouture

1. mortier/pilon  2. moulin

47. Mise en boule

1. calebasses  2. aucun outil

48. Séchage-fumage

1. claie  2. grenier  3. foyer à bois

*Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).*

*La question n'est pertinente que si soleil\_équip = "Non réponse"*

**Nombre et genre de la main d'oeuvre que vous utilisez?**

49. femme

50. homme

51. femme

52. homme

53. femme

54. homme

55. femme

56. homme

57. femme

58. homme

59. femme

60. homme

61. femme

62. homme

63. femme

64. homme

65. femme

66. homme

67. femme

68. homme

69. femme

70. homme

**Quels produits intermédiaires ou finis obtenez-vous à l'issue de chaque opération unitaire?**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
71. Epluchage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
72. 1er lavage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
73. Découpage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
74. Rouissage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
75. 2e lavage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
76. Défibrage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
77. Essorage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
78. Mouture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
79. Séchage au soleil	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
80. mise en boule	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
81. séchage-fumage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*Pulpe fraîche (1), pulpe propre (2), cossettes fraîches (3), produit roui (4), produit roui propre (5), produit essoré (6), produit défibré (7), pâte molle (8), boules humides (9), granulés secs (10), cossettes sèches (11), boules sèches (12), boules fumées (13).*

**Quelles sont les opérations de transformation dont la mauvaise exécution peut nuire à la qualité du produit final? (Critères de qualité affectés)**

	1	2	3	4	5	6	7
82. Epluchage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
83. lavage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
84. Rouissage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
85. 2nd lavage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
86. Défibrage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
87. Essorage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
88. broyage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
89. Séchage au soleil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
90. Mise en boule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
91. Séchage-fumage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*couleur (1), odeur (2), goût (3), taux d'impuretés (4), humidité résiduelle (5), degré de tassement (6), taille des granulés (7).*

**Quelles sont les opérations de la transformation dont la mauvaise exécution peut nuire à la qualité du produit final?**

	1	2	3	4	5	6	7
92. Epluchage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
93. 1er lavage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
94. Rouissage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
95. 2e lavage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
96. Défibrage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
97. Essorage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
98. Séchage au soleil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
99. Mise en boule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
100. Mouture	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
101. Séchage-fumage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*long (1), pénible (2), risque de blessures (3), manutention du bois (4), approvisionnement en eau (5), délicat (6), degré de tassement (7).*

**Quels critères de qualité utilisez-vous pour apprécier les produits intermédiaires et les produits finis que vous obtenez au cours de votre transformation ?**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
102. pulpe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
103. produit roui	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
104. produit roui lavé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
105. Pâte molle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
106. produit essoré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
107. produit sec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*odeur caractéristique (1), couleur caractéristique (2), richesse en pulpe (3), taux d'humidité (4), teneur en impuretés (5), absence de moisissures (6), goût caractéristique (7), texture molle (8), finesse des granulés (9).*

**Quels problèmes de qualité rencontrez-vous ?**

	1	2	3	4	5	6	7	8
108. pulpe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
109. produit roui	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
110. produit roui lavé	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
111. pâte molle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
112. produit essoré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
113. produit sec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*mauvaise odeur (1), couleur indésirable (2), pauvreté en pulpe (3), humidité importante (4), forte teneur en impuretés (5), mauvais goût (6), texture indésirable (7), finesse des granules (8).*

**Comment conservez-vous vos matières premières et produits semi-finis ou finis ?**

	1	2	3	4	5
114. Tubercules frais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
115. Pâte molle	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
116. Fofou / farine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*enfouissement (sol) (1), enfouissement (sable) (2), conditionnement (sac plastique) (3), stockage (sacs-filets) (4), aucune condition (5).*

**Quelle est la durée de vie des produits conservés ?**

117. Tubercules frais

118. Pâte

119. Fofou / farine

**Quels sont selon vous les indicateurs de qualité liés à la conservation de vos matières premières et produits intermédiaires ou finis ?**

	1	2	3	4	5	6	7
120. Tubercules frais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
121. Pâte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
122. fofou/farine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*couleur (caractéristique) (1), pourriture (absence) (2), peau (intacte) (3), odeur (caractéristique) (4), moisissures (absence) (5), humidité (absence) (6), contamination (absence) (7).*

**123. Le mode de transformation que vous appliquez est :**

1. une pratique technique locale  
 2. une pratique technique empruntée

**124. Votre mode de transformation locale se transmet de père (ou mère) en fils (ou fille)**

1. oui  2. non

*La question n'est pertinente que si origine du procédé = "une pratique technique locale"*

**125. Le processus de transformation exige-t-il des rituels particuliers ?**

1. Oui  2. Non

**126. Votre genre**

1. Masculin  2. Féminin

## VOTRE IDENTITE

**127. A quelle tranche d'âge appartenez-vous ?**

1. < 20 ans  2. 20 à 30 ans  3. 30 à 40 ans  
 4. > 40 ans

**128. Vous êtes de nationalité camerounaise ?**

1. Oui  2. Non

**129. Quelle est votre origine ethnique ?**

1. Bafia  2. Bassa  3. Eton  
 4. Ewondo  5. Laka  6. Manguissa  
 7. Mboum  8. Sanaga  9. Yambassa  
 10. Foulbé

**130. Quel est votre niveau d'étude ?**

1. Primaire  2. Secondaire  3. Universitaire  
 4. Aucun

**131. Quelle est votre situation matrimoniale ?**

1. Célibataire  2. Marié(e)  3. Divorcé(e)  
 4. Veuf(ve)

**132. A quel type d'unité appartenez-vous ?**

1. Familial  2. Artisanal  3. Semi-industriel

**133. Quelle est votre responsabilité au sein de l'unité ?**

1. Chef  2. Employé(e)  3. Bénévole

**134. Quel est le nom de la localité d'appartenance de votre unité ?**

1. Afan Oyoo  2. Bafia  3. Binguela  
 4. Bogso Centre  5. Eseka  6. Garoua  
 7. Mbankomo  8. Mbélé 1  9. Ombessa  
 10. Oveng  11. Zoa-Toubsi  12. Dibamba

**135. Quel est le nom de votre unité administrative d'appartenance ?**

1. Bafia  2. Eseka  3. Garoua  
 4. Mbankomo  5. Obala  6. Ombessa  
 7. Dibamba

**136. Clé**