

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

.....
FACULTE DES SCIENCES

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

.....
FACULTY OF SCIENCE



DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE
DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE MICROBIOLOGIE
MICROBIOLOGY LABORATORY

**Amélioration d'un starter de rouissage : impact sur la
qualité de la farine de manioc (*Manihot esculenta* Crantz)
obtenue**

THESE

Présentée et soutenue en vue de l'obtention du **Doctorat/PhD.** en Biochimie
Spécialité : Microbiologie

Par:

NKOUDOU ZE Nardis
Master es Science en Biochimie
Matricule:03x261

Jury

OBEN Julius ENYONG	Professeur	Université de Yaoundé 1	Président
ESSIA NGANG Jean J.	Maître de Conférences	Université de Yaoundé 1	Rapporteur
NDJOUENKEU Robert	Professeur	Université de Ngaoundéré	Membre
SAULNIER Luc	Directeur de Recherches	INRA-Nantes	Membre
FOKOU Elie	Maître de Conférences	Université de Yaoundé 1	Membre
MINKA Samuel	Maître de Conférences	Université de Yaoundé 1	Membre

Année 2017



DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE
DEPARTMENT OF MICROBIOLOGY

DECLARATION SUR L'HONNEUR

Je soussigné, **NKOUDOU ZE Nardis**, atteste que la présente thèse intitulée :
« *Amélioration d'un starter de rouissage : Impact sur la qualité de la farine de manioc (Manihot
escuelanta Crantz) obtenue* » est le fruit de mes propres travaux de recherche effectués sous la
direction de **Jean Justin ESSIA NGANG**, Maître de Conférences à l'Université de Yaoundé I.

Cette thèse est authentique et n'a pas été présentée pour acquisition de tout diplôme que
ce soit.

Yaoundé le 05 Janvier 2017

Signature de l'étudiant

Signature du directeur de thèse

NKOUDOU ZE Nardis

Jean Justin ESSIA NGANG
Maître de Conférences

LISTE PROTOCOLAIRE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

ANNEE ACADEMIQUE 2015/2016

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION 10 Février 2016

ADMINISTRATION

DOYEN : BILONG Paul, Professeur

VICE-DOYEN / DPSAA : NJOPWOUO Daniel, Professeur

VICE-DOYEN / DSSE : DONGO Etienne, Professeur

VICE-DOYEN / DRC : ESSIMBI ZOBO Bernard, Professeur

Chef Division Affaires Académiques, Etudes et Recherche : ABESOLO Monique, Chargé de Cours

Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Marie C. F., Chargé de Cours

1-DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BCH) (41)			
N°	NOMS ET PRENOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	AMVAM ZOLLO Paul Henri	Professeur	<i>Recteur/UN</i>
2	BENG née NINTCHOM PENLAP V.	Professeur	En poste
3	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
4	MBACHAM FON Wilfred	Professeur	<i>Chef de Dépt FMBS</i>
5	MOUNDIPA FEWOU PAUL	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
7	BIGOGA JUDE	Maître de Conférences	En poste
8	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
9	FOKOU Elie	Maître de Conférences	En poste
10	KANSCI Germain	Maître de Conférences	En poste
11	MINKA Samuel	Maître de Conférences	En poste
12	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
13	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
14	WAKAM née NANA Louise	Maître de Conférences	En poste
15	ACHU Merci BIH	Chargé de Cours	En poste
16	ATOGHO Barbara Mma	Chargé de Cours	En poste
17	BELINGA née NDOYE FOE Marie F.	Chargé de Cours	<i>Chef DAF/FS</i>
18	DEMMANO Gustave	Chargé de Cours	En poste
19	DJOKAM TAMO Rosine	Chargé de Cours	En poste
20	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Chargé de Cours	En poste
21	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargé de Cours	En poste
22	EFFA ONOMO Pierre	Chargé de Cours	En poste
23	EVEHE BEBANDOUE Marie Solange	Chargé de Cours	En poste
24	EWANE Cécile Anne	Chargé de Cours	En poste

25	KOTUE TAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
26	MBONG ANGIE MOUGANDE Mary A.	Chargé de Cours	En poste
27	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Chargé de Cours	<i>CE SEP MINESUP</i>
28	NJAYOU Frédéric Nico	Chargé de Cours	En poste
29	Palmer NIASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
30	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Chargé de Cours	En poste
31	AKINDEH MBUH NJI	Assistant	En poste
32	BEBEE FATIMATOU	Assistante	En poste
33	BEBOY EDZENGUELE Sara Nathalie	Assistante	En poste
34	DAKOLE DABOY Charles	Assistant	En poste
35	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Assistant	En poste
36	FONKOUA Merlin	Assistant	En poste
37	LUNGA Paul KAILAH	Assistant	En poste
38	MANANGA Marlyse Joséphine	Assistant	En poste
39	MBOUCHE FANMOE Marcelline Joëlle	Assistante	En poste
40	PECHANGOU NSANGO Sylvain	Assistant	En poste
41	TIENTCHEU DJOKAM Léopold	Assistant	En poste
2-DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALE (B.P.A) (45)			
1	BILONG BILONG Charles Félix	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
3	FOMENA Abraham	Professeur	En poste
4	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
5	MIMPFOUNDI REMY	Professeur	En poste
6	NGASSAM Pierre	Professeur	En poste
7	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
8	NJIOKOU Flobert	Professeur	En poste
9	NOLA Moïse	Professeur	En poste
10	TAN Paul	Professeur	En poste
11	AJEAGAH Gidéon AGHAINDOUM	Maître de Conférences	En poste
12	TCHUEM TCHUENTE Louis	Maître de Conférences	<i>Coord. Progr. MINSANTE</i>
13	DJIETO Lordon Champlain	Maître de Conférences	En poste
14	DZEUFIE'DJOMENI Paul Désiré	Maître de Conférences	En poste
15	ESSOMBA née NTSAMA MBALLA	Maître de Conférences	<i>Chef Dépt FMSB</i>
16	FOTO MENBOHAN Samuel	Maître de Conférences	<i>CT2 MIN. ENERGIE</i>
17	KAMGANG René	Maître de Conférences	<i>C. S. MINRESI</i>
18	KEKEUNOU Sévilor	Maître de Conférences	En poste
19	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
20	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Maître de Conférences	En poste
21	ALENE Désirée Chantal	Chargé de Cours	En poste
22	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
23	BILANDA Danielle Claude	Chargé de Cours	En poste
24	DJIOGUE Séfrin	Chargé de Cours	En poste

25	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargé de Cours	En poste
26	JATSA MEGAPTCHE Hermine	Chargé de Cours	En poste
27	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
28	MONY NTONE Ruth	Chargé de Cours	En poste
29	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Chargé de Cours	En poste
30	NGUEMBOCK	Chargé de Cours	En poste
31	TOMBI Jeannette	Chargé de Cours	En poste
32	ATSAMO Albert Donatien	Assistant	En poste
33	ETEME ENAMA Serge	Assistant	En poste
34	KANDELA KAVAYE Antoine	Assistant	En poste
35	KOGA MANG'DObara	Assistant	En poste
36	LEUKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Assistant	En poste
37	MAHOB Raymond Joseph	Assistant	En poste
38	MOUNGANG NGAMENI Luciane	Assistant	En poste
39	MUH Benrnice FIEN	Assistant	En poste
40	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Assistant	En poste
41	NGOUATEU NDANKEU Yves Patrick	Assistant	En poste
42	NJUA Clarisse YAFI	Assistante	En poste
43	OBI OBEN Esther	Assistante	En poste
44	TADU Zéphirin	Assistant	En poste
45	YEDE	Assistant	En poste
3-DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALE (B. P. V) (27)			
1	YOUMBI Emmanuel	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	AMBANG Zachée	Maître de Conférences	<i>DAASR/FSEG/UYII</i>
3	BELL Joseph Martin	Maître de Conférences	En poste
4	DJOCGOUE Pierre François	Maître de Conférences	En poste
5	KENGNE NOUMSI Ives Magloire	Maître de Conférences	En poste
6	MOSSEBO Dominique Claude	Maître de Conférences	En poste
7	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE/MINRES1</i>
8	ZAPFACK Louis	Maître de Conférences	En poste
9	ANGONI Hyacinthe	Chargé de Cours	En poste
10	BIYE Elvire Hortense	Chargé de Cours	En poste
11	MAHBOU SOMO TOUKAM Gabriel	Chargé de Cours	En poste
12	MALLA Armand William	Chargé de Cours	En poste
13	MBARGA BINDZI Marie Alain	Chargé de Cours	<i>Insp. Services MINESUP</i>
14	MBOLO Marie	Chargé de Cours	En poste
15	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Chargé de Cours	En poste
16	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Chargé de Cours	En poste
17	NGOUO Lucas Vincent	Chargé de Cours	En poste
18	NSOM ZAMO Annie Claude	Chargé de Cours	<i>Exp.national / UNESCO</i>
19	TONFACK Libert Brice	Chargé de Cours	En poste
20	TSOATA Esaïe	Chargé de Cours	En poste

21	DJEUANI Astride Carole	Assistante	En poste
22	GONMADGE Christelle	Assistante	En poste
23	MAFFO MAFFO Nicole	Assistante	En poste
24	NGALLE Hermine BILLE	Assistante	En poste
25	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Assistante	En poste
26	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Assistante	En poste
27	ONANA Jean Michel	Assistant	En poste
4-DEPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (C.1.) (37)			
1	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Directeur Cabinet PM</i>
2	KETCHA MBADCAM Joseph	Professeur	<i>Chef de Département</i>
3	LAMINSI Samuel	Professeur	En poste
4	MELO née CHINJE Uphie F.	Professeur	<i>Directeur Mipromalo</i>
5	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
6	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>Directeur MINESUP</i>
7	NJOPWOUO Daniel	Professeur	<i>Vice Doyen / DPSAA</i>
8	AGWARA ONDOH Moïse	Maître de Conférences	<i>Insp Génér. MINPMEA</i>
9	AVOM Jérôme	Maître de Conférences	<i>Directeur IAI Gabon</i>
10	BABALE née DJAM DOUDOU	Maître de Conférences	<i>Chargée mission P.R.</i>
11	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
12	ELIMBI Antoine	Maître de Conférences	En poste
13	NANSEU Charles Péguy	Maître de Conférences	En poste
14	NENWA Justin	Maître de Conférences	En poste
15	NDIKONTAR Maurice KOR	Maître de Conférences	<i>Vice Doyen / UBda</i>
16	NGOMO Horace MANGA	Maître de Conférences	<i>S. G. MINESUP</i>
17	YOUNANG Elie	Maître de Conférences	En poste
18	BAIZOUMI ZOUA	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINTOUR</i>
19	EMADACK Alphonse	Chargé de Cours	En poste
20	GWET Simon Pierre	Chargé de Cours	En poste
21	KEUMEGNE MBOUGUEM Jean Claude	Chargé de Cours	En poste
22	KONG SAKEO	Chargé de Cours	<i>C. M. au P. M.</i>
23	NJIOMOU Chantale épouse DJANGANG	Chargé de Cours	En poste
24	NJOYA Dayirou	Chargé de Cours	En poste
25	SIGNING Pierre	Chargé de Cours	En poste
26	ACAYANKA Elie	Chargé de Cours	En poste
27	CHEUMANI YONA Arnauld	Chargé de Cours	En poste
28	KAMGANG YOUBI Georges	Chargé de Cours	En poste
29	NDI Julius NSAMI	Chargé de Cours	En poste
30	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargé de Cours	En poste
31	PABOUDAM GBAMBIE Awoua	Chargé de Cours	En poste
32	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Chargé de Cours	En poste
33	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Assistant	En poste
34	KENNE DEDZO Gustave	Assistant	En poste

35	MBEY Jean Aimé	Assistant	En poste
36	NCHIMI NONO Katia	Assistante	En poste
37	NDOSIRI Bridget NDOYE	Assistante	En poste
5- DEPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (C.O.) (34)			
1	DONGO Etienne	Professeur	<i>Vice-Doyen/DSSE</i>
2	GHOGOMU TIH Robert Raphaël	Professeur	En poste
3	MBAFOR Joseph	Professeur	En poste
4	NGADJUI TCHALEU Bonaventure	Professeur	<i>Chef de Dépt FMBS</i>
5	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	En poste
6	NKENGFACK Augustin Ephraïm	Professeur	<i>Chef de Département</i>
7	NYASSE Barthélemy	Professeur	<i>Vice-recteur U. Bda</i>
8	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur au MINESUP</i>
9	WANDJI Jean	Professeur	En poste
10	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	<i>CS Rectorat / UYI</i>
11	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / U. B</i>
12	KAPNANG Henriette	Maître de Conférences	En poste
13	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	NOUNGOUE TCHAMO Didérot	Maître de Conférences	En poste
16	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>CT/UYII</i>
17	TIH née NGO BILONG Anastasie	Maître de Conférences	En poste
18	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
19	AMBASSA Pantaleon	Chargé de Cours	En poste
20	EYONG Kenneth OBEN	Chargé de Cours	En poste
21	FOTSO WABO Ghislain	Chargé de Cours	En poste
22	KAMTO Eutrophe Ledoux	Chargé de Cours	En poste
23	KENMOGNE Marguerite	Chargé de Cours	En poste
24	MBAZOA née DJAMA Céline	Chargé de Cours	En poste
25	MKOUNGA Pierre	Chargé de Cours	En poste
26	NGO MBING Joséphine	Chargé de Cours	En poste
27	NGONO BIKOBO Dominique S.	Chargé de Cours	En poste
28	NOTE LOUGBOT Olivier	Chargé de Cours	En poste
29	OUAHOUE WACHE Blandine Marlyse	Chargé de Cours	En poste
30	TABOPDA KUATE Turibio	Chargé de Cours	En poste
31	TAGATSING FOTSING Maurice	Chargé de Cours	En poste
32	ZONDENDEGOUMBA Ernestine	Chargé de Cours	En poste
33	NGINTEDO Dominique	Assistant	En poste
34	NGOMO Orléans	Assistant	En poste
6-DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (28)			
1	TCHUENTE Maurice	Professeur	<i>PCA UB</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel	Professeur	<i>IAI MINESUP/ Chef Dépt ENS</i>

3	ATSA ETOUNDI Roger	Maître de Conférences	<i>Chef de Département / Chef de Div. MINFOPRA</i>
4	FOTSO Pauline Laure	Maître de Conférences	<i>En poste</i>
5	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
6	CHEDOM FOTSO Donatien	Chargé de Cours	En poste
	KOUOKAM KOUOKAM Etienne A.	Chargé de Cours	En poste
7	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
8	MOTO PONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
10	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
11	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste
12	ABESOLO ALO'O Gislain	Assistant	En poste
13	AMINOU Halilou	Assistant	En poste
14	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
15	DJOUWE MEFFEJA Merline	Assistante	En poste
16	EBELE Serge	Assistant	En poste
17	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
18	KAMDEM KENGNE Christiane	Assistante	En poste
19	KAMGUEU Patrick Olivier	Assistant	En poste
20	KENFACK DONGMO Clauvice Viliane	Assistant	En poste
21	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Assistant	En poste
22	MAKEMBE S. Fritz Oswald	Assistant	En poste
24	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
25	MONTHÉ DJIAEU Valéry Martial	Assistant	En poste
26	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
27	TAPAMO Hyppolite	Assistant	En poste
7-DEPARTEMENT DE MATHEMATIQUE (MA) (37)			
1	BEKOLLE David	Professeur	<i>Vice-recteur UN</i>
2	BITJONG NDOMBOL	Professeur	<i>DAAC UYI</i>
3	DOSSA COSSY Marcel	Professeur	En poste
4	NGUETSENG Gabriel	Professeur	<i>Chef du CUTI UYI</i>
5	NOUTCHEGUEME Norbert	Professeur	En poste
6	AYISSI Raoult Domingo	Maître de Conférences	En poste
7	EMVUDU WONO Yves	Maître de Conférences	<i>Chef de Cellule. MINESUP</i>
8	TCHAPNDA NJABO Sophonie Blaise	Maître de Conférences	En poste
9	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
10	TONGA Marcel	Maître de Conférences	En poste
11	WAMON François	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
12	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	En poste
13	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
14	KIANPI Maurice	Chargé de Cours	En poste
15	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste

16	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
17	MBANG Joseph	Chargé de Cours	En poste
18	MBIANDA Gilbert	Chargé de Cours	En poste
19	MBELE BEDIMA Martin	Chargé de Cours	En poste
20	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
21	NGUEFACK Bertrand	Chargé de Cours	En poste
22	NGUIMTSA Charles	Chargé de Cours	En poste
23	NOUNDJEU Pierre	Chargé de Cours	En poste
24	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
25	TCHOUNDJA Edgar Landry	Chargé de Cours	En poste
26	TIAYA TSAGUE N. Anne Marie	Chargé de Cours	En poste
27	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
28	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
29	MBEHOU Mohamed	Chargé de Cours	En poste
30	BOGSO Antoine M	Assistant	En poste
31	DJIADEU NGAHA Michel	Assistant	En poste
32	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
33	NIMPA PEFOUNKEU ROMAIN	Assistant	En poste
34	POLA DOUNDOU Emmanuel	Assistant	En poste
35	TAKAM SOH Patrice	Assistant	En poste
36	TANG AHANDA Barnabé	Assistant	<i>Chef Serv. MINPLAMAT</i>
37	TETSADJIO TCHILEPECK Mesmin E.	Assistant	En poste

8- DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MB) (13)

1	ETOA François-Xavier	Professeur	<i>Recteur U. Dla/ Chef de Département</i>
2	ESSIA NGANG Jean Justin	Maître de Conférences	<i>Chef Div. Recherche IMPM</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Maître de Conférences	En poste
4	NYEGUE Maximilienne Ascension	Maître de Conférences	En poste
5	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste
6	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
7	BOYOMO ONANA	Chargé de Cours	En poste
8	ENO Anna Arey	Chargé de Cours	En poste
9	ESSONO OBOUGOU Germain Gabriel	Chargé de Cours	En poste
10	RIWOM Sara Honorine	Chargé de Cours	En poste
11	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
12	NJIKI BIKOY Jacky	Assistante	En poste
13	TCHIKOUA Roger	Assistant	En poste

9-DEPARTEMENT DE PHYSIQUE (PH) (41)

1	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	<i>Vice-Doyen/DRC</i>
2	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
3	BOUETOU BOUETOU Thomas	Professeur	En poste
4	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	En poste

5	NJOMO Damien	Professeur	En poste
6	PEMHA Elkana	Professeur	En poste
7	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
8	WOAFO Paul	Professeur	En poste
9	TABOD Charles TABOD	Maître de Conférences	<i>Doyen / U. Bda</i>
10	BEN-BOLIE Germain Hubert	Maître de Conférences	En poste
11	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	<i>Dir. Gén. B. MEKIM</i>
12	DJUIDJE KENMOE G. épouse A. KAZE	Maître de Conférences	En poste
13	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Maître de Conférences	<i>Chef de Départ. / U. N</i>
14	NÀNA NBENDJO Blaise	Maître de Conférences	En poste
15	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Maître de Conférences	<i>Chef Serv. MINRESI</i>
16	NOUAYOU Robert	Maître de Conférences	En poste
17	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
18	OUMAROU BOUBA	Maître de Conférences	<i>En poste</i>
19	ZEKENG Serge Sylvain	Maître de Conférences	En poste
20	BODO Bernard	Chargé de Cours	En poste
21	EDONGUE Hervais	Chargé de Cours	En poste
22	EYEBE FOU DA Jean Sire	Chargé de Cours	En poste
23	FEWO Serge Ibraïd	Chargé de Cours	En poste
24	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	En poste
25	HONA Jacques	Chargé de Cours	En poste
26	MBANE BIOUELE	Chargé de Cours	En poste
27	MBINACK Clément	Chargé de Cours	En poste
28	MBONO SAMBA Yves Christian	Chargé de Cours	En poste
29	NDOP Joseph	Chargé de Cours	En poste
30	OBONOU MARCEL	Chargé de Cours	En poste
31	SAIDOU	Chargé de Cours	En poste
32	SIMO Elie	Chargé de Cours	En poste
33	TABI Conrad Bertrand	Chargé de Cours	En poste
34	TCHOFFO Fidèle	Chargé de Cours	En poste
35	VONDOU DERBETINI Apollinaire	Chargé de Cours	En poste
36	WAKATA née BEYA Annie	Chargé de Cours	<i>Chef Serv. MINESUP</i>
37	WOULACHE Rosalie Laure	Chargé de Cours	En poste
38	ABDOURAHIMI	Assistant	En poste
39	CHAMANI Roméo	Assistant	En poste
40	ENYENGUE NYAM F. Epse BELINGA	Assistant	En poste
41	MBOUSSI NKOMIDIO Aissatou	Assistant	En poste
10- DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (S.T.) (44)			
1	BILONG PAUL	Professeur	<i>Doyen / Chef de Dépt.</i>
2	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen FS / UN</i>
3	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	En poste
4	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste

5	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Maître de Conférences	En poste
6	KAMGANG Pierre	Maître de Conférences	En poste
7	MEDJO EKO Robert	Maître de Conférences	<i>D.I.P.D. / UYI</i>
8	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>Inspecteur 1. MINIMDT</i>
9	MVONDO ONDOA Joseph	Maître de Conférences	En poste
10	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Maître de Conférences	En poste
11	NGOS III Simon	Maître de Conférences	<i>D.A.A.C / U. Ma</i>
12	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
13	NKOUMBOU Charles	Maître de Conférences	En poste
14	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
15	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. MINFOF</i>
16	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Chargé de Cours	<i>Chef D.A.A.S.R.</i>
17	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
18	BISSO Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Dir.P. Barrage Memve'ele</i>
19	EKOMANE Emile	Chargé de Cours	<i>CS / MINMIDT</i>
20	ESSONO Jean	Chargé de Cours	<i>C.E.A MINIMDT</i>
21	GANNO Sylvestre	Chargé de Cours	En poste
22	GHOGOMU Richard TANWI	Chargé de Cours	En poste
23	LAMILEN BI,LLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
24	LIENOU Gaston	Chargé de Cours	En poste
25	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
26	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	En poste
27	MOUAFO Lucas	Chargé de Cours	En poste
28	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargé de Cours	En poste
29	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargé de Cours	En poste
30	NGUETCHOUA Gabriel	Chargé de Cours	En poste
31	NJOM Bernard de Lattre	Chargé de Cours	En poste
32	NYECK Bruno	Chargé de Cours	<i>S/ Directeur / MINMIDT</i>
33	ONANA Vincent	Chargé de Cours	<i>C. S. MINIMDT</i>
34	TCHAKOUNTE J. épse. NUMBEM	Chargé de Cours	En poste
35	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Chargé de Cours	En poste
36	ZO'O ZAME Philémon	Chargé de Cours	<i>S. G. MINTP</i>
37	ANABA ONANA Achille Basile	Assistant	En poste
38	BINELI BETSI Thierry Olivier	Assistant	En poste
39	FUH Calistus Gentry	Assistant	<i>Sec. d'Etat / MINMIDT</i>
40	METANG Victor	Assistant	En poste
41	NOMO NEGUE Emmanuel	Assistant	En poste
42	TCHAPTCHET TCHATO De Pesquidoux 1	Assistant	En poste
43	TEHNA Nathanaël	Assistant	<i>CS / MINMIDT</i>
44	TENGA Jean Pierre	Assistant	En poste

Répartition chiffrée des enseignants permanents par Département (10 Février 2016)

Département	Nombre d'enseignants				
	Pr	MC	CC	ASS	TOTAL
BC	6(1)	8(3)	16(9)	11(5)	41(18)
BPA	11(0)	9(1)	13(6)	12(5)	45(12)
BPV	1(0)	7(0)	12(3)	7(6)	27(9)
C.1.	7(1)	10(1)	15(3)	5(2)	37(7)
C.O.	9(0)	10(2)	13(6)	2(0)	34(8)
IN	2(0)	3(1)	7(0)	16(5)	28(6)
MA	5(0)	7(0)	18(1)	7(1)	37(2)
MB	1(0)	4(1)	5(2)	3(0)	13(3)
PH	9(0)	10(1)	18(3)	4(2)	41(6)
ST	4(0)	11(1)	21(4)	7(0)	44(5)
TOTAL	55(2)	79(11)	138(37)	74(26)	346(76)

Soit un total de

346 (76) dont

- Professeurs 56(2)
- Maîtres de Conférences 76(11)
- Chargés de Cours 138(37)
- Assistants 74(26)

() = Nombre de femmes

Le Doyen de la Faculté des Sciences

Pr. BILONG Paul

DEDICACE

A MES CHERS PARENTS...

REMERCIEMENTS

Sans l'aide de nombreuses personnes, que ce soit à travers un appui scientifique ou un soutien moral, cette thèse n'aurait jamais abouti. Je tiens à leur témoigner très sincèrement ma considération;

Cette thèse a été réalisée dans le cadre de mes travaux de recherche menés au Laboratoire de Microbiologie du Département de Microbiologie de l'Université de Yaoundé 1 avec le soutien de l'Université Nationale d'Australie RSB-Canberra à travers le Dr Howard Bradbury.

La conduite de ce travail a bénéficié de l'appui de :

- l'Union Européenne dans le cadre du projet "*Production durable du manioc en Afrique Centrale et intégration au marché.*" (Contrat de subvention n° DCIFOOD/2010/252-886) coordonné par le PRASAC (Pôle de Recherche Appliquée au développement des Systèmes agricoles d'Afrique Centrale) ;

- l'AIRD (Agence Inter-établissements de Recherche pour le Développement), dans la cadre du soutien à l'équipe de recherche TQI2A (Technologie qualité et innovations agro-alimentaires).

Permettez moi d'adresser toute ma reconnaissance à Mon Directeur de thèse le Pr Jean Justin ESSIA NGANG, Maître de conférences à l'Université de Yaoundé 1, qui malgré ses multiples occupations, m'a fait l'honneur de conduire mes travaux avec clairvoyance et bienveillance. Au-delà de l'encadrement scientifique, il m'a soutenu moralement et financièrement. Il m'a fait bénéficier de ses qualités d'homme de science et de ses qualités humaines que j'ai beaucoup appréciées. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes vifs remerciements vont aux Départements de Biochimie et de Microbiologie de l'Université de Yaoundé 1 et à leurs chefs respectifs, le Pr Paul MOUNDIPA FEWOU et le Pr François-Xavier ETOA qui m'ont encadré dès mon entrée à l'Université et me donnent l'occasion de soutenir cette thèse.

Ma gratitude au corps enseignants du département de Biochimie de l'Université de Yaoundé 1 en particulier aux Professeurs BOUDJEKO Thaddée; BIGOGA Jude; MINKA Samuel, PENLAP BENG Véronique et FOKOU Elie pour leur dévouement et conseil lors de ma formation

Je remercie le Professeur Sylvain SADO KAMDEM, Maître de conférences à l'Université de Yaoundé 1. Je retiendrai son grand intérêt pour mon travail de recherche, son écoute et sa disponibilité sans faille qui m'ont beaucoup apporté sur le plan professionnel.

Je remercie le Docteur TCHIKOUA Roger Assistant au Département de Microbiologie de Yaoundé 1, qui m'a fait profiter de son expérience.

Mes sincères remerciements vont également :

A l'équipe de Thésards et de Masters du Laboratoire de Microbiologie mes promotionnaires, qui m'ont encouragé et soutenu dans la réalisation de cette thèse.

Aux transformatrices de manioc des villages Bassolo, Ombessa, Mban'gassina, Biombè, Bogso, Likabo et Ndjassock Ebaka1, Biombè et Tamtcheck. Leur disponibilité et leur contribution à ce travail de thèse méritent d'être soulignées. Sans elles il n'y aurait pas eu ce travail.

A mes amis: TIMA Hermann, NGOLONG NGEA Legrand, BONNY Patrice BOUQUET AGNIA H., TCHATCHOU NANA J.A. BAOMOG BENGUE A., BISSIM Marie Louise. Pour leur soutien et conseils sans faille.

Une pensée plus particulière et très chaleureuse pour mon frère aîné ZAMBOU Charles Séverin Gervais dont les conseils, l'appui financier et les encouragements m'ont donné la force d'aller jusqu'au bout de la réalisation de ce travail. Sans ce soutien permanent il m'aurait été difficile de réaliser cette thèse.

Une dernière pensée ira à mes familles : La famille NKOUDOU, la famille YANA, la famille MANDENG, la famille KESSENG et la grande famille LIVING WORD FELLOWSHIP qui m'ont encouragé, ont supporté mes doutes, mes variations d'humeurs et mes longs moments d'absence, week-ends et soirs où mes « compagnons obligés » étaient mon ordinateur et de nombreux documents éparpillés sur la table ! Une étape importante a été franchie maintenant !

A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail. Si j'ai oublié de citer certaines personnes dans cette liste non exhaustive, qu'elles veuillent bien m'en excuser ; ma profonde gratitude leur est acquise.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	XI
REMERCIEMENTS	XII
TABLE DES MATIERES	IX
RESUME.....	XVIII
ABSTRACT	XIX
LISTE DES ABREVIATIONS	XX
LISTE DES TABLEAUX.....	XXII
LISTE DES FIGURES	XXIII
LISTE DES IMAGES	XXV
INTRODUCTION GENERALE	1

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. GENERALITES SUR LE MANIOC.....	4
I.1.1. Description botanique	4
I.1.2. Croissance et développement	5
I.1.3. Production du manioc	7
I.1.4. Intérêt du manioc	8
I.1.5. Les limites de l'utilisation du manioc.....	9
I.1.6. Facteurs de toxicité associés au manioc :	10
I.1.7. Maladies potentiellement associées à la toxicité du manioc	12
I.1.8. Détoxification du manioc	13
I.1.9. Etapes de transformation post récolte du manioc	14
I.2. FERMENTATION EN MILIEU LIQUIDE OU ROUISSAGE	16
I.2.1. Généralités sur le rouissage	16
I.2.2. Généralités sur les starters microbiens	18
I.2.3. Produit du rouissage : la farine de manioc fermentée.....	20

I.3. COMPOSITION CHIMIQUE ET QUELQUES PROPRIETES DES AMIDONS NATIFS.	22
I.3.1. Composition chimique des amidons natifs	22
1.3.2. Quelques propriétés des amidons et farines.....	25

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. DIAGNOSTIC DES PRATIQUES DE TRANSFORMATION DES RACINES DE MANIOC EN FARINE ET PRODUCTION DES STARTERS TRADITIONNELS	30
II.1.1. Choix des sites d'étude	30
II.1.2. Le questionnaire d'enquête.....	30
II.1.3. Mise en œuvre de l'enquête.....	31
II.1.4. Enquête dans la localité de Bélabo	31
II.1.5. Enquêté dans la localité de Bafia.....	32
II.1.6. Enquête dans la localité d'Eséka	32
II.1.7. Collection des données et analyse.	33
II.2. RECHERCHE DES CONDITIONS DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DU STARTER TRADITIONNELLEMENT UTILISE EN VUE DE LA STANDARDISATION DE SA PRODUCTION.....	36
II.2.1. Echantillonnage	36
II.2.2. Evaluation des performances des cossettes de manioc collectées.	37
II.3. ANALYSE DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET FONCTIONNELLES DES FARINES FERMENTEES DES DIFFERENTES VARIETES DE MANIOC.	50
II.3.1. Production des farines fermentées	50
II.3.2. Analyses chimiques	53
II.4. ANALYSES STATISTIQUES	57

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. PRATIQUES PAYSANNES DE TRANSFORMATION DU MANIOC EN COSSETTES DANS LES REGIONS DE L'EST ET DU CENTRE DU CAMEROUN 58

III.1.1. Les procédés de transformation du manioc en cossettes	58
III.1.2. Critères de choix des variétés de manioc.....	64
III.1.3. Principales contraintes des opérations unitaires de transformation.....	65
III.1.4. Impact des opérations unitaires sur la qualité des produits	67
III.1.5. Conclusion partielle	73

III.2. CONDITIONS DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DU STARTER 74

III.2.1. Paramètres cinétiques et Charge microbienne des cossettes des différents marchés.....	74
III.2.2. Temps optimal de production du starter le plus efficace	78
III.2.3. Effet du pH du milieu sur l'activité du starter	83
III.2.4. Effet de la température du lieu d'incubation sur l'activité du starter	83
III.2.5. Effet des différents traitements du starter sur la réduction du temps de rouissage.....	86
III.2.6. Effet des différents traitements du starter sur la détoxification des racines de manioc	88
III.2.7. Paramètres cinétiques des starters produits dans différents écosystèmes.....	90
III.2.8. Charge microbiologique des starters	94
III.2.9. Conclusion partielle	96

III.3. PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES ET DE VISCO-ELASTICITE DES FARINES ISSUES DES ROUISSAGES ACCELERES 97

III.3.1. Paramètres biochimiques des farines.....	97
III.3.2. Propriétés fonctionnelles des farines	103
III.3.3. Les Propriétés d'empesage des farines	105

III.3.4. Analyses en composantes principales.....	116
III.3.5. Conclusion partielle :	124
CONCLUSION GENERALE	125
PERSPECTIVES.....	128
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	129
ANNEXE	142

RESUME

Une étude visant à optimiser l'utilisation des cosettes de manioc comme starter de rouissage, a été entreprise afin d'apporter une amélioration au rouissage dont la durée est trop longue. Pour cela, un diagnostic des pratiques de rouissage a été réalisé en vue d'identifier un starter paysan utilisé. Puis s'en est suivie sa production du starter à différentes durées de fermentation et une optimisation de son utilisation par différents types de traitements physiques. L'efficacité du starter à réduire les teneurs en composés cyanogènes dans le produit du rouissage a été testée en dosant ces derniers à l'aide d'un kit. Enfin, l'influence de l'utilisation du starter sur les propriétés physicochimiques et les caractéristiques fonctionnelles des farines issues de différentes variétés de manioc a été étudiée par RVA. Les résultats obtenus ont révélé que le rouissage, point critique du procédé de transformation des racines de manioc en farine, influence notamment la couleur, le goût et la texture des produits. De plus, le starter issu du manioc roui pendant 96 heures (Sta_96) se démarque par sa grande vitesse de ramollissement et réduit la durée du rouissage de 51% (de 71 h à 36 heures). Cette activité est corrélée à la forte concentration de toutes les flores analysées dont les valeurs de 7,8 Log UFC/g, 5 Log/g, 5,71 Log UFC/g et 3 Log UFC/g ont été obtenues respectivement pour la flore aérobique mésophile totale, la flore lactique mésophile, la flore bacillaire totale et la flore Sulfite-réductrice. Les différentes méthodes d'optimisation par la revivification de la flore microbienne du starter montrent que la meilleure augmentation de l'activité du starter (33,6 %) est obtenue par une pré-culture du starter dans l'eau pendant 12 heures. Cette amélioration de l'activité n'est que de 21,6 et 28,9 % respectivement pour l'activation chimique à l'éthanol et une pré-culture du starter dans un bouillon nutritif. L'activation thermique quant à elle réduit l'activité du starter. La recherche des conditions physiques optimales d'activité du starter a révélé que, utilisé à 1% (g/g de racines à rouir), le starter agit de façon optimale aux pH compris entre 6 et 7 et à la température de 40°C pour un niveau de détoxification de 98%. L'utilisation du starter pour l'accélération du ramollissement des racines de manioc s'est traduite, quelque soit la variété de manioc, d'une part, par des réductions de la teneur en amylopectine d'environ 8% et de la capacité de gonflement et d'autre part, d'une augmentation de la teneur en amyloses et de l'indices de solubilité des farines obtenues. L'une des caractéristiques propres des farines issues d'un rouissage accéléré est leur viscosité maximale et leur tendance à la rétrogradation significativement moins élevées que celles des farines provenant d'un rouissage naturel. Les variétés traditionnelles, plus appréciées par les transformatrices, ont montré des caractéristiques de viscoélasticité beaucoup plus satisfaisantes que celles des variétés de manioc améliorées.

Mots clés : manioc, rouissage, starter, farine fermentée, détoxification, viscoélasticité

ABSTRACT

In order to improve the retting process of which takes time enough, a study aiming at enhancing the use of cassava chips as starter during the retting process, was undertaken. For this purpose, the main unitary operations were identified with their critical points as well as their relationship with yield and quality of flours. Subsequently, producing, optimizing the use of the starter and testing its efficacy in reducing the cyanogenic compounds in the retted product. Finally, to study the influence of cassava variety and the utilization of this starter on the physicochemical properties and the functional characteristics of flours derived from fermentation. The results obtained, revealed that retting is the critical point in the transformation process of cassava roots into flour. Moreover, the starter issued from cassava retted for 96 hours (Sta_96) was distinguished by its high softening rate and reduced duration of retting by 51% (from 71 hours to 36 hours). This activity is correlated to the high concentration of all analyzed flora of which the values 7.8 Log CFU/g, 5 Log CFU/g, 5.7 Log CFU/g and 3 Log CFU/g were obtained respectively for the Total Aerobic Mesophilic Flora, the Lactic Mesophilic Flora, the Total Bacillus Flora and Sulfur- reducing Flora. The different optimization methods by revivification of the starter microbial flora show that the best increase in starter activity (33.6%) was obtained by a pre-culture of cells in water within 12 hours. This amelioration of activity represents 21.6% and 28.9% respectively for chemical activation by ethanol and pre-culture starter in a starch broth enriched with yeast extract. However, thermal activation reduced the activity of the starter. The quest for optimum physical conditions of activity of the starter revealed that when used at 1% (g/g of tubers to be retted); the starter operates optimally at pH varying between 6–7 and at temperature of 40°C for about 98% detoxification level as compared to the natural control, where this reduction was 74.2%. The use of the starter for the acceleration of cassava roots softening was done irrespective of the cassava variety, to an extent by the reduction of amylopectin content to about 8% and the swelling capacity and to another extent by the increase in amylose content and the solubility index of the flours obtained. One of the characteristics peculiar to flours issued from accelerated retting is their maximum viscosity and lower retrogradation property compared to flours derived from natural retting. The local varieties most appreciated by the transformers, showed satisfying viscoelastic characteristics than the ameliorated variety.

Key-words: cassava, retting, starter, fermented flour, detoxification, viscoelasticity

LISTE DES ABREVIATIONS

AM: Amylose

AP: amylopectine

ATT: Acidité totale titrable

BV: Chute de viscosité

CG: Capacité de gonflement

CYN: Cyanures

DO: Densité optique

DP : Degré de polymérisation

éq : équation

FAMT: Flore aérobie mésophile totale

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FAT: Flore amylolytique totale

FBT: Flore bacillaire totale

FFN : farine issue d'un rouissage naturel

FFSt : farine issue du rouissage accéléré

FFT: Flore fongique totale

FLM: Flore lactique mésophile

FNF : farine non fermentée

FSR: Flore sulfito-réductrice

GIC : Groupe d'initiative communautaire

IS: Indice de solubilité

ISO : Organisation internationale de normalisation

Lat: Latence

PNDRT : Programme National pour le Développement des Racines et Tubercules

ppm : partie par million

Pt: température d'empesage

SV: Setback

Tr: Temps de rouissage

UV : ultraviolet

VF: Viscosité finale

Vit: Vitesse

VM: Viscosité maximale

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les principales opérations unitaires de transformation des racines de manioc en cossettes à <i>Bassolo</i>	70
Tableau 2 : Paramètres cinétiques du rouissage du manioc par 15 échantillons collectés dans les marchés.	76
Tableau 3 : Charge des différents groupes microbiens dans les échantillons de farine	77
Tableau 4 : Analyse de corrélation entre les paramètres cinétiques (Lat et Tr) et les groupes microbiens.	78
Tableau 5 : Paramètres cinétiques du rouissage des starters produits à 24, 48, 72, 96 et 120 heures de fermentation.	81
Tableau 6 : concentrations en FAMT, FLM, FBT et FSR des starters produits à 24, 48, 72, 96 et 120 heures de fermentation	82
Tableau 7 : Données d'analyse des corrélations entre les flores microbiennes et la paramètres cinétiques des starters produits à 24, 48, 72, 96 et 120 heures de fermentation.	82
Tableau 8 : Paramètres cinétiques de Sta_96 en fonction du pH du milieu de fermentation. .	85
Tableau 9 : Paramètres cinétiques de Sta_96 en fonction de la température du milieu de fermentation.	85
Tableau 10 : Paramètres cinétiques de Sta_96 en fonction du type de prétraitement.....	86
Tableau 11 : Teneur et taux de réduction en cyanures totaux des pâtes fermentées en fonction du pH initial du milieu de fermentation	89
Tableau 12 : Charge microbienne des starters produits dans les différentes localités	91
Tableau 13 : Paramètres cinétiques du starter sur le ramollissement des différentes variétés de manioc.	95
Tableau 14 : Paramètres biochimiques des échantillons de farine des différentes variétés de manioc.	102
Tableau 15 : Indice de solubilité et capacité de gonflement des différents échantillons de farine.	104
Tableau 16 : Caractéristiques d'empesage des farines des différentes variétés de manioc non roui	111
Tableau 17 : Caractéristiques d'empesage des farines des différentes variétés de manioc roui sans starter.....	112
Tableau 18 : Caractéristiques d'empesage des farines des différentes variétés de manioc roui avec le starter.....	113
Tableau 19 : Matrice de corrélation entre les différentes variables	121
Tableau 20 : Corrélations entre les variables et les facteurs	125
Tableau 21 : Coordonnées des observations	123

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Formules chimiques des glucosides du manioc	11
Figure 2. Dégradation enzymatique de la Linamarine	12
Figure 3. Schéma simplifié de la structure de l'amylose.	24
Figure 4. Schéma simplifié de la structure de l'amylopectine	24
Figure 5. Courbe de viscosité obtenue au cours d'une expérience de RVA	29
Figure 6. Carte géographique de la commune de Bélabo	34
Figure 7. Carte géographique de la commune d'Eséka	34
Figure 8. Carte géographique de la Localité de Bafia	35
Figure 9. Protocole de production des farines fermentées et non fermenté	52
Figure 10. Principaux procédés de transformation des racines de manioc en cossettes rencontrés dans les localités de Bélabo (a et b), d'Eséka (c) et Bafia (d).	58
Figure 11. Fréquences des critères gouvernants le choix d'une variété de manioc pour la production des cossettes rouies	64
Figure 12. Durées des principales opérations unitaires de transformation du manioc.....	66
Figure 13. Principales contraintes des opérations unitaires de la transformation du manioc ..	66
Figure 14. Fréquences de réponses obtenues des indicateurs généraux de la qualité des cossettes rouies en fonction des principales opérations unitaires de transformation	68
Figure 15. Défauts de qualité inhérents à la non maîtrise des opérations unitaires critiques... 68	
Figure 16A. Evolution du ramollissement en fonction du temps des racines des variétés de manioc amères améliorées en présence et en absence (témoin) des starters BAF, BBO , ESK et LAB	92
Figure 16B. Evolution du ramollissement en fonction du temps des racines des variétés de manioc amères traditionnelles en présence et en absence (témoin) des starters BAF, BBO , ESK et LAB	93
Figure 17. Courbes standards d'amylose et d'amylopectine pour les farines de manioc	101
Figure 18. Profils de viscosité des farines non fermentées des différents cultivars de manioc	107
Figure 19A. Profils de viscosité en fonction du temps et à différentes températures des farines issues de variétés de manioc TMS96/023 et <i>Six-mois</i>	114
Figure 19B. Profils de viscosité en fonction du temps et à différentes températures des farines issues des variétés de manioc TMS92/326 et Mintol-meko	115
Figure 20. Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des différentes farines	117
Figure 21. Cercle de corrélation des différentes variables analysées. Paramètres chimiques	118

Figure 22. Projection des farines de manioc produites sur le système d'axes (F1 x F2). 119

Figure 23. Projection des farines et des variables sur le plan factoriel (F1 x F2) 122

LISTE DES IMAGES

Image 1. Principales parties du Manioc	6
Image 2. Racines des variétés de manioc amères traditionnelles de douze mois d'âge.....	36
Image 3. Racines des variétés de manioc améliorées et traditionnelles de douze mois d'âge.	49
Image 4. Epluchage à l'aide d'un couteau et racines épluchées	61
Image 5. Ajout du Starter dans les racines épluchées quelques temps avant l'ajout d'eau	61
Image 6. Racines trempées et milieu de rouissage après 48 heures	62
Image 7. Pratiques de rouissage à la rivière, d'épluchage et de lavage après 5 jours de trempage dans un village de Bélabo.....	62
Image 8. Pratique de séchage dans la localité de <i>Balamba</i> , et cossettes de manioc	63

Introduction

INTRODUCTION

Contexte et problématique

La farine de manioc fermenté, constitue les 45% des sous-produits de manioc les plus consommés en Afrique (Nweke, 1994). Elle occupe une place importante dans les activités urbaines de transformation alimentaires (Foufou ; pain ; biscuits etc.) et constitue un potentiel industriel non mis en valeur jusqu'à ce jour. Pourtant ce produit peut à moyen et à long terme être une source de revenus pour les populations rurales et contribuer ainsi à la réduction du spectre de pauvreté observé en Afrique.

Parmi les opérations de transformation du tubercule en farine, le rouissage est une opération unitaire que l'on retrouve quasiment dans tous les procédés de transformation traditionnelle du manioc. Cette opération unitaire qui améliore la qualité organoleptique et réduit le niveau de composés toxiques, présente néanmoins une limite majeure : sa longue durée (3 à 7 jours) (Ayenor, 1985 ; Essia Ngang *et al.*, 2002; Ogbo, 2003); ce qui réduit l'offre à la demande sans cesse grandissante. Afin de satisfaire à la demande de plus en plus croissante en produit fermentés dérivés du manioc, certains producteurs écourtent la durée naturelle du rouissage tandis que d'autres l'excluent. L'arrêt prématuré du rouissage conduit à la mise sur le marché des produits de mauvaise qualité technologique, organoleptique et toxicologique, sources de multiples problèmes de santé (Teles, 2002 ; Cardoso *et al.*, 2005 ; Nhassico *et al.*, 2008).

Plusieurs travaux de recherche ont été menés dans le but de réduire cette durée de rouissage du manioc tout en assurant la qualité recherchée (Kimaryo *et al.*, 2000 ; Holzapfel, 2002; Djouldé, 2005). La majorité d'entre eux ont abouti à la proposition de plusieurs méthodes dont la plus pratique pour les paysans est très certainement l'utilisation des « starters » qui, malheureusement, restent peu maniables au regard des propriétés désirées par les paysans. En effet leur coût est élevé (Edward *et al.*, 2012) et certains se sont montrés inefficaces à réduire le temps de ramollissement (Kimaryo *et al.*, 2000). A cet égard, diverses pratiques sont développées par les actrices, en fonction des espaces de production, pour accélérer le rouissage, notamment à travers l'utilisation de starters traditionnels comme ferment et soulignées par Brauman *et al.*, en 1995.

L'état Camerounais, afin d'augmenter la productivité et la résistance aux maladies observées avec les variétés indigènes, a mis sur pied de nouvelles variétés de manioc améliorées et acceptées à différent degré par ses populations. Ici, le choix d'une variété donnée pour la transformation traditionnelle, repose encore principalement sur son goût amer et son rendement technologique, mais

rarement sur la qualité des produits à la transformation. On assiste ainsi à la mise sur les marchés, des farines aux des propriétés technologiques très variables. Pourtant, les cultivars de manioc possèdent des fonctionnalités spécifiques qui peuvent être exploitées dans plusieurs domaines d'application. En effet l'influence des différents génotypes de manioc sur la qualité et l'application industrielle de leurs produits dérivés ont fait l'objet d'études (Nuwamanya *et al.*, 2010 ; Maieves *et al.*, 2011 Shittu *et al.*, 2007). Bien que toutes s'accordent sur la différence des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles des produits liées au cultivar de manioc, très peu ou aucune, à notre connaissance n'examine l'impact des variétés de manioc sur les propriétés technologiques des farines de manioc fermenté.

Il ressort des constats précédents que, la farine de manioc fermenté ou fofou est essentiellement produite à l'échelle paysanne par des techniques traditionnelles et de ce fait, elle est desservie par de nombreuses contraintes qui freinent son expansion. Il s'agit principalement de : la longue durée des opérations de transformation qui limite sa productivité ; et la variabilité de la qualité organoleptique d'un producteur à un autre et parfois au sein d'une même unité de production (manque de standardisation des techniques et/ou des produits sur un espace donné) (Oyewole, 1991). Dès lors cette recherche s'interroge sur les voies à entreprendre aujourd'hui pour améliorer la qualité organoleptique, sanitaire (du point de vu toxicité) et technologique de ce produit traditionnel ? Le développement de cette question peut conduire à d'autres questions secondaires de recherche :

- 1) Quelles sont les pratiques de transformation des racines en Farine de manioc fermenté ? qu'est ce qui les caractérise ?
- 2) Quelles sont les conditions de production et d'utilisation des cossettes pré-rouies comme starters de rouissage ?
- 3) Quelle est l'influence de l'utilisation de ce starter et de la variété de manioc sur la détoxification des racines de manioc et les propriétés fonctionnelles de la farine de manioc fermenté ?

Hypothèse de recherche

La caractérisation des pratiques de transformation des racines de manioc en farine ainsi que la maîtrise des conditions de production et d'utilisation des starters peut d'avantage réduire le temps de rouissage, accroître la détoxification et améliorer les propriétés fonctionnelles de la farine de manioc fermenté.

Objectifs

Objectif général

C'est dans le but de lever les contraintes citées plus haut, du moins d'en atténuer l'influence que ce travail entend améliorer l'activité d'un starter traditionnel de rouissage en vue de réduire efficacement la durée naturelle du rouissage pour accroître la productivité de la farine de manioc fermenté.

Objectifs spécifiques

Cette études envisage la finalisation de l'objectif ci-dessus par la mise d'une dynamique qui vise à :

- 1) Identifier les principales opérations unitaires des procédés traditionnels de production des cosettes de manioc fermenté ;
- 2) Définir les conditions de production et d'utilisation des cosettes comme starters de rouissage ;
- 3) Comparer les propriétés fonctionnelles et les caractéristiques de la Farine de manioc fermenté issue d'un rouissage naturel à celles des farines produites à partir d'un rouissage accéléré de différentes variétés de manioc.

Le mémoire qui suit est divisé en trois chapitres : Le premier chapitre est une revue de la littérature qui présente les généralités sur le manioc avec une emphase sur le rouissage ; puis s'en suit la composition chimique et quelques propriétés des amidons natifs. Le second chapitre présente les outils méthodologiques mis en œuvre tels que l'enquête sur le diagnostic des pratiques de transformation, les techniques de suivi du ramollissement des pulpes de manioc et les techniques de caractérisation biochimique et rhéologiques des farines de manioc. Les résultats et la discussion sont décrits dans le troisième chapitre. Enfin, une conclusion générale et des perspectives scientifiques qui découlent de nos travaux.

Chapitre 1. Revue de la littérature

I- REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. GENERALITES SUR LE MANIOC

I.1.1. Description botanique

Le manioc est communément appelé cassava, tapioca, yuca, madioca ou manioca un peu partout dans le monde. Cet arbuste dont la taille est comprise entre 1-4m de haut est une Dicotylédone de la famille des Euphorbiacées. Des 100 espèces environ que l'on rencontre chez le genre *Manihot*, seule l'espèce *Manihot esculenta* Crantz est commercialisée. Avec un nombre élevé de génotypes cultivés et de la diversité des écosystèmes de culture, la réalisation précise d'une description des indicateurs morphologiques et agronomiques du manioc est difficile. Pour cette raison, la caractérisation morphologique est souvent associée à la caractérisation moléculaire basée principalement sur les marqueurs moléculaires de l'ADN (Beeching *et al.*, 1993 ; Fregene *et al.*, 1994).

Anatomiquement, la racine du manioc n'est pas une racine tubéreuse, mais une vraie racine qui ne peut pas être utilisée pour la multiplication végétative. La racine tubéreuse mature est constituée de trois tissus distincts : l'écorce ou épiderme, la peau ou cortex et le parenchyme, partie comestible qui constitue environ les 85% du poids total de la racine fraîche. Le nombre, la taille et la forme des racines dépendent du cultivar et des conditions environnementales. Ils diminuent avec l'utilisation de boutures de mauvaise qualité, la sécheresse ou l'excès d'eau. La tige mature est boisée, cylindrique et formée d'alternance de nœuds et d'entrenœuds.

Les caractéristiques morphologiques et agronomiques de la tige sont importantes dans la caractérisation d'un cultivar. La variation de ces caractéristiques dépend du cultivar, des pratiques culturales et des conditions climatiques.

Les feuilles de manioc sont simples, formées de strates et de pétioles. Les lobes de la feuille sont en nombres irréguliers et rangés entre 3 et 9 (rarement 11). Matures, les feuilles de manioc sont glabres (sans poils) et chacune est entourée par deux stipules qui restent attachées à la tige. La feuille contient des stomates qui peuvent occuper 1,4 à 3,1% de sa surface totale (Alves, 2004). Le manioc est une monœcie (porte les fleurs mâles et femelles séparément sur la même tige) qui produit des fruits globulaires de 1 à 1,5cm de diamètre.

I.1.2. Croissance et développement

En tant que plante pérenne, le manioc peut croître indéfiniment en alternant les périodes de croissance végétative, de stockage des hydrates de carbones dans les racines et même en période de froid ou de sécheresse. La plante se développe beaucoup plus dans les zones tropicales où la pluviométrie annuelle dépasse les 600 millimètres. Le développement du manioc s'effectue suivant plusieurs phases distinctes dont l'existence et la durée dépendent de plusieurs facteurs liés à la différence variétale, aux conditions environnementales et aux pratiques culturales. Parmi celles-ci on peut citer entre autre : la germination et l'apparition (5 à 15 jours après le plantage) ; l'initiation du développement des feuilles et du système racinaire (15 à 90 jours) ; développement de la tige (90 à 180 jours) ; accumulation des hydrates de carbone dans la racine (180 à 300 jours) et la dormance (300 à 390 jours). La plante achève ainsi son cycle de douze mois qui peut se suivre d'une nouvelle période de croissance végétative, d'accumulation de la matière sèche et d'une nouvelle dormance (Tàvora *et al.*, 1995 ; Peressin *et al.*, 1998). Quand la racine est utilisée comme aliment, le meilleur moment pour la récolte est environ 8 à 10 mois après plantation ; plus la croissance est longue, plus le rendement en amidon est élevé.

Cependant, pour certaines variétés, la récolte peut se faire, à n'importe quel moment entre six mois et deux ans. Le manioc supporte très bien les sols acides, et participe à une association symbiotique avec des champignons du sol qui aident ses racines à absorber le phosphore et les oligoéléments (FAO, 2013). Toutefois, le manioc préfère les sols légers, sablo-argileux profonds, meubles, bien drainés et riches en potassium. Le développement du manioc peut se faire par germination ou par bouturage. Les plantes de manioc issues des boutures développent une ou plusieurs tiges principales à partir des bourgeons, tandis que celles issues des graines ont une tige unique.

Le manioc décourage les herbivores au moyen de deux glycosides produits par ses feuilles et qui, à la digestion, forment du cyanure d'hydrogène, hautement toxique. Grâce à l'utilisation efficace de l'eau et des nutriments du sol par le manioc, ainsi qu'à sa résistance aux attaques sporadiques de ravageurs, les producteurs, tout en utilisant peu ou pas d'intrants, peuvent compter sur une récolte raisonnable là où d'autres cultures échouent.



Le manioc



Feuilles de manioc



Tiges de manioc



Racines de manioc

Image 1. Principales parties du Manioc

I.1.3. Production du manioc

Selon les données de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2013), la production mondiale de manioc est passée de 124 à 254 millions de tonnes entre 1980 et 2011. Au cours de la décennie passée, le manioc a connu une production accélérée conduisant les estimations de la même organisation à situer la récolte de 2012 à plus de 280 millions de tonnes, ce qui représente une croissance de 60% depuis 2000 avec un taux de croissance annuelle double de celui des deux dernières décennies (FAO. 2012).

Bien que le manioc occupe le 5ème rang des cultures alimentaires dans le monde, l'on a noté depuis 2000, un taux de croissance de la production de manioc en Afrique égale à celui du maïs et presque le triple de celui du riz en Asie du sud, du Sud-est et de l'Est (FAO. 2013). Dépassant ainsi, au cours de la décennie passée, celle des pommes de terre du riz et du blé. L'Afrique sub-saharienne contribue pour plus de la moitié de l'offre globale avec une production annuelle de 140,9 millions de tonnes en 2011. Cependant les 90% de sa production sont essentiellement destinés à l'alimentation tandis seulement 10 % subissent une transformation rudimentaire pour servir d'aliment du bétail utilisé sur place. La consommation du manioc par les Africains dépasse celle de toute autre culture de base alimentaire, y compris le maïs. Presque la totalité est consommée soit sous la forme de racines tubéreuses fraîches soit sous la forme de produits à base de farine fermentée (UNCTAD, 2013).

La production importante du manioc en Afrique à lieu en Afrique de l'Ouest avec une production annuelle de 76 millions de tonnes. Le Nigéria est de loin le plus gros producteur mondial avec une récolte annuelle qui représente plus du tiers de la production Africaine. Le Cameroun, malgré l'augmentation de sa production annuelle qui est passée de 2,5 millions de tonnes en 2005 à 4, 1 millions de tonnes en 2011, occupe le 19ème rang mondial et le 2ème rang en Afrique central derrière la République Démocratique du Congo (FAO, 2014).

La contribution des producteurs d'Asie, d'Amérique latine et des Caraïbes à la production mondiale de manioc est de 44 %. Elle était estimée à 110,9 millions de tonnes en 2011, soit 76,6 millions de tonnes pour l'Asie et 34,3 millions de tonnes pour l'Amérique latine et les Caraïbes. Comme en Afrique, le manioc est essentiellement produit par des petits producteurs, qui traditionnellement y voient une réserve permettant d'affronter une mauvaise récolte de riz et une source d'aliment pour leurs animaux. Cependant, en Asie seulement 50% de la production est utilisée dans l'alimentation. L'autre partie est destinée à satisfaire la demande en cossettes de manioc séchées et en amidon de manioc, à destination du sous-secteur des aliments du bétail et de la transformation industrielle.

I.1.4. Intérêt du manioc

Le manioc est riche en hydrates de carbone et l'on estime à environ 70 millions le nombre de personnes qui tirent du manioc près de 500 Kcal par jour et à plus de 500 millions d'individus qui consomment à partir du manioc, plus de 100 Kcal par jour (Kawano, 2003). C'est une culture pérenne qui produit des racines pouvant être récoltées à partir de huit mois suivant la plantation. Les feuilles de manioc peuvent être utilisées en complément comme source de protéines (Nassar & Marques, 2006).

L'augmentation considérable de la production du manioc au cours des 14 dernières années est liée à un facteur primordial : le prix élevé des céréales sur les marchés mondiaux. L'une des conséquences de cette augmentation a été, en 2008, l'inflation globale des prix alimentaires. La persistance de la pauvreté des zones urbaines en Afrique, favorise la consommation de produits alimentaires à base de manioc, du fait que les consommateurs recherchent les sources de calories les moins chères. Ainsi la fabrication des sous-produits à base de manioc susceptibles d'être mis sur le marché comme aliments faciles à préparer et se conservant pendant un temps assez long, pourrait maîtriser la hausse des prix des denrées alimentaires. Certaines nouvelles variétés biofortifiées riches en fer, en zinc et en vitamine A, peuvent contribuer à améliorer l'état nutritionnel des populations aux revenus faibles. Tous ces éléments peuvent contribuer à la sécurité alimentaire de populations des zones urbaines des pays en voies de développement.

Le manioc peut également contribuer au développement des zones rurales (Njukwe *et al.*, 2014). Un exemple est celui de la Thaïlande où les gains de productivité des deux décennies écoulées ont augmenté les revenus des petits producteurs d'un montant estimé à 650 millions de dollars Etats Unis et fait sortir de la pauvreté de nombreux producteurs de manioc (FAO, 2013). En Afrique, le développement du manioc serait de nature à générer des gains les plus élevés en termes de Produit Intérieur Brut agricole (Abdulai, *et al.*, 2005).

De plus le manioc est utilisé dans la production du bioéthanol et de ce fait, utilisé comme énergie renouvelable. C'est la seconde source d'amidon après le maïs avec une production estimée à plus de 8 millions de tonnes par an.

Un autre facteur favorisant l'accroissement de la production du manioc est la capacité de cette culture à s'adapter aux changements climatiques. Au Cameroun, le manioc est considéré comme une source de calories non négligeables et de ce fait contribue à la sécurité alimentaire dans plusieurs ménages. Les aires qui lui sont dédiées pour la culture, sont estimées à plus de 204548 hectares

(PNDRT, 2005), avec une production annuelle qui est passée de 2,5 millions de tonnes en 2005 à environ 4,5 million de tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2015).

Malgré ses multiples avantages, l'utilisation du manioc est encore limitée par les risques de toxicité associés à sa consommation.

I.1.5. Les limites de l'utilisation du manioc

L'une des principales limites associées à l'utilisation des racines de manioc est leur facilité de détérioration comparée aux cultures telles que les céréales. Une fois récoltées, les racines de manioc ont une durée de vie qui n'est que de quelques jours (Wenham, 1995 ; Westby, 2005). Il existe à cet effet deux types de détérioration post récoltes : la détérioration primaire entraînant une décoloration interne, première cause de réduction de la qualité marchande, et la détérioration secondaire due à l'activité microbienne (Westby, 2005).

Plusieurs moyens de lutte contre cette périssabilité ont été développés. Ils sont constitués entre autre de, (i) la reproduction des variétés à racines possédant une longue durée de vie, (ii) les modifications génétiques conduisant au changement du métabolisme et (iii) l'utilisation des techniques améliorées de conservation.

La multiplication et la modification génétique sont des stratégies à long terme, tandis que la conservation améliorée a vraisemblablement plus d'impact immédiat. Il existe à cet effet plusieurs méthodes de conservation des racines. Elles vont de l'entassement des racines dans les sols recouverts de pailles en lieu ventilé (Rikard & Coursey, 1981) jusqu'à l'utilisation des sols sablonneux de teneur en eau de 15% (Balagopalan, 2000) ; en passant par les conservations des racines traitées avec des fongicides dans des sacs en polyéthylène (Rikard & Coursey, 1981), ou à l'enrobage des racines avec la paraffine (Knoth, 1993). Toutefois, la transformation des racines en produits plus stables offre la meilleure opportunité de lutte contre la grande périssabilité des racines de manioc en Afrique subsaharienne et en Amérique du sud.

Plus encore, les racines de manioc sont constituées environ de 70% d'eau ce qui font d'elles des entités difficilement transportables générant des coûts importants pour leur transport vers les marchés urbains.

Enfin, les feuilles et les racines possèdent des quantités de composés cyanogénétiques toxiques pour l'homme et les animaux.

Pour toutes ces raisons, le manioc doit être transformé en différents sous-produits qui permettent non seulement de faciliter le transport et de réduire la toxicité du manioc, mais permettent aussi de prolonger la durée de vie de cette denrée et d'améliorer son goût. La transformation du manioc en ses dérivés permet également de réduire les pertes post récoltes et stabilise les fluctuations saisonnières en approvisionnement des récoltes.

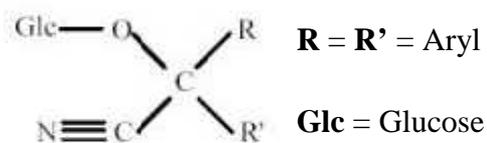
I.1.6. Facteurs de toxicité associés au manioc :

I.1.6.1. Les composés cyanogènes

Les tissus des racines du manioc sont caractérisés par leur capacité à émettre sous certaines conditions un composé hautement toxique : l'acide cyanhydrique. Cette propriété est d'ailleurs très rencontrée dans le monde végétal en ceci qu'elle est rencontrée chez plus de 700 espèces (Nartey, 1978).

Dans les tissus de ces végétaux, l'acide cyanhydrique se trouve sous forme de composés chimiques qui peuvent être des glucosides cyanogénétiques pour la plupart ou des cyanolipides ; les deux étant des α -hydroxynitriles. Ces composés, lorsqu'ils sont décomposés à la suite d'une hydrolyse, produisent un sucre, une cétone et de l'acide cyanhydrique.

Les glucosides cyanogénétiques sont des hétérosides constitués du glucose et d'un aglycone. Ce sont des α -glucosides de formule générale :



Deux glucosides cyanogénétiques ont été identifiés chez le manioc : la Linamarine qui représente près de 95% de cyanogènes totaux et la Lotaustraline en faible proportion (King & Bradbury, 1995 ; Montagnac *et al.*, 2009 ; Bayoumi *et al.*, 2010). Comme la majorité des glucosides cyanogénétiques, la Linamarine et la Lotaustraline sont très solubles dans l'eau, peu dans l'acétone, moins dans l'alcool et insolubles dans l'éther (Nartey, 1978).

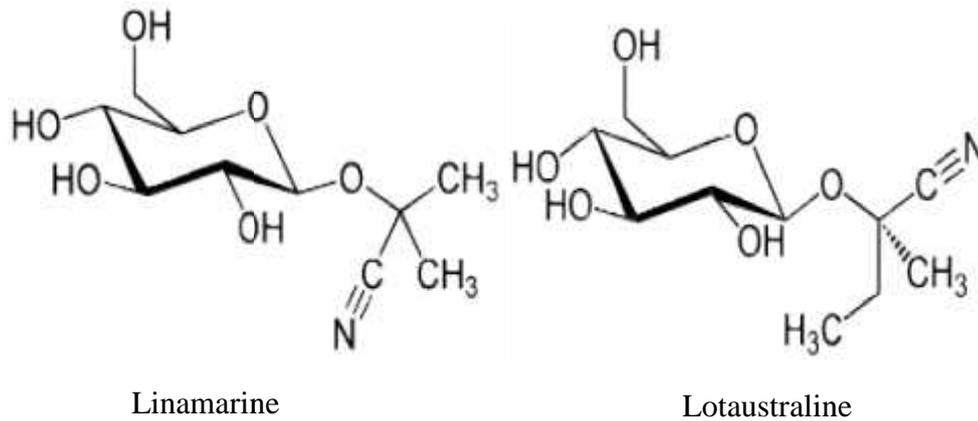


Figure 1 : Formules chimiques des glucosides du manioc (source : nl.wikipédia.org)

La Linamarine et la Lotaustraline se rencontrent dans tous les tissus de la plante où elles sont synthétisées à partir des acides aminés Valine, Leucine, Isoleucine, Tyrosine et Phénylalanine. La distribution de la Linamarine dans la plante est telle que, les feuilles en possèdent la plus grande teneur (5g de Linamarine /kg de poids sec) tandis qu'elle est approximativement 10 fois moins dans la racine. Ce qui permet de classer les variétés de manioc en trois groupes selon leur teneur en Linamarine dans la racine : les variétés dites sucrées (inférieure à 50mg/kg), les variétés moyennement toxiques (égale à 50mg/kg) et les variétés amères (Supérieures à 100mg/kg) (Assanvo *et al.*, 2002 ; Montagnac *et al.* 2009). Certains rapports font état des teneurs en cyanure allant de 1090ppm à 1550ppm en Tanzanie (Mlingi & Bainbridge, 1994).

Bien qu'il existe une certaine corrélation entre la teneur élevée de cyanogènes et racines amères d'une part, et entre faible teneur en cyanogènes et variétés sucrées d'autre part, la concentration en cyanogènes dans une racine dépend des conditions environnementales. Ainsi une variété de manioc qu'on considère sucrée peut contenir de fortes teneurs de cyanogènes sous certaines conditions.

I.1.6.2. La Cyanogénèse

La cyanogénèse ou formation de l'acide cyanhydrique libre, est le mécanisme de dégradation des composés cyanogénétiques. Elle est initiée quand les tissus de la plante sont endommagés et consiste en une voie enzymatique qui se déroule généralement en deux étapes :

i) La vacuole libère alors la Linamarine, qui est par la suite mise en contact avec la linamarase, une bêta-glucosidase associée à la paroi cellulaire (McMahon *et al.*, 1995). L'hydrolyse de la Linamarine conduit à l'obtention du glucose et de l'acétone cyanohydrine. Cette hydrolyse se retrouve chez l'ensemble des plantes cyanogènes. La linamarase est spécifique de la Linamarine mais aussi de la Lotaustraline et son optimum d'activité se situe à pH 5,5 - 6 et à une température de 37°C.

ii) La cyanohydrine se dissocie ensuite en acide cyanhydrique et en cétone. Cette dissociation peut être spontanée à des pH au-dessus de 4 ou à des températures au-dessus de 30°C (Delange *et al.*, 1994), mais certains suggèrent la présence d'une seconde enzyme, une HydroxyNitrilLyase (HNL) (Falade *et al.*, 2010).

Il apparaît donc que le cyanure se trouve dans le manioc sous trois formes : glucosides ; cyanohydrine et acide cyanhydrique ; aussi distingue-t-on une forme libre non glucosidique et une forme liée.

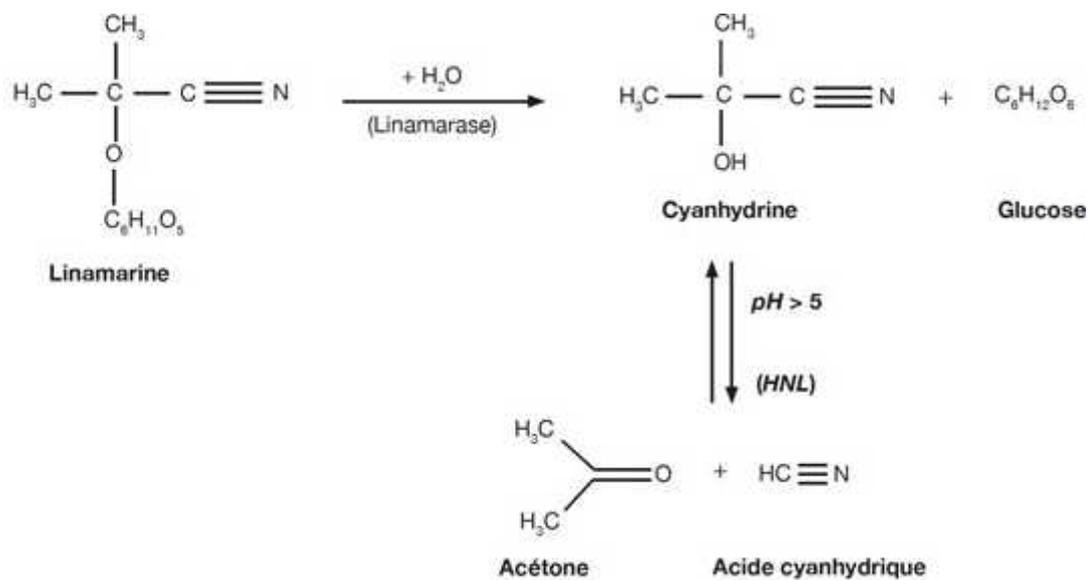


Figure 2 : Dégradation enzymatique de la Linamarine (source : Falade *et al.*, 2010)

I.1.7. Maladies potentiellement associées à la toxicité du manioc

La consommation régulière du manioc inadéquatement transformé est à l'origine de plusieurs troubles pathologiques ayant pour principales causes, la présence dans l'aliment, des produits de dégradation des composés cyanogénétiques. Les signes cliniques d'un empoisonnement aigu aux composés cyanogénétiques comprennent : la respiration rapide, les vomissements, l'élévation de la

pression sanguine, les céphalées, la stupeur, la confusion mentale et la convulsion (Oluwole *et al.*, 2003) pour ne citer que ceux-ci.

Parmi les cas de maladies liées à la consommation chronique du manioc ou de ses dérivés, sont notamment citées :

- le Goitre thyroïdien, dû à une déficience ou une mauvaise utilisation de l'iode par la thyroïde. Cette dernière est provoquée par la production du thiocyanate (composé issu de la détoxification du cyanure par la rhodanèse) de taille similaire à l'iode et qui de ce fait interfère dans l'absorption de l'iode par la thyroïde (Kobawila *et al.*, 2005);
- le Nanisme,
- la Neuropathie Ataxique Tropicale, rencontrés en République Démocratique du Congo, dans l'Est du Cameroun, en Mozambique et au Nigéria (Onabolu *et al.*, 2001 ; Ernesto *et al.*, 2002, FSANZ, 2004).

Par ailleurs, une forte consommation de cyanure provenant de la farine de manioc provoque le Konzo, consistant en une paralysie irréversible des jambes chez les enfants et les femmes en âge de procréer (Younoussa *et al.*, 2013).

Le Konzo sevit dans de nombreux pays d'Afrique australe, orientale et centrale (Essers *et al.*, 1992). Les ions cyanures CN^- se lient à l'ion ferrique du cytochrome-oxydase, enzyme mitochondriale responsable des oxydations cellulaires chez les êtres vivants aérobies (Friedman, 1980) et provoquent l'inhibition de l'enzyme. Il s'ensuit une hypoxie cytotoxique qui entraîne dysfonctionnement et mort cellulaire (Gruhnert *et al.*, 1994).

Ces problèmes de santé étant évitables grâce à une réduction *per capita* de l'ingestion de cyanure (Cardoso *et al.*, 2005), il est par conséquent important de développer des stratégies de réduction du cyanure dans les produits à base de manioc.

I.1.8. Détoxification du manioc

La détoxification du manioc dans les usages alimentaires obéit à plusieurs principes qui vont de l'élimination directe des composés cyanogénétiques par dissolution dans l'eau, à la décomposition de ces composés, suivis de l'élimination de l'acide cyanhydrique formé par lavage ou évaporation.

Les racines de manioc sont souvent transformées en plusieurs sous-produits faisant intervenir plusieurs techniques qui varient en fonction du produit désiré. Ces techniques et opérations unitaires de transformation des racines de manioc vont des plus simples (éplucher, bouillir) aux plus compliquées (grattage, séchage, rouissage, grillage). La production du gari par exemple, est constituée de plusieurs opérations unitaires à savoir : épluchage, grattage, pressage, fermentation, tamisage, et grillage.

Les procédés traditionnels appliqués seuls ou combinés, visent à réduire le contenu en cyanures des différents sous-produits du manioc. Certaines de ces opérations réduisent le cyanure mieux que d'autres et diffèrent entre les pays, les localités et au sein d'un même pays en fonction des cultures qu'on y rencontre. Elles sont souvent mises en œuvres en tenant compte de plusieurs facteurs environnementaux à savoir : la disponibilité en eau, bois, la variété de manioc transformée et du type d'équipement ou de technologie disponible (Wareing *et al.*, 2001 ; Wesby, 2005). Elles aboutissent à l'obtention de plusieurs produits culinaires dont les plus rencontrés en Afrique sont le Fufu (Water fufu), Lafun ou Foufou (farine de manioc fermentée délayée dans l'eau bouillante pour donner une pâte épaisse), le Gari ; l'Attiéke, le Chikwangue (pulpe de manioc fermenté broyée, emballée dans des feuilles et cuite à la vapeur)... etc. La liste est de loin non exhaustive.

La description détaillée des procédés de production de tous les sous-produits du manioc étant trop longue, quelques opérations unitaires communément rencontrées dans la transformation du manioc en Afrique seront abordées dans le paragraphe suivant. Une emphase sera mise sur la fermentation en milieu liquide aussi appelée rouissage dans le paragraphe **I.1.10**.

I.1.9. Etapes de transformation post récolte du manioc

Les racines de manioc sont souvent pelées au préalable avant leur transformation. Le pelage est souvent considéré par les transformateurs comme l'étape la plus difficile de la transformation. Il est souvent suivi de la réduction de la taille des racines ou le grattage (aussi utilisée dans l'extraction de l'amidon).

Le séchage au soleil est commun à plusieurs types de produits en Afrique. Néanmoins, on y rencontre aussi le séchage sur des claies sous feu de bois. Un inconvénient lié au séchage solaire est sa longue durée. Elle peut s'étendre pendant 2 à 15 jours selon le type de produit et de la saison climatique (Wareing *et al.*, 2001).

Plusieurs méthodes d'amélioration du séchage ont été développées. Elles font intervenir généralement la modification de la taille et de la forme des morceaux de manioc, l'utilisation des plateaux inclinés ou des séchoirs cimentés, et vise toutes à améliorer la qualité du produit.

La fermentation est une étape importante dans la transformation du manioc, spécialement en Afrique où la quasi-totalité de la production sert à l'alimentation. On distingue deux principaux types de fermentation : la fermentation en milieu sec (la fermentation des racines râpées et la fermentation en tas effectuée par les moisissures) et la fermentation en milieu liquide ou rouissage.

La fermentation des racines râpées se rencontre plus en Afrique de l'Ouest, où elle est utilisée dans la production des granules torréfiées (*Gari*), à vapeur (*Attiéke* en Côte-d'Ivoire) et certaines pâtes fermentées (*Agbelima* et *Placali* au Ghana et en Côte-d'Ivoire respectueusement). Spécifiquement, les racines sont maintenues pendant 3 à 7 jours dans des sacs en polyéthylène où elles subissent une fermentation lactique avec une réduction concomitante du pH à des unités inférieures à 4,0. L'une des variantes de cette fermentation, telle que conduite en Côte-d'Ivoire, est l'ajout des starters constitués des racines pré-fermentées (Okafor *et al.*, 1998).

La fermentation en tas quant à elle, se rencontre beaucoup plus en Tanzanie, Mozambique et Ouganda (Essers, 1995 ; Ndunguru *et al.*, 1999). Elle consiste à amasser les racines pelées et à les laisser fermenter naturellement. Elle est favorable au développement des moisissures telles que : *Rhizopus spp* ; *Penicillium spp* ; *Fusarium spp* et les *Mucor spp* (Essers & Nout, 1989).

I.2. LA FERMENTATION EN MILIEU LIQUIDE OU ROUISSAGE

I.2.1. Généralités sur le rouissage

Le rouissage est une technique rencontrée dans la production de la quasi-totalité de sous-produits du manioc à travers l'Afrique en générale et en Afrique centrale en particulier où elle conduit à l'obtention des produits à pâtes humides (tels que le *Bâton*, le, l'*Akpu* et le *Fufu*) et à pâtes sèches (tels que le *Foufou* ou *Lafun*).

Connu en occident et en Asie dans le traitement de certaines plantes comme le lin et le chanvre, le rouissage est souvent utilisé en Afrique dans le cadre de prétraitement des racines de manioc avant leur utilisation.

Le rouissage consiste à immerger les racines de manioc pelés ou non dans l'eau pendant une période pouvant s'étendre de 3 à 7 jours selon le type de produit et selon que l'on soit en saison sèche ou pluvieuse (Brauman *et al.*, 1995 ; Wesby & Choo, 1994). Ce qui provoque le ramollissement des racines par lyse des parois végétales avec pour corolaire de mettre la Linamarine au contact de la linamarase et par conséquent, la détoxification des racines de manioc.

Selon plusieurs auteurs, les pourcentages de réduction des glucosides cyanogènes durant le processus de rouissage sont de l'ordre de 90%, faisant ainsi du rouissage la technique la plus efficace dans l'élimination de la toxicité du manioc (Cardoso *et al.*, 2004 ; Kobawila *et al.*, 2005 ; Agbor & Mbome, 2006). En effet les travaux de Dufour, (1994) ont montré que la réduction du cyanure peut atteindre 98% en prolongeant la durée de rouissage à plus de 6 jours.

En plus de la détoxification et du ramollissement des racines qui conditionne leur aptitude à subir les procédés technologiques ultérieurs, le rouissage est également, grâce à la production par les microorganismes de différents métabolites, responsable de l'odeur, de l'acidité, du goût et de la texture des produits finis (Massamba & Trèche, 1993 ; Brauman *et al.*, 1996).

Des études réalisées sur le rouissage ont montré que le rouissage est une fermentation hétérolactique caractérisée par une forte production du butyrate dans laquelle se succèdent plusieurs groupes de microorganismes (Oyewole & Odunfa, 1988 ; Brauman *et al.*, 1995). Ainsi on note en début de rouissage l'existence d'une flore microbienne complexe constituée des bactéries, des levures et des moisissures appartenant aux genres *Bacillus*, *Klebsiella*, *Leuconostoc*, *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Aspergillus*, *Candida*, et *Geotrichum* etc.... Plusieurs de ces microorganismes sont éliminés en fin de fermentation au profit des germes anaérobies tolérants de fortes concentrations en acides dominés par les bactéries lactiques (*Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus faecium*,

Leuconostoc mesenteroides), les Bacilles (*Bacillus*, *Clostridium*...) et les levures. (Oyewole & Odunfa, 1988 ; Coulin *et al.*, 2006 ; Kastner *et al.*, 2007).

Bien qu'il existe une diversité importante de microorganismes au cours du rouissage, la flore dominante dans ce processus reste la flore lactique. Parmi les bactéries lactiques couramment rencontrées dans les produits à base de manioc fermenté, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Leuconostoc mesenteroides* ont été identifiées comme les principales bactéries lactiques associées à la fermentation de l'Agbelima (Amoa-Awua *et al.*, 1996). Dans l'Attiéke par exemple, *Leuconostoc mesenteroides* a été rencontré en début de fermentation, et au fur et à mesure que la fermentation progressait, cette espèce a été remplacée par les espèces *Lactobacillus salivarius* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *delbrueckii*, ainsi que *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus confusus*, à la fin de la fermentation (Coulin *et al.*, 2006). *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus caprophilus*, *Lactobacillus lactis*, *Leuconostoc lactis* et *Lactobacillus bulgaricus* ont été identifiées comme les espèces de bactéries lactiques impliquées dans la fermentation du manioc pour la production de fufu au Nigéria (Oyewole & Odunfa, 1990). Kostinek et collaborateurs (2007) ainsi qu'Oguntoyinbo (2007) identifiaient, respectivement, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc fallax* et *L. fermentum* ainsi que *Lactobacillus plantarum*, *L. fermentum* et *Leuconostoc mesenteroides* comme les espèces dominantes du rouissage.

Les principales fonctions des bactéries lactiques comprennent la production d'acides organiques et de composés aromatiques ainsi que d'autres effets tels que la stimulation des levures, l'inhibition des microorganismes pathogènes, l'amélioration de la qualité nutritionnelle, l'activité probiotique. L'élaboration de la texture et la dégradation des composés toxiques peuvent également être observées (Mensah *et al.*, 1990 ; Kimmons *et al.*, 1999 ; Yao *et al.*, 2009).

Parmi les nombreux microorganismes intervenant dans le rouissage, il existe une catégorie capable de sporuler c'est-à-dire, qui a une aptitude à se transformer en petites unités ovoïdes ou sphériques douées d'une extraordinaire résistance. Tous deux de la famille des Bacillaceae, les genres *Clostridium* et *Bacillus* sont des bacilles à Gram positif, capables de former des endospores largement répandues dans l'environnement et qui contaminent de nombreux produits alimentaires (Guiraud *et al.*, 1998).

Malgré ses multiples avantages, le rouissage du manioc fait face à deux principales contraintes qui limitent la productivité des aliments qui en dépendent. Il s'agit de sa longue durée ne permettant pas de répondre à la demande de plus en plus grandissante liée à l'explosion démographique des

centres urbains. On assiste aujourd'hui à l'arrêt prématuré de cette opération unitaire. Ce qui a pour corolaire, la mise sur les marchés des produits peu détoxifiés et potentiellement à risque pour les consommateurs. Pourtant, le degré de détoxification, la croissance des microorganismes d'intérêt, l'acidité et la texture des produits sont une fonction du temps de rouissage (Ampe *et al.*, 1994 ; Brauman *et al.*, 1995 ; Okafor *et al.*, 1998). De plus le rouissage est réalisé par immersion complète des racines pendant quelques jours (3 à 7 jours) selon diverses modalités et dans des contextes très variés susceptibles d'affecter la qualité des produits finis.

I.2.2. Généralités sur les starters microbiens

Un starter peut être défini comme une préparation microbienne concentrée constituée d'un ou de plusieurs microorganismes viables capables d'induire les changements désirés au niveau du substrat (Holzapfel, 1997). L'utilisation des starters remonte aux années 1866 lorsque Louis Pasteur découvre les microorganismes comme principaux agents des procédés fermentaires. Quelques années plus tard, Hansen commence la vente des premières cultures starters pour l'industrie laitière. Ce n'est qu'entre 1935-1940 que Jensen et Pandock établirent l'utilisation des bactéries lactiques pour la maturation de la saucisse fermentée. De nos jours, plus en plus de cultures microbiennes sont utilisées comme starters. Ces cultures peuvent être constituées à partir d'une seule souche microbienne, dans ce cas elles sont appelées cultures mono-souche ; lorsqu'elles sont faites à partir de plusieurs souches de la même espèce elles sont appelées des cultures multi-souches. Et enfin, lorsqu'elles sont constituées de plusieurs souches d'espèces différentes, on parle de cultures mixtes.

L'utilisation des starters dans la fermentation doit servir à améliorer les conditions de la fermentation et la qualité des produits à travers des activités métaboliques accélérées, des processus de fermentations améliorés et plus prévisibles, des caractères sensoriels désirés une sécurité améliorée et des risques toxicologiques et hygiéniques réduits.

Ainsi, Henshaw & Ikoph (2010) ont testé, une à une, quatre souches constituées de *Bacillus subtilis*, *Klebsiela spp.*, *Lactobacillus plantarum* et *Leuconostoc mesenteroides* sur leur capacité à réduire l'odeur répulsive du « foofoo ».

Par ailleurs les travaux de Kimaryo *et al.*, 2000 se sont basés sur l'utilisation des cultures starters dans la fermentation du manioc pour la production du *Kivunde*.

Enfin, Djouldé *et al.*, 2015 ont testé les capacités d'un starter fait à partir de trois souches du genre *Lactobacillus spp.*, *Saccharomyces spp.* et *Rhizopus spp.* à détoxifier les racines de manioc et à réduire la durée naturelle de fermentation.

Ces études ont montré, pour la plupart, que les starters sélectionnés contribuent à améliorer le processus fermentaire, soit à travers la réduction des odeurs, la détoxification et la réduction des composés antinutritionnels de la matière première ou encore, la réduction de la durée de fermentation. Ce qui permet de réduire les coûts engendrés par les processus fermentaires de longues durées tout en assurant la production d'aliments de haute qualité sensorielle et de haute sécurité.

Des efforts d'amélioration, de modernisation et de contrôle de la majorité des aliments amylicés ce sont toujours portés sur les aspects technologiques (production, conditionnement et stockage du produit fini) et nutritionnels (enrichissement de l'aliment en éléments nutritifs). Actuellement, plus en plus de fermentations spontanées sont remplacées par des essais d'inoculation avec des starters de microorganismes. Ces essais, où des souches de bactéries et/ou de levures ont été isolées puis utilisées avec succès comme cultures starters, ont montré des changements notables aussi bien au cours de la fermentation que sur le produit fini par comparaison à ceux réalisés ou obtenus selon les procédés traditionnels. Parmi les changements majeurs souvent obtenus, on peut citer : l'inhibition des microorganismes pathogènes, la réduction du temps de fermentation et l'obtention d'un produit de qualité organoleptique acceptable et reproductible (Henshaw & Ikoph 2010 ; Ekwem, 2014 ; Djouldé *et al.*, 2015). Dans la plupart des fermentations utilisant un starter, le starter est généralement constitué de bactéries lactiques, faisant d'elles les principaux microorganismes constitutifs de ces ferments. Le choix de ces bactéries comme starters obéit à un certain nombre de critères qui sont fonction des caractéristiques du produit final, de l'activité métabolique désirée, des caractéristiques de la matière première et de la technologie appliquée (Soro-Yao *et al.*, 2014). Ces critères sont :

- La capacité à produire dans le milieu de fermentation, des composés antimicrobiens et à l'acidification rapide de ce milieu. Ce critère contribue à inhiber la flore pathogène et d'altération et par conséquent à prolonger la durée de vie du produit final (Okere *et al.*, 2012 ; Ekwem, 2014).
- La capacité à dominer la flore indigène,
- La capacité à exercer l'effet probiotique,
- La capacité à améliorer les qualités nutritives des produits fermentés par l'élimination des composés toxiques, antinutritionnels et des toxines microbiennes,

- La capacité à hydrolyser l'amidon afin d'augmenter la densité des produits tels que bouillies (Songré-Ouattara *et al.*, 2009) en réduisant la viscosité due aux fibres des bouilles de sevrage amidonnées.
- Et la capacité de rester stables pendant la production et le stockage.

Bien qu'ayant tous ces avantages, l'utilisation de starters constitués d'une seule souche ou de plusieurs souches de microorganismes isolées de leur milieu naturel, exige une certaine technicité, des conditions de fermentation et des substrats stériles et en somme, beaucoup plus adaptés en milieu industriel.

I.2.3. Produit du rouissage : la farine de manioc fermenté

Les sous-produits issus de la fermentation du manioc jouent un rôle important dans le régime alimentaire en Afrique sub-saharienne comme sources importantes d'hydrates de carbone. L'un des sous-produits du manioc le plus utilisé en Afrique est la farine de manioc fermenté dans la mesure où elle représente à elle seule près de 45% des sous produits issus de la transformation du manioc (Ugwu & Ay, 1992 ; Nweke, 1994).

La farine de manioc fermenté est appelée « *Coum-Coum* » au Cameroun, « *Lafun* » au Nigeria, « *Cossettes* » en RDC et au Rwanda, « *Kanyanga* » et « *Mapanga* » en Malawi, et « *Makopa* » en Tanzanie. Son potentiel d'utilisation est élevé. En effet, ce type de produit, par comparaison aux céréales possèdent relativement une quantité élevée d'amidon difficilement non-digestible et qui par conséquent peut jouer le rôle des fibres (Liu *et al.*, 2006). Ainsi, cet aliment traditionnel peut être important dans le régime alimentaire des individus en réduisant les risques d'obésité, des maladies cardiovasculaires et des diabètes. De plus, la farine de manioc (fermentée ou non) ne contient pas de gluten et peut de ce fait remplacer la farine de blé dans certains aliments afin de réduire la fréquence des maladies cœliaques (maladies liées à la cavité abdominale) ou d'autres réactions d'allergie au gluten (Hung & Morita, 2005).

Cependant, le potentiel que constitue ce produit n'est pas exploité à juste titre. L'un des problèmes majeurs liés à son développement est dû au fait qu'il est considéré par beaucoup de populations des zones urbaines comme un aliment primitif destiné aux pauvres. Pourtant ce matériel peut largement trouver des applications en industrie alimentaire. En Afrique centrale, la farine fermentée est préparée pour la consommation en la délayant dans une eau bouillante pour former pâte gélatineuse connue sous le nom de *Foufou*.

L'utilisation d'une farine ou d'amidon en industrie alimentaire dépend de ses propriétés physicochimiques, lesquelles sont caractéristiques de la variété et des procédés de transformation utilisés (Sanni *et al.*, 2003 ; Onitilo *et al.*, 2007 ; Etundaiye *et al.*, 2009). Les propriétés d'une farine étant régies par les propriétés de son amidon, composante principale de la farine, il est par conséquent important de présenter sommairement la composition chimique des granules d'amidon avant d'aborder leurs propriétés physicochimiques et fonctionnelles.

I.3.COMPOSITION CHIMIQUE ET QUELQUES PROPRIETES DES AMIDONS NATIFS

I.3.1. Composition chimique des amidons natifs

L'amidon est, après la cellulose, la principale substance glucidique synthétisée par les végétaux supérieurs à partir de l'énergie solaire. Les grains d'amidon sont en minorité constitués de lipides, de phospholipides et de phosphore, tandis que l'amylose et l'amylopectine sont les deux macromolécules qui constituent la quasi-totalité du poids d'une granule d'amidons.

I.3.1.1.L'amylose

L'amylose est un polymère de molécules de glucoses liées presque entièrement entre elles par des liaisons alpha-1,4 (figure 3) ; certaines d'entre elles sont constituées des branches d'alpha-1,6-D glucopyranose, dont l'allongement entraîne une augmentation du poids moléculaire de l'amylose ; l'existence des points de branchement dans la molécule d'amylose pouvant être mise en évidence par l'hydrolyse incomplète (73% à 95%) de cette molécule par la bêta-amylase (Morrison & Karkalas, 1990). Le poids moléculaire de l'amylose varie entre 10^5 et 10^6 Da et la teneur en amylose dans l'amidon varie d'une source botanique à une autre. Elle est affectée par les conditions climatiques et le type de sol pendant le développement de la plante (Morrison *et al.*, 1984 ; Yano *et al.*, 1985).

L'amylose a une structure linéaire qui lui confère la capacité de former une hélice, consistant en six molécules de glucoses anhydres par tour d'hélice avec un pas de 0,8 nm et une cavité hydrophobe hélicoïdale de 0,5nm de diamètre (Hoover, 2001). Cette hélice peut complexer les molécules comme les acides gras, les lipides libres, certains alcools et de l'iode (Fennema, 1985). Le complexe formé entre l'iode et l'amylose, grâce aux ions poly-iodés (I_3^- et /ou I_5^-) présents dans la solution d' I_2/KI , engendre une couleur bleue intense (absorbe avec un maximum à 620nm) qui est à la base des méthodes colorimétriques de détermination de la teneur en amylose (Juliano *et al.*, 1981). C'est la méthode de dosage de l'amylose est la plus répandue car facile à réaliser, moins coûteuse et elle n'utilise pas les réactifs délicats comme les enzymes (Mahmood *et al.*, 2007). Cependant, l'interférence de l'amylose avec d'autres éléments tels que les lipides, le pH final de l'essai sont susceptibles d'entraîner soit une sous-estimation, soit une surestimation des résultats (Singh *et al.*, 2003 ; Bhattacharya, 2009). La teneur en amylose est un facteur qui contrôle plusieurs propriétés physico-chimiques de l'amidon (Wickramasinghe & Noda, 2008).

Les caractéristiques physicochimiques de l'amylose des racines de manioc à savoir : la valeur bleue, l'affinité à l'iode, la limite béta-amylasique, le nombre de branchement, le nombre de degré de polymérisation, la distribution apparente du degré de polymérisation et la viscosité intrinsèque sont de 1,47 ; 20,5 ; 75% ; 6-8 ; 2600-3642 ; 580-22400 ; 384 ml/g respectivement (Hoover, 2001).

I.3.1.2. L'amylopectine

L'amylopectine est le principal constituant glucidique de l'amidon (70-80%). Il s'agit d'une molécule très « branchée », constituée des chaînes d'alpha()-1,4-D-glucopyranosides connectées, grâce à des liaisons -1,6 à d'autres chaînes de D-glucopyranosides (Buléon *et al.*, 1998) (figure 4). L'amylopectine est caractérisé par des masses moléculaires très élevées (10^7 à 10^8 Daltons) qui dépendent de l'origine botanique, du cultivar et des conditions physiologiques lors de la synthèse. Suivant la longueur de la chaîne et des points de branchement, on distingue 03 types de structures d'amylopectines : le type A caractérisé par des chaînes courtes (S, *short*) sans branchements de degré de polymérisation (DP) moyen de 15-20 ; le type B constitué de des chaînes longues (L, *long*) de DP moyen 40-45. Le type C, quant à lui, se caractérise par une alternance des chaînes de type B et A de DP moyens supérieurs à 60. Ce dernier est le seul qui possède une extrémité réductrice (Hanashiro *et al.*, 2002). La longueur d'une chaîne branchée d'amylopectine varie suivant la source botanique de l'amidon et influence les propriétés de gélatinisation, d'empesage et de rétrogradation des amidons (Jane *et al.*, 1999).

Une autre caractéristique importante de l'amylopectine, beaucoup plus rencontrée avec l'amidon des racines, est la présence des groupements phosphates liés par covalence aux carbones C3 et C6 des monomères de glucose. La structure d'amylopectine, le type de liaisons entre les monomères et la fréquence de branchement peuvent être analysés par plusieurs méthodes incluant, la méthylation, l'oxydation au périodate et l'hydrolyse acide partielle en milieu acide (Morrisson & Karkalas, 1990).

La limite de l'activité béta-amylasique de l'amylopectine (55-60%) est inférieure à celle de l'amylose (70-95%), dû à l'inhibition stériques des points de branchement présents dans la molécule d'amylopectine. De plus, le complexe pourpre, formé entre l'iode et l'amylopectine (absorbant avec un max à 530nm) n'est pas stable. Ceci est la conséquence de la courte taille d'unités polymériques.

Comme cela a été souligné plus haut, il existe d'autres composés en quantité moins importantes dans les granules d'amidon qui peuvent avoir une influence profonde sur les propriétés des amidons, notamment au niveau de l'empesage, la gélatinisation et le gonflement (Tufvesson *et al.* 2003).

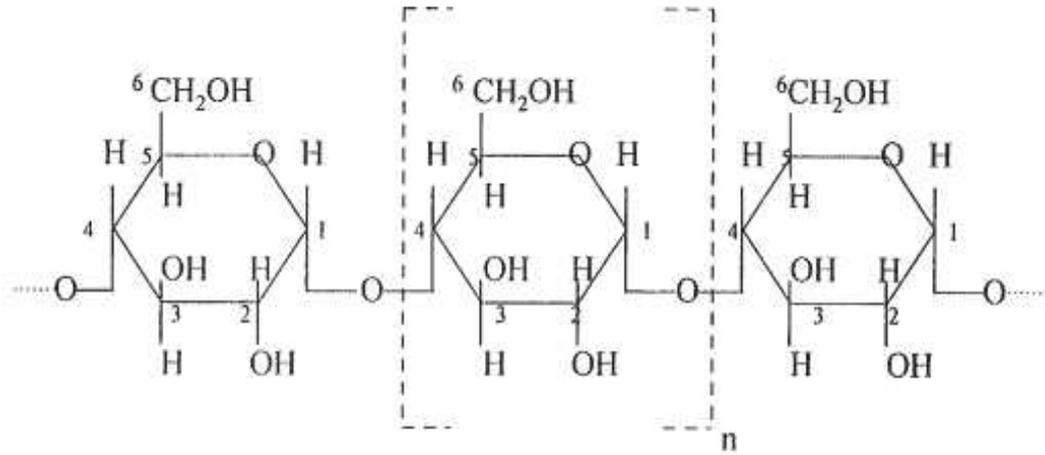


Figure 3. Schéma simplifié de la structure de l'amylose.

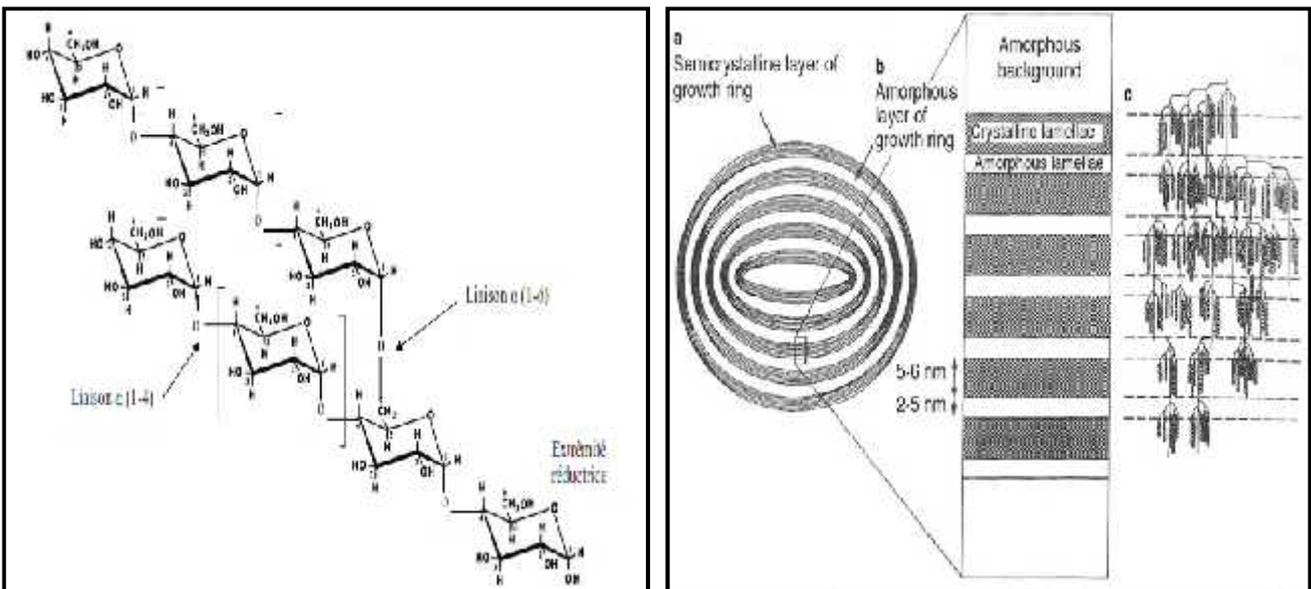


Figure 4. Schéma simplifié de la structure de l'amylopectine (Buléon *et al.*, 1998) et représentation schématique de la structure du granule de l'amidon (d'après Jenkins *et al.*, 1996); **a** : granule de l'amidon avec alternance des phases amorphes (amyloses) et semi-cristallines (amylopectine) ; **b** : vue éclatée des phases semi-cristallines ; **c** : structure en pelote de l'amylopectine dans les phases semi-cristallines des granules.

I.3.2. Quelques propriétés des amidons et farines

Les applications des amidons dans les systèmes alimentaires sont à la base gouvernées par leurs différentes propriétés exploitées dans l'industrie alimentaire et du textile. La température régit le comportement des grains d'amidon. Aux températures inférieures à celle de la gélatinisation seul le phénomène de gonflement est observé tandis qu'aux températures plus élevées (température de gélatinisation) l'amidon passe successivement par trois états : gonflé, gélatinisé et solubilisé (ou empois). Au cours du refroidissement l'amidon va donner un gel. . Loin d'énumérer toutes les propriétés physicochimiques, il s'agira de présenter quelques-unes tout en mettant une emphase sur les propriétés de gonflement, de gélatinisation et d'empesages des amidons et/ou des farines.

I.3.2.1. Le gonflement et la solubilité

A température ambiante, les grains d'amidon sont insolubles dans l'eau aux pH compris entre 3 et 10. Cependant, en présence d'un excès d'eau et à une température supérieure à 60°C, les liaisons hydrogènes qui lient les principaux constituants de l'amidon se rompent, la granule perd sa structure cristalline et les molécules d'eau se fixent par liaisons hydrogènes aux groupes hydroxyles de l'amylose et de l'amylopectine (Tang *et al.*, 2005); ce qui entraîne une augmentation du volume de la granule d'amidon à plus de 40% de son volume initial : c'est le gonflement de l'amidon ou de la farine. Le gonflement d'amidon précède la solubilisation et constitue la capacité des particules d'amidon ou de farine de retenir les molécules d'eau. En général, les grains d'amidon natif retiennent moins d'eau que l'amidon gélatinisé (Tester & Morisson, 1994 ; Hasjim *et al.*, 2012). Ainsi, le gonflement peut être considéré comme une propriété de l'amylopectine. Cependant, il est inhibé par la présence d'amylose et le complexe amylose-lipide. La capacité de gonflement peut être influencée par la durée de fermentation, le broyage et varie en fonction de la température (Numfor *et al.* 1995 ; Oke & Bolarinwa, 2012 ; Li *et al.*, 2014).

La distribution d'amylose et d'amylopectine dans la molécule d'amidon influence également la solubilité de cette dernière. Selon les travaux de Seguchi *et al.* (2003), la molécule d'amylose joue un rôle dans le maintien de la structure des grains d'amidon et peut également influencer la capacité de gonflement de l'amidon. En effet, durant la gélatinisation, certaines molécules d'amylose diffusent hors de la granule. La quantité de molécules qui diffusent dépend de la quantité des liaisons hydrogènes qui se formeront avec les molécules d'eau. Ainsi donc un grain d'amidon à forte teneur en amylose est plus compacte et son amidon plus difficile à se couvrir d'eau à l'extérieure du grain. Ce qui réduit sa capacité de solubilité.

I.3.2.2. La gélatinisation

L'amidon natif, lorsqu'il est trempé dans l'eau, peut absorber l'eau, jusqu'à 30% de son poids. Ce processus est réversible et l'eau absorbée peut être évaporée par séchage à température ambiante ou à une température inférieure à sa température de gélatinisation. La gélatinisation correspond au phénomène de gonflement irréversible et solubilisation observés lorsque les grains d'amidon sont en présence d'un excès d'eau et à des températures supérieures à 60°C. Elle est également définie comme la perte de la structure semi-cristalline du grain d'amidon à la suite d'un traitement hydrothermique (. La gélatinisation s'accompagne d'un gonflement du grain d'amidon ainsi que de l'augmentation de la viscosité de la suspension d'amidon (Potus & Frangne, 1995 dans Mbougueng, 2009). En effet, lorsque les grains d'amidon sont chauffés dans l'eau, ils absorbent de l'eau dans les zones amorphes du grain provoquant leur gonflement irréversible. Ce gonflement s'accompagne de la rupture de liaisons hydrogènes dans les zones cristallines de la granule d'amidon. Au fur et à mesure que les liaisons hydrogènes se rompent, on assiste à une déstructuration du grain d'amidon qui se traduit par une diffusion hors du grain de ses constituants de faible poids moléculaire (amylose principalement). La gélatinisation se traduit par une modification de viscosité et de la texture d'empois d'amidon (Mabit *et al.*, 2003 ; Lu *et al.*, 2007). Au cours de ce phénomène, il n'y a quasiment pas de dégradation ou de dépolymérisation des chaînes polymères du fait de la faible agitation. La gélatinisation est un processus irréversible et est fonction du type d'amidon.

Plusieurs méthodes permettent d'étudier la gélatinisation. Celles-ci sont régies par les transformations observées (morphologiques, structurales et comportementales) pendant le phénomène de gélatinisation. Ainsi, la microscopie polarisante permet de suivre les transitions par l'observation de l'évolution de la biréfringence en fonction de la température. On peut également suivre la gélatinisation par étude structurale lors de la transition qui se traduit par une diminution de la cristallinité de l'échantillon. Enfin, le suivi de la gélatinisation sur le plan comportemental correspond à suivre l'évolution de la viscosité. Ces méthodes permettent de déterminer la température de gélatinisation et sont fondées sur les comportements en solubilité et gonflement des amidons (Mbougueng, 2009).

Les grains d'amidon gélatinisés, lorsqu'ils sont soumis à un chauffage continue, dans un excès d'eau, gonflent, développent une viscosité et deviennent une pâte. Ce phénomène est appelé empesage (BeMiller, 2007).

I.3.2.3. La rétrogradation et la gélification

La rétrogradation peut être considérée comme une réorganisation de la structure de l'amidon qui s'opère pendant le refroidissement d'une dispersion d'amidon déstructuré suite à un traitement de l'amidon dans un excès d'eau à une température avoisinant les 100°C.

Le phénomène de gélification ou formation du gel est principalement initié par une diminution de la température qui entraîne elle-même un abaissement de la solubilité de l'amidon (Mbougoung, 2009). La gélification est un processus qui s'effectue en deux principales étapes. Tout d'abord, les phases de type polymère-polymère et polymère-eau résultantes d'une part de l'incompatibilité de l'amylose et de l'amylopectine en solution de concentration 3% P/V et d'autre part d'une interaction défavorable des polymères avec l'eau, se séparent d'abord à des températures inférieures à 90°C. Au cours de la seconde étape, il y a réorganisation des portions de chaînes linéaires d'amylose ou de grappes d'amylopectine. Cette réorganisation se caractérise d'abord par une transition du type pelote statique au niveau de la double hélice des segments de chaînes polymères et ensuite par une cristallisation par empilement de chaînes. Les gels sont donc formés de deux phases de plus de 70% du même polymère. La composition de chacune des deux phases dépend principalement du degré de gélatinisation et du rapport amylose/amylopectine dans le grain d'amidon (Buléon *et al.*, 1990).

I.3.2.4. Les propriétés d'empesage

Les propriétés d'empesage sont des facteurs importants dans la sélection des amidons et farines utilisés en industrie. Elles sont liées aux changements apparents de la viscosité de l'amidon ou de la farine pendant sa cuisson dans un excès d'eau. En effet, ce sont des indicateurs du comportement d'amidon/farine lorsqu'il est soumis à la chaleur et communément déterminées à l'aide d'un Analyseur Rapide de la Viscosité (RVA ou Rapid Visco Analyser) ou d'un Visco-amylographe de type Brabender (Wickramasinghe & Noda, 2008).

Un test de RVA se divise généralement en quatre phases qui impliquent : le chauffage de la suspension d'amidon ou de farine à 95°C, le maintien de la suspension à cette température pendant un temps déterminé, le refroidissement à 50°C et enfin, le maintien de la température à 50°C pendant une durée donnée.

Durant le chauffage, on assiste à un gonflement des grains d'amidon au cours duquel ils absorbent et fixent assez d'eau, entraînant des interactions physiques entre eux. Ces interactions sont à

l'origine de l'augmentation de la viscosité. La température à laquelle la viscosité commence à apparaître est appelée température d'empesage. Si aucun autre phénomène n'était présent, les grains d'amidon continueraient à augmenter jusqu'à atteindre une taille maximale. Mais, pendant le chauffage, les grains gonflés, éclatent et libèrent leur contenu dans le milieu. Les macromolécules libérées (amylose principalement) interagissent entre elles et lorsque la vitesse de gonflement des granules est égale à leur vitesse d'éclatement, la viscosité atteint un sommet appelé viscosité maximale ou pic de viscosité. La viscosité maximale est la propriété de l'amylopectine. Elle dépend de la source d'amidon et est causée par l'élimination de l'eau à partir de l'amylose expulsé des granules pendant leur gonflement (Ghiasi *et al.*, 1982).

Pendant la phase du maintien de la température à 95°C, on assiste à une diminution rapide et en continue de la viscosité, jusqu'à une valeur minimale encore appelée creux ou viscosité à chaud. Cette phase dure environ quatre minutes pour la plupart des amidons et permet de déterminer la capacité de l'amidon à résister aux conditions de traitements rudes comme la cuisson (Abebowale & Lawal, 2003).

Lorsque la phase de refroidissement à 50°C débute, la viscosité cesse de chuter. Après un délai de temps très bref, à cette température, la viscosité augmente à nouveau pour atteindre un maximum appelé viscosité finale. L'augmentation de la viscosité au cours du refroidissement provient du gel formé par l'enchevêtrement des molécules d'amylose ou rétrogradation (Loh, 1992). La viscosité finale est liée à la capacité de l'amidon à former un gel après cuisson et refroidissement et la différence entre les viscosités final et le creux aussi appelé le « Setback » est un indicateur de la texture que la pâte aura à la cuisson (Wani *et al.*, 2012). Le profil d'une courbe de gélatinisation pendant un test de RVA est illustré sur la Figure 5. Il fait apparaître les changements de viscosité apparente de l'amidon/farine. Les principales caractéristiques de cette courbe sont :

- La température de gélatinisation. Elle indique la température minimale qu'il faut pour cuire un échantillon donné,
- Le pic de viscosité, qui est la viscosité maximale pendant la phase de chauffage et de maintien de la température à 95°C ;
- La viscosité finale quant à elle est la viscosité maximale pendant le maintien de la température à 50°C après le refroidissement ;
- La viscosité à chaud ou creux, indique la viscosité minimale pendant la phase de chauffage et de maintien de la température à 95°C ;
- La chute de viscosité ou le « Breakdown » est la différence entre le pic de viscosité et le creux,
- Et le « Setback » est la différence entre la viscosité finale et le creux.

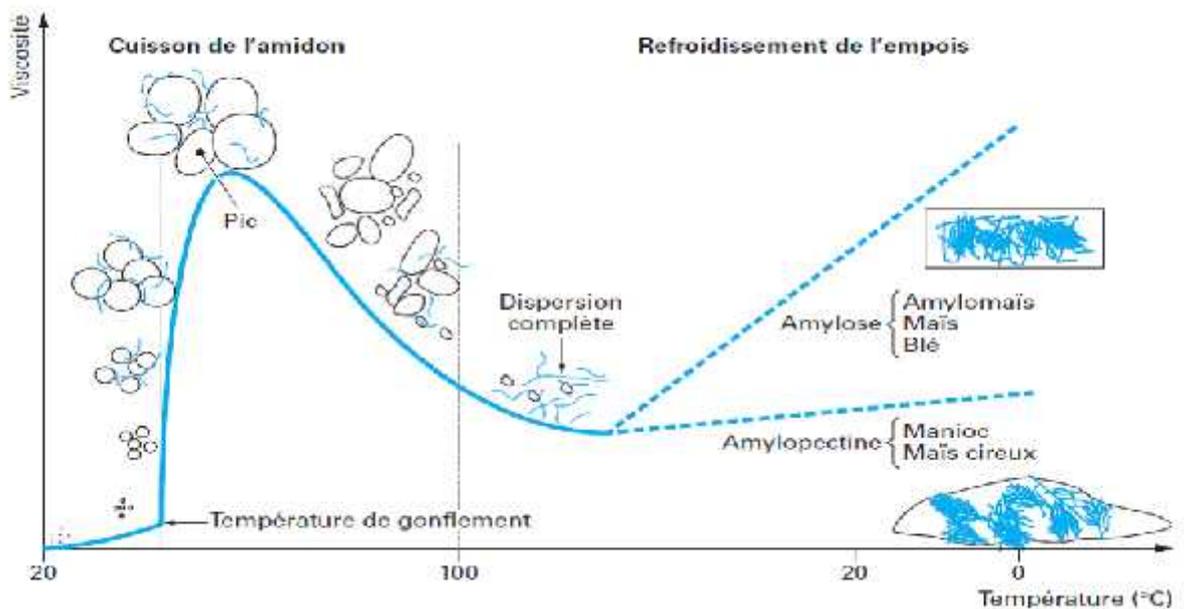
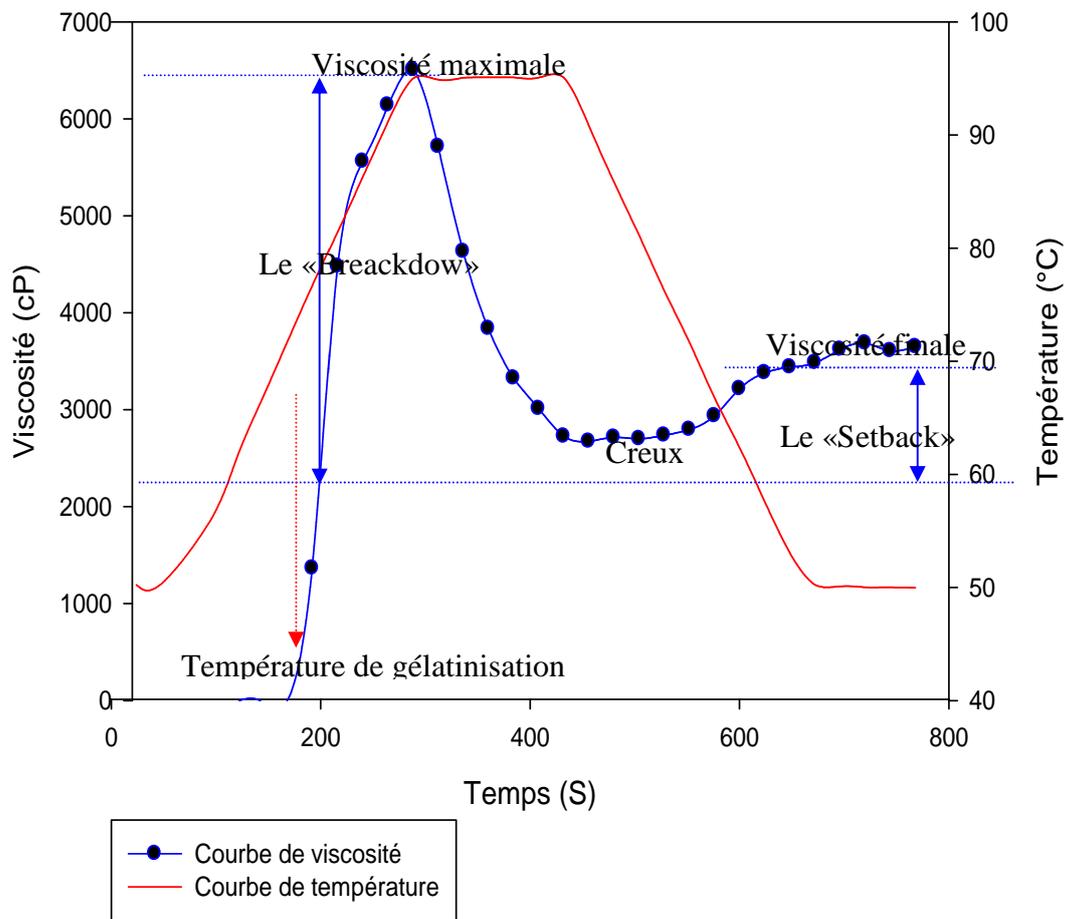


Figure 5 : Courbe de viscosité et profil de température obtenus au cours d'une expérience de RVA

Chapitre 2: Matériel et Méthodes

II- METHODOLOGIE

II.1. DIAGNOSTIC DES PRATIQUES DE TRANSFORMATION DES RACINES DE MANIOC EN FARINE ET PRODUCTION DES STARTERS TRADITIONNELS

Le faible niveau technologique des pratiques de transformation des racines de manioc, constitue une contrainte majeure à la construction de la qualité des farines de manioc fermenté. De ce fait, les opérations unitaires impliquées dans la préparation de ces produits constituent, eu égard aux conditions, outils et moyens de leur mise en œuvre, la trame des contraintes à lever pour améliorer la valeur d'utilisation et de marché des farines fermentées. Lever ces contraintes implique, au préalable de les identifier et de les caractériser.

C'est dans cette optique qu'un diagnostic des pratiques de transformation du manioc en cossettes fermentées a été mené dans quelques zones ciblées des régions du Centre et de l'Est Cameroun, où la transformation du manioc intègre les pratiques culturelles des populations.

II.1.1. Choix des sites d'étude

Les trois sites où a été effectué le diagnostic, à savoir : BELABO (BBO), BAFIA (BAF) et ESEKA (ESK), ont été choisis en raison de leur forte activité de transformation du manioc (CFTC, 2013). Il a également été admis dans cette étude que les différences climatiques entre les différents sites influencent fortement les techniques de production et les méthodes de transformation associées à la culture du manioc (Essonon, 2005). Une enquête a été menée auprès des productrices dans chaque site, aussi bien dans les foyers que dans les marchés.

Les femmes, ont exclusivement été choisies en raison de leur forte implication dans l'activité de transformation du manioc en zone forestière par rapport aux hommes qui, le plus souvent ne s'y impliquent que lorsque la rentabilité économique de l'activité est avérée (Trioche *et al.*, 2008).

II.1.2. Le questionnaire d'enquête

L'étude a été réalisée sous forme d'un questionnaire présenté à chacune des transformatrices enquêtées de manière individuelle. Le questionnaire de 5 pages qui a fait l'objet de cette enquête était constitué de trois parties à savoir :

- l'identification de la transformatrice (l'âge et le niveau d'éducation) ;
- la matière première utilisée dans l'activité de transformation (le choix de la variété de manioc utilisée, sa période de récolte et les ingrédients utilisés au cours de sa transformation),
- la description des procédés de transformation des racines en cossettes, les critères et les opérations unitaires pouvant avoir un impact significatif sur la qualité du produit fini et les contraintes associées à la production ont été abordés.

Un total de 270 questionnaires a été administré aux transformatrices des différents sites d'études.

II.1.3. Mise en œuvre de l'enquête

L'enquête a consisté à rencontrer les productrices de cossettes de manioc des différentes localités. Elle a été menée à domicile et sur les marchés pendant la période allant de Décembre 2012 à de Février 2013. Un village était visité chaque semaine et les enquêtes s'effectuaient par entretien direct avec les productrices, généralement en soirée, lorsqu'elles revenaient de leurs activités champêtres. C'est à ce moment que la majorité des enquêtées se concentrent aux activités de transformation. Il est à préciser que dans certaines zones où le français n'était pas parlé il fallait avoir recours à un interprète. La durée moyenne pour le remplissage d'un questionnaire était de 45 minutes environ limitant de ce fait le nombre de femmes enquêtées par jours à deux femmes en moyenne.

Dans chaque village, 30 productrices de cossettes fermentées ont été sélectionnées de façon aléatoire selon les critères suivants :

- devaient avoir réalisé régulièrement la transformation des racines de manioc en cossettes pour l'autoconsommation ou pour la vente,
- devaient résider dans le village pendant au moins les douze derniers mois précédent l'étude,
- Enfin, elles devaient adhérer volontairement à l'étude.

Les femmes vivants en zone urbaine ont été excluent de ce diagnostic.

II.1.4. Enquête dans la localité de Bélabo

La ville de Bélabo est un chef lieux d'arrondissement situé dans le département du Lom et Djérem dans la région de l'Est Cameroun, sur une superficie de 6000 km² à 13°18' de Longitude Est et à 4°56' de latitude Nord.

Le climat de la zone de Bélabo est de type équatorial guinéen en forêt et une tendance soudanienne en savane, caractérisé par une alternance de 4 saisons dont une grande saison sèche entre décembre et mi-mars ; une petite saison de pluie de mi-mars à mai ; une petite saison sèche, de juin à mi-août et une grande saison de pluies de mi-septembre à novembre.

La pluviométrie moyenne annuelle est située entre 1500 mm et 2000 mm. La température moyenne oscille entre 23°C et 25°C (CFTC, 2013).

Trois villages ont été choisis pour les enquêtes dans cette localité. Il s'agissait de : Ebaka1, Biombè et Tamtcheck. Le Bananier plantain, le manioc, macabo, arachides pistache cacao, maïs et canne à sucre sont les denrées les plus cultivées dans cette zone. L'enquête dans ce site s'est effectué en langues Française et Maka'a grâce à un interprète.

II.1.5. Enquête dans la localité de Bafia

La zone de Bafia est limitée au Nord par le fleuve Mbam, au Sud par Bokito, à l'Est par l'arrondissement d'Ombessa et à l'Ouest par Ndikinimeki. Située dans la région du Centre Cameroun, la ville de Bafia est le chef-lieu du Département du Mbam et Inoubou sur la nationale N°4 Yaoundé-Bafoussam. L'arrondissement de Bafia couvre une superficie de 1030km² à 11°14' de longitude Est et à 4°45' de latitude Nord. Il connaît un climat de type équatorial caractérisé par 4 saisons dont une grande saison sèche, entre mi-novembre et mi-mars ; une petite saison de pluie de mi-mars à mi-juin ; une petite saison sèche, de juin à juillet et une grande saison de pluie de août à novembre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1800 mm et la température varie entre 18° et 35°C. Les trois villages enquêtés en langues Française et Bafia par l'intermédiaire d'un interprète, étaient constitués de Balamba ; Ombessa et Mban'gassina.

II.1.6. Enquête dans la localité d'Eséka

La localité d'Eséka est le chef-lieu du Département du Nyong et Kellé, région du Centre située à 90km de Yaoundé, à 10°46' de longitude Est et à 3°39' de latitude Nord. Elle est caractérisée par un climat de type subtropical (chaud et humide) avec 3 mois de saison de pluie, entre le mois d'août et le mois de novembre ; 4 mois de saison sèche, de novembre à mars et 5 mois d'intersaison entre mars et août. La pluviométrie d'Eséka peut atteindre les 2272mm en moyenne par an, avec une température moyenne de 27,5°C. La végétation est caractérisée par une forêt dense humide. Toutefois, la

déforestation a donné lieu à une forêt secondaire et à des jachères. Les sols sont de types ferrallitiques à texture argilo-sablonneux. Les villages enquêtés dans cette zone étaient constitués de Bogso, Likabo et Ndjasock où les principales cultures vivrières pratiquées par les populations rurales sont le manioc, le bananier plantain, le macabo/taro comme cultures maraîchère et le palmier à huile et le cacaoyer comme cultures industrielles.

II.1.7. Collection des données et analyse.

Afin de déterminer les critères de qualité du fougou, les personnes directement impliquées dans sa production et d'évaluer les méthodes de transformation ainsi que les équipements utilisés, dans l'objectif final d'identifier les contraintes liées à cette activité, un total de 270 productrices de fougou ont été contactées et interrogées. Durant cette enquête quelques unités de transformation opérationnelle et une autre non opérationnelle ont été identifiées et visitées. L'unité opérationnelle a été soumise à une étude sur ses activités opérationnelles, ses succès et les challenges dont elle fait face au quotidien. Tandis que l'on a interrogé l'unité non opérationnelle sur les raisons de son inactivité. Les données d'enquête ont été recueillies, traitées et analysées à l'aide du logiciel Sphinx2 plus version 5.0 pour Windows.

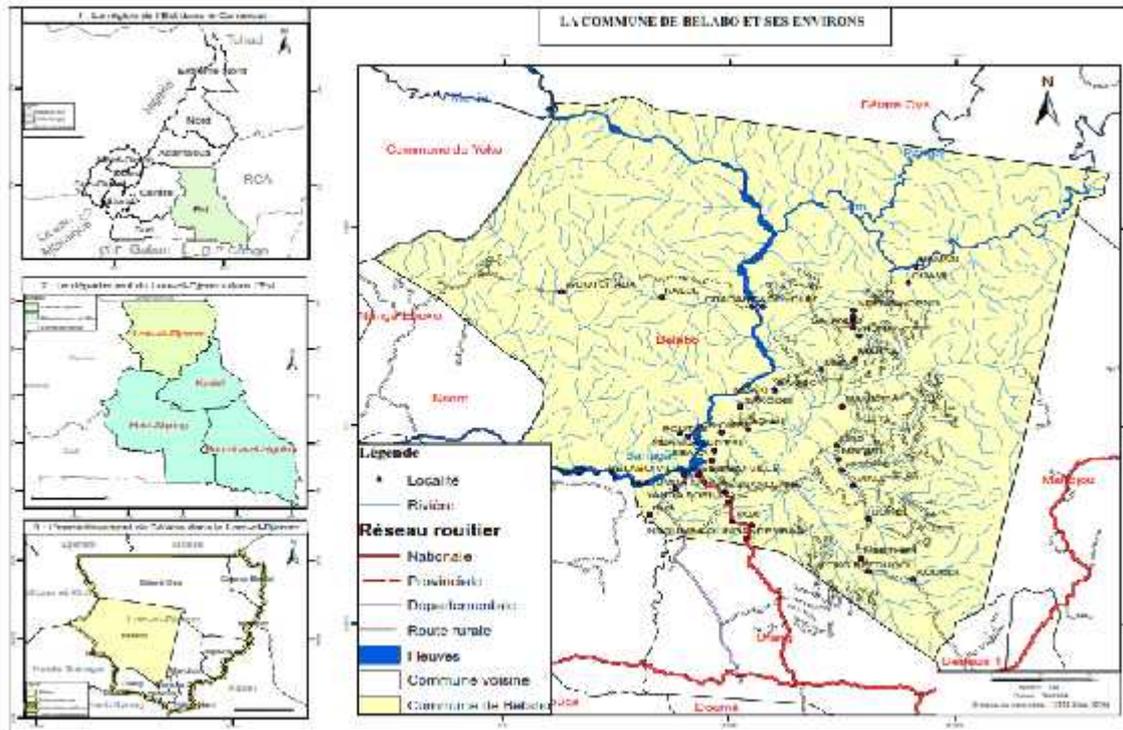


Figure 6. Carte géographique de la commune de Bélabo

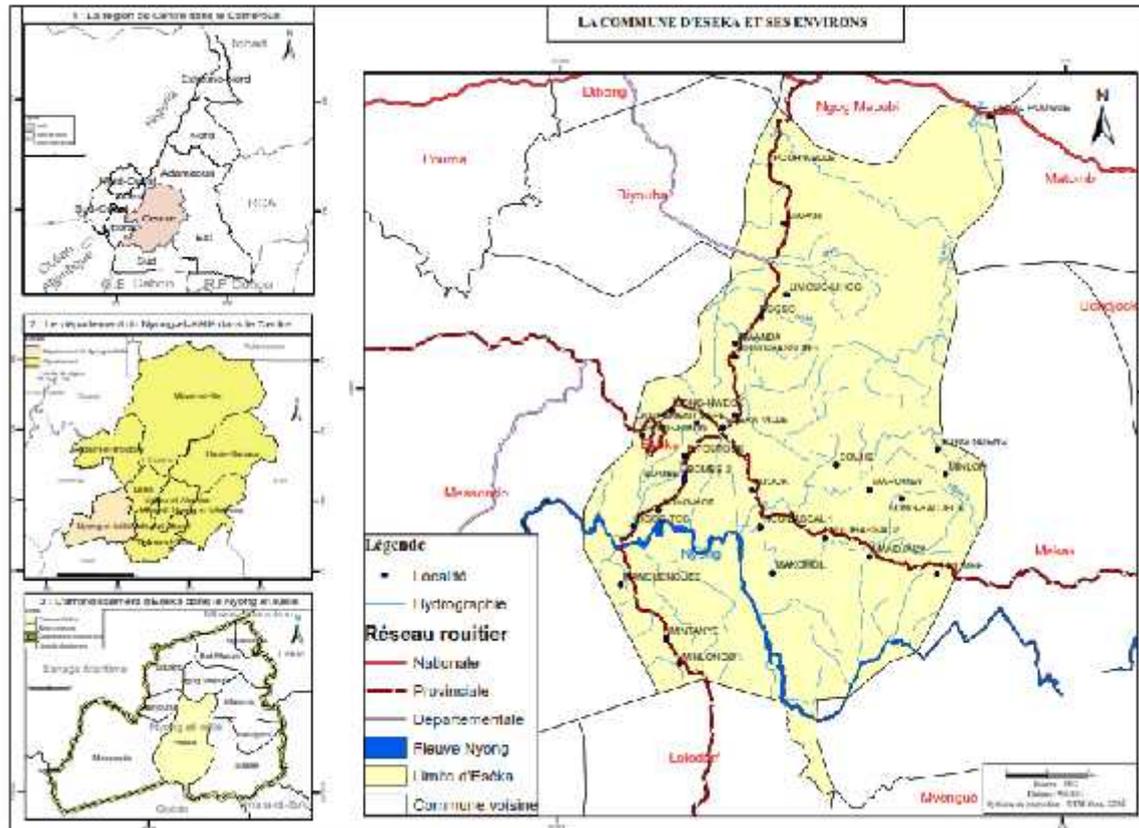


Figure 7. Carte géographique de la commune d'Eséka

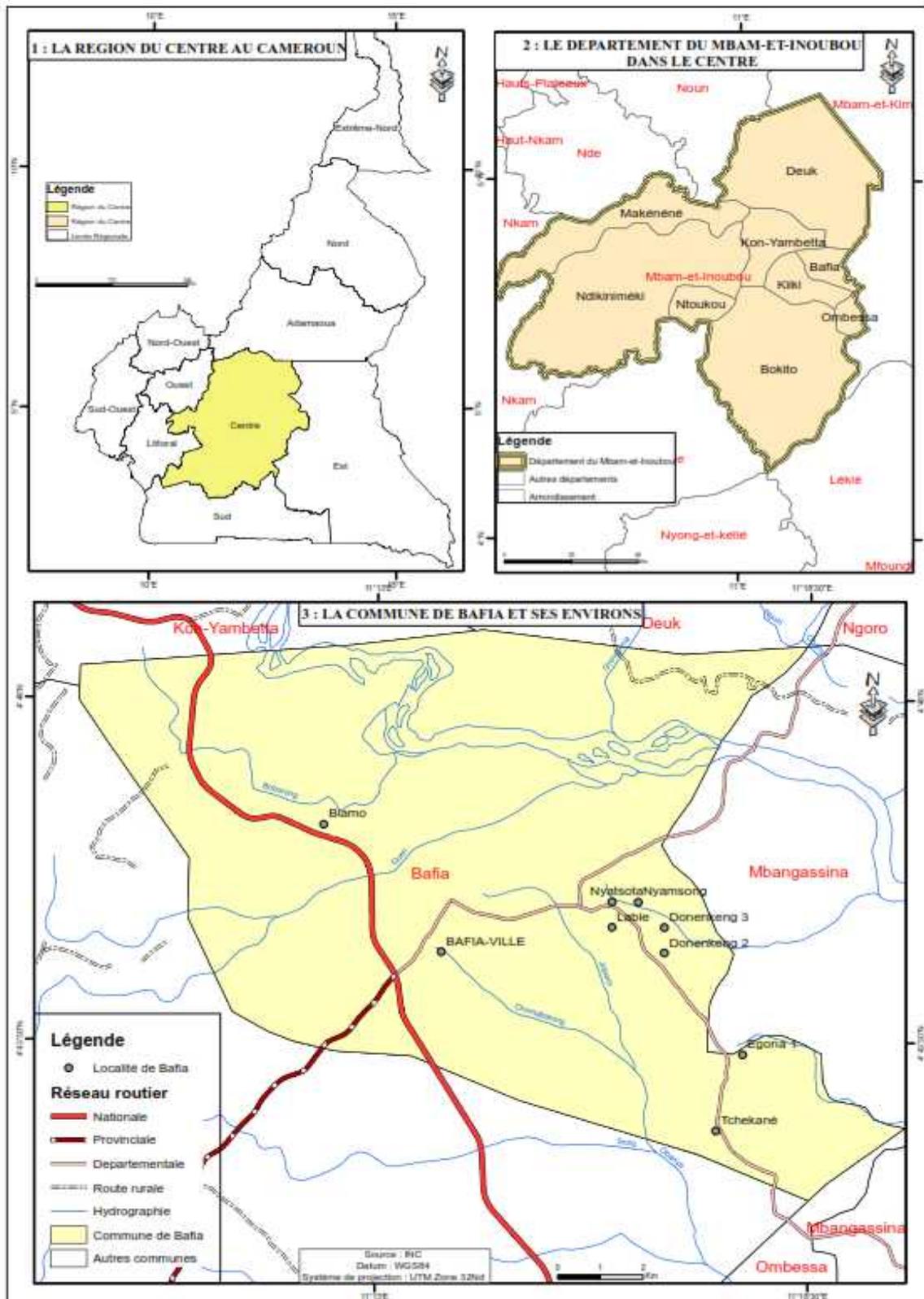


Figure 8. Carte géographique de la Localité de Bafia

II.2. RECHERCHE DES CONDITIONS DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DU STARTER TRADITIONNELLEMENT UTILISE EN VUE DE LA STANDARDISATION DE SA PRODUCTION

II.2.1. Echantillonnage

II.2.1.1. Collection des racines fraîches de manioc

Les racines fraîches de 12 (douze) mois d'âge de la variété de manioc amère localement appelée Six-mois ont été récoltées dans un champ dans la localité de Bafia, chef-lieu du département du Mbam-Inoubou dans la région du centre du Cameroun. Après récolte, nous avons sélectionné les racines dépourvues de blessures et ces dernières ont été acheminées dans des sacs en polyéthylène au laboratoire de microbiologie pour utilisation ultérieure.



Mintol-meko



Six-mois

Image 2. Racines des variétés amères de manioc traditionnelles (*Mintol-meko* et *Six-mois*) de douze mois d'âge.

II.2.1.2. Collection des cossettes de manioc fermenté

Les cossettes de manioc utilisées comme accélérateurs ont été collectées dans trois grands marchés (MFOUDI ; MVOG-MBI et MOKOLO) de la ville de Yaoundé. Dans chaque marché, l'échantillonnage a consisté en la sélection aléatoire de cinq sacs contenant des cossettes de manioc fermenté. Ensuite, les échantillons ont été prélevés au sommet, au milieu et au fond de chaque sac de façon à obtenir 2 kg d'échantillons/sac. Soit un total de 5 échantillons/marché. Chaque échantillon est ensuite placé dans un sac en plastique stérile, étiqueté (d'E1 à E15), transporté au laboratoire dans une glacière et conservé à 8°C.

II.2.2. Evaluation des performances des cossettes de manioc collectées.

II.2.2.1. Conduite du rouissage

Une fois au laboratoire, les racines de manioc ont été pelées, découpées en cylindre de 5 cm de long et 5cm de diamètre, lavées et réparties en 16 lots de 500g chacun. 15 lots ont ensuite été inoculés avec 1% (m/m ; pourcentage défini sur la base des travaux d'Ezo'o, 2010 et des observations faites en milieu paysan) de la poudre de cossette de manioc fermenté précédemment collecté. Le dernier lot constituant le lot témoin n'a pas été inoculé. Chaque lot a ensuite été submergé de 500ml d'eau de robinet et incubé à la température ambiante du laboratoire qui était de $(28\pm 2^\circ\text{C})$. Le suivi du rouissage s'est fait pendant 4 jours par l'évaluation du ramollissement des racines.

II.2.2.2. Détermination du degré de ramollissement

Traditionnellement, le suivi du rouissage et la fin de cette opération unitaire sont déterminés par appréciation manuelle du ramollissement des racines. Afin d'évaluer leur degré de ramollissement et de déterminer de façon précise la fin du rouissage, les racines prises de façon aléatoire du milieu de fermentation, ont été soumises, toutes les 4 heures, à des pressions de l'aiguille d'un pénétromètre de marque Instrument RPN 10 Berlin et le degré de ramollissement a été estimé par la distance de pénétration de l'aiguille du pénétromètre dans la racine. La fin du ramollissement a été déterminée lorsque l'on obtenait une vitesse de pénétration de 8mm/5s (jugée et décidée à la suite des expériences réalisées avec des acteurs expérimentés du rouissage). Cinq mesures par face du disque de racine ont été effectuées et la moyenne de ces mesures retenue comme indice de pénétrométrie à cet instant du rouissage.

II.2.2.3. Evaluation de la durée de rouissage

Les indices de pénétrométrie précédemment mesurés et représentés au cours du temps nous ont permis d'obtenir une cinétique de rouissage similaire à celle de Barany et Robert (1994) caractérisée par deux phases :

- Une phase de latence appelée « Lat »
- Une phase exponentielle de ramollissement notée caractérisée par une vitesse maximale de ramollissement « μ ».

Cette similitude de notre cinétique à celle de Barany et Robert nous a conduits à formuler la relation ci-dessous adaptée du modèle mathématique de ces auteurs pour déterminer le temps de rouissage Tr :

$$Tr = Lat + \frac{8}{\mu} \quad (1)$$

Avec 8, l'indice de pénétrométrie, correspondant à la fin de rouissage (8mm/5s).

L'expérience a été répétée trois fois. Les comparaisons statistiques entre les différents traitements ont été effectuées grâce à l'analyse de la variance pour un facteur et les traitements significativement inférieurs au témoin ont été identifiés par le test de *DUNETT* avec le logiciel SPSS 16.0 (SPSS International, Chicago, USA) au seuil de confiance de 95%.

II.2.2.4. Influence du temps de production du starter sur le ramollissement et la durée de rouissage

II.2.2.4.1. Production du starter à différents temps de fermentation

Afin de déterminer la durée de fermentation des racines de manioc nécessaire pour produire un starter qui permettrait de réduire de façon optimale le temps de rouissage, les racines de manioc récoltées ont été pelées, découpées en cylindre comme précédemment. Après lavage, les morceaux ont été répartis en cinq lots de 1kg chacun. Les lots ont ensuite été submergés de 1000ml d'eau de robinet et incubés à la température ambiante ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) pendant 24h, 48h, 72h, 96h et 120h respectivement pour les cinq lots. A la fin de chaque durée, les racines sont retirées du milieu de rouissage, pressées afin de réduire la quantité d'eau et séchées à 40°C dans une étuve ventilée pendant deux jours, durée de séchage nécessaire pour atteindre une teneur en eau inférieure à 15% (v/m) dans les cossettes. Les

cossettes de manioc séchées ont ensuite été broyées pour obtenir des farines, lesquelles ont été emballées dans des sacs plastiques étanches étiquetés Sta-24, Sta-48, Sta-96 et Sta-120 (en fonction de la durée des fermentations respectives ayant servi à leur obtention) et conservés à 4°C pour analyses et utilisation ultérieures.

II.2.2.4.2. Analyses de la flore microbienne des différents échantillons

II.2.2.4.2.1. Milieux de culture

Les milieux de culture ci-après, dont la composition se trouve en annexe ont été utilisés au cours de ces travaux :

- Le milieu PCA (Plate Count Agar)

C'est un milieu qui ne contient aucun inhibiteur ou indicateur, le PCA est principalement utilisé au dénombrement à 37°C de la flore aérobie mésophile totale (FAMT) des denrées alimentaires. Ce milieu est utilisé après une stérilisation à 121°C.

- La gélose Tryptone-Sulfite-Néomycine (TSN)

La gélose TSN est principalement destinée au dénombrement, des microorganismes Sulfito-réducteurs (FSR) de certaines denrées alimentaires animales ou d'origine animale. Elle contient la Néomycine et la Polymyxine B qui rendent le milieu inhibiteur pour les entérobactéries. Les Sulfito-réducteurs réduisent le sulfite en sulfure provoquant, avec le citrate ferrique, un précipité noir de sulfure de fer autour des colonies. Avant son utilisation, le milieu est dissous dans de l'eau portée à ébullition, puis repartit dans des tubes à vis et stérilisé à l'autoclave à 121°C pendant 15minutes. Les tubes stériles sont refroidis à 45°C et utilisés immédiatement.

- La gélose BCP (gélose Lactosée au Pourpre de Bromocrésol) supplémentée d'amidon

Ce milieu de culture est utilisé dans ce travail pour le dénombrement de la flore bacillaire totale (FBT). Les échantillons de farine rouie sontensemencés en surface sur une gélose qui au préalable a

été stérilisée et coulée dans des boîtes de pétri stériles. Les colonies de couleur jaune apparaissent généralement au bout de 48 à 72h après incubation à 30°C.

- **La gélose MRS (Man, Rogosa et Sharpe)**

C'est un milieu qui peut être utilisée pour la culture et le dénombrement des *Lactobacillus* dans les produits laitiers et les autres produits alimentaires ainsi que dans les produits destinés à l'alimentation animale. Grâce à sa composition, le MRS apporte les éléments nutritifs indispensables à la croissance des lactobacilles, c'est une source d'acides gras nécessaires à la croissance de ces germes et contient des substances inhibitrices du développement de la plupart des contaminants tels que les streptocoques et les moisissures. Dans le cadre de ce travail et d'après la norme ISO 15214 :1998 pour le dénombrement des bactéries lactiques mésophiles, la gélose MRS a été utilisée à pH 5,7.

II.2.2.4.2.2. Dénombrement des microorganismes

• Préparation des échantillons

Les échantillons de farines (25g), ont été pesés aseptiquement et introduits dans 225 ml une solution d'eau physiologique de chlorure de sodium (NaCl) de concentration 0,9% m/v. Après homogénéisation, la solution mère obtenue est soumise à une série de dilutions décimales allant de 10⁻¹ à 10⁻⁸.

Le processus de germination des spores étant long et les flores Bacillaire et Sulfito-réductrices se trouvant dans les produits secs majoritairement sous forme de spores, une activation de ses formes de résistance a permis d'accélérer la germination et le développement de la nouvelle forme végétative. Parmi les méthodes d'activation des spores qui existent, notre intérêt s'est porté sur l'activation thermique (Neyman et Buchanan, 1985). Ainsi, les tubes de dilutions allant de 10⁻¹ à 10⁻⁸ des échantillons de farines servant à analyser la FSR et la FBT ont été introduits dans un bain-marie à 80°C pendant 10 minutes pour détruire la forme végétative initialement présente et activer la forme sporulée. A la suite de ce traitement, les tubes ont été refroidis dans de l'eau froide pendant une dizaine de minutes et leur contenu prêt à êtreensemencé dans le milieu TSN et le milieu BCP respectivement pour la flore Sulfito-réductrice et la flore Bacillaire.

- **Dénombrement de la FAMT**

Directement après la dilution de la solution mère, 0,1 ml de chacune des dilutions a été prélevé à l'aide d'une micropipette et reparti sur la surface de la gélose PCA préalablement coulée à environ 15ml dans des boîtes de Pétri stériles. L'ensemencement s'est fait de façon stérile par étalement de la préparation à l'aide d'une pipette Pasteur coudée prévue à cet effet. Les boîtes ensemencées ont ensuite été retournées et placées dans un incubateur à 37°C pendant 48h temps au bout duquel les boîtes contenant 30 à 300 colonies ont été retenues.

- **Dénombrement de la FSR**

Les tubes contenant 9 ml de la gélose TSN en surfusion ont été ensemencés par 1 ml des différentes dilutions en évitant la formation des bulles de gaz. Les tubes ainsi ensemencés ont été immédiatement refroidis dans un bain de glace pour accélérer la prise en masse de la gélose, puis incubés en anaérobiose à 37°C pendant 24h. Les résultats sont lus en considérant comme spore de bactéries toute colonie noire ou entourée d'un halo noir.

- **Dénombrement de la FBT**

L'énumération de la FBT s'est faite par ensemencement en profondeur sur boîte de pétri. A cet effet, 1 ml de chaque dilution ayant subi un traitement thermique a été déposé dans une boîte de Pétri stérile à l'aide d'une micropipette. Ensuite, 15 ml de la gélose BCP amidonnée maintenu en surfusion ont été ajoutés à l'échantillon puis homogénéisés. Le mélange a été laissé quelques temps pour permettre à la gélose de prendre en masse. Puis, une seconde couche de gélose blanche est coulée au-dessus de la première gélose afin de maintenir les organismes dans les conditions anaérobies. Les boîtes ont ensuite été incubées retournées à 30°C pendant 48 à 72h. Les résultats sont lus en considérant les boîtes contenant entre 30 à 300 colonies jaunes.

- **Dénombrement de la flore lactique mésophile (FLM)**

Afin de dénombrer la population des bactéries lactiques des starters, 0,1 ml des dilutions (jusqu'à 10⁻⁶) est stérilement déposée à la surface du milieu MRS (Biomark) puis reparti sur la surface à l'aide d'un étaloir. Chaque dilution est ensemencée en double et les boîtes ensemencées sont

incubées en Anaérobiose à 30°C. Après 72 heures d'incubation, les boîtes contenant un nombre maximum de 300 colonies caractéristiques sont retenues pour le dénombrement des bactéries lactiques. La lecture et l'expression du nombre de bactéries lactiques sont faites suivant la norme ISO 15214:1998 – Méthode horizontale pour le dénombrement des bactéries lactiques mésophiles – Technique par comptage des colonies à 30°C.

II.2.2.4.3. Evaluation de l'effet des différents starters sur la durée de rouissage

La conduite du rouissage s'est réalisée dans 06 béciers de 2 L contenant chacun 500g de racines épluchées découpées, lavées et immergées dans 500ml d'eau. Cinq lots ont été inoculés à 1% (m/m) des starters Sta-24, Sta-48, Sta-72, Sta-96 et Sta-120 précédemment produits et le dernier lot servant de témoin n'a pas été inoculé. Le suivie du rouissage s'est fait pendant 4 jours et l'évaluation de la durée de rouissage a été conduite comme cela a été décrit avec les échantillons collectés dans les différents marchés.

Les durées des procédés fermentaires pouvant varier en fonction de la concentration initiale des inocula utilisés, une analyse microbiologique de la teneur en microorganismes des starters a été réalisée. Cette analyse a porté sur les trois flores microbiennes que sont la FAMT, la FSR et la flore bacillaire (FBT). La recherche de ces différentes flores microbiennes s'est déroulée comme décrit précédemment.

II.2.2.5. Recherche des conditions d'utilisation du starter

En envisageant les possibilités d'optimiser les processus de bioconversion et de biodégradation des racines de manioc, il était judicieux d'étudier l'influence des facteurs les plus influençant de ces processus. A cet effet, plusieurs auteurs (Avouampo *et al.*, 1995 ; Ampe *et al.*, 1995 ; Djouldé *et al.*, 2015) ont indiqué que les facteurs qui influencent le plus la bioconversion du manioc sont le pH et la température. Ces facteurs ont une influence sur les capacités de dégradation d'amidon, de production des enzymes recherchées et sur les processus biochimiques ayant cours lors de la fermentation du manioc. Les starters utilisés étant des réservoirs de microorganisme et d'enzymes leur activité serait susceptible aux variations de température et de pH du milieu dans lequel ils sont utilisés. Il nous a donc convenus de déterminer l'influence de la température d'incubation et du pH du milieu, pris

individuellement, sur la capacité du starter ayant obtenu la meilleure réduction du temps de fermentation, à accélérer le processus de rouissage.

II.2.2.5.1. Etude de l'effet du pH du milieu

Afin de déterminer le pH auquel l'activité du starter est optimale, des essais de rouissage, ont été réalisés dans des milieux tamponnés avec de l'acétate 0,1M (préparation en annexe) à différentes valeurs de pH (4, 5, 6, et 7). Chaque milieu a été inoculé du starter à 1% et incubé à température ambiante. L'effet du pH sur l'activité du starter a été évalué par comparaisons des paramètres cinétiques des lots de différents pH avec celles du lot témoin (pH = 6,58) dans lequel le pH du milieu n'a pas été ajusté.

II.2.2.5.2. Etude de l'influence de la température d'incubation

Cinq batch de 500g de racines épluchées lavées et inoculées à 1% (m/m) avec le meilleur starter ont servi à l'étude de l'influence de la température sur l'activité de l'accélérateur de rouissage. Quatre de ces batch ont respectivement été incubés à 25°C, 30°C, 35°C et 40°C. Le dernier batch, servant de control, a été incubé à la température ambiante du laboratoire en saison pluvieuse (28°±5°C). Le suivi du rouissage a été effectué par mesure du degré de ramollissement à l'aide d'un pénétromètre comme précédemment décrit et les résultats des paramètres cinétiques à différentes températures d'incubation ont été comparés.

II.2.2.6. Amélioration de l'activité du starter

II.2.2.6.1. Prétraitements du starter

L'accélération du rouissage par les différents « Starters » testés pouvant être associée à l'activité microbienne des germes qu'ils contiennent, une revivification préalable des microorganismes présents dans ce milieu déshydraté qu'est la farine de manioc, a été réalisée dans le but d'améliorer leur activité biochimique et par conséquent la durée de rouissage. C'est dans cette optique que trois séries de tests ont été effectuées, à savoir :

- une activation thermique et chimique des formes sporulées visant à obtenir plus rapidement des cellules végétatives des spores présentes dans les farines ;

- une pré-culture des farines dans un bouillon amidonné enrichi d'extrait de levures afin d'augmenter la charge de cellules viables et en phase de croissance (pré-culture azotée);
- une pré-culture sans extrait de levures des farines servant d'accélérateur, visant à faciliter l'adaptation des microorganismes passant d'un milieu déshydraté à un milieu aqueux (pré-culture non azotée).

II.2.2.6.1.1. Activation Thermique et Activation alcoolique des formes sporulées du starter

L'activation thermique et l'activation alcoolique des formes sporulées du starter s'est effectuée respectivement selon les protocoles de Koransky *et al.*, (1978) et ISO 7932 (2000) légèrement modifiés.

Préparation des échantillons : Deux lots de 5 g de farine servant de starter ont été prélevés. L'un est dilué dans 45ml d'eau distillée stérile dans les conditions aseptiques, et homogénéisée à l'aide d'un vortex (model LAB DANCER-IKA). Le second lot est mélangé dans 45ml de la solution d'éthanol 60% (v/v) préparée par dilution de l'éthanol absolu.

- **Activation thermique**

Le lot dilué avec de l'eau a été introduit dans un bain-marie à 80°C pendant 10 minutes. Au bout de cet intervalle de temps, l'inoculum est refroidi immédiatement dans un bain d'eau à 30°C pendant 10 minutes,ensemencé dans un batch de fermentation contenant 500g de racines de manioc et le volume est complété à 500ml d'eau distillée stérile.

- **Activation alcoolique**

Le lot dilué avec la solution d'éthanol est porté à un agitateur magnétique à la vitesse de 70tours/minutes pendant une durée d'une heure. L'inoculum est ensuiteensemencé comme dans le cas précédent.

La mesure du degré et de la durée de ramollissement s'est faite comme décrit précédemment.

II.2.2.6.1.2. Pré-culture azotée du starter dans un bouillon nutritif.

Un lot de 5 g de farine a étéensemencé dans un Erlen-meyer contenant 45 ml d'un bouillon de culture stérile constitué de 2% d'amidon et 0,5% d'extrait de levure, puis incubé à 37°C pendant 12h en anaérobiose. Il a ensuite servi d'inoculum, en raison d'1% (v/v). Le suivi du ramollissement s'est fait comme décrit précédemment.

II.2.2.6.1.3. Pré-culture dans l'eau.

5 g de farine ont été dilués dans 45 ml d'eau. L'ensemble est incubé à 37°C pendant 12h et le mélange a servi d'inoculum en raison d'1% (v/v). La fin de la fermentation a été déterminée grâce à la valeur de l'indice de pénétrométrie et le taux de réduction du rouissage par rapport au témoin (fermentation sans ajout de starter) a été déterminé par la relation suivante :

$$\text{Taux de réduction du Tr} = \frac{[Tr_{(\text{Témoin})} - Tr_{(\text{Starter})}]}{Tr_{(\text{Témoin})}} * 100 \quad \text{éq. (2)}$$

Avec : Tr (Témoin) = temps mis pour la fin du rouissage du lot Témoin,

Tr (Starter) = temps nécessaire pour atteindre la fin du rouissage en présence du starter

II.2.2.7. Détermination en cyanure des pâtes fermentées

Afin de d'évaluer l'incidence de l'utilisation du starter sur la détoxification des racines de manioc, les racines ramollies de chacun des milieux de fermentation dans lesquels le starter prétraité a été utilisé comme ferment, ont été transformées en pâtes et les pâtes ont servi à déterminer la teneur en cyanures totaux.

La détermination de la teneur en cyanures totaux dans les pâtes fermentées issues des différents prétraitements s'est faite selon la méthode de Bradbury *et al.* (1999) A cet effet.

➤ **Principe :**

L'acide cyanhydrique, libéré de l'échantillon, réduit le picrate de sodium en composé jaune-orangé qui absorbe à 510nm et dont l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité dudit composé dans le milieu

➤ **Matériel et réactifs :**

Un spectrophotomètre UV-visible ; Le kit B2 de dosage du cyanure dans la farine de la Australian National University-RSB, Canberra gracieusement offert par le Dr Howard Bradbury. Ce kit est constitué de : une balance portable sur son support plastique ayant collé dans l'une de ses coupelle, 100mg de papier aluminium. Un papier Wattman 3 mm imbibé du tampon phosphate 0,1M à pH 6 et contenant la linamarase. Un flacon en plastique à fond plat avec bouchon vissable, une pipette d'1ml et des papiers picrates jaune de 3cmx1cm attaché à une bande en plastique.

➤ **Mode opératoire**

Les quantités de 100 mg d'échantillon ont été placées dans une fiole en plastique à vis au-dessus d'un papier filtre imbibé du tampon phosphate à pH 6 et de la Linamarase. 0.5ml d'eau distillée stérile a ensuite été ajouté dans le flacon ainsi qu'un papier picrate de couleur jaune. Immédiatement après, le flacon est fermé hermétiquement à l'aide d'un bouchon à vis et placé pendant 18heures dans un incubateur réglé à 30°C. Le jour suivant, le papier Jaune-orangé est retiré de la fiole, plongé dans un tube à essai contenant 5 ml d'eau stérile et l'ensemble est maintenu dans de l'eau bouillante pendant 5 min. le papier est ensuite retiré et l'absorbance de la solution est lue à 510 nm après son refroidissement. Le cyanure total en ppm (partie par million) est calculé en multipliant l'absorbance par 396. Le taux de réduction du cyanure a été déterminé par la formule suivante :

$$\text{Taux réduction} = \left(\frac{\text{Quantité de cyanure dans la pâte rouie}}{\text{Quantité de cyanure dans la racine fraîche}} * 100 \right) - 100 \quad \text{éq. (3)}$$

II.2.2.8. Evaluation de l'influence de l'écosystème de production du starter et de la variété de manioc sur sa capacité à accélérer le rouissage

II.2.2.8.1. Production des starters dans les localités enquêtées

Afin de déterminer si le lieu de production du starter et de la variété de manioc influence ou non la capacité du starter à réduire la durée naturelle du rouissage, des nouvelles descentes dans les localités enquêtées ont été effectuées pendant la période allant d'août 2014 à décembre 2014. Ces descentes avaient pour principal objectif de produire dans des zones écologiques différentes, selon le protocole et les conditions définies par l'étude précédente, les starters dans les trois sites enquêtés. A savoir : Bélabo dans la région de l'Est ; Balamba (dans la localité de Bafia) et Eséka dans la région du centre. Les starters ainsi produit ont été introduits dans des sacs en plastiques stériles, étiquetés BBO, BAF et ESK, respectivement pour les localités suscitées et acheminés dans une glacière au laboratoire où ils ont été conservés à 4°C pour les analyses microbiologiques et de détermination des paramètres cinétiques ultérieures. En parallèle un starter nommé LAB, a été produit au Laboratoire de microbiologie de l'Université de Yaoundé 1, ramenant ainsi à quatre, le nombre d'écosystèmes de production du starter.

II.2.2.8.2. Enumération des groupes microbiens du starter

Les échantillons de starters (10g), ont été pesés aseptiquement et introduits dans 90ml une solution d'eau physiologique de chlorure de sodium (NaCl) de concentration 0,9% m/v. Après homogénéisation, la solution mère obtenue est soumise à une série de dilutions décimales allant de 10^{-1} à 10^{-8} . La flore mésophile aérobie totale (FMAT), la flore fongique totale (FFT) et la flore amylolytique totale (FAT) ont été énumérées dans leurs milieux appropriés de croissance.

- **Dénombrement de la FAMT**

Le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale s'est fait selon la méthode décrite plus haut.

- **Dénombrement de la FFT**

Dans des boîtes de pétri contenant le milieu PDA (Potatoes Dextrose Agar) au chloramphénicol, dont la composition se trouve en annexe..., 0,1 ml des différentes dilutions a étéensemencé en surface et étalé à l'aide d'une pipette pasteur coudée. Les boîtes ainsiensemencés ont

été incubés à 30°C pendant 48 heures, temps au bout duquel les boîtes contenant 1 à 300 colonies ont été retenues.

- **Dénombrement de la FAT**

L'énumération de la FAT s'est faite par ensemencement en surface sur la gélose à l'amidon (0.6% peptone. 0.5 g/L MgSO₄. 0.5 g/L KCl. 1% amidon soluble 2% agar. pH 7.0). 0,1 ml de chaque dilutions a été déposé et étalé dans la boîte de Pétri contenant la gélose. Les boîtes ont ensuite été incubées retournées à 37°C pendant 48heures. Les résultats sont lus en considérant les boîtes contenant entre 30 à 300 colonies.

- **Dénombrement de la flore lactique mésophile (FLM)**

Le dénombrement de la flore lactique s'est fait selon la méthode décrite plus haut

II.2.2.8.3. Essais de rouissage sur quatre variétés de manioc

Quatre variétés de manioc ont été utilisées durant cette étude :

- Deux variétés amères sauvages appelées localement *Mintol-meko* et *Six-mois*
- Deux variétés améliorées, *TMS92/023* et *TMS96/326* ; développées par l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) de Yaoundé.

Les racines des variétés locales ou sauvages *Mintol-meko* et *Six-mois* ont été récoltées dans les champs des villages de Balamba et de Bogso respectivement. Quant aux racines des variétés améliorées, elles ont été récoltées dans un champ semencier du *GICRENATA* dans la ville de Yaoundé. L'intervalle de jours entre les récoltes dans les différents sites était d'un jour afin d'éviter que les racines fraîchement récoltées ne se détériorent par oxydation. Le choix des variétés amères se justifiant par leur rendement de production très élevée par comparées aux variétés douces, faisant des premières des variétés de manioc les plus transformées dans le territoire Camerounais. Le choix des variétés améliorées quant à lui, se justifie non seulement à cause de leur rendement de production élevée, mais également dans l'objectif de mieux comparer leurs produits à ceux des variétés locales.

Toutes les variétés de manioc ont été récoltées pendant la grande saison sèche et plus précisément au mois de Janvier. Cette période correspond non seulement à la période de récolte du manioc mais également à celle où les différentes zones sont facilement accessibles à cause de l'état de

routes praticables en cette période de l'année. Les différentes variétés ainsi récoltées ont été transportées dans des sacs en polyéthylène et acheminées au Laboratoire.



TMS92/326



TMS96/023



Mintol-meko



Six-mois

Image 3. Racines des variétés de manioc amères améliorées (*TMS92/326* et *TMS96/023*) et traditionnelles (*Mintol-meko* et *Six-mois*) de douze mois d'âge.

II.2.2.8.4. Traitement des racines, essais de rouissage et suivi du ramollissement

Une fois au laboratoire, les racines ont été triées et nettoyées grossièrement. A l'aide d'un couteau en acier inoxydable, les racines ont été épluchées. Les pulpes obtenues ont par la suite été découpées en cylindres de 4cm de long et 5 cm de diamètre, puis lavées abondamment à l'eau de robinet. Les morceaux de manioc propres ainsi obtenus ont servi à la suite des expériences. Les

cylindres des racines épluchées et lavées de chaque variété manioc récoltées ont été répartis en cinq lots de 500g pour chaque variété de manioc dans des bacs en plastique nettoyés proprement au préalable avec de l'eau propre. La fermentation s'est effectuée en submergeant les cinq lots dans 500ml d'eau de robinet. Quatre des cinq lots ont été inoculés respectivement avec 1% (m/m) des starters BBO ; BAF ; ESK et LAB, tandis que le dernier lot, non inoculé et soumis à une fermentation spontanée, a servi de lot témoin. Le rouissage a été conduit à la température constante de l'étuve de 35°C (au lieu de 40°C précédemment défini comme température optimale du rouissage en présence du starter, afin de permettre au lot témoin de ramollir).

Le suivi du ramollissement dans les différents lots s'est fait par mesure de l'indice de pénétration à l'aide d'un pénétromètre à aiguille. Les données obtenues de la mesure de l'indice de pénétration ont ensuite été analysées afin de déterminer les paramètres cinétiques comme décrit précédemment.

II.3. ANALYSE DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES ET FONCTIONNELLES DES FARINES FERMENTEES DES DIFFERENTES VARIETES DE MANIOC.

II.3.1. Production des farines fermentées

Une fois le suivi ramollissement des racines par différents starters produits terminé, d'autres cylindres des racines épluchées et lavées de chaque variété manioc récoltées ont été répartis en trois lots de 500g pour chaque variété de manioc dans des bacs en plastique nettoyés proprement au préalable avec de l'eau propre. La fermentation s'est effectuée en submergeant deux des trois lots dans 500ml d'eau de robinet. L'un des deux lots submergés a été inoculé avec 1% (m/m) du starter produit dans l'un des écosystèmes et ayant montré la plus grande aptitude à réduire la durée du rouissage, Tandis que le dernier lot, non inoculé et soumis à une fermentation spontanée, a servi de lot témoin. Les racines non submergées du troisième lot quant à elles, ont été découpées en petits dés et séchées directement à l'étuve à 40°C. Le rouissage dans les deux autres lots a été conduit à la température constante de l'étuve de 35°C (au lieu de 40°C précédemment défini comme température optimale du rouissage en présence du starter, afin de permettre au lot témoin de ramollir). Une fois ramollies, les

racines fermentées ont été essorées par presse mécanique, puis séchées à l'étuve dans les mêmes conditions que celles non fermentées.

Les cossettes séchées ont ensuite été broyées grâce à un mixeur de marque MOULINEX. Les farines obtenues ont été tamisées à l'aide d'un tamis ($\emptyset = 0,5\text{mm}$) et conservées dans des sacs plastiques étanches étiquetés FNF (pour Farine Non fermentée), FFN (pour Farine Fermentée Naturellement) et FFSt (pour Farine Fermentée au Starter). L'expérience a été répétée trois fois et l'ensemble des échantillons ainsi préparés a été conservé à 4°C pour les analyses ultérieures.

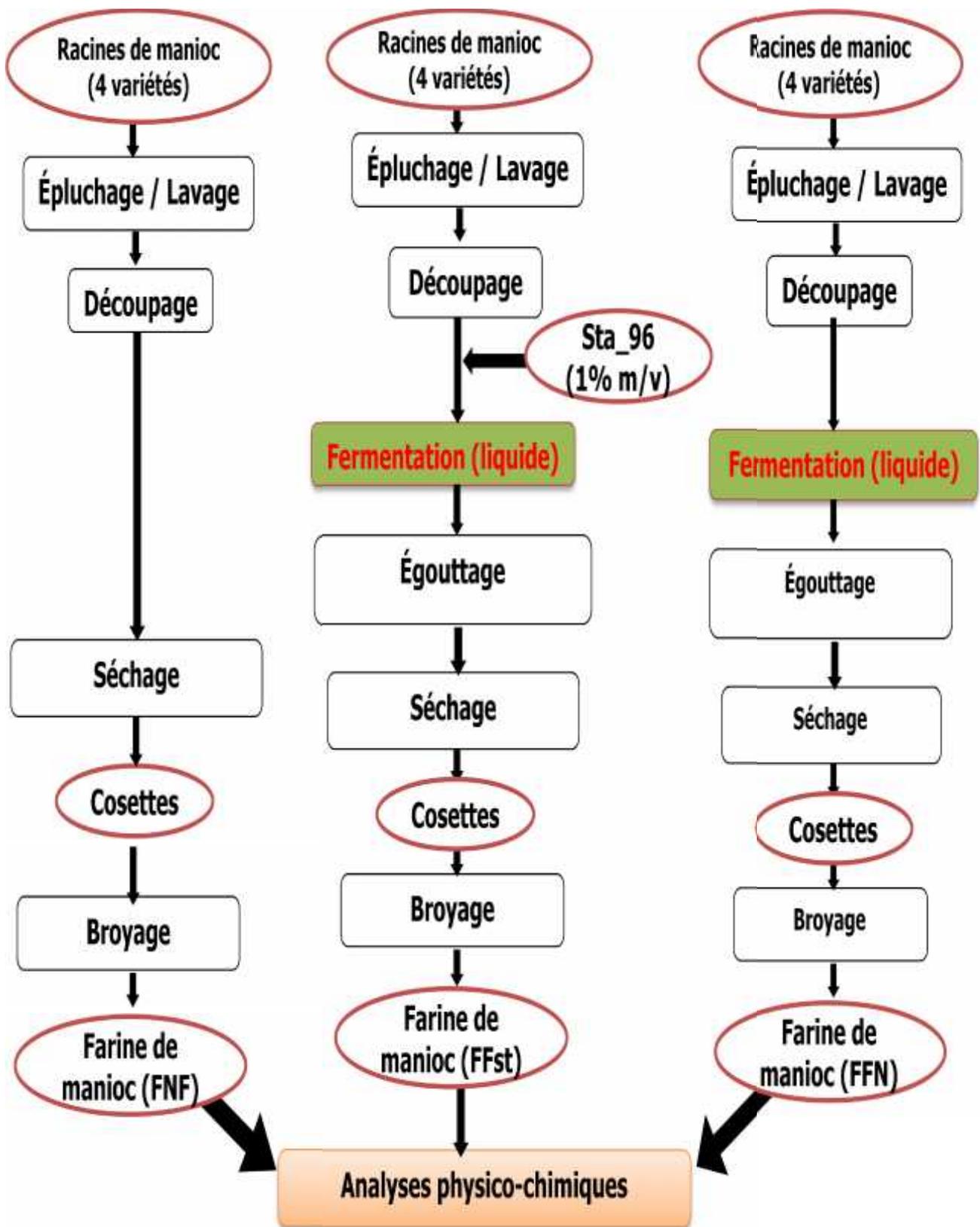


Figure 9. Protocole de production des farines fermentées et non fermenté. FNF= Farine Non Fermentée ; FFSt= Farine Fermentée en présence du starter et FFN= Farine Fermentée Naturellement

II.3.2. Analyses chimiques

II.3.2.1. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau des échantillons de farines de manioc a été déterminée selon la méthode décrite par Nuwamanya *et al.* (2010) et légèrement modifiée. En effet 10 g d'échantillon à analyser ont été séchés dans une étuve à 105°C pendant 5 heures. Par la suite, l'échantillon sec est transféré dans un dessiccateur pour refroidissement à température ambiante puis pesé. Cette opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La teneur en eau de l'échantillon est ainsi déterminée par la formule :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad \text{éq. (4)}$$

Avec : m_i : la masse initiale de l'échantillon de farine

m_f : la masse de l'échantillon après séchage et refroidissement

II.3.2.2. Détermination de la quantité d'acide lactique dans les farines obtenue

La détermination de la quantité d'acide lactique présente dans les échantillons de farines produites a été réalisée selon les méthodes AOAC (1980). A cet effet, trois gouttes de phénolphtaléine ont été additionnées à 10 ml obtenu d'un mélange de dix grammes de chaque échantillon de farine et de à 90 ml d'eau distillée. Chaque mélange est titré avec une solution de NaOH (0,1M) contenu dans une burette graduée, jusqu'à l'apparition d'une couleur rose indiquant l'équivalence. Chaque ml du volume de NaOH (0,1) écoulé est équivalent à 9,008 mg d'acide lactique.

II.3.2.3. Dosage de l'amylose et d'amylopectine des farines.

Les pourcentages d'amylopectine et d'amylose des échantillons de farines de manioc produites ont été déterminés selon la méthode spectrophotométrique de Jarvis & Walker (1993).

➤ Principe

L'iode (I_2) interagit avec l'amylose et l'amylopectine pour donner des complexes I_2 -amylose et I_2 -amylopectine respectivement de coloration bleue et brune. Les spectres d'adsorption de ces

complexes sont différents, avec des longueurs d'ondes maximales pour l'amylose de $\lambda_{\max} = 630 \text{ nm}$ et l'amylopectine de $\lambda_{\max} = 548 \text{ nm}$. On peut donc utiliser cette différence spectrale pour doser simultanément l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine dans un matériel biologique.

Matériel et réactifs du dosage

Bain-marie - Spectrophotomètre UV-visible - Tubes à essais - Centrifugeuse- Plaques chauffantes.

Réactif de l'iode : 0.2 g de I₂ dissous dans 100 ml de KI à 2 % (w /v) dans 0.1 N HCl. Amidon pur de pomme de terre. 1 N KOH et 1 N HCl.

➤ **Mode opératoire**

Réalisation de l'étalon de l'amidon standard et préparation des échantillons à analyser

L'amidon natif étant insoluble dans l'eau. Une quantité de 0.5 g d'amidon a été dispersée dans 20 ml d'eau distillée avant l'ajout de 80 ml d'eau distillée bouillante. Le mélange a ensuite été agité légèrement et mis sous ébullition pendant 5 min sur une plaque chauffante afin d'obtenir une solution d'amidon limpide. Le mélange est refroidi et son volume complété à 100 ml avec de l'eau distillée pour constituer la solution stock d'amidon à 5 mg/ml. Une gamme d'étalonnage (0 ; 0,02 ; 0,04 ; 0,06 ; 0,08 et 0,1 mg/ml) est réalisée à partir de la solution stock. Parallèlement, 0.1 g de farine de manioc des différents échantillons précédemment tamisé ($\phi = 0.5 \text{ mm}$) ont été prélevés. A chacun, on y ajoute 5 ml de la solution de KOH 1N. L'ensemble a ensuite été homogénéisé à température ambiante puis neutralisé avec 5 ml d'HCl 1N en s'assurant que la solution soit neutre. Le mélange ainsi obtenu a été mis en ébullition au bain-marie pendant 15 min et son volume réajusté à 10 ml. Après une centrifugation du mélange à 5000rpm pendant 10 min, le surnageant est récupéré et utilisé pour le dosage d'amylose et d'amylopectine. Les tubes constituant la gamme étalon ont été complétés à 4,9ml avec de d'eau distillée.

En parallèle, deux prélèvements de 0,05ml de chaque échantillon ont été introduits dans deux tubes différents et chacun des volumes complétés à 4,9ml avec de l'eau distillée. Par la suite 0,1 ml du réactif de l'iode a été ajouté dans chaque tube (essais et étalons). Ceux-ci ont ensuite été incubés pendant 10 minutes à température ambiante et les Absorbances ont été lues à deux longueurs d'ondes : DO1 à 580nm pour la détermination de l'amylopectine, et DO2 à 720 nm pour la détermination de l'amylose.

Courbes d'étalonnage et dosage d'amylopectine et d'amylose

Les différentes absorbances lues ont permis de tracer deux courbes étalons :

$$DO1 = f([amylopectine])$$

$$DO2 = f([amylose])$$

Les concentrations d'amylose et d'amylopectine ont été déduites sachant que les proportions d'amylose et d'amylopectine dans l'amidon de pomme de terre utilisé sont respectivement de 20% et 80%.

Les pourcentages d'amylose et d'amylopectine sont déterminés selon les formules ci-après :

$$Amylose (\%) = \frac{D.O_{580nm} \times 10}{a} \times 100 \quad \text{éq. (5)}$$

$$Amylopectin (\%) = \frac{D.O_{720nm} \times 10}{a'} \times 100 \quad \text{éq. (6)}$$

Avec :

a = Coefficient directeur de la droite d'étalonnage d'amylose,

a' = Coefficient directeur de la droite d'étalonnage d'amylopectine

$D.O$ = Absorbance

II.3.2.4. Détermination de la teneur en cyanures totaux dans les échantillons de farines

Elle s'est effectuée comme dans le protocole précédemment décrit pour le dosage du cyanure dans les pâtes de manioc fermenté.

II.3.2.5. Détermination des index de gonflement et de solubilité.

Les pouvoirs de gonflement et de solubilité des échantillons de farines fermentées ont été déterminés par la méthode décrite par Eerlingen *et al.* 1997. A cet effet, une suspension de chaque échantillon de farine à 8.3% p/v a été chauffée à 85°C dans des tubes Falcon de 50ml pendant 30min. Une agitation du mélange est effectuée toutes les 5 min afin d'éviter l'agglutination de la farine au fond du récipient de chauffage. Les échantillons ont ensuite été refroidis pendant 10 min, puis centrifugés à 4000 rpm pendant 15 min. Les différents surnageants obtenus ont ensuite été coulés dans différentes boîtes de pétri en verre et séchés à 110°C pendant 5 heures. La masse de solide sec de chaque échantillon est déterminée à la suite du pesage sur une balance de précision de marque G&G® ELECTRONIC SCALE.

Les pouvoirs de solubilité (PS) et de gonflement (PG) ont ensuite été calculés respectivement à l'aide des formules (7) et (8) ci-après :

$$PS = \frac{\text{Masse du surnageant séché}}{\text{Masse de l'échantillon de farine}} \times 100 \quad \text{éq. (7)}$$

$$PG = \frac{\text{Masse du culot} \times 100}{\text{Masse de l'échantillon de farine} \times (100 - \%PS)} \quad \text{éq. (8)}$$

II.3.2.6. Détermination des propriétés de gélification des farines

Les propriétés de gélification ou d'empesage, ont été déterminées par la méthode de l'International Association for Cereal Science and Technology (ICC) n° 162 (1996) à l'aide du Rapid Visco Analyser (RVA Petern Instrument Newport-Australia). A cet effet, une pesée précise et corrigée sur la base de 12,5% de matière sèche a été réalisée en suspendant 3,5g de farine dans de l'eau distillée à l'intérieure d'un godet, de façon à obtenir une masse totale farine-eau de 28g. L'ensemble a été bien mélangé et mis sous agitation constante, grâce à une hélice tournant à la vitesse de 160rpm, pendant 13 minutes dans le RVA. Pendant l'agitation, la suspension est soumise à des variations de température allant de 50°C à 95°C. D'abord, elle est maintenue pendant 1 minute à 50°C, ensuite chauffée 5 min à 95°C à la vitesse de 9°C/min donnant place à un gel. Le gel est maintenu à 95°C

pendant 2 minutes, puis refroidit à 50°C pendant 5 minutes et enfin maintenu à nouveau à cette température pendant une minute.

Durant cette phase de variation de température, le mélange passe d'une suspension à un gel dont le degré de résistance au mouvement de l'hélice permet d'enregistrer les différents paramètres de viscoélasticité que sont : la température de gélification (PT), la viscosité maximale (VM), la viscosité minimale ou creux (Cr) et la viscosité finale (VF). Ces différentes viscosités ont permis de déterminer d'autres paramètres significatifs de viscosité que sont : la chute de viscosité (BV), l'indice de rétrogradation (SB), l'indice de stabilité et le ratio de rétrogradation selon les formules ci-après :

$$\text{Chute de viscosité} = \text{Viscosité maximale} - \text{Viscosité minimale} \quad \text{éq. (9)}$$

$$\text{Indice de rétrogradation} = \text{Viscosité finale} - \text{Viscosité minimale} \quad \text{éq. (10)}$$

$$\text{Indice de stabilité} = \frac{\text{Viscosité maximale} - \text{Viscosité Minimale}}{\text{Viscosité maximale}} \quad \text{éq. (11)}$$

$$\text{Ratio de rétrogradation} = \frac{\text{Viscosité Finale}}{\text{Viscosité Finale} - \text{Viscosité minimale}} \quad \text{éq. (12)}$$

II.4. ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les mesures ont été répétées au moins trois fois. La comparaison des moyennes de valeurs obtenues s'est faite par ANOVA one-way sur SPSS 16.0 (SPSS International Chicago, USA) au seuil de confiance de 95% afin de déterminer les différences entre les échantillons et la durée de production des starters. Les différences significatives entre les moyennes ont été identifiées par la procédure de LSD et regroupées en sous- groupes homogènes grâce au test de Duncan. Les tests multivariés, notamment la classification hiérarchique ascendante et l'analyse en composantes principales ont permis de classer les échantillons produits en fonction des paramètres analysés.

Chapitre 3: Résultats et Discussion

III- RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. PRATIQUES PAYSANNES DE TRANSFORMATION DU MANIOC EN COSSETTES DANS LES REGIONS DE L'EST ET DU CENTRE DU CAMEROUN

III.1.1. Les procédés de transformation du manioc en cossettes

Au cours des observations des pratiques paysannes, il est ressorti quatre principaux diagrammes de transformation des racines de manioc en cossettes en fonction des sites d'étude. Productrices enquêtées (Figure. 10).

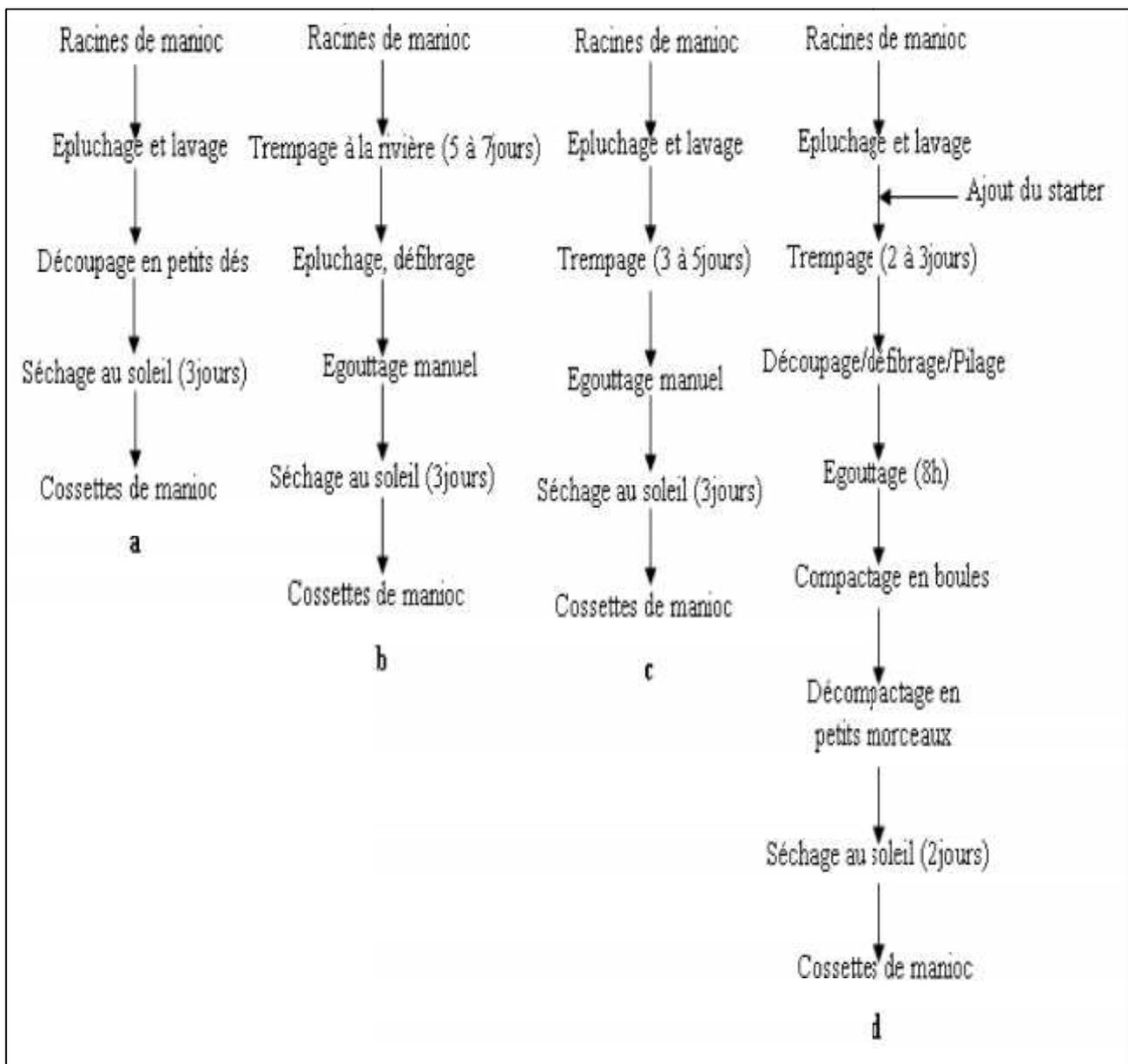


Figure 10. Principaux procédés de transformation des racines de manioc en cossettes rencontrés dans les localités de Bélabo (a et b), d'Eséka (c) et Bafia (d).

La Figure 10 montre que, les opérations unitaires de transformation de racines en cossettes de manioc fermenté présentent beaucoup de similitudes à travers les localités enquêtées. Ainsi, l'épluchage, le trempage/rouissage, l'essorage et le séchage sont les opérations que l'on rencontre dans toutes les zones enquêtées. Le procédé de production dans la localité de Bafia présente plus d'étapes que ceux rencontrés dans les deux autres localités. C'est ainsi qu'en plus des étapes citées ci-dessus, s'ajoutent trois autres étapes avant le séchage à savoir : le défibrage/pilage, le compactage, et le décompactage.

De toutes les étapes de transformation recensées lors de la production de cossettes fermentées, toutes les transformatrices s'accorde sur le fait que le rouissage ou fermentation en milieu liquide, reste l'une des étapes incontournables si l'on voudrait obtenir un fofou de qualité. En effet le rouissage apparait dans 75 % de cas des procédés traditionnels recensés et n'est que exclu le procédé dans la région de l'Est (Figure 10). Le rouissage est une fermentation spontanée qu'on observe après immersion dans l'eau des racines de manioc entières ou découpées en morceaux, pendant 3 à 7 jours en fonction des saisons, dans le but de ramollir les racines.

Les raisons qu'elles ont avancées pour justifier l'implication du rouissage dans leur procédé de transformation des racines en fofou incluent le fait qu'elles l'ont hérité de leurs parents (80%), que le rouissage permet de prévenir la détérioration des racines de manioc (60%), de réduire la teneur en composés cyanogénétiques (44%) et d'obtenir une variabilité des sous-produits du manioc (74%). Des études ont démontré que le rouissage permet également d'améliorer les qualités organoleptiques des produits finis (Oyewole et Odunfa, 1990 ; Brauman *et al.* 1995). La principale raison donnée par les productrices qui ne rouissent pas les racines avant de les transformer en cossettes est que, cette opération est trop longue et par conséquent elle est économiquement peu rentable. Bien qu'elle soit exclue par certaines et écourtée par d'autres, l'ensemble des transformatrices s'accordent sur le fait que la durée de fermentation est un déterminant important de la qualité du fofou. Ceci avait déjà été souligné par Oyewole et Sanni, 1995.

Quelques différences dans la conduite de l'opération de rouissage apparaissent d'un site à l'autre. Ainsi, chez certaines productrices de la localité de Bélabo où cette opération est présente, la racine entière est trempée dans une rivière (Image 5). Par contre, dans les localités d'Eséka et de Bafia, les racines sont trempées dans des contenants en plastique ou en aluminium (Image 6), après leur épluchage et leur découpage en morceaux (Image 4). Certaines productrices de la région de l'Est justifient le trempage dans la rivière par la rareté d'eau et le poids des racines de manioc qui sont plus faciles à transporter lorsqu'elles ont été transformées que lorsqu'elles sont fraîches.

La durée de rouissage ayant de fortes répercussions sur les revenus des producteurs, les actrices de la localité de Bafia utilisent un starter à base d'une farine de manioc pré-rouie comme ferment pour accélérer l'opération du rouissage (Image 3). Et Bien que cela s'avère efficace à raccourcir la durée de rouissage de quelques heures, les niveaux de réduction varient souvent d'une productrice à une autre, au sein de la même localité et même parfois d'une production à une autre chez la même productrice, la même saison chez la même transformatrice.

L'absence de l'étape de rouissage dans la production des cossettes de manioc dans certaines localités de l'Est du Cameroun pourrait expliquer les cas de goitre et de Konzo signalés dans cette région (Lantum, 1998 ; Ernesto *et al.* 2002 ; Ciglonecki *et al.* 2011).



Image 4. Epluchage à l'aide d'un couteau (gauche), racines épluchées (droite)



Image 5. Ajout du Starter dans les racines épluchées quelques temps avant l'ajout d'eau.



Image 6. Racines trempées (à droite) ; milieu de rouissage après 48 heures de fermentation (à gauche)



Image 7. Pratique de rouissage dans la rivière (droite) ; d'épluchage + lavage après 5 jours de trempage dans un village de Bélabo

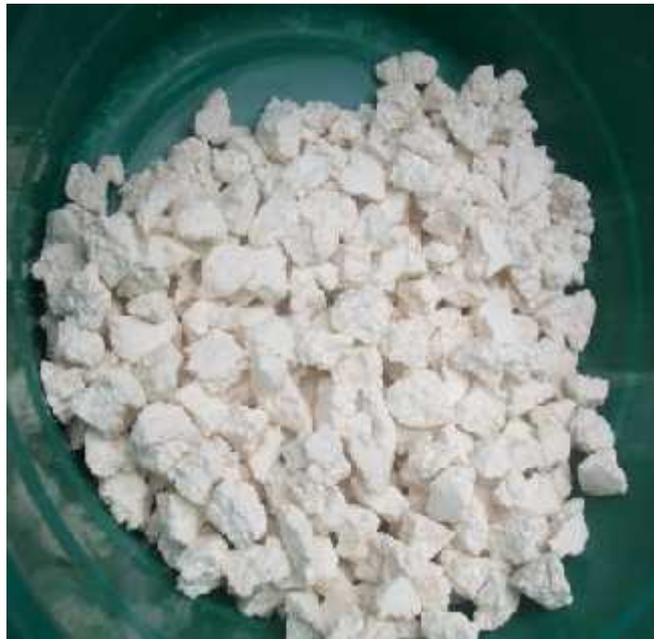


Image 8. Pratique de séchage dans la localité de Balamba, (gauche et droite) ; cossettes de manioc (milieu)

III.1.2. Critères de choix des variétés de manioc

La variété de manioc à rouir pouvant être un facteur déterminant de la qualité du produit final, il a été demandé aux transformatrices les critères de qualité les plus importants dans le choix du manioc utilisé. Les réponses obtenues d'elles, indiquant les déterminants du choix d'une variété de manioc pour la production des cossettes rouies, sont présentés sur la Figure 11. Cette figure montre que, ces déterminants reposent majoritairement sur le rendement et la disponibilité, qui représentent à eux seuls plus de 65%. On notera que le goût de la variété de manioc ne semble pas être un facteur prioritaire dans le choix d'une variété pour la production des cossettes dans la mesure où il ne représente que 5,7% des déterminants de choix. Tandis que dans 21% des cas, les productrices utilisent des racines fraîchement récoltées.

Globalement, La variété de manioc ne semble pas être un facteur prioritaire du rouissage et de la définition de la qualité finale des cossettes. Toutefois les productrices préfèrent les variétés amères et traditionnelles aux variétés douces ou améliorées. Car, selon elles, les variétés traditionnelles amères fournissent de bons rendements et permettent d'obtenir des produits plus élastiques.

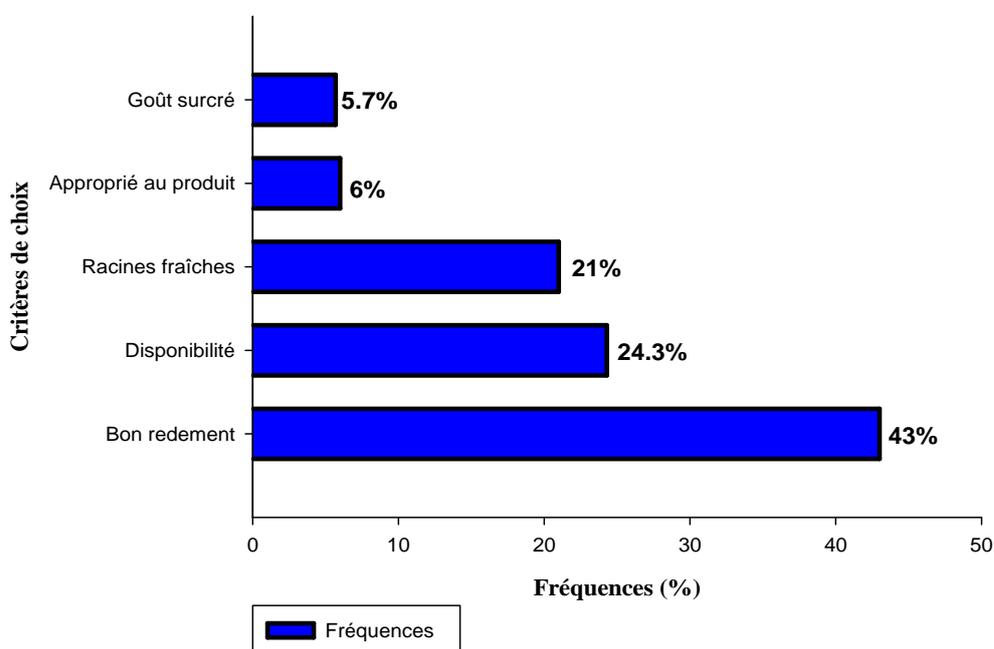


Figure 11. Fréquences des critères gouvernants le choix d'une variété de manioc pour la production des cossettes rouies

Une comparaison de la durée moyenne des principales opérations unitaires de transformation des racines en cosettes fermentées, dont les valeurs de durées moyennes sont représentées sur l'histogramme de la Figure 12, laisse apparaître que les opérations de rouissage et de séchage, prennent plus de temps pour être menées à terme.

En effet le rouissage met en moyenne 68 heures en saison sèche (période à laquelle les enquêtes ont été conduites) tandis que le séchage met en moyenne 48h de temps. Le rouissage apparaît donc comme une contrainte technico-économique pour les productrices. A cet effet, l'une des principales préoccupations des actrices est de réduire la durée de cette opération unitaire, ou au mieux, d'accélérer le ramollissement des racines, principal indicateur de la fin du rouissage. Il convient toutefois de relever que si les opérations de lavage, de défibrage, d'épluchage, affichent des durées moyennes plus courtes, elles ont une charge de travail élevée, dans la mesure où elles sont manuelles.

III.1.3. Principales contraintes des opérations unitaires de transformation

Les principales contraintes des opérations unitaires de la transformation du manioc sont indiquées sur la Figure 13. Il s'agit à cet effet des contraintes suivantes : le risque de blessures, la pénibilité, l'approvisionnement en eau et la délicatesse. L'épluchage apparaît comme l'opération unitaire la plus contraignante, notamment en termes de pénibilité et de risques de blessures (Figure. 13 et Image 5).

Bien qu'elle soit délicate et surtout longue, l'opération du rouissage a pour principale contrainte l'approvisionnement en eau en milieu rural. Ce qui pourrait aussi expliquer le trempage des racines en champs dans la rivière tel que rencontré dans certains villages notamment à l'Est du Cameroun.

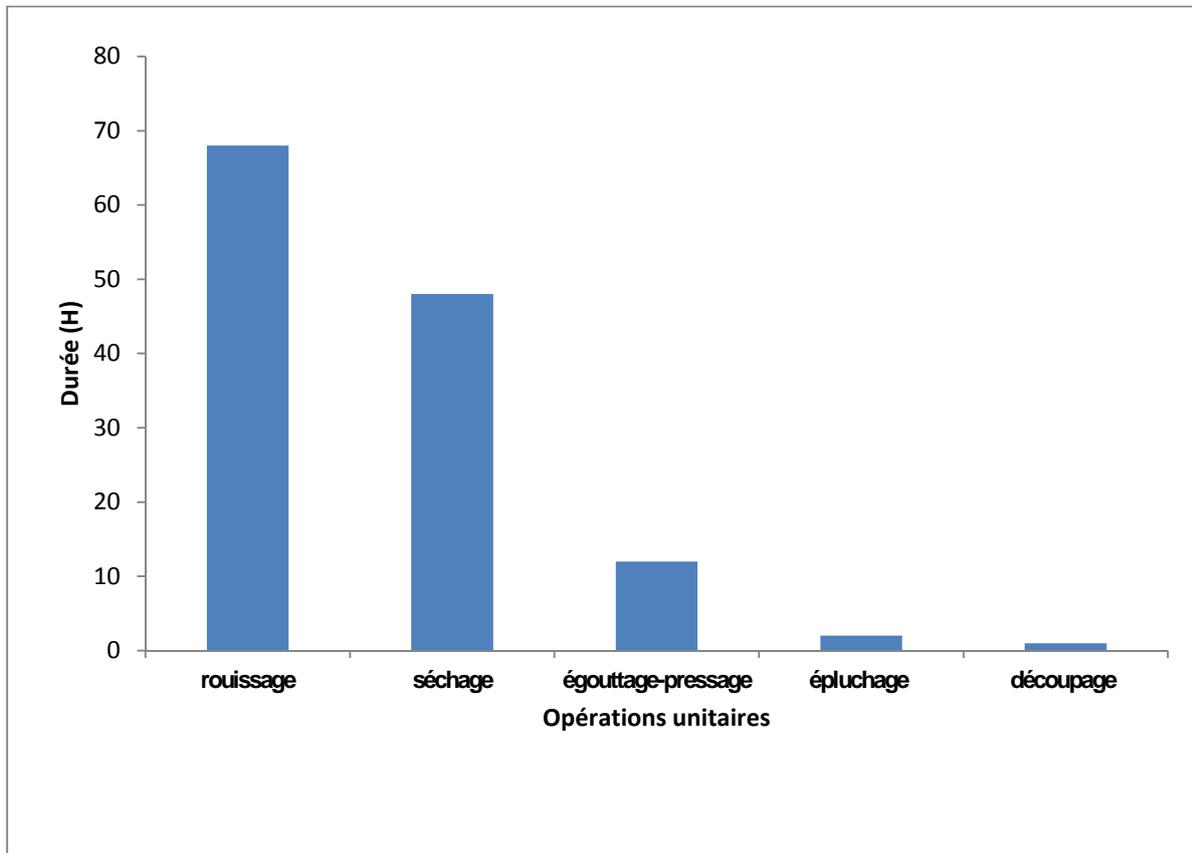


Figure 12. Durées des principales opérations unitaires de transformation du manioc

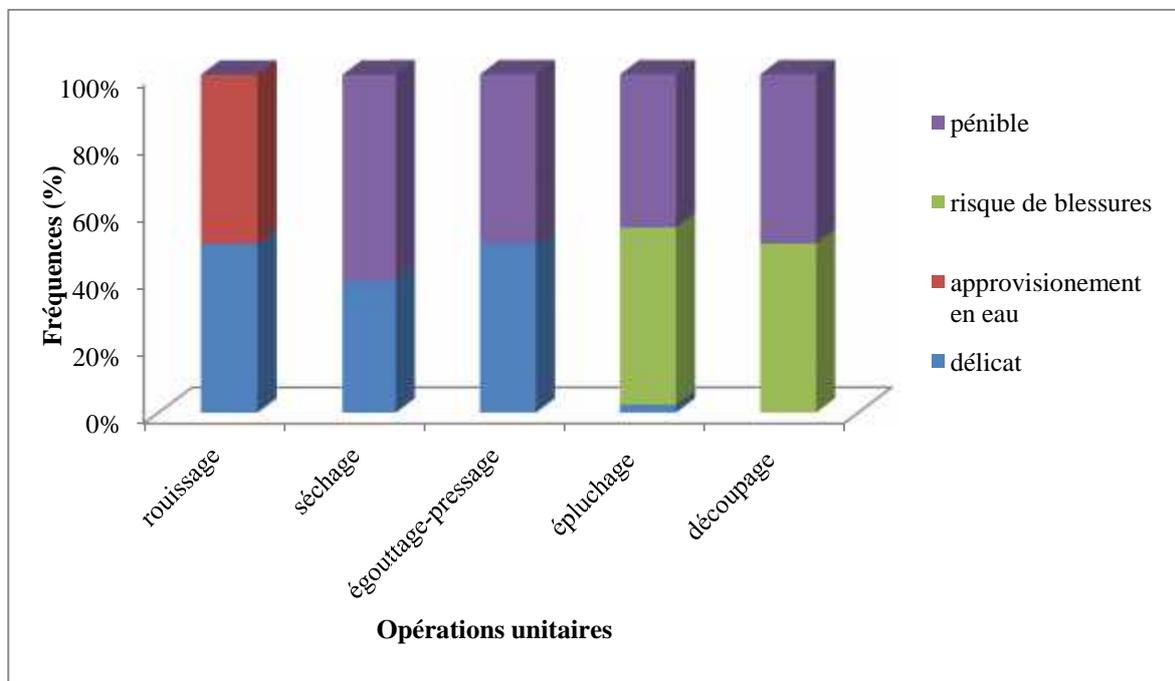


Figure 13. Principales contraintes des opérations unitaires de la transformation du manioc

III.1.4. Impact des opérations unitaires sur la qualité des produits

La qualité du produit final de transformation est fortement dépendante de la conduite des opérations unitaires impliquées. Les conséquences sont variables selon l'opération unitaire concernée. A cet égard, les opérateurs considèrent que les conditions de rouissage et de séchage sont celles qui influencent le plus la qualité des produits finaux. Ce qui confirme les travaux de Kimaryo *et al.* 2000 ; Holzapfel, 2002. Justifiant d'ailleurs que les actrices de production de cosettes veillent à ce que ces opérations soient menées à bien.

En effet, l'analyse des fréquences de réponses sur les attributs généraux de la qualité des cosettes rouies en fonction du rouissage et du séchage, représentée sur la Figure 15, montre que, le rouissage influence principalement les propriétés organoleptiques que sont : la couleur, l'odeur, la texture (élasticité) et le goût des produits, alors que le séchage au soleil permet, en plus, des paramètres précédents, de contrôler l'humidité. A cet effet, dans 100% de réponses, ces propriétés (le goût, l'odeur et l'élasticité des cosettes) sont liées au rouissage contre 76,8% pour le séchage. Le rouissage apparaît comme la principale opération unitaire critique.

On notera que si la terminologie utilisée par les opérateurs pour décrire la qualité des produits est générique, la description des défauts inhérents aux mauvaises pratiques techniques est plus explicite et présente une relation forte avec les opérations unitaires critiques. Ainsi, la non-maîtrise des opérations de rouissage et de séchage aboutit à l'obtention de cosettes peu humides de couleur jaunâtre et de goût amère (parfois lié à la toxicité) (Figure 14).

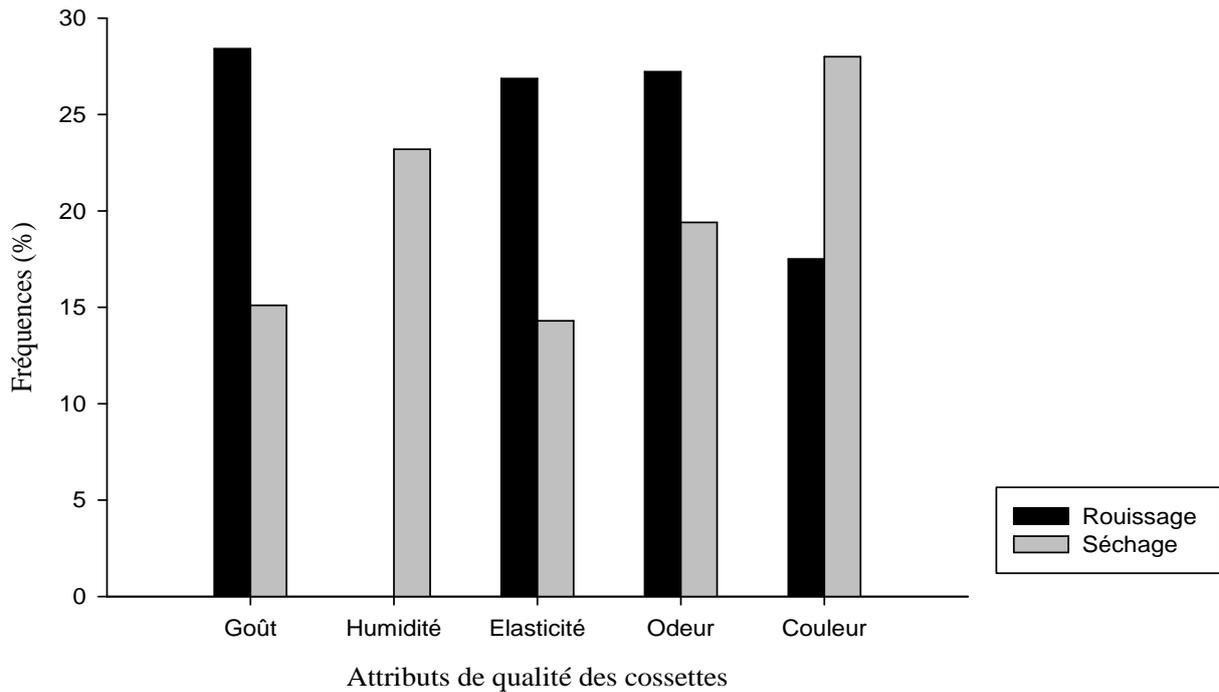


Figure 14. Fréquences de réponses obtenues des indicateurs généraux de la qualité des cossettes rouies en fonction des principales opérations unitaires de transformation

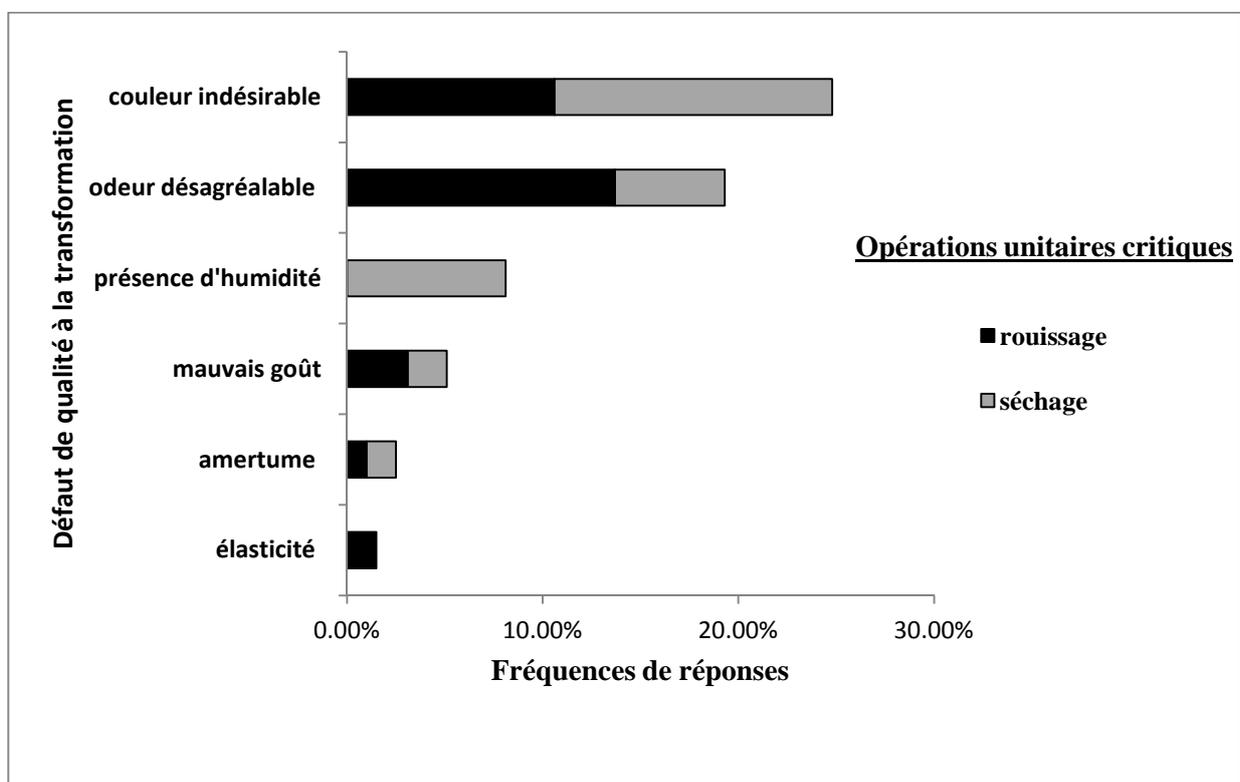


Figure 15. Défauts de qualité inhérents à la non maîtrise des opérations unitaires critiques

Les produits obtenus des procédés de production de la farine de manioc fermenté dans les localités de Bélébo et d'Eséka présentait plusieurs défauts notamment la couleur (en majorité pas assez blanche) l'odeur de moisi et un goût amères (indicateur des composés cyanogénétiques). C'est ainsi que le procédé de production de la farine fermentée utilisé dans la localité de Bafia et plus précisément dans le village de Bassolo a retenu notre attention. En effet une enquête menée dans les marchés des grandes villes (Yaoundé et Douala) a montré que les consommateurs apprécient beaucoup cette farines/cossettes. Ainsi une étude plus détaillée du processus de fabrication du fofou dans ce village nous a permis d'élaborer le tableau 1 qui regroupe toutes les opérations unitaires, le temps mis par chacune, les outils ou ingrédients y intervenant et les rendements de production.

La production des cossettes de manioc au village Bassolo est essentiellement à but commercial très peu sont les personnes qui consomment le fofou obtenu de la farine de manioc fermenté dans cette région du centre du Cameroun. Il n'existe pas des petites unités de transformation dans ce village.

Parmi les opérations unitaires de production des cossettes dans cette localité, en plus du rouissage déjà évoqué plus haut, le pressage apparaît aussi comme une opération clé du processus de fabrication. En effet, les transformatrices visitées ont indiqué que, une mauvaise conduite du pressage aboutit à l'obtention d'un produit acide et de couleur noire. Il en est de même du « 1er soleil du séchage » qui, s'il n'est pas suffisant favorise l'obtention des produits sombres.

Les données consignées dans ce tableau montrent que la durée du procédé de transformation des racines en cossettes de manioc dans cette région est d'environ 4 jours 21 heures avec un rendement en matière sèche d'environ 43%.

Comme dans la majorité des cas en zone rurale, La principale contrainte dans cette zone du pays reste la rareté de l'eau surtout en saison sèche. En effet pendant cette période de l'année, les transformatrices sont contraintes à parcourir de longues distances à la recherche d'eau.

Tableau 1 : Les principales opérations unitaires de transformation des racines de manioc en cossettes à Bassolo.

Opérations	Description de l'opération	Durée de l'opération	Autres ingrédients ajoutés	Equipements utilisés (quantité)	Main d'œuvre (nombre et sexe)	Produit obtenu	Quantité de matière obtenue
Récolte et transport	Les racines de manioc sont déterrées puis acheminées à la maison pour y subir des transformations ultérieures.	1h30min	-	- Houes - Machettes - Bassines	03 femmes	Tubercules de manioc	105 kg
Epluchage et découpage en morceaux (10cm environ)	Les racines sont débarrassées du liège et du cortex qui sont les deux peaux du manioc le cylindre centrale qui est la partie transformable, est par la suite fendu et découpé en morceau de 10cm environ	50min	-	- Couteaux - Machettes - Bassines	04 femmes	Tubercules épluchés et découpés	95 kg
Lavage	les morceaux des racines sont lavés dans de l'eau de rivière afin de les débarrasser de la boue et des grains de sable	08min	15 litres d'eau	- Bassines	01 femme	Tubercules lavés	95kg
Trempage (rouissage)	Les morceaux de manioc lavés sont	48heures	• Poudre de cossettes issues	- Bassines (pour le	01 femme	Tubercules ramollis	100kg

	trempeés dans de l'eau à laquelle est ajoutée la farine de manioc rouie et séchée. L'ensemble est couvert de tôles durant toute cette opération		d'un rouissage précédent (une poignée) •45L d'eau	trempage) - Tôles (pour couvrir)			
Détrempage, empattage et défibrage*	Les racines ramollies sont retirées des bassines de rouissage, puis elles sont pilées, (découpées dans certains cas), transformées en pâte et défibrées en parallèle ; par la suite, la pâte obtenue est répartie en deux et introduite dans des sacs en jute ayant été utilisées dans une production précédente et n'ayant subi aucun lavage.	1heure		- 01 bassine (ou assiette en aluminium) - pilon (ou Machette) pour l'empattage des racines rouies et celles ayant rouies partiellement - Tôle	01 femme	Pâte de manioc roui	99kg
Essorage (2^{ème} fermentation en milieu sec)	La pâte ensachée dans le sac en jute subit une pression sous l'effet de deux	15heures		- 02 sacs en jute provenant d'une transformation	01 femme	Pâte rouie semi hydratée	92kg

	force l'une générée par un bout de bâton servant d'instrument de compression, et l'autre générée par une grosse pierre posée au dessus du sac. Il y'a perte d'une grande quantité d'eau et une amélioration des arômes de la fermentation au cours de cette opération.			précédente et n'ayant pas été lavée - bâton (génère une force de compression qui favorise l'essorage de la pâte) - grosse pierre			
Compactage (formation de boules)	Cette étape consiste à former des boules à partir de la pâte essorée afin de faciliter son étalage en morceau et d'éviter qu'elle s'émiette au cours du séchage	45 minutes		- bassines	03 femmes	Pâte en boules	70kg
Etalage et séchage (dans les champs)	Consiste séparer les boules en petits morceaux qui sont étalés sur des tôles et exposés au soleil pour le séchage.	50 minutes (étalage) 2 jours (séchage)	soleil	- tôles	01 femme	Cossettes de manioc sèches	45kg

- *varie en fonction des productrices. Certaines préfèrent plutôt le pilage au découpage

III.1.5. Conclusion partielle

Les enquêtes sur les pratiques de transformation du manioc en cossettes menées dans les zones rurales de Bafia, Bélabo et Eséka ont permis d'identifier les principales opérations unitaires des procédés, de déterminer les conditions de leur mise en œuvre dans les localités étudiées, de déterminer les points critiques des différents procédés de transformation et d'établir une relation entre ces points et la qualité des produits finis.

Les pratiques de transformation pouvant être adaptées aux contraintes du milieu, elles dépendent souvent des facteurs socioculturels et socio-économiques. De ce fait il est souvent difficile d'établir une véritable relation de cause à effet entre les facteurs qui exercent une influence sur le procédé et le procédé lui-même. Le rouissage apparaît ainsi comme l'étape critique de la plupart des procédés de transformation rencontrés qui a un impact sur le goût, la couleur, l'élasticité du produit final. Il ressort également que, à cause de la demande importante en cossettes de manioc et de la rareté de l'eau certaines productrices de la localité de Bélabo dans la région de l'Est excluent l'opération du rouissage tandis que d'autres l'effectue en champs dans une rivière. Quant aux actrices de la localité de Bafia, elles utilisent la farine de manioc roui comme ferment pour accélérer de nouveaux rouissages.

Cette accélération variant d'une productrice à une autre et parfois au sein de la même unité de production, nous avons porté un intérêt particulier à l'étude de ce ferment artisanal, objet de la suite de nos travaux.

III.2. CONDITIONS DE PRODUCTION ET D'UTILISATION DU STARTER

III.2.1. Paramètres cinétiques et Charge microbienne des cossettes des différents marchés

Les résultats du rouissage du manioc par 15 échantillons de cossettes prélevés sur les marchés de la ville de Yaoundé (tableau 2) montrent que les paramètres cinétiques de rouissage à savoir, le temps de rouissage (T_r) et de latence (Lat : définit ici comme le temps nécessaire pour initier le ramollissement), varient en fonction des cossettes de manioc échantillonnées. La Lat est comprise entre 28,77h et 50,67h tandis que la durée de rouissage va de 39,90h à 68,68h, respectivement pour les durées minimale et maximale. Ce résultat vient confirmer les observations faites en milieu rural relatives à la variation des temps de fermentation d'une opératrice à une autre. En effet neuf (E4, E5, E6, E10, E11, E12, E13, E14 et E15) des 15 échantillons de cosettes testés ont réduit significativement ($p < 0,05$) la durée de rouissage comparativement au rouissage témoin. Néanmoins aucune différence significative n'est observée entre la vitesse de rouissage du témoin et celles des échantillons testés. C'est donc par la latence qu'on obtient la réduction de la durée de rouissage dans ce cas.

Les variations observées pouvant être corrélées à la flore microbienne initialement présente dans les échantillons, un dénombrement de quelques flores a été effectué dans les échantillons collectés et les résultats sont consignés dans le Tableau 3. Ils indiquent que, la flore mésophile aérobie totale (FAMT) des échantillons varie entre 3,5 logs ufc/g et 7,45 logs ufc/g tandis la flore bacillaires totales (FBT) varie de 2 logs ufc/g à 5,59 logs ufc/g. Ces valeurs ne sont pas très différentes pour plusieurs échantillons. Parmi les flores analysées, la flore la moins représentée est la flore Sulfite-réductrice (FSR) dont les teneurs n'excèdent pas la valeur de 1,4 log ufc/g. Plusieurs échantillons étant même caractérisés par des valeurs en deçà du seuil de détection. Tel est le cas des échantillons E1, E3, E7, E9, E10, et E15 (Tableau 3).

Ce résultat est attribuable à la différence d'origine des échantillons et à la nature de la communauté microbienne impliquée dans le rouissage. La fermentation spontanée est le moyen courant de rouir le manioc. Après cette opération, les produits sont généralement séchés et au cours du séchage, la majorité des microorganismes qui ne sporulent pas meurent et le reste de la population microbienne est maintenu dans un état déshydraté dans ces produits secs.

La réduction de la Latence et de la durée de rouissage par la plupart des échantillons en comparaison avec le témoin, indique que, le pool initial de microorganismes des

échantillons secs de manioc fermenté a contribué de différentes manières à initier le ramollissement des racines de manioc. Il est bien connu que les enzymes telles que les cellulases, les pectine-méthylestérases, les xylanases les polygalacturonases et les lyases sont responsables de l'hydrolyse des parois cellulaires, facilitant ainsi l'action microbienne qui conduit au ramollissement du manioc (Oyewole et Odunfa, 1992 ; Brauman *et al.* 1996). La première étape du rouissage est importante pour le reste du processus fermentaire parce qu'elle prépare la voie aux souches anaérobies. Généralement durant les premières heures du rouissage, on assiste à la chute de l'oxygène dissous et du pH (Brauman et al, 1996).

Il ressort des résultats de l'analyse de la corrélation entre les paramètres cinétiques que sont Lat, Vit et Tr d'une part et les différentes flores microbiennes recherchées dans les échantillons ayant présenté une durée de rouissage inférieure au témoin d'autres parts, qu'une corrélation négative et statistiquement significative a été observée entre la FAMT et la Latence, et que la FSR est positivement corrélée à la vitesse de ramollissement. Autrement dit, l'augmentation de la FAMT réduit la durée de la phase de latence, et la vitesse de ramollissement est proportionnelle à la teneur de la flore Sulfito-réductrice.

Le fait que les échantillons qui réduisent la durée de la latence n'en fassent pas autant pour la vitesse de ramollissement indique que différentes colonies microbiennes sont impliquées dans ces phases et que le rouissage n'est qu'une combinaison de leurs activités C'est ce qui explique également qu'on n'ait pas observé des corrélations significatives entre la teneur de ces groupes microbiens et la durée du rouissage (Tableau 4).

Tableau 2 : paramètres cinétiques du rouissage du manioc par 15 échantillons collectés dans les marchés.

Echantillons secs de cosettes fermentées	Paramètres cinétiques		
	Lat	Vit	Tr
Témoin	53,70±12,49h	1,80 ±0,76cd	58,79±10,23cde
E1	42,87±2,24cdefg	0,59 ±0,3a	56,52±2,83cde
E2	42,30±2,79cdefg	0,61±0,11a	55,71±0,43cd
E3	50,67±7,45hg	2,48 ±0,87de	54,20±6,17c
E4	34,23 ±3,92*abc	0,78 ±0,10ab	44,49±3,79*ab
E5	44,30±3,53efg	4,70 ±1,96*f	46,24±2,68*ab
E6	41,11±6,2defg	2,96 ±0,22e	46,82± 6,00*ab
E7	48,20±3,99fgh	2,50±0,70ae	51,58±3,02bc
E8	40,13 ±2,49*bcde	0,35±0,04a	63,19±0,24e
E9	39,03±1,88*bcde	0,28 ± 0,20a	61,13±4,17de
E10	36,90 ±1,94*abcde	1,38 ± 0,20abc	42,78±1,08*a
E11	32,82±0,47*ab	0,86 ± 0,15ab	42,32±1,22*a
E12	28,77±3,60*a	0,72 ±0,08ab	39,97±2,35*a
E13	37,82±2,43*bcde	1,49 ±0,32abc	43,36±1,23*a
E14	35,49±4,03*abcde	0,86 ±0,12ab	44,91±2,71*ab
E15	34,97±1,93*abcd	0,88 ± 0,06ab	44,09±1,31*a

E = échantillon. Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$). * Valeurs sont significativement différentes du traitement témoin ($p < 0,05$). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage

Tableau 3 : charge des différents groupes microbiens dans les échantillons de farine

Echantillons de cossettes	Groupes microbiens analysés		
	FAMT (log ufc/g)	FBT (log ufc/g)	FSR (log ufc/g)
E1	4,43 ± 0,25	3,31 ± 0,23	0,00 ± 0,00
E2	4,90 ± 0,14	4,65 ± 0,07	0,30 ± 0,00
E3	4,15 ± 0,24	3,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
E4	3,65 ± 0,24	3,17 ± 0,24	0,70 ± 0,00
E5	4,34 ± 0,33	3,31 ± 0,01	1,40 ± 0,32
E6	6,32 ± 0,08	4,97 ± 0,05	1,00 ± 0,00
E7	6,20 ± 0,03	4,14 ± 0,09	0,00 ± 0,00
E8	5,82 ± 0,31	5,57 ± 0,04	1,00 ± 0,00
E9	7,31 ± 0,00	4,45 ± 0,21	0,00 ± 0,00
E10	7,45 ± 0,00	5,59 ± 0,16	0,00 ± 0,00
E11	5,52 ± 0,07	2,00 ± 0,00	0,70 ± 0,00
E12	7,42 ± 0,00	5,02 ± 0,41	0,70 ± 0,00
E13	7,41 ± 0,19	4,63 ± 0,35	1,00 ± 0,00
E14	7,13 ± 0,10	3,95 ± 0,05	0,40 ± 0,00
E15	7,20 ± 0,29	3,02 ± 0,03	0,00 ± 0,00

Les données sont présentées Moyenne ± écart-type. FAMT= Flore aérobie mésophile totale, FBT = Flore bacillaire totale, FSR =Floresulfito-réductrice

Tableau 4 : analyse de corrélation entre les paramètres cinétiques (Lat et Tr) et les groupes microbiens.

Groupes microbiens	Paramètres cinétiques		
	Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)
FMAT	-0,340*	-0,214	0,009
FBT	0,016	-0,108	0,123
FSR	-0,124	0,410**	-0,232

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral). * . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage. FAMT= Flore aérobie mésophile totale, FBT = Flore bacillaire totale, FSR =Floresulfito-réductrice

III.2.2. Temps optimal de production du starter le plus efficace

La durée de production des cossettes en milieu rural variant d'une productrice à l'autre, nous avons examiné l'impact de la durée de production des cossettes sur le rouissage, afin d'optimiser la production de ces starters. Le Tableau 5 présente les paramètres de cinétique du rouissage des cinq starters produits en 24h, 48h, 72h, 96h et 120 h de fermentation.

Une comparaison des paramètres cinétiques de ces starters laisse apparaître trois de ces starters (Sta_72 ; Sta_96 et Sta_120) qui réduisent considérablement la durée du rouissage par rapport au témoin où la fermentation à lieu sans ajout de starter. En effet, cette durée du rouissage est réduite, de 71h pour le témoin à 40h, 36h et 33h respectivement en présence d'1% des starters Sta_72 ; Sta_96 et Sta_120. Bien que les temps nécessaires pour atteindre la fin du ramollissement ne soient pas significativement différents entre ces trois starters, les valeurs de ce paramètre ainsi que celles de la Lat, obtenues entre Sta_96 et Sta_120, sont très proches l'une de l'autre et légèrement meilleur que celles de Sta_72.

La durée du rouissage pouvant être liée à la charge initiales des microorganismes des inocula utilisés, une analyse de la concentration de quatre groupes microbiens a été réalisée à savoir : la FAMT ; la Flore lactique mésophile (FLM) ; la FBT et la FSR ; les deux dernières étant connues pour être constituées de microorganismes capables de sporuler.

Les modifications de la concentration de chacune de ces flores en fonctions des starters produits à différents temps, représentées dans le tableau 6, montrent :

- Une différence de plus de 3 unités logarithmiques pour toutes les flores, entre la farine de Sta_24 et les starters Sta_72, Sta_96 et Sta_120 ;
- des concentrations en FAMT, FLM et FBT les plus importantes pour le starter Sta_96 ;
- une grande similitude entre la FLM et la FBT en fonction des différents starters, et
- une concentration en FST peu variable et n'excédant pas les 4 logs avec la concentration plus importante dans le starter Sta_72.

Une analyse des corrélations entre ces quatre flores microbiennes et les paramètres cinétiques du rouissage analysés (temps de latence, vitesse de ramollissement et durée de rouissage) montre d'une part, une corrélation négative entre les flores microbiennes et les paramètres cinétiques Lat et Tr ; et d'autre part une corrélation positive entre ces flores et la vitesse de ramollissement (Vit). La corrélation entre la latence et les flores FAMT, et FLM n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$) ; tandis qu'elle est avec les flores FBT et FSR. En outre, l'on observe des fortes corrélations entre toutes les flores et les paramètres Vit et Tr (tableau 7).

L'ensemble des résultats obtenus à partir des différents accélérateurs testés, montre donc une démarcation du starter Sta_120 se traduisant par son temps de latence relativement faible et par conséquent sa durée de rouissage la plus petite. La plus grande vitesse de ramollissement, 1,79 mm/h, est observée avec le starter Sta_96. Il est à noter toutefois que les paramètres cinétiques de Sta_96 et Sta_120 sont statistiquement comparables. Il n'en est pas de leur FAMT dont la forte concentration dans l'échantillon Sta_96, est négativement corrélée avec la durée du ramollissement. Par ailleurs, compte tenu du gain important de temps pour l'obtention de Sta_96 (96 heures au lieu de 120 heures), notre choix s'est porté sur la durée de 96 heures comme durée de temps nécessaire à la production du starter.

La variabilité et la quantité des groupes microbiens dans les cossettes est également le résultat de leurs durées de fermentation différentes. Il a été prouvé que, les starters obtenus après 48 heures de fermentation liquide (Sta_72 ; Sta_96 et Sta_120), ont les mêmes performances du point de vue statistique, à accélérer le rouissage. Quelques études ont montré qu'avant 48 heures de fermentation, tous les groupes microbiens contribuant au rouissage du manioc ne sont pas suffisamment développés (Kimaryo *et al.* 2000 ; Abodjo *et al.* 2010) et qu'après ce temps, les genres *Bacillus* et *Lactobacillus* représentés respectivement par

Bacillus subtilis et *Lactobacillus plantarum*, constituent la flore dominante pendant le rouissage du manioc (Atriba *et al.*, 2012, Kostinek *et al.*, 2007). Ceci expliquerait l'évolution semblable de Flore Lactique Mésophile et la Flore Bacillaire Totale dans les différents starters.

Le choix de Sta_96 établit un équilibre entre les attributs de Sta_72 et ceux de Sta_120. Le fait que la production starters est précédée de l'opération unitaire du séchage, favorise la survie des bactéries capables de sporuler que sont généralement *Bacillus* et *Clostridium* dans les farines. L'utilisation de *Bacillus* comme inoculum au cours de la fermentation du manioc a fait l'objet d'une étude (Amoa-awa & Jakobsen, 1996). Ces auteurs ont montré qu'au cours de cette fermentation, *Bacillus* produisait une variété considérable d'enzymes pectinolytiques. Parmi les souches de *Bacillus* utilisées, *Bacillus subtilis* était la plus représentée (Amoa-Awa *et al.*, 1997). Cette espèce capable de croître en aérobie, peut également réaliser une fermentation acides-mixtes- butanediolique (Nakano *et al.*, 1997). Ce qui donne à ces bactéries l'avantage de coloniser rapidement le milieu de rouissage durant le changement en oxygène du milieu d'une forte pression en un environnement pauvre en oxygène (Brauman *et al.*, 1996).

La présence de la Flore Sulfite-Réductrice généralement inférieure à 1 Log₁₀ UFC/g d'échantillon sec dans les cossettes prélevées dans les marchés et 4 Log₁₀ UFC/g d'échantillon sec dans les starters ou en fin de fermentation, nous a conduits à utiliser les dilutions décimales d'une incubation en anaérobiose de Sta_96 dans un bouillon nutritif, comme ferments. Les résultats de cette expérience ont révélés une accélération du rouissage par toutes les dilutions jusqu'à la 8ème dilution, mais également une diminution de l'odeur du butyrate à partir de la 5ème dilution dont la probabilité de contenir la FSR est faible. Cette expérience montrait ainsi que la FSR est responsable de l'odeur du Butyrate caractéristique des produits à base de manioc roui. De plus, compte tenu du fait que *Clostridium* et *Bacillus* présentent beaucoup de similitudes telles que la capacité à sporuler, à produire des enzymes pectinolytiques, à croître dans les conditions anaérobies et à tolérer l'acidité, le rôle exact de *Clostridium*, minoritaire par rapport à *Bacillus*, est peu perceptible dans le ramollissement des racines de manioc.

Tableau 5 : paramètres cinétiques du rouissage des starters produits à 24, 48, 72, 96 et 120 heures de fermentation.

Conditions de rouissage	Paramètres cinétiques		
	Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)
Témoin	42,21 ± 8,29b	0,31 ± 0,14a	71,35 ± 8,48e
Sta_24	38,1 ± 11,79ab	0,44 ± 0,25a	62,06 ± 6,09d
Sta_48	39,49 ± 6,10ab	1,04 ± 0,13ab	47,26 ± 5,13c
Sta_72	34,28 ± 4,64ab	1,75 ± 0,70b	40,43 ± 1,68ab
Sta_96	30,99 ± 3,07ab	1,79 ± 0,61b	35,85 ± 1,39a
Sta_120	28,095 ± 4,55a	1,65 ± 0,55b	33,34 ± 2,76a

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage.

Tableau 6 : concentrations en FAMT, FLM, FBT et FSR des starters produits à 24, 48, 72, 96 et 120 heures de fermentation

Conditions de rouissage	Charge des groupes microbiens (Log UFC/g de matière sèche)			
	FAMT	FLM	FBT	FSR
Témoin	ND	ND	ND	ND
Sta_24	3,65±0,25a	2,23 ±0.04a	2,95±0,00a	0,70±0,00a
Sta_48	4,79±0,52b	2,76 ±0.13b	3,57±0,82a	1,40±0,23b
Sta_72	6,83±0,19c	4,31 ±0,28c	5,43±0,15b	4,04±0,09d
Sta_96	7,94±0,45d	5,02 ±1,39c	5,71±0,11b	3,17±0,24c
Sta_120	6,99±0,35c	4,95 ±1,48c	4,94±0,60b	3,25±0,23c

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes (p = 0,05) FAMT= Flore aérobie mésophile totale, FBT = Flore bacillaire totale, FSR =Flores sulfite-réductrice et FLM = Flore lactique mésophile, ND = non déterminée.

Tableau 7 : données d'analyse des corrélations entre les flores microbiennes et la paramètres cinétiques des starters produits à 24, 48, 72, 96 et 120 heures de fermentation.

Flores microbiennes	Paramètres cinétiques		
	Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)
FAMT	-0,45	0,82*	-0,88*
FBT	-0,50*	0,81*	-0,87*
FSR	-0,48*	0,86*	-0,86*
FLM	-0,45	0,90*	-0,84*

*La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage. FAMT= Flore aérobie mésophile totale, FBT = Flore bacillaire totale, FSR =Flores sulfite-réductrice et FLM = Flore lactique mésophile.

III.2.3.Effet du pH du milieu sur l'activité du starter

Les paramètres de cinétique du rouissage étant influencés par la flore microbienne, l'activité de celle-ci est fonction des paramètres environnementaux que sont le pH et la température. Nous avons donc étudié l'effet du pH du milieu sur la capacité du starter Sta_96 à réduire la durée du rouissage. Le tableau 8 présente les résultats de l'influence du pH du milieu de fermentation sur les paramètres cinétiques du rouissage des racines de manioc.

Ces résultats montrent une diminution de la phase de latence et de la durée totale du rouissage avec l'augmentation du pH du milieu tandis que la vitesse est positivement corrélée à l'augmentation du pH. Ainsi, le milieu de pH 4 est celui dans lequel on a observé les plus longues durées de latence et de rouissage, ainsi que la plus faible vitesse de ramollissement, avec des valeurs respectives de 32h ; 51h et de 0.42mm/h pour la Latence, le Temps de rouissage et la Vitesse. Pour ces mêmes paramètres, le milieu témoin dont le pH se situe autour de 6,5 s'est avéré le plus favorable à la réduction du temps de latence et de la durée totale du rouissage. En effet, on a obtenu avec ce dernier, les valeurs de 14h, 23h et 0.85 mm/h respectivement pour la Latence, le Temps de rouissage et la Vitesse de ramollissement.

Il est cependant important de noter que malgré une différence de durée de 3h entre le pH témoin et le pH 7, pour ce qui est de la latence et la durée du rouissage, aucune différence significative en terme de vitesse de ramollissement n'est observable entre ces deux milieux.

L'activité biologique étant liée aux conditions environnementales, une augmentation de la durée de rouissage aux pH voisins de 3 (pH 4 et pH 5) s'expliquerait par l'inhibition partielle de certaines réactions enzymatiques et par conséquent des microorganismes du starter responsables desdites réactions. En effet des études (Ampe *et al.* 1994 ; Brauman *et al.* 1996) ont montré que la majorité des microorganismes du rouissage ont un pH optimal de croissance qui se situe entre le pH 6 et pH 8. Les milieux trop acides ou trop basiques inhibent l'activité cellulaire et par conséquent l'activité enzymatique.

III.2.4.Effet de la température du lieu d'incubation sur l'activité du starter

Les résultats de l'effet de la température sur les paramètres cinétiques du rouissage, présentés dans le tableau 9, montrent une diminution de la latence et de la durée totale du rouissage au fur et à mesure que la température du milieu du rouissage augmente entre 25°C et 40°C. La durée la plus longue est obtenue à température ambiante et la durée de rouissage

la plus courte est obtenue à 40°C. En effet, on a pu observer une réduction de la durée de fermentation de 50% entre ces deux températures. Cette durée passant d'environ 50h durant le rouissage à la température ambiante à 22h lorsque le rouissage est mené à 40°C. Par ailleurs, Il est à souligner que toutes les fermentations conduites à des températures constantes avaient des temps de rouissage inférieurs à celui du témoin (température ambiante), où la température fluctue avec les heures de la journée.

L'effet de la température sur la durée de rouissage étant significatif avec une température optimale de rouissage en présence du starter de l'ordre de 40°C. Ce résultat peut être attribué à la Pectine lyase, partiellement responsable de la dégradation de la paroi cellulaire et dont l'activité optimale est comprise entre 35°C-60°C (Ampe et al, 1994 ; Hamdy, 2005 ; Yadav et al, 2009).

Tableau 8 : Paramètres cinétiques de Sta_96 en fonction du pH du milieu de fermentation de la variété de manioc "*Six-mois*".

pH du milieu	Paramètres cinétiques		
	Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)
pH_6,5	13.89 ± 1.11a	0.85 ± 0.14c	23.48 ± 0.51a
pH_4	31.98 ± 1.31d	0.42 ± 0.03a	51.09 ± 0.08e
pH_5	21.84 ± 0.59c	0.58 ± 0.04b	35.68 ± 0.34d
pH_6	16.56 ± 0.86b	0.53 ± 0.04ab	31.71 ± 0.29c
pH_7	17.20 ± 0.35b	0.83 ± 0.04c	26.85 ± 0.12b

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes (p = 0,05). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage.

Tableau 9 : Paramètres cinétiques de Sta_96 en fonction de la température du milieu de fermentation.

Températures d'incubation	Paramètres cinétiques		
	Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)
Ambiante (28 ± 5°C)	21.87 ± 1.10c	0.29 ± 0.01a	49.46 ± 0.15e
25°C	26.42 ± 2.01d	0.39 ± 0.01b	46.94 ± 1.48d
30°C	21.84 ± 0.59b	0.33 ± 0.02a	37.90 ± 1.48c
35°C	13.60 ± 0.61b	0.59 ± 0.03c	27.97 ± 0.12b
40°C	8.19 ± 0.59a	0.59 ± 0.03c	21.77 ± 0.10a

La fermentation a été réalisée avec la variété de manioc "*Six-mois*". Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes (p = 0,05). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage.

III.2.5.Effet des différents traitements du starter sur la réduction du temps de rouissage

Dans le but d'optimiser l'activité du starter, ce dernier a subi quatre traitements physico-chimiques différents. Il s'agissait, faut-il le rappeler de : une activation thermique, une activation alcoolique, une pré-culture sur bouillon nutritif et une pré-culture dans de l'eau. Les résultats des modifications des paramètres cinétiques du starter ainsi que les pourcentages de réduction de la durée naturelle du rouissage à la suite des traitements sont consignés dans le tableau 10.

La germination des spores a été stimulée par voies thermique et alcoolique. Ces processus ont pour mérite d'éliminer les cellules végétatives tout en activant les spores. Les résultats du tableau 9 ne révèlent aucune amélioration significative de la durée de rouissage lorsque le starter est chauffé au préalable à 80°C pendant 10 min (Sta_96_The). En effet, ce mode d'activation de la flore sporulée n'a permis qu'une réduction de 18,87% de la durée naturelle du rouissage contre 51,06% obtenus lorsque le starter est activée avec de l'alcool 60%. L'avantage de l'activation alcoolique sur l'activation thermique du starter, pour ce qui est de sa capacité à réduire la durée du rouissage, pourrait s'expliquer par le fait que la première permet d'activer un grand nombre de spores par rapport à la seconde qui, le plus souvent, induit une thermo-résistance des cellules qui restent dans leur état de spores (Etoa *et al.*, 2005). La réduction du temps de rouissage après activation montre que la flore sporulée à elle seule permet d'accélérer le processus de rouissage.

Pour ce qui est de la vitesse de ramollissement, seul le prétraitement Sta_96_Eau induit une augmentation significative de celle-ci par rapport au contrôle positif (Sta_96). La détermination de la durée du rouissage indique qu'elle va de 62,00h pour le témoin négatif (fermentation en absence de starter) à 25,75h pour un rouissage accéléré avec Sta_96 préalablement incubé pendant 12h dans l'eau (Sta_96_Eau). De plus l'utilisation de Sta_96_Bnu ; Sta_96_Alc ou Sta_96_Eau réduit significativement la durée de rouissage par rapport à la fermentation en absence de starter, à l'utilisation de Sta_96_The et Sta_96. Le meilleur gain de temps a été observé avec Sta_96_Eau, qui a permis de réduire de 58,47 % la durée d'un rouissage spontané par rapport à Sta_96 qui la réduit de 42,61%. Ainsi, on note une amélioration considérable de la durée du rouissage lorsque Sta_96 a été prétraité dans un bouillon enrichi. Ceci serait dû au fait que les milieux enrichis favorisent la croissance rapide de tous les microorganismes du starter, réduisant ainsi les formes sporulées ce qui a pour corolaire d'initier le rouissage. D'un autre côté, l'incubation dans l'eau de Sta_96 pendant 12 heures, stimule à la croissance, bien qu'elle soit faible à cause du manque de nutriments, de la

microflore présente dans ces milieux déshydratés que sont les farines et à l'hydratation des spores favorisant ainsi leur germination.

Tableau 10 : Paramètres cinétiques de Sta_96 en fonction du type de prétraitement du starter

Modes de conduite du rouissage	Paramètres cinétiques			pourcentage de réduction (%)
	Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)	
Fermentation naturelle	39.87 ± 6,65b	0,53±0,34a	62,00±11,55c	0
Sta_96	27.39 ± 6,27a	1,17±0,56ab	35,58±2,34a	42.61
Sta_96_The	38,12 ± 9,83b	0,70±0,21ab	50,30±6,10b	18.87
Sta_96_Alc	20,45 ± 2,56a	0,81±0,04ab	30,34±2,07a	51.06
Sta_96_Eau	19,24 ± 0,69a	1,23 ± 0,05b	25,75 ± 0,43a	58.47
Sta_96_Bnu	19,49 ± 1,76a	0,96 ± 0,06ab	27,89 ± 1,71a	50

La fermentation a été réalisée avec la variété de manioc "*Six-mois*". Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne, suivies de lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$). Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage.

III.2.6. Effet des différents traitements du starter sur la détoxification des racines de manioc

Les résultats de la teneur en cyanogènes des pâtes issues des rouissages des différents traitements du starter Sta_96 sont indiqués dans le Tableau 11. Ils révèlent une réduction de la teneur en cyanure des racines indépendamment de la méthode de rouissage. L'utilisation du starter Sta_96 prétraité n'a pas montré une forte détoxification par rapport à son utilisation sans prétraitements. Toutefois, les starters Sta_96 et Sta_96_Bnu ont permis d'obtenir des pâtes ayant respectivement des teneurs en cyanure de $7,86 \pm 0,00$ ppm et $36,35 \pm 0,00$ ppm, valeurs inférieures au témoin ($52,33 \pm 0,00$ ppm). Par rapport à la fermentation spontanée (sans ajout de starter) qui entraîne un taux de réduction en cyanure des racines de 92,02%, l'ajout de Sta_96 entraîne une réduction de 98,8%. Cette dernière devant être associée à la réduction de la durée de fermentation de 42,7% (Tableau 11). Bien que Sta_96_Eau ait permis de réduire de 58,77% la durée naturelle du rouissage, il n'a provoqué qu'une diminution de 85,85% de la teneur en cyanure totale des racines de manioc. C'est aussi celui dont le pH du milieu en début de fermentation est le plus acide avec une valeur de pH de 4,78.

La capacité des différents traitements du starter à réduire la durée naturelle du rouissage n'est pas à l'image de leur aptitude à réduire la teneur en cyanure par rapport au témoin. Plusieurs auteurs ont montré que la diminution de la teneur en cyanures totaux est l'œuvre combinée d'enzymes endogènes de la plante et d'enzymes d'origine microbienne (Kimaryo *et al.* 2000 ; Obilie *et al.* 2004). La détoxification la plus importante a été obtenue lorsque Sta_96 a été utilisé sans prétraitement préalable. Il a été montré dans cette étude que les différents prétraitements du starter conduisent à des inocula ayant de pH bas qui par conséquent réduisent à leur tour les pH initiaux des milieux de fermentation. Ce qui aurait pour conséquence d'entraîner la réduction de l'activité de la linamarase libérée des cellules de la plante après la désintégration de leurs parois par les microorganismes. En effet, les microorganismes accélèrent la vitesse de ramollissement et l'acidification, paramètres fortement corrélés à l'activité des enzymes dégradant la paroi cellulaire, phénomène responsable de la mise en contact de la Linamarine et de la linamarase et par conséquent de la détoxification (Wesby & Choo. 1994 ; Ampe *et al.* 1995). Selon Ogonnaya & Oyebuchi, (2011), plus de 60% de l'activité relative de la linamarase s'exprime dans les zones de pH compris entre 4 et 5, avec un maximum au pH 4,5. On peut donc émettre l'hypothèse selon laquelle plus rapide est le rouissage plus vite s'acidifiera le milieu de fermentation et faible sera l'activité de la linamarase exprimée.

L'impact direct non démontré du pH sur le niveau de réduction du cyanure dans les pâtes fermentées, suggère une activité d'enzymes endogènes nécessaire mais insuffisante à elle seule pour détoxifier le manioc au cours du rouissage. Par conséquent, elle suggère l'existence d'une action concertée de ces enzymes et celles libérées dans le milieu de fermentation par les microorganismes.

Toutefois, bien que les teneurs en composés cyanogènes soient supérieures dans les pâtes au seuil (10 ppm) d'acceptabilité recommandé par la FAO, à l'exception de celles obtenues à partir de l'accélération du rouissage avec Sta_96, ces pâtes, pour être consommées subiront une autre opération : la cuisson à la chaleur qui, à elle seule peut favoriser à réduire d'environ 12% le teneur en cyanure totaux comme la démontré Agbor & Mbome (2006).

Tableau 11 : teneur et taux de réduction en cyanures totaux des pâtes fermentées en fonction du pH initial du milieu de fermentation

Echantillons	Cyanures totaux (ppm)	Taux de réduction (%)	pH initial du milieu
Racine fraîche	655 ± 0,90g	0	-
Témoin	52,33 ± 0,00c	92,01	6,33
Sta_96_The	110,69 ± 0,01f	83,1	5,23
Sta_96_Alc	90,39 ± 0,01d	86,2	5,24
Sta_96	7,86 ± 0,00a	98,8	5,33
Sta_96_Eau	92,68 ± 0,00e	85,85	4,78
Sta_96_Bnu	36,35 ± 0,00b	94,45	5,03

La fermentation a été réalisée avec la variété de manioc "*Six-mois*". Les résultats des teneurs en cyanures totaux sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Les valeurs de la même colonne suivies de lettres différentes sont significativement différentes (p < 0,05)

III.2.7. Paramètres cinétiques des starters produits dans différents écosystèmes

Une étude de l'influence de la localité de production du starter a été menée en vue de connaître s'il était possible de divulguer l'utilisation du « starter 96 heures » dans les différentes localités du Cameroun où l'opération de rouissage est pratiquée par les transformateurs des racines de manioc en produits dérivés. A cet effet, l'évolution du ramollissement a été suivie au cours du temps pour les starters produits dans les localités de Bafia, Bélabo, Eséka et au laboratoire de microbiologie de Yaoundé 1 et testés sur quatre variétés de manioc. Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure 16.

L'ensemble de ces courbes se caractérise par trois phases : une phase de latence qui est le temps mis entre l'ajout du starter et le début de ramollissement ; une phase de ramollissement croissante et exponentielle et une phase stationnaire indiquant le ramollissement maximale. Les augmentations des indices de pénétration au cours du temps, reflet du ramollissement, montrent que, quelque soit la variété de manioc, les starters de Bafia (BAF), Bélabo (BBO) et Laboratoire (LAB) sont ceux dont les cinétiques de rouissage sont les plus importantes. Le ramollissement des racines est en effet obtenu, en présence de ces starters, en moyenne en 24h, 27h et 26h respectivement pour les starters BAF, BBO et LAB contre 33h en moyenne pour ESK et 52 h en moyenne pour les témoins (rouissages naturels).

La détermination des temps de latence (Lat) et des vitesses de rouissage (Vit) des différents essais grâce au modèle de Barany et Roberts, représentés dans le tableau 12 montre qu'en générale, le début de ramollissement des racines de manioc de la variété *Mintol-meko* mais plus de temps que les autres variétés de manioc. La durée de la Lat va de 12 h à 19 h avec une durée minimale de 12,46 h pour la variété *Six-mois* en présence du starter dont elle a servi à la production. On constate en générale que pour les deux variétés traditionnelles qui ont servi à la production des starters, ces derniers réduisent plus la durée de la phase de latence lorsqu'ils sont mis en présence des variétés de manioc ayant servi leur production. C'est le cas des starters ESK et BAF produits respectivement à partir des variétés *Mintol-meko* et *Six-mois*. Sur la base des analyses statistiques, les différents starters peuvent être rangés en deux groupes : un groupe majoritaire constitué des starters BAF, BBO et LAB. Ce groupe se caractérise par des essais qui présentent la meilleure évolution des paramètres du ramollissement. Et un groupe minoritaire constitué du starter ESK dont les paramètres sont très peu éloignés du témoin.

Tableau 12 : paramètres cinétiques du starter sur le ramollissement des racines des variétés de manioc améliorées TMS92/0326 et TMS96/0023, en présence des starters de Bafia (BAF), Bélabo(BBO) , Eséka (ESK) et Laboratoire (LAB).

Variétés manioc	de Echantillons de farine	Paramètres cinétiques du rouissage		
		Lat (h)	Vit (mm/h)	Tr (h)
TMS 96/0023	BAF	13,71 ± 0,84abcd	0,83±0,09de	23,42 ± 0,22a
	BBO	14,90 ± 0,76abdcef	0,71±0,06abcde	26,22 ± 0,20bc
	ESK	17,21 ± 0,90ghi	0,47±0,03ab	34,27 ± 0,19h
	LAB	14,55 ± 0,86abcde	0,95 ± 0,11e	23,04 ± 0,14a
Six-mois	BAF	12,46 ± 0,77a	0,77 ± 0,07cde	22,91± 0,19a
	BBO	13,09 ± 1,23abc	0,73 ± 0,01bcde	24,05 ± 1,08a
	ESK	12,76 ± 1,62ab	0,43 ± 0,05a	31,53 ± 0,59g
	LAB	16,65 ± 1,24efgh	0,66 ± 0,09abcd	24,92 ± 0,46a
TMS 92/0326	BAF	14,31 ± 1,02abcd	0,60 ± 0,06abcd	27,73 ± 0,33cd
	BBO	14,92 ± 1,37bcdef	0,54 ± 0,06abc	29,85 ± 0,31ef
	ESK	17,00 ± 1,29fgh	0,49 ± 0,05abc	33,44 ± 0,40gh
	LAB	15,09 ± 1,11cdefg	0,60 ± 0,06abcde	28,51 ± 0,25de
Mintol-meko	BAF	18,27 ± 0,63hi	1,23 ± 0,05f	24,74 ± 0,43ab
	BBO	19,49 ± 1,76i	0,96 ± 0,06e	27,76 ± 2,72cd
	ESK	15,57 ± 0,57defg	0,44 ± 0,05a	33,34 ± 2,76gh
	LAB	19,49 ± 1,76i	0,96 ± 0,06e	27,89 ± 1,71cd

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écart-type. Pour la même colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes (p = 0,05). .Lat = Latence, Vit = vitesse et Tr = temps de rouissage.

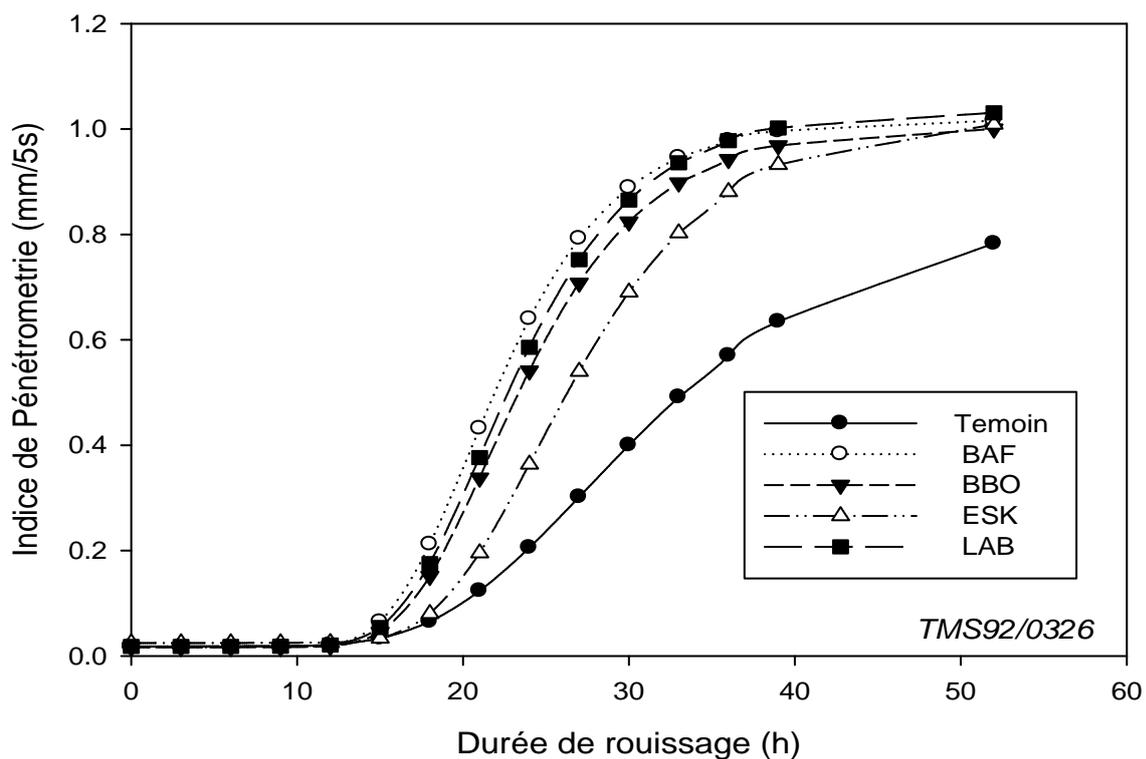
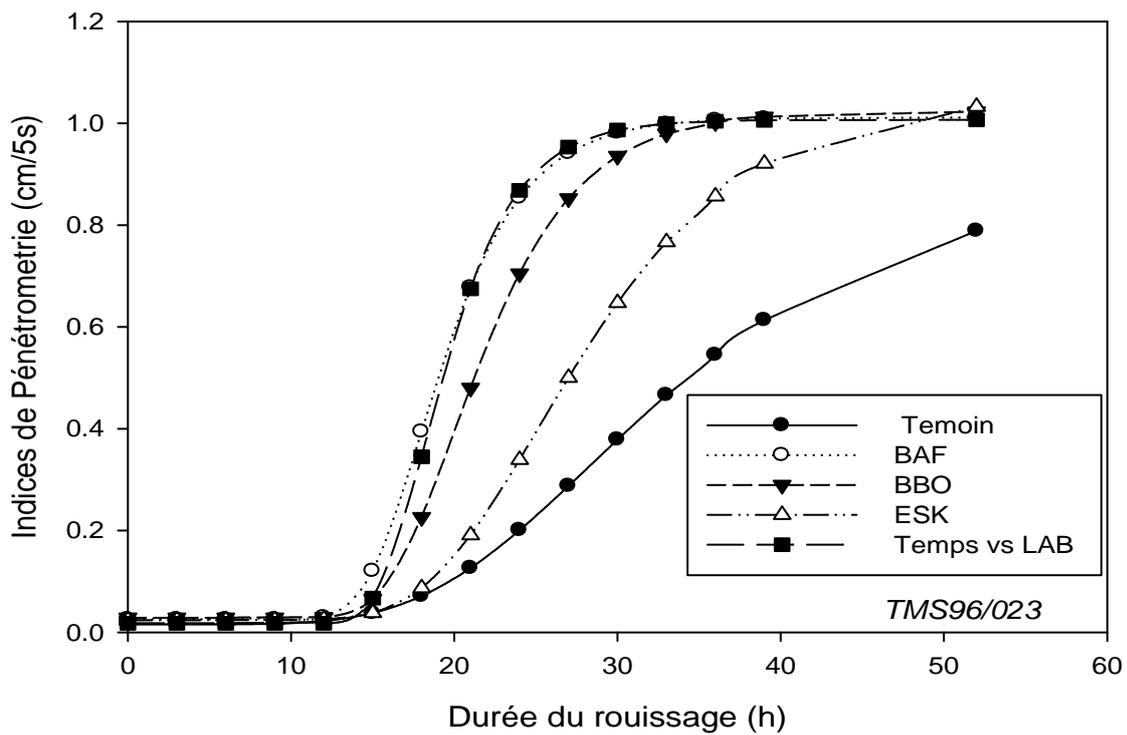


Figure 16 A. Evolution du ramollissement en fonction du temps des racines des variétés de manioc améliorées TMS92/0326 et TMS96/0023, en présence et en absence (témoin) des starters de Bafia (BAF), Bélabo(BBO), Eséka (ESK) et Laboratoire (LAB)

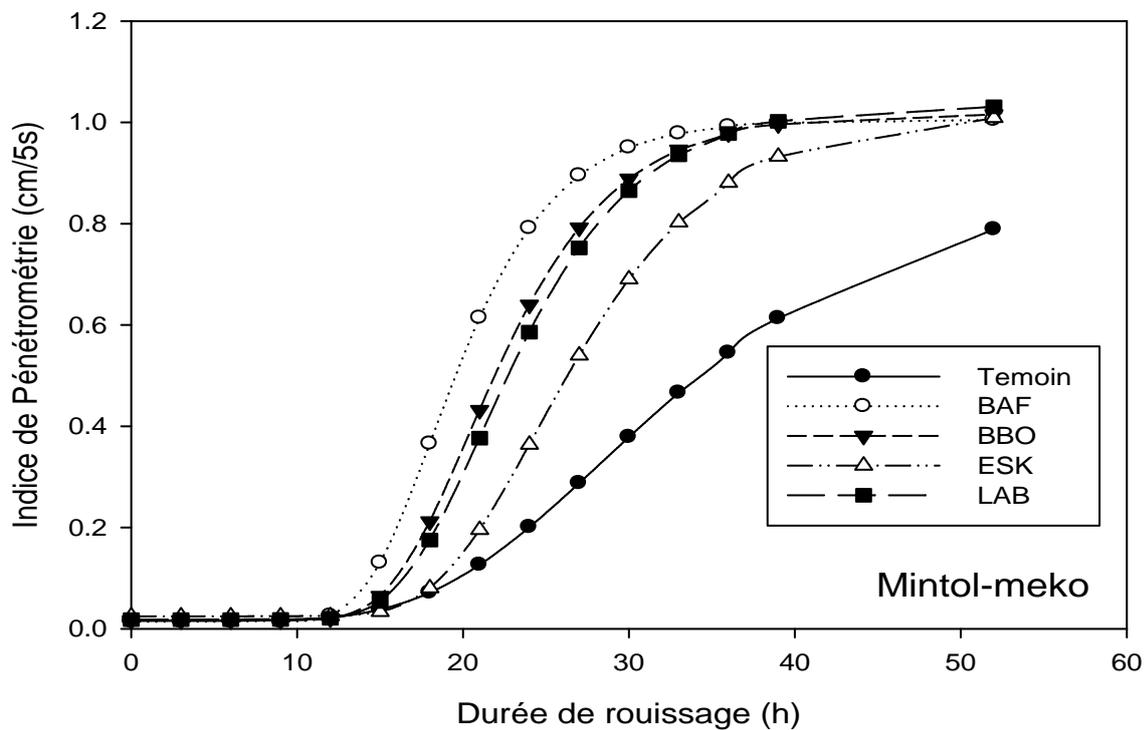
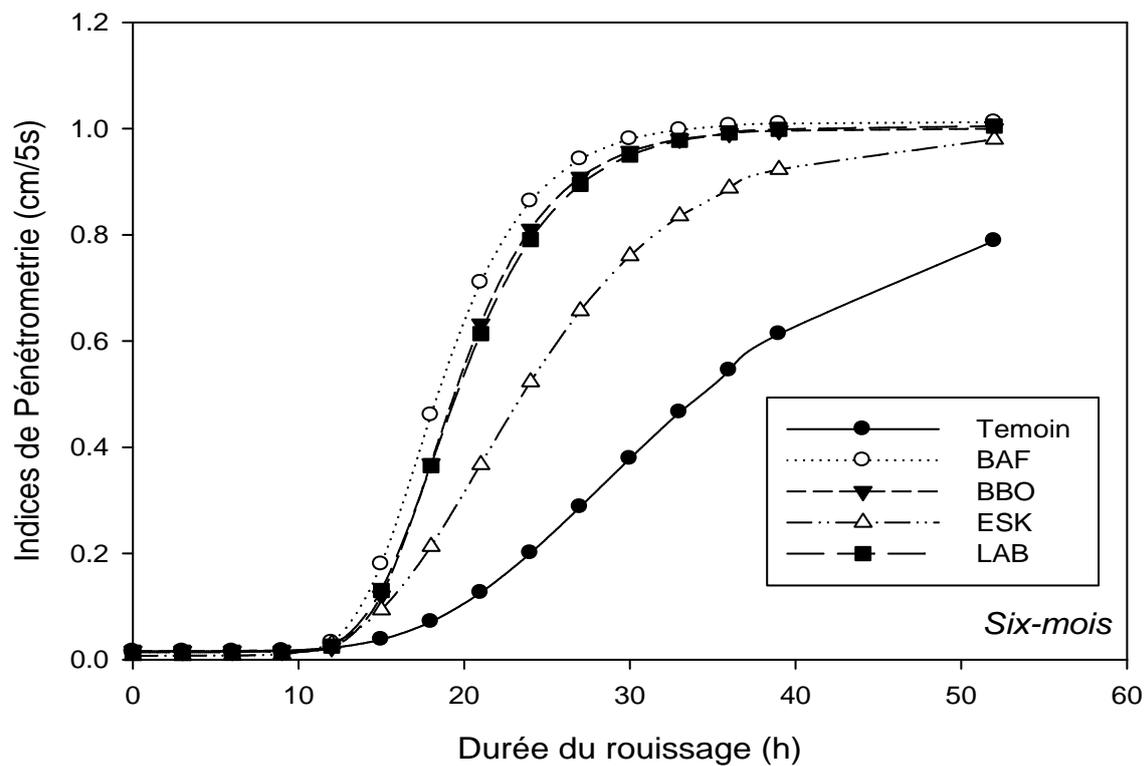


Figure 16 B. Évolution du ramollissement en fonction du temps des racines des variétés de manioc traditionnelles amères *Six-mois* et *Mintol-meko* en présence et en absence (témoin) des starters de Bafia (BAF), Bélabo(BBO) , Eséka (ESK) et Laboratoire (LAB)

III.2.8. Charge microbiologique des starters

Les résultats de l'évaluation de la charge microbienne des différents starters, sont présentés dans le tableau 13. Ce tableau montre que la FMAT des starters après croissance sur la gélose PCA est comprise entre 7,6 logs UFC/g (Eséka) et 10,6 logs UFC/g (Bélabo). Les starters de Bafia et Laboratoire ont une charge moyenne de 8,7 logs UFC/g. La concentration élevée de la flore mésophile s'explique par la durée de rouissage de 96 heures qui a permis à leur production. Toutefois, cette charge de la FMAT est inférieure à celle dénombrée par Brauman et collaborateurs en 1996 dans le milieu de rouissage après 96 heures de fermentation. Ceci s'expliquerait par la nature de produits séchés que constitue les starters. En effet, le séchage diminue une grande partie de la forme végétative non sporulant.

Le nombre des fongiques autour de 5 unités logarithmiques ne varie pas d'un starter à l'autre et constitue la flore microbienne la moins nombreuse.

Après croissance sur la gélose MRS, la flore lactique a été obtenue. Elle est comprise entre 6,8 logs UFC/g (Eséka) et 7,5 logs UFC/g (Bélabo, Laboratoire et Bafia). Les bactéries lactiques sont en effet les microorganismes dominants, dans les produits amylicés fermentés (Yao *et al.*, 2009). Leurs principales fonctions dans ces produits comprennent la production d'acides organiques et de composés aromatiques ainsi que d'autres effets tels que la stimulation des levures (Amoa Awua *et al.*, 1996 ; Messens & De Vuyst, 2002), l'inhibition des micro-organismes pathogènes (Djè *et al.*, 2008 ; Tou *et al.*, 2006), l'amélioration de la qualité nutritionnelle, l'élaboration de la texture et la dégradation des composés toxiques peuvent aussi être observés (Holzapfel, 2002).

Le nombre de microorganismes amylolytiques varie ainsi de 5,9 logs UFC/g (Eséka) à 6,6 logs UFC/g (Bafia et Laboratoire). Les quantités de différentes flores microbiennes ne sont pas très différentes entre les starters de Bafia, de Bélabo et du Laboratoire. Ceci s'expliquerait par leur temps de production commun.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent que le starter le moins riche en microorganisme est celui d'Eséka. Par conséquent, il est prévisible que les paramètres cinétiques de ramollissement des racines (latence et vitesse) en présence de ce starter soit moins élevés que ceux des autres starters et de ce fait son temps de rouissage soit plus long.

Tableau 13 : charge microbienne des starters produits dans les différentes localités

Flores microbiennes dénombrées	Charge microbiennes (log UFC/g de matière sèche)			
	Bafia	Bélabo	Eséka	Laboratoire
Flore Mésophile Aérobie totale (FMAT)	8,6	10,6	7,6	8,7
Flore Fongique Totale (FFT)	5,9	5,5	5,5	5,8
Flore Lactiques Mésophiles (FTM)	7,5	7,3	6,8	7,5
Flore Amylolytiques Totale (FAT)	6,6	6,4	5,9	6,6

III.2.9. Conclusion partielle

L'objectif visé dans cette partie était de rechercher les conditions de production et d'utilisation des cossettes de manioc fermenté et utilisées comme ferments dans le processus de rouissage. Il s'agissait au préalable de collecter différents échantillons de cossettes dans différents marchés, ensuite de comparer leur aptitude à réduire la durée naturelle de ramollissement des racines de manioc et enfin de définir la durée de fermentation nécessaire à la production des cossettes ayant la meilleure capacité à réduire de façon répétitive la durée naturelle du rouissage. Cette étude a permis de montrer que certains échantillons collectés réduisent la durée naturelle du rouissage contrairement à d'autres. Le starter produit après 96 heures de fermentation réduit, sans fluctuations majeures, aussi bien le temps mis pour accomplir le rouissage que le niveau de toxicité des racines. Les conditions pratiques de son utilisation ont été définies. Ainsi, en industrie où la température et le pH peuvent être contrôlés, son activité est optimale aux pH compris entre 6 et 7 et à la température de 40°C. En milieu rural, il est utilisé plus simplement et efficacement à la dose de 1% (g/g des racines à rouir), pour des niveaux de détoxification avoisinant les 98%. Il reste à espérer une implémentation de cette méthodologie en milieux rural et industriel pour une productivité accrue en dérivés de manioc dépendant du rouissage. La flore microbienne présente dans ce starter diminue au cours du temps, et bien qu'il ait été utilisé pendant près de six mois, il serait intéressant de rechercher la durée maximale de son utilisation. Ce qui permettra aux utilisateurs du starter de connaître le temps nécessaire à son utilisation avant son renouvellement. De plus la qualité des produits fermentés est fonction de la qualité et de la quantité de la flore microbienne présente dans le processus fermentaire. Cette flore microbienne est souvent déterminée en fonction de l'écosystème où a lieu le rouissage. Une étude de l'influence de l'écosystème de production du starter sur la qualité final d'un sous-produit du rouissage trouve alors sa place importante dans cet objectif qui est le nôtre de recherche et développement.

III.3. PROPRIETES PHYSICI-CHIMIQUES ET DE VISCO-ELASTICITE DES FARINES ISSUES DES ROUISSAGES ACCELERES

III.3.1. Paramètres biochimiques des farines

III.3.1.1. L'acidité totale

Le rouissage du manioc est une opération au cours de laquelle les sucres fermentescibles sont transformés en acide. Cette production d'acide entraîne une réduction du pH et une augmentation de l'acidité titrable totale, qui comparativement au pH est le meilleur indicateur de l'acidité du milieu (Abodjo *et al.*, 2010). La quantité d'acide produit pouvant avoir un impact sur les caractéristiques biochimiques du produit, nous avons dosé la quantité d'acide lactique présente dans les différentes farines et une comparaison des teneurs moyennes d'acide lactique produites a été faite entre la farine issue d'un rouissage accéléré et celle du rouissage naturel et les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 14. Les résultats de l'analyse de la teneur en acide lactique des farines issues des différents essais montrent que celle-ci est comprise entre 0,24 et 0,47% (m/v équivalent d'acide lactique). Les teneurs en acide lactique les plus élevées sont celles des rouissages naturels. Dans ces derniers, les teneurs en acide lactique des farines sont significativement différentes d'une variété de manioc à une autre. Elles sont de : 0,47%, 0,31%, 0,42% et 0,27% respectivement pour TMS96/023, Six-mois, TMS92/036 et Mintol-meko. Cependant, quelque soit la variété de manioc, les teneurs en acide lactique ne sont pas significativement différentes dans les farines qui proviennent des rouissages accélérés. Ainsi, la présence du starter dans le milieu du rouissage se caractérise par une diminution de l'acidité totale et une uniformisation de la quantité d'acide produite.

Les différences en teneur d'acide lactique observées entre le rouissage naturel et le rouissage accéléré, peut s'expliquer par le premier qui, de durée plus longue conduit à la multiplication de la flore lactique entraînant une production importante d'acide lactique et à une baisse de pH (Amoa-Awua *et al.*, 1996). Ainsi, grâce à leur teneur en acide élevée, les farines issues d'un rouissage naturel se conserveraient beaucoup plus longtemps que celle du rouissage accéléré par le starter. En effet, la production d'acide lactique dans le milieu fermentaire contribue à inhiber la flore pathogène (Schnürer & Magnusson 2005). Cependant ces résultats montrent également que l'ajout du starter permet de contrôler la production d'acide dans le milieu de fermentation.

III.3.1.2. Teneur en Cyanures totaux

La teneur en composés cyanogénétiques dans les sous-produits du manioc est un indicateur de la qualité sanitaire de ces derniers. Dans l'objectif d'évaluer l'incidence de la fermentation et de l'utilisation du starter sur la détoxification des racines de manioc, une étude comparative de la teneur en cyanures totaux dans la farine non fermentée (FNF), la farine fermentée naturellement (FFN) et la farine provenant de l'utilisation du starter (FFSt) a été réalisée. Les teneurs moyennes en cyanure de ces différents échantillons sont consignées dans le Tableau 14.

Il apparaît de ce tableau que les teneurs en cyanures totaux des farines FNF, FFN et FFSt sont respectivement comprises entre 33 mg/kg et 85 mg/kg ; 8 mg/kg et 19 mg/kg et 2 mg/kg et 6 mg/kg. Quelque soit la variété de manioc, la farine FNF est celle dont la teneur en cyanure est la plus élevée, avec des teneurs largement supérieures au seuil de tolérance de 10 mg/kg recommandé par la FAO. Lorsque les racines sont fermentées, on observe une diminution du taux de cyanure dans les farines obtenues. Cette teneur en cyanure passe respectivement pour les variétés de manioc TMS96/023, Six-mois, TMS92/0326 et Mintolmeko, de 33 mg/kg à 8mg/kg, de 5 1mg/kg à 14 mg/kg, de 51 mg/kg à 19 mg/kg et de 85 mg/kg à 14 mg/kg ; Soit des pourcentages de réduction respectif de l'ordre de 76%, 72%, 62% et 77% par rapport à la FNF. Ces résultats sont en accord à ceux de plusieurs auteurs qui ont montrés que la fermentation est le moyen le plus efficace d'élimination des composés cyanogénétiques endogènes, même pour des variétés de manioc riches en cyanures (O' Brian *et al.* 1992 ; Kobawila *et al.* 2005; Agbor & Mbome. 2006).

En présence du starter, on observe une détoxification plus poussée des racines. Ainsi la quantité en cyanure de la farine FFSt des variétés de manioc TMS96/023, Six-mois, TMS92/0326 et Mintolmeko, est respectivement de 1,98 mg/kg ; 2 mk/kg, 3,12 mg/kg et 5,9mg/kg correspondant ainsi à des taux de réduction compris entre 93% et 96% par comparaison à la farine témoin FNF. Les teneurs en cyanures totaux, obtenues avec la farine FFSt sont inférieures à celles obtenues avec les pâtes issues du rouissage accéléré. Ce résultat montre à suffisance que le séchage contribue à éliminer le cyanure.

La différence en termes de vitesse et de quantité de détoxification, observée entre le rouissage naturel et le rouissage accéléré, serait la conséquence de la différence de charge microbienne en début de fermentation dans ces deux essais. En effet, l'ajout du starter en début de fermentation augmente la teneur en microorganismes du milieu de fermentation. Ces microorganismes accélèrent la vitesse de ramollissement et l'acidification. Ces deux

paramètres sont fortement corrélés à l'activité des enzymes dégradant la paroi cellulaire, phénomène responsable de la mise en contact de la Linamarine et de la linamarase et par conséquent de la détoxification (Wesby & Choo. 1994 ; Ampe *et al.* 1994).

III.3.1.3. Teneur en amylose et amylopectine

Les courbes standards d'amylose et d'amylopectine des farines sont représentées sur la Figure 17 et les teneurs obtenues dans le Tableau 14. Les équations de régression sont de : $y = 24.55x$ pour l'amylose et de $y = 11.42x$ pour l'amylopectine ; la valeur de R carrée est de 0.994.

Les teneurs en amylopectine de la FNF issues des différentes variétés de manioc sont comprises entre 36,82% à 59,88% et diffèrent d'une variété de manioc à une autre. La teneur en amylopectine la plus élevée est celle du cultivar TMS92/032 (59,88%) suivie de Mintolmeko, Six-mois et de TMS96/023 qui ont respectivement chacune, les teneurs en amylopectine de 49,13%, 47,98% et 44,69%. Cette différence en amylopectine dépend du type de cultivar, et des facteurs environnementaux (Aryee *et al.*, 2006 ; Afoakwa *et al.*, 2012). On observe une diminution non significative de l'amylopectine entre les variétés de manioc et au sein de la même variété, avec la fermentation naturelle. Ainsi, la farine FNF, se caractérise par sa teneur moins importante en amylopectine comparativement à la farine FNF. Toutefois, lorsque le rouissage s'effectue en présence du starter, cette diminution de la teneur en amylopectine devient significative à l'exception des farines provenant des maniocs TMS96/023 et Mintolmeko. En effet, elle quitte de 48% à 37%, de 59,88% à 45,94% respectivement aux farines FFSt issues des variétés de manioc Six-mois et TMS92/032. Cette diminution de l'amylopectine au cours du rouissage résulte de l'hydrolyse enzymatique et/ou de l'hydrolyse acide de l'amylopectine lors de la fermentation des sucres par les microorganismes (Numfor *et al.*, 1995).

La quantité d'amylose est un facteur important dans presque toutes les propriétés de l'amidon. Les valeurs obtenues de l'amylose dosé, indiquent que celles-ci sont comprises entre 11% et 16%. Ces valeurs sont inférieures à celle de Nuwamanya *et al.*, 2010 dont les teneurs en amylose des cultivars de manioc étaient comprises entre 23% et 27%. Une faible teneur en amylose conduit souvent à augmenter la cristallinité relative de l'amidon, due à la réduction des régions amorphes dans la granule d'amidon (Tukomane *et al.*, 2007).

Pour les échantillons de farine non fermentée, on ne note pas de différence significative ($p < 0,05$) entre les variétés de manioc. Cependant, l'on observe une augmentation de la teneur en amylose apparent aussi bien dans les farines issues de la fermentation naturelles que pour celles issues du rouissage avec le starter. Parmi les échantillons fermentés, ceux issus d'un rouissage accéléré ont des teneurs en amylose apparent légèrement supérieures à ceux issus d'un rouissage naturel (FFN). La teneur en amylose affecte également les propriétés de rétrogradation des farines/amidons.

Ainsi, les farines ayant des teneurs en amylose élevée ont tendance à rétrograder rapidement. Ceci est dû aux agrégations de l'amylose agissant noyau durant le processus de rétrogradation (Rodriguez *et al.*, 2008). Cette différence pourrait s'expliquer par la formation probable d'« amyloses apparents », résultant de l'hydrolyse enzymatique et/ou acide de l'amylopectine au niveau des régions amorphes de granules d'amidon. En effet, il a été montré que lorsqu'on traite l'amidon initialement avec de l'amylase, celle-ci attaque les régions amorphes de granules d'amidon et l'amidon de manioc en est le plus susceptible à cette activité de l'amylase. Cette enzyme libère des chaînes d'amylopectine constituées d'environ 18 résidus de glucose, qui ont la capacité de se complexer avec de l'iode pour donner une couleur bleue similaire à celle obtenue avec l'amylose (Banks & Muir, 1974 cité dans Numfor *et al.*, 1994). Par ailleurs, plusieurs études ont montrés *Bacillus subtilis* qui a la capacité de produire l'amylase fait partie des souches qui prédominent dans le milieu de fermentation après 48 heures de fermentation (Kostinek *et al.*, 2007 ; Ariba *et al.*, 2012). Ainsi, l'utilisation des starters, qui, faut-il le rappeler, proviennent d'une fermentation de 96 heures, seraient riches en *Bacillus subtilis*. Ce qui explique l'augmentation de la teneur en amylose des farines dont la production s'est effectuée en présence de ces starters.

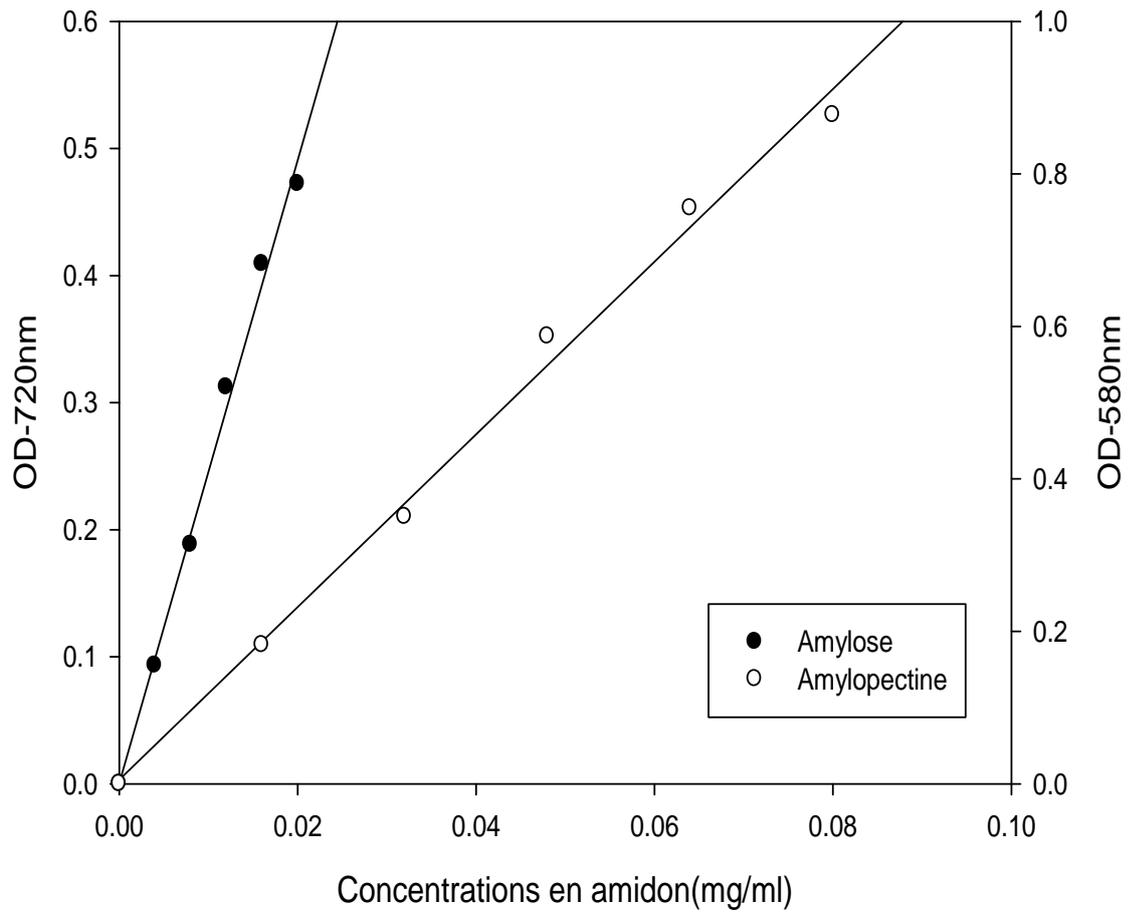


Figure 17. Courbes standards d'amylose et d'amylopectine pour les farines de manioc

Tableau 14 : paramètres biochimiques des échantillons de farine des différentes variétés de manioc.

Paramètres Biochimiques	Echantillons de farines	Variétés de manioc			
		TMS 96/023	Six-mois	TMS 92/032	Mintol-meko
Acidité totale	FNF	ND	ND	ND	ND
Titratble (%)	FFN	0,47±0,05d	0,32±0,03b	0,42±0,42c	0,27±0,03a
	FFSt	0,29±0,03a	0,24±0,02a	0,29±0,29a	0,25±0,02a
Amylopectine (g/100g MS)	FNF	44,69±4,29b	47,98±2,48bc	59,88±1,37d	49,13±0,25bc
	FFN	43,96±1,25ab	43,42±0,50ab	53,29±1,56cd	45,98±0,29b
	FFSt	42,25±1,31ab	36,82±1,18a	45,94±0,67bc	44,87±2,41bc
Amylose (g/100g MS)	FNF	11,18±0,01a	13,36±0,58ab	11,04±0,01a	11,89±1,09ab
	FFN	12,04±0,02ab	15,54±0,06ab	14,15±0,01b	12,83±0,35ab
	FFSt	12,73±0,01ab	15,89±0,06b	14,07±0,02b	14,36±0,31b
Cyanures totaux (mg/kg)	FNF	33,26±0,07e	51,48±0,5f	51,48±0,02f	84,8±5,24g
	FFN	7,90±3,10b	14,30±4,52c	19,40±0,01d	19,40±0,01d
	FFSt	1,98±0,01a	2,00±0,17a	3,12±0,08a	5,94±0,01ab

Les données sont présentées Moyenne±Ecart-types. Les valeurs de chaque paramètre ont été comparées pour chaque variété et entre les variétés. Pour un paramètre, les moyennes de la même colonne accompagnées d'une lettre différente sont significativement ($p<0,05$) différentes. FNF : farine non fermentée ; FFN : farine issue d'un rouissage naturel ; FFSt : farine issue du rouissage accéléré ; ND = non déterminée.

III.3.2. Propriétés fonctionnelles des farines

La fermentation pouvant avoir un effet sur les propriétés fonctionnelles des farines, telles que leur capacité de gonflement ou encore leur indice de solubilité, une étude comparative de ces paramètres sur les trois types de farines produites a été entreprise et les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau 15. Il apparaît de ce tableau que l'indice de solubilité varie significativement ($P < 0,05$) entre les échantillons de farine non fermentée des différentes variétés de manioc. Il va de 4,72% à 13%. L'indice le plus élevé est celui de la variété TMS96/023 et l'indice le plus faible étant celui de TMS92/032. La fermentation se caractérise par la diminution de la solubilité indépendamment de la variété de manioc. Il diminue, dans les échantillons de farines issues de la fermentation naturelle, d'environ 83,8%, 26,7%, 55,5% et 14% respectivement pour TMS96/023, Six-mois, TMS92/032 et Mintol-meko. Alors que dans les farines provenant d'une fermentation à partir du starter, cette diminution est respectivement de 91,5%, 37,5%, 55,5% et 11,9%. D'une manière générale, la diminution de la solubilité des farines avec le rouissage est plus importante chez les variétés améliorées, avec lesquelles on a obtenu des diminutions de plus de 50%. La solubilité d'une farine dépend de l'âge de la variété et des facteurs de l'environnement de croissance. Selon Aryee et al (2006), une forte solubilité accompagné d'un gonflement faible, est une indication de la faiblesse des forces associatives des granules d'amidon d'un échantillon de farine, et peut être attribuable à la dégradation des granules d'amidon qui dépend de la mouture mais également de la fermentation. Les amidons d'indice de solubilité faible, s'hydrolyse rapidement (Moorty & Ramanujam, 1986). Les amidons des farines rous peuvent donc être faciles à hydrolyser pour produire des sucres simples sans nécessairement avoir besoin d'autant d'énergie que l'hydrolyse des farines non fermentées.

La capacité de gonflement représente l'augmentation maximale, en poids et en volume que subissent les granules d'amidon lorsqu'on leur permet de gonfler librement dans de l'eau. Les résultats obtenus (Tableau 15) montrent que la fermentation conduit à la réduction de la capacité de gonflement des farines de manioc. Ce résultat est en accord avec les travaux précédents (Numfor *et al.*, 1995 ; Kanjana *et al.*, 2005). En effet, les résultats du tableau 15 indiquent que la capacité de gonflement des échantillons fermentés ne dépasse pas les 7% quelque soit la variété de manioc. Tandis que, dans les farines d'amidon natifs c'est-à-dire les farines qui n'ont pas été fermentées, la capacité de gonflement varie entre 8% et 14%. Pour les échantillons non fermentés, la variété améliorée TMS 92/0326 est celle dont la capacité de gonflement est la plus grande, soit une valeur de 14%. Tandis que cette propriété est la plus faible pour la variété locale Mintol-meko. Avec les échantillons de farines fermentées en

revanche, les plus petites capacités de gonflement sont celles des échantillons issus des fermentations accélérées. Shittu *et al.*, (2007) ont rapporté dans leur étude, des capacités de gonflement comprises entre 13,16% et 16,17%, valeurs bien au-delà de celles des résultats obtenus avec les variétés étudiées qui se trouvent dans l'intervalle de 4,4% et 11,8% obtenu par Chales et collaborateurs (2005). Les différences significatives ($p < 0,05$) observées avec les échantillons, dépendent de la variété de manioc, de l'âge de récolte et des facteurs environnementaux. Selon les travaux de Zheng & Solsuki (1997), la capacité de gonflement des granules d'amidon est beaucoup plus associée à la structure des granules et de leur composition chimique, en particulier de la teneur en amylose, que de leur taille. Une grande teneur en amylose inhibe en effet le gonflement. Les différences observées entre les échantillons analysés seraient par conséquent dues à leurs compositions différentes en amylose. Ces dernières étant moins importantes dans les échantillons rous ce qui expliquerait l'augmentation de leur capacité de gonflement.

Tableau 15 : Indice de solubilité et capacité de gonflement des différents échantillons de farine.

Propriétés fonctionnelles	Echantillons de farines	Variétés de manioc			
		TMS 96/023	Six-mois	TMS 92/032	Mintol-meko
Indice Solubilité (g/100g MS)	FNF	13,00±0,20d	11,05±0,20i	4,72±0,10c	10,10±0,00h
	FFN	2,10 ± 0,10b	8,10± 0,00e	2,10±0,10b	8,68±0,10f
	FFSt	1,10 ± 0,10a	6,90± 0,00d	2,10±0,10b	8,90±0,10g
Capacité gonflement (g/100g MS)	FNF	8,60 ±0,10i	8,20± 0,00h	14,00±0,01j	7,96±0,10g
	FFN	7,75±0,10e	7,88±0,01fg	7,10±0,00c	7,70±0,00ef
	FFSt	7,70±0,10de	6,90±0,00b	6,40±0,00a	7,50±0,00d

Les données sont présentées Moyenne±Ecart-types. Les valeurs moyennes de chaque propriété ont été comparées pour chaque variété et entre les variétés. Pour une propriété, les moyennes de la même colonne accompagnées d'une lettre différente sont significativement ($P < 0,05$) différentes. FNF : farine non fermentée ; FFN : farine issue d'un rouissage naturel ; FFSt : farine issue du rouissage accéléré.

III.3.3. Les Propriétés d'empesage des farines

III.3.3.1. Propriétés d'empesage des farines non fermentées

Les plats faits à base de farines de manioc sont souvent préparés en délayant la farine dans l'eau bouillante qui conduit à une pâte communément appelée fofou. Ainsi, les caractéristiques d'empesage font partie des paramètres les plus importants utilisés pour s'assurer qu'une farine ou qu'un type d'amidon convient mieux à un produit. Elles permettent de sélectionner les variétés de manioc et/ou le type de traitement qui leur convient pour leur utilisation en industrie comme épaississants, liants ou toute autre utilisation. Cette étude a été réalisée afin de prédire le comportement des farines obtenues des différentes variétés de manioc pendant et après leur cuisson et de déterminer parmi les variétés de manioc étudiées, celles les plus appropriées dans la production d'un dérivé donné.

Les propriétés d'empesage et les visco-amylographes sont présentés dans le Tableau 16 et la figure 18. La figure 18 montre les profils de variation de la viscosité en fonction du temps, au chauffage des farines non fermentées des quatre variétés de manioc étudiées. Les visco-amylographes générés à partir d'un RVA révèlent que la viscosité augmente jusqu'à atteindre un pic, puis chute pendant la cuisson pour augmenter à nouveau pendant la phase de refroidissement. En examinant de près les paramètres d'empesage résumés dans le Tableau 16, on note qu'à l'exception des températures d'empesage qui sont en moyenne de 72°C, tous les autres paramètres ont montré des différences significatives ($P < 0,05$) entre les variétés étudiées. De plus, les variétés de manioc traditionnelles (Six-mois et Mintol-meko) ont des caractéristiques similaires, et plus élevées que celles des variétés améliorées (TMS92/032 et TMS96/023). En effet, les valeurs de Viscosités maximales ou pics de viscosité des échantillons sont comprises entre 2052 cP et 5228 cP. Les viscosités maximales sont les plus faibles pour les variétés améliorées probablement due à leur faible teneur en amidon (Afoakwa *et al.*, 2012). Pour les applications industrielles, on a généralement besoin des farines ou amidons de viscosité maximale élevée pour lesquelles un fort pouvoir épaississant et des fortes températures sont requises.

La viscosité lorsque la température de cuisson est maintenue à 95°C ou creux est une indication de la stabilité de la pâte durant le chauffage. Celle-ci varie entre 414 cP et 2578 cP. Les creux des variétés améliorées sont moins élevées que celles des variétés traditionnelles. Ainsi on a obtenu des valeurs de 414cP, 785cP, 2265cP et 2578cP respectivement pour les variétés TMS92/032, TMS96/023, Six-mois et la variété Mintol-meko. Ces données vont dans le même sens que celles obtenues avec les viscosités maximales et montre à suffisance que,

les farines des variétés traditionnelles résistent mieux à la fragmentation de leur amidon durant la cuisson.

De même que pour la viscosité maximale et le creux, La chute de viscosité des farines de manioc issues des variétés traditionnelles, est plus élevée que celles de variétés améliorées. Elle se situe entre 1638 cP et 2963 cP pour TMS92/032 et Six-mois respectivement. La chute de viscosité est également un indicateur de la stabilité des granules d'amidon au cours du chauffage. Elle mesure la tendance des granules gonflées d'amidon à se rompre lorsqu'elles sont maintenues à des températures élevées. Les résultats montrent que les valeurs des chutes de viscosité des différentes variétés de manioc étudiées sont significativement différentes ($P < 0,05$) les unes des autres. Parce qu'ayant les plus faibles chutes de viscosité, Les farines issues des variétés améliorées, sont celles dont les indices de rigidité (BV/PV) sont les plus importantes avec des valeurs de 0,7 et 0,8 pour TMS96/023 et TMS92/032 respectivement.

Ces données montrent que, les farines fermentées produites à partir des cultivars améliorés sont plus stables au chauffage et par conséquent sont celles dont les pâtes à la cuisson seront moins élastiques. La grande stabilité de la pâte pendant chauffage indique la faible cohésion entre les granules d'amidon (Aryee *et al* 2006). A cet effet, les variétés de manioc améliorées comparativement à leurs homologues traditionnels ne sont pas à recommander pour la fabrication des produits qui ont besoin au cours de leur production des températures élevées.

La viscosité finale (VF) qui est un paramètre indiquant la capacité d'une farine à former une pâte visqueuse au cours du refroidissement, varie entre 601 cP pour TMS92/032 et 3580 cP pour Mintol-meko. L'augmentation de la viscosité pendant le refroidissement de la pâte peut s'expliquer par une agrégation des molécules d'amylose et se traduit par une rétrogradation rapide. Il est à noter que cette habilité est plus grande pour les variétés traditionnelles que pour les variétés améliorées. Ceci est également visible au niveau de leur indice de rétrogradation (Setback). L'indice de rétrogradation mesure le niveau de durcissement de la pâte au refroidissement. Les résultats révèlent que les farines produites à partir des variétés traditionnelles, de par leur indice de rétrogradation plus élevé que les farines produites des variétés améliorées, recouvrent la majorité de leur amylose au cours du refroidissement contrairement aux variétés améliorées qui donnent des pâtes non cohésives. Ainsi, les farines issues d'une variété telle que TMS92/032, ne peuvent pas être utilisés pour la fabrication des produits tels que les adhésifs et les produits nécessitant une réfrigération qui requièrent une stabilité de l'amidon durant le refroidissement.

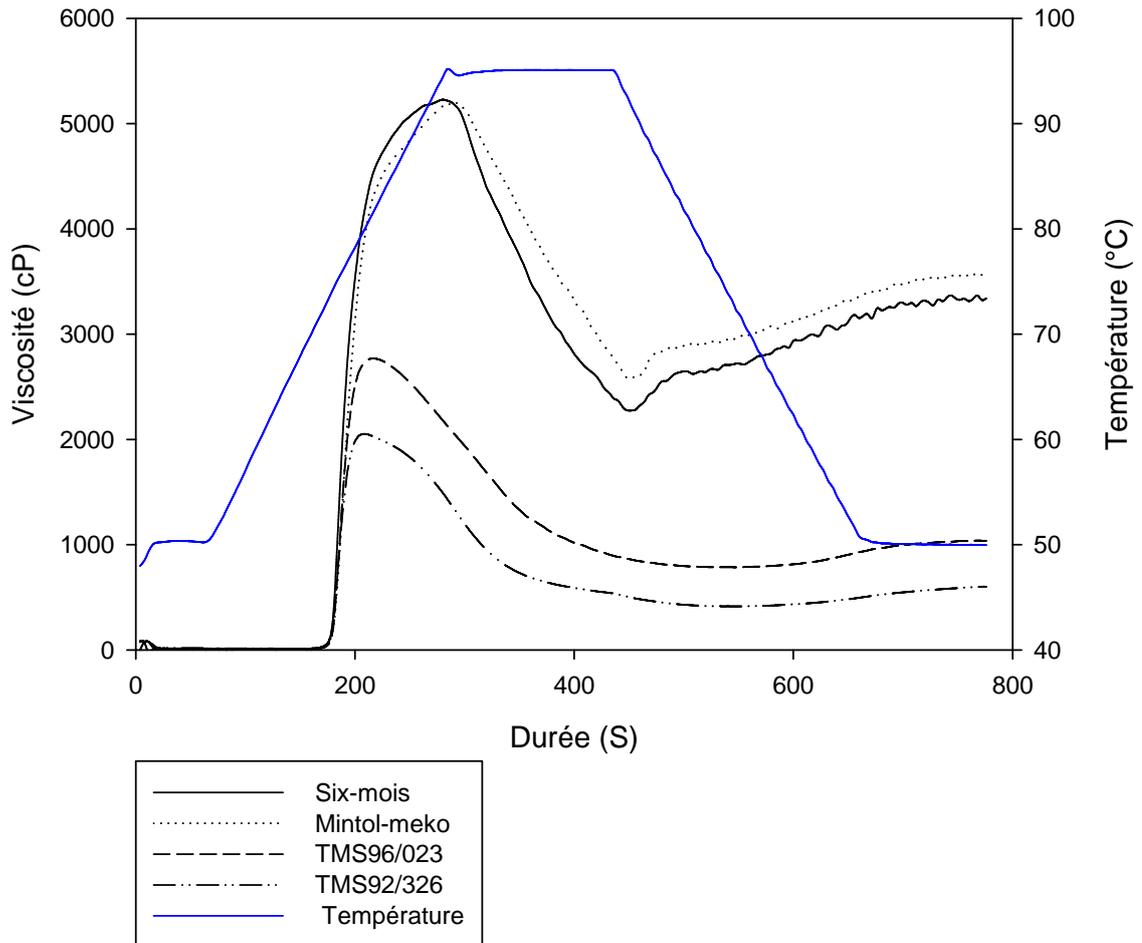


Figure 18. Profils de viscosité des farines non fermentées des différentes variétés de manioc

III.3.3.2. Propriétés d’empesage des farines fermentées

Le rouissage constituant l’une des étapes incontournables dans la production de nombreux dérivés de manioc et dont la conduite peut avoir une influence sur les caractéristiques fonctionnelles de ceux-ci, il était indispensable d’évaluer l’effet de cette opération sur les propriétés d’empesage des farines issues de différentes variétés de manioc. Le Tableau 16 met en exergue les données de RVA obtenues à partir des farines de manioc fermentées. A l’exception de la température d’empesage, tous les autres paramètres de viscoélasticité ont augmenté avec le rouissage. En effet, respectivement pour les variétés de manioc TMS96/023, Six-mois, TMS92/032 et Mintol-meko, on a :

La viscosité maximale (VM) allant de 2769cP à 3656cP, de 5228cP à 6659cP, de 2052cP à 3674cP, et de 5205cP à 6625cP ;

Le creux (Cr) va de 785cP à 1608cP, de 2265cP à 2275cP, de 414cP à 2280cP, exception faite dans ce sa à la variété Mintol-meko où l'on observe plutôt un comportement inverse, c'est-à-dire une diminution avec la fermentation.

La chute de viscosité (BV) va de 1984cP à 2048cP, de 2963cP à 4384cP, de 1394cP à 1638cP et de 2627cP à 4192cP ;

La viscosité finale (VF) va de 1038cP à 2726cP, de 3304cP à 3439cP, de 601cP à 3724cP et de 3580 cP à 3503 cP ;

Et le « Setback » (SV) augmente de 253cP à 1118cP, de 1039cP à 1164cP, de 187cP à 1444cP et de 1002cP à 1071cP.

L'augmentation des paramètres de viscoélasticité des produits fermentés a été observée par plusieurs auteurs (Numfor *et al.*, 1995 ; Osungbaro *et al.*, 2010 ; Oke et Bolarinwa 2011 ; Farasara *et al.*, 2014) . Elle pourrait s'expliquer par la production d'acides organiques par les microorganismes au cours de la fermentation. Selon Sanni *et al.*, 2004, la viscosité maximale indique la capacité d'une farine à gonfler rapidement avant sa rupture physique. Rosenthal *et al.*, 1974 ont suggéré que la viscosité maximale contribue à la bonne texture des pâtes et dépend à sa base, d'une forte viscosité et d'une force de gel relativement haut. Ainsi, l'augmentation de la viscosité maximale des farines fermentées, indique plus appropriés à la fabrication des produits nécessitant l'élasticité et une force de gel élevée. Plus encore, les farines fermentées ont montré des valeurs de chute de viscosité plus importantes, indiquant à cet effet quelles sont plus résistantes que des farines natives. En effet, la chute de viscosité est le paramètre d'empesage qui mesure la capacité de la pâte à résister à la rupture pendant le refroidissement (Dixon *et al.*, 2005).

Tout comme la viscosité maximale et la chute de viscosité, la viscosité finale des farines augmente avec la fermentation. La viscosité finale renseigne sur la stabilité de la farine cuite et montre que les farines fermentées ont la capacité à former une pâte plus visqueuse après leur cuisson et leur refroidissement que les farines non fermentées. Durant la phase de Setback, on assiste au réarrangement des molécules d'amidon. C'est un paramètre corrélé à la texture et à la synérèse. Selon les travaux de Tolmasquim *et al.*, 1971, une valeur de Setback élevée indique une faible tendance de la farine à rétrograder. Ainsi les farines fermentées qui ont montré des fortes valeurs de Setback sont très appropriées à servir à la fabrication des produits domestiques tels que le Foufou, qui nécessitent qu'a des températures faibles la pâte soit stable et plus visqueuse. Cette faible valeur des viscosités de rétrogradation observées

avec les farines non fermentées, se traduit par leurs coefficients de chute (VF/SV) plus élevés que ceux des farines fermentées.

L'accélération de la fermentation par l'utilisation du starter a eu un impact sur les propriétés de viscoélasticité des farines des différentes variétés de manioc comme l'indique le tableau 18. Il apparaît de ce tableau que les farines issues de la fermentation naturelle de durée plus longue ont des viscosités maximales supérieures à celles issues des fermentations accélérées à l'exception de la variété *TMS96/023* qui a montré un comportement différent. Ainsi, la viscosité maximale quand on quitte des farines naturellement fermentées pour les farines issues d'une fermentation accélérée, passe de 6659cP à 5174cP de 3674cP à 3041cP et de 6625cP à 5895cP respectivement pour les variétés *Six-mois*, *TMS92/032* et *Mintol-meko*. Ces observations diffèrent de celles de Nzigamasabo & Hui Ming Zhou (2006) dont les farines issues d'une fermentation du manioc de 4 jours avec une culture microbienne présentaient une viscosité plus importante que celles issues d'une fermentation naturelle de 7 jours. Cette différence s'explique toutefois par le degré de ramollissement des racines durant la fermentation. En effet l'utilisation des starters a pour principal objectif l'accélération du phénomène de ramollissement des racines de manioc indispensable pour leur détoxification. Ainsi les farines issues des fermentations accélérées sont obtenues à partir des racines dont le degré de ramollissement est comparable à celui des racines en fin d'un rouissage traditionnel dont la durée varie entre 3 et 7 jours (Brauman *et al.* 1995 ; Wesby & Choo, 1994). Ce qui se traduit pour ces farines de fermentation accélérée par leur faible viscosité.

Le ramollissement des racines de manioc s'accompagne généralement de la libération dans le milieu des sucres réducteurs plus vite consommés par les microorganismes d'un starter mais également de l'hydrolyse des fibres de la paroi des cellules végétales. Dans ces conditions, la forte viscosité des farines issues de fermentation naturelle pourrait être liée à la présence dans ces farines des concentrations aussi bien en sucres simples qu'en fibres plus importantes et connues pour augmenter le pic de viscosité et les températures d'empesage des amidons (Xiaoyu Zhang *et al.*, 2012).

Pour ce qui est des autres paramètres d'empesage à savoir : le creux, la viscosité finale et le chute de viscosité, on note une différence de comportement entre les farines issues de variétés améliorées et celles de variétés traditionnelles. En effet tandis que la viscosité finale, le creux et la chute de viscosité diminuent chez les variétés améliorées, on observe plutôt un effet contraire chez les variétés traditionnelles. Ces données montrent que l'utilisation du starter augmente la résistance et la stabilité des farines issues des variétés traditionnelles au refroidissement.

Le phénomène de rétrogradation est souvent proscrit dans les industries boulangères suite au rassissement dont il est à l'origine. En effet la rétrogradation rend souvent le gel d'amidon moins soluble durant le refroidissement suite à la recristallisation de l'amylose et de l'amylopectine (Be Miller & Whistler 1996). Le Setback faut-il le rappeler est un facteur qui traduit la rétrogradation. Les résultats de Setback des différentes farines montrent que l'ajout du starter pour accélérer la fermentation se traduit l'augmentation de ce paramètre au sein des variétés traditionnelles tandis qu'il diminue avec les variétés améliorées. Ainsi avec les variétés traditionnelles, le Setback passe d'un rouissage naturel à un rouissage accéléré d'une valeur de 1039cP à une valeur de 1164cP et d'une valeur de 1002cP à une valeur de 1071cP pour Six-mois et Mintol-meko respectivement. Alors qu'avec les variétés améliorées il diminue de 1118cP à 888cP et de 1444cP à 1014cP respectivement pour TMS96/023 et TMS92/032. Ces résultats montrent la faible tendance des variétés traditionnelles à rétrograder lorsqu'elles sont fermentées en présence du starter. Par conséquent leurs farines sont très appropriées à servir à la fabrication des produits domestiques tels que le Foufou.

Tableau 16 : caractéristiques d'empesage des farines des différentes variétés de manioc non roui

Variétés	Caractéristiques d'empesage							
	Pt	VM	Cr	VF	BV	SV	BV/VM	VF/SV
TMS96/023	71,6 ±2,1ab	2769,0± 83,1b	785,0± 23,5b	1038,0± 31,1b	1984,0± 59,5b	253,0 ± 7,6b	0,7	4,1
Six-mois	72,1±2,2 a	5228,0±156,8c	2265,0± 67,9c	3304,0± 99,1c	2963,0± 88,9d	1039,0± 31,2c	0,6	3,2
TMS 92/032	71,7 ± 2,1a	2052,0 ±61,6a	414,0± 12,4a	601,0± 18,3a	1394,0±41,8a	187,0± 5,6a	0,8	3,2
Mintol-meko	71,6 ±2,2a	5205,0±156,1c	2578,0± 77,3c	3580,0±107,4d	2627,0± 78,8c	1002,0± 30,1c	0,5	3,6

Les données sont présentées sous la forme Moyenne ± Ecart-type. Les valeurs de la même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (P 0,05). Pt= Température d'empesage, Cr= creux, VM= viscosité maximale, VF= viscosité finale, BV= chute de viscosité, BV/VM= coefficient de stabilité, SV= « Setback » et VF/SV= taux de rétrogradation.

Tableau 17 : caractéristiques d'empesage des farines des différentes variétés de manioc roui sans starter

Variétés	Caractéristiques d'empesage							
	Pt	VM	Cr	VF	BV	SV	BV/VM	VF/SV
TMS 96/023	73,5± 2,2a	3656,0 ±109,7cd	1608,0±48,2cd	2726,0±81,8b	2048,0±61,4c	1118,0±33,5def	0,56	2,44
Six-mois	71,7±2,1 ab	6659,0 ±199,8i	2275,0±68,2g	3439,0±103,2d	4384,0±131,5k	1164,0±34,9f	0,66	2,95
TMS 92/032	72,7±2,2 ab	3674,0 ±110,2cd	2280,0±68,4g	3724,0±111,7f	1638,0± 49,1a	1444,0±43,3j	0,38	2,58
Mintol-meko	70,4 ± 2,1ab	6625,0 ±198,7i	2433,0±73,0h	3503,0±105,1de	4192,0±125,8ij	1071,0±32,1cd	0,63	3,27

Les données sont présentées sous la forme Moyenne ± Ecart-type. Les valeurs de la même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (P 0,05). Pt= Température d'empesage, Cr= creux, VM= viscosité maximale, VF= viscosité finale, BV= chute de viscosité, BV/VM= coefficient de stabilité, SV= « Setback » et VF/SV= taux de rétrogradation.

Tableau 18 : caractéristiques d'empesage des farines des différentes variétés de manioc roui avec le starter

Variétés	Caractéristiques d'empesage							
	Pt	VM	Cr	VF	BV	SV	BV/VM	VF/SV
TMS96/023	74,54±2,24b	3877,00±116,31d	1525,00±45,75bc	2413,00±72,39a	2352,00±70,56d	888,00±26,64b	0,61	2,72
Six-mois	71,25±2,14 ab	5174,00±155,22e	2737,00±82,11kl	4114,00±123,42g	2437,00±73,11d	1377,00±41,31i	0,47	2,99
TMS 92/032	72,98±2,19 ab	3041,00±91,23a	1373,00±41,190a	2387,00±71,61a	1668,00±50,04b	1014,00±30,42e	0,55	2,35
Mintol-meko	69,58 ± 2,09a	5895,00±176,85g	2975,00±89,25n	4306,00±129,18h	2920,00±87,60f	1331,00±39,93i	0,50	3,24

Les données sont présentées sous la forme Moyenne ± Ecart-type. Les valeurs de la même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (P 0,05). Pt= Température d'empesage, Cr= creux, VM= viscosité maximale, VF= viscosité finale, BV= chute de viscosité, BV/VM= coefficient de stabilité, SV= « Setback » et VF/SV= taux de rétrogradation.

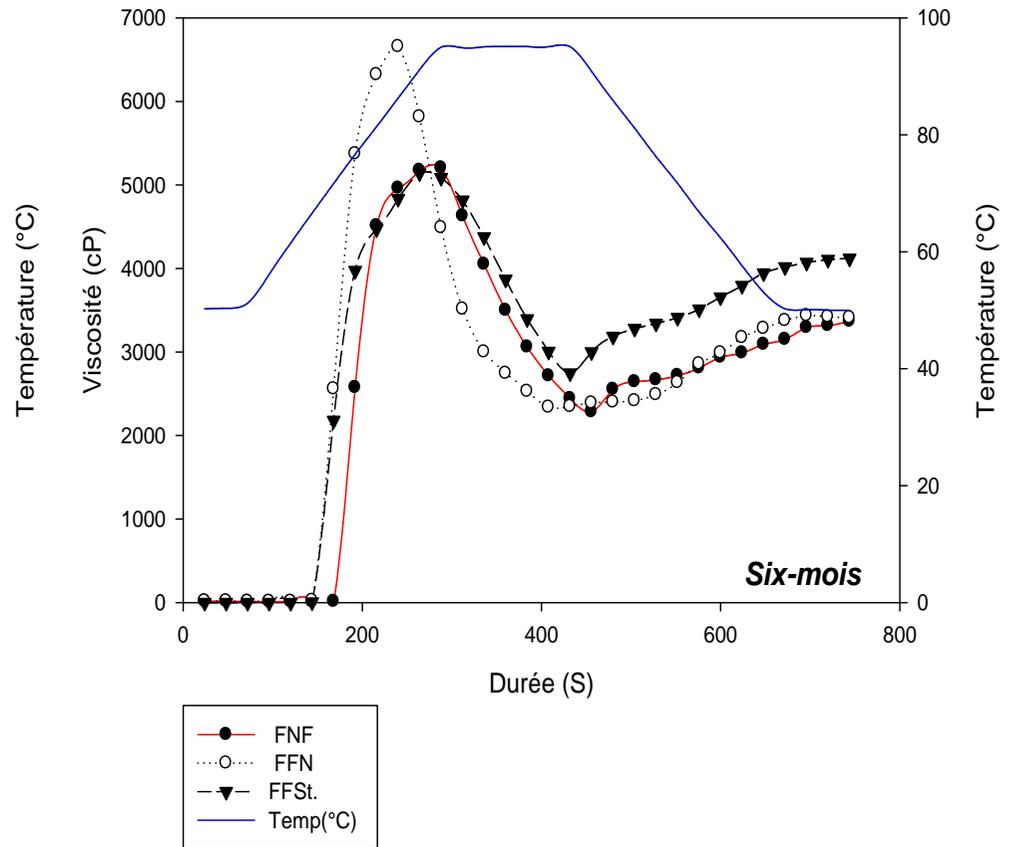
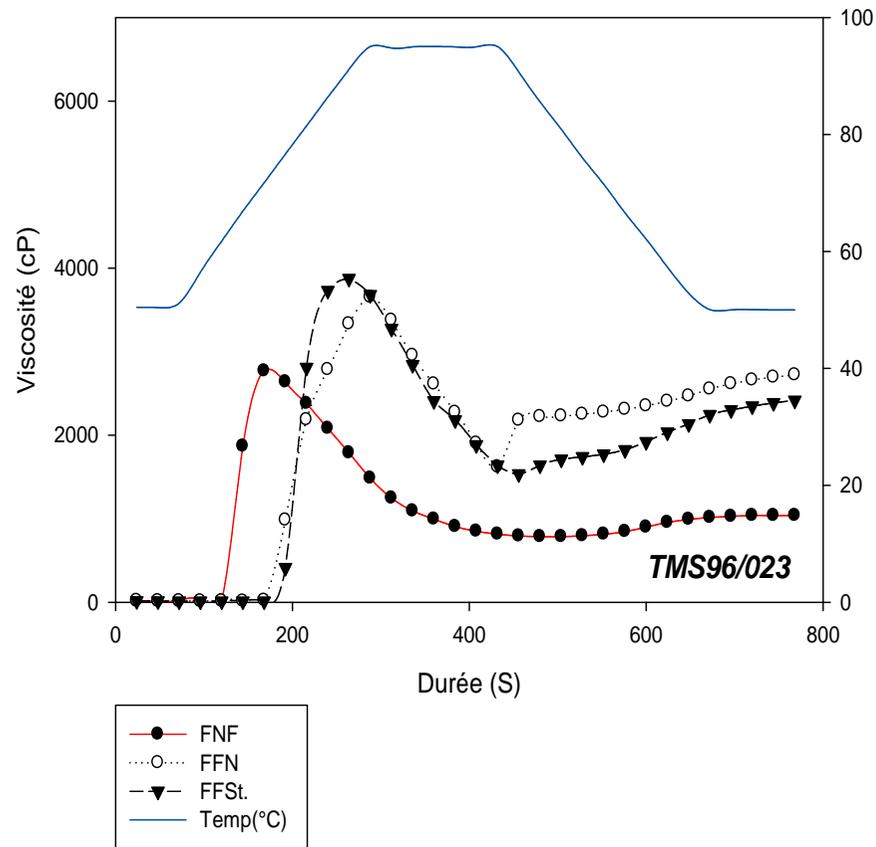


Figure 19A. Profils de viscosité en fonction du temps et à différentes températures des farines issues de variétés de manioc TMS96/023 et Six-mois, rouies en présence et en absence du starter. FNF= farine non fermentée, FFN= farine issue de la fermentation naturelle, FFSt.=farine issue de la fermentation accélérée, Temp =température.

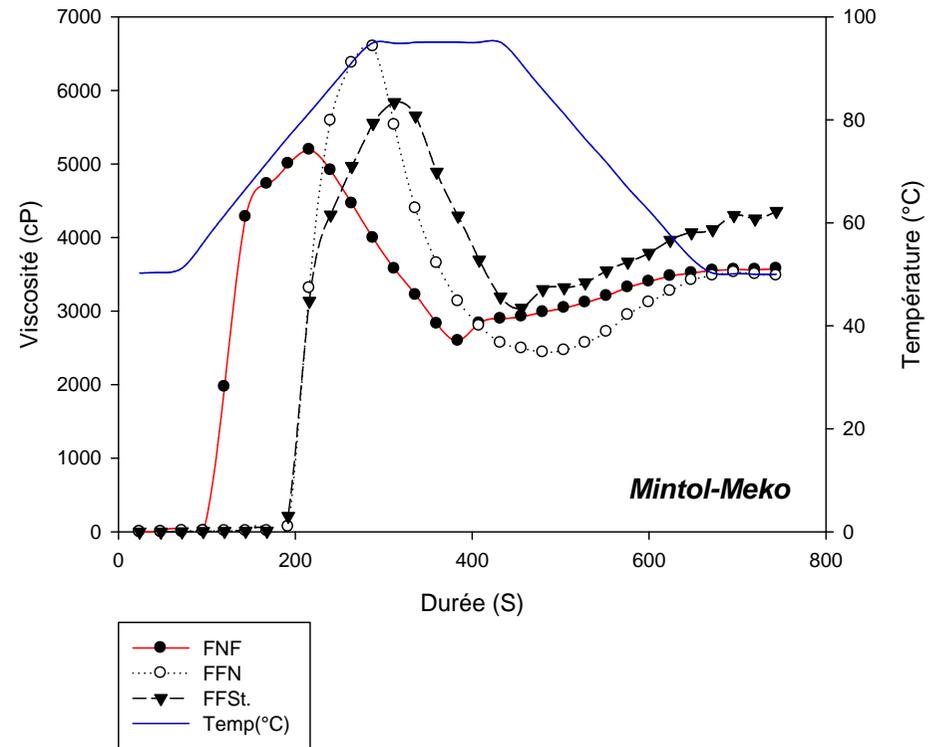
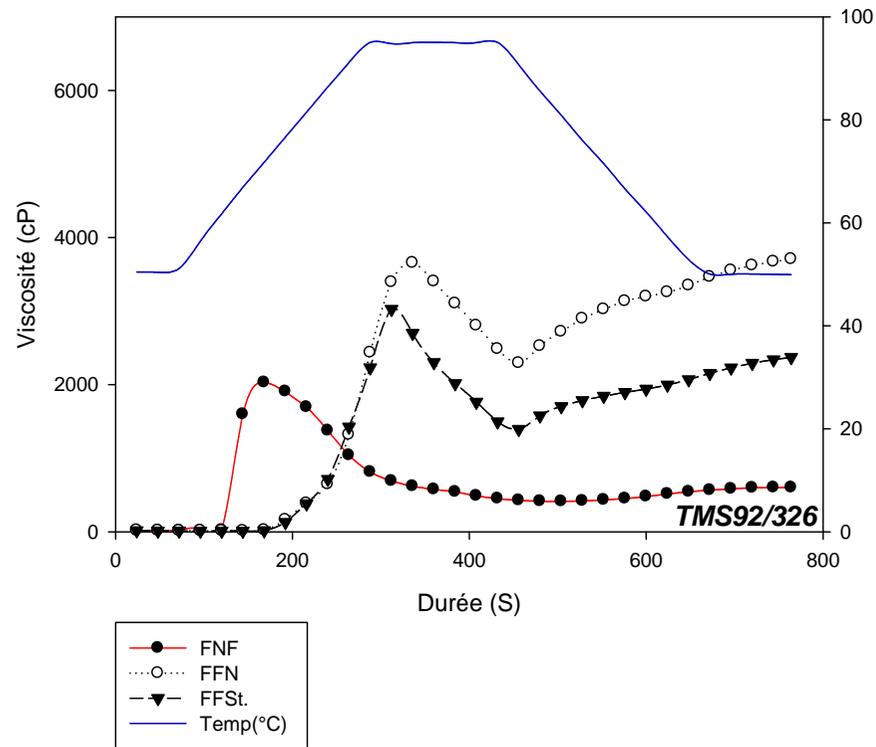


Figure 19B. Profils de viscosité en fonction du temps et à différentes températures des farines issues des variétés de manioc TMS92/326 et Mintol-meko, roui en présence et en absence du starter. FNF= farine non fermentée, FFN= farine issue de la fermentation naturelle, FFSt.=farine issue de la fermentation accélérée, Temp =température.

III.3.4. Classification hiérarchique ascendante et Analyses en composantes principales

Les paramètres chimiques ainsi que les propriétés fonctionnelles et de viscoélasticité utilisés pour évaluer la qualité des farines issues des différentes variétés de manioc non fermenté d'une part et fermenté soit naturellement ou en présence d'un starter d'autre part, ont été analysés par les tests multi-variés notamment la classification ascendante hiérarchique (CAH) et l'Analyse en composantes principales (ACP), afin de simplifier l'interprétation des résultats. Cette analyse qui est basée sur la corrélation entre les variables (paramètres physicochimiques) et les observations (types de farines), a permis de retenir parmi les 12 farines obtenues, celles qui répondent le mieux aux informations étudiées.

La CAH a permis d'observer les différences et les similarités des propriétés fonctionnelles et les caractéristiques physicochimiques des farines de manioc étudiées. A cet effet, les farines de manioc ont été classées en cinq groupes sur la base de la similarité de leurs caractéristiques telles que l'indique la figure 20. Le premier groupe est constitué des farines TMS96_FNF et TMS92_FNF, le second groupe quant à lui est constitué des farines Six-m_FFSt, Mintol_FNF et Mintol_FFSt. Les farines Six-m_FFSt et Mintol_FFSt constituent le troisième groupe tandis que TMS96_FFSt et Six-m_FNF constituent le quatrième groupe et TMS92_FFSt seule constitue le cinquième et dernier groupe. Dans l'objectif de comprendre les propriétés fonctionnelles et les caractéristiques physicochimiques responsables de cette similarité entre les différentes farines, une ACP a été effectuée.

Le Tableau 19 montre la corrélation entre les variables. Il ressort de ce tableau que les variables suivantes sont négativement corrélées entre elles. Il s'agit de :

- l'acidité totale titrable (ATT) et la teneur en cyanure résiduel (CYN) ($r = -0,773$; $P < 0,05$),
- l'ATT et l'indice de solubilité (IS) ($r = -0,680$; $P < 0,05$),
- la teneur en Amylose (AM) et la capacité de gonflement (CG) ($r = -0,581$; $P < 0,05$),
- l'IS et la température d'empesage (Pt) ($r = -0,690$; $P < 0,05$),
- la CG et le Creux (Cr) ($r = -0,624$; $P < 0,05$),
- la CG et la viscosité finale (VF) ($r = -0,688$; $P < 0,05$),
- le Cr et coefficient de stabilité (BV/VM) ($r = -0,706$; $P < 0,05$),
- la VF et BV/VM ($r = -0,770$; $P < 0,05$)
- et le Setback (SV) et BV/PV ($r = -0,845$; $P < 0,05$).

Tandis que les variables telles que l'ATT et le SV ($r = 0,65$), AP et CG (0,714), AM et Cr (0,661), AM et VF (0,721), AM et SV (0,776) et CG et BV/VM ont montré une corrélation significativement ($P < 0,05$) positive entre elles.

Les corrélations observées dans le tableau de corrélation, peuvent être visualisées sur le cercle de corrélation de l'ACP de la figure 21. Il ressort de cette figure que les variables négativement corrélées sont diamétralement opposées sur le cercle tandis que celles qui sont positivement corrélées sont proches et également que les variables expliquent 69,93% de la variation entre les différentes farines réparties sur deux axes F1 et F2 expliquant respectivement 45,50% 24,43% et. L'axe F1 est représenté en priorité sur sa partie positive par AM, VM, Cr, VF, et SV et sur sa partie négative par CG, BV/VM et l'AP. Tandis que l'axe F2 est prioritairement représenté sur sa partie positive par CYN, IS et sur son côté négatif ATT et Pt (Tableau 20).

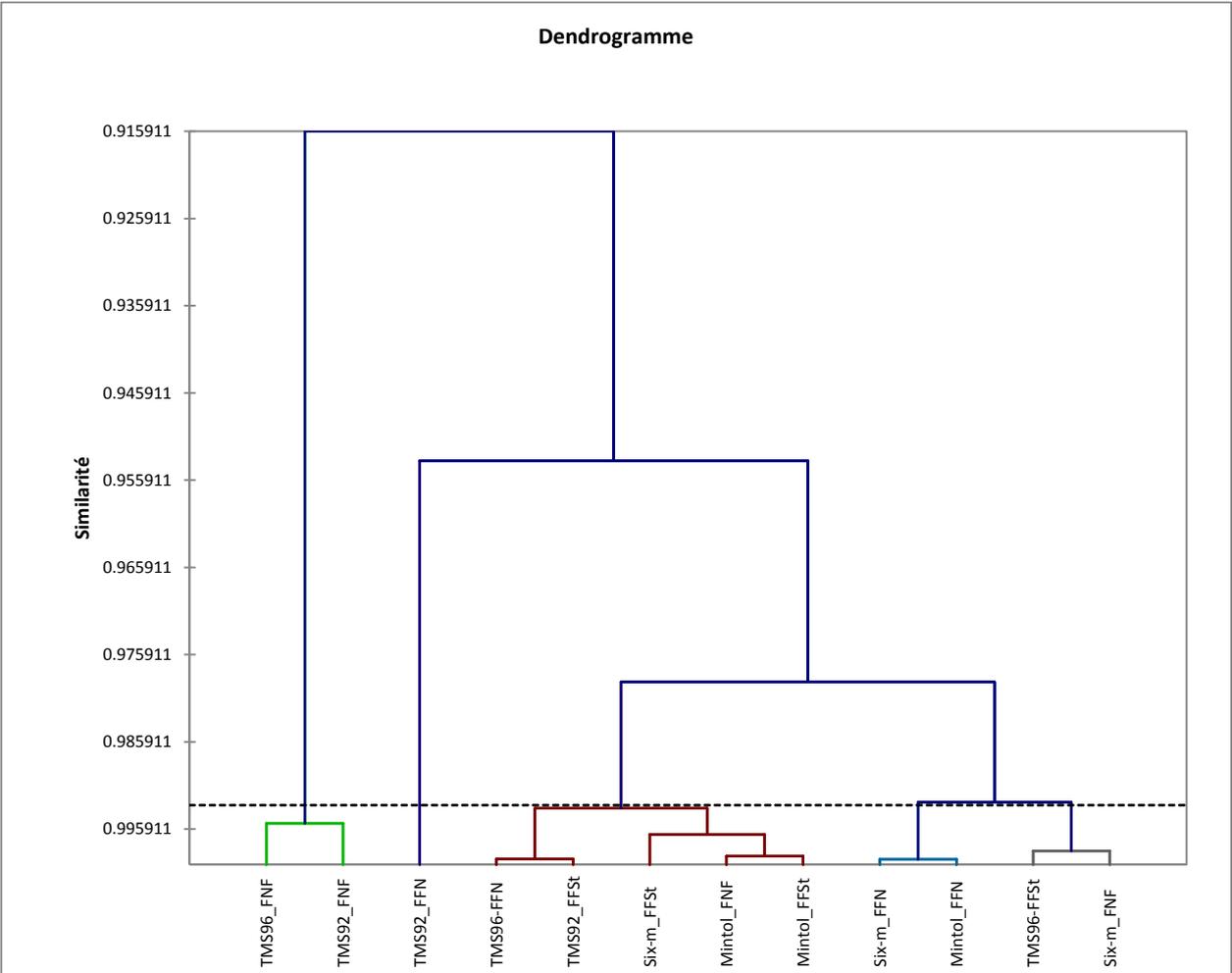


Figure 20. Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des différentes farines

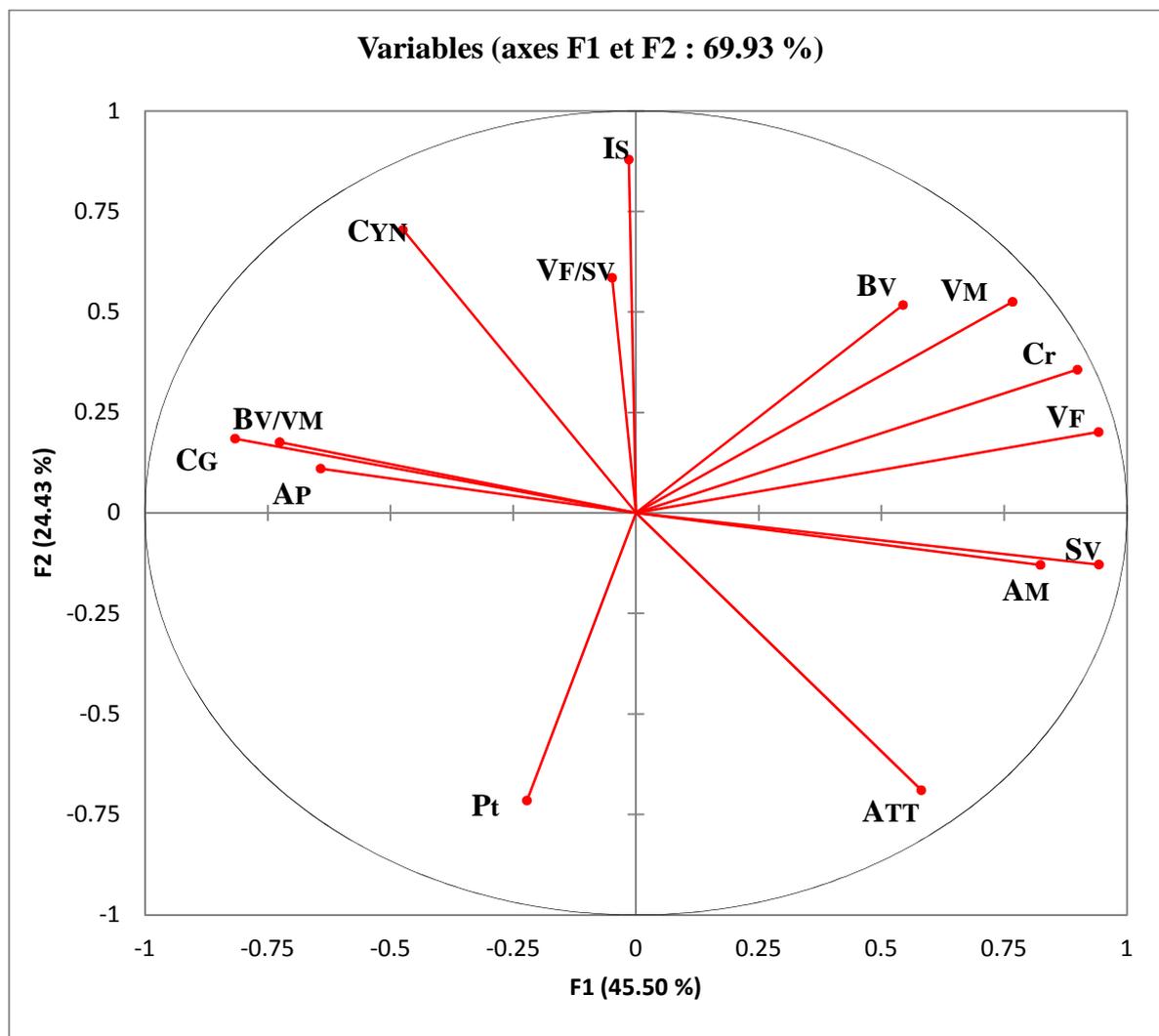


Figure 21. Cercle de corrélation des différentes variables analysées. Paramètres chimiques : ATT= Acidité totale titrable, AM= amylose, AP= amylopectine, CYN= cyanure ; propriétés fonctionnelles : CG= capacité de gonflement, IS= indice de solubilité, Cr= creux, VM= viscosité maximale, VF= viscosité finale, BV= chute de viscosité, BV/VM= coefficient de stabilité, SV= « Setback » et VF/SV= taux de rétrogradation.

La figure 22 présente sur le système d'axes F1 et F2 les différentes farines produites à partir de la fermentation ou non de quatre variétés de manioc. Cette figure montre que, TMS96_FNF et TMS92_FNF contribuent à la formation de la partie négative de l'axe F1 et Six-m_FFSt et Mintol_FFSt contribuent à la formation de la partie positive de l'axe F1. Tandis que, les farines TMS96_FFSt, TMS92_FFSt, TMS96_FFSt et TMS92_FFSt participent à la formation de la partie négative de l'axe F2 et Mintol_FNF, participe prioritairement à la formation de l'axe positif de F2 (Tableau 21).

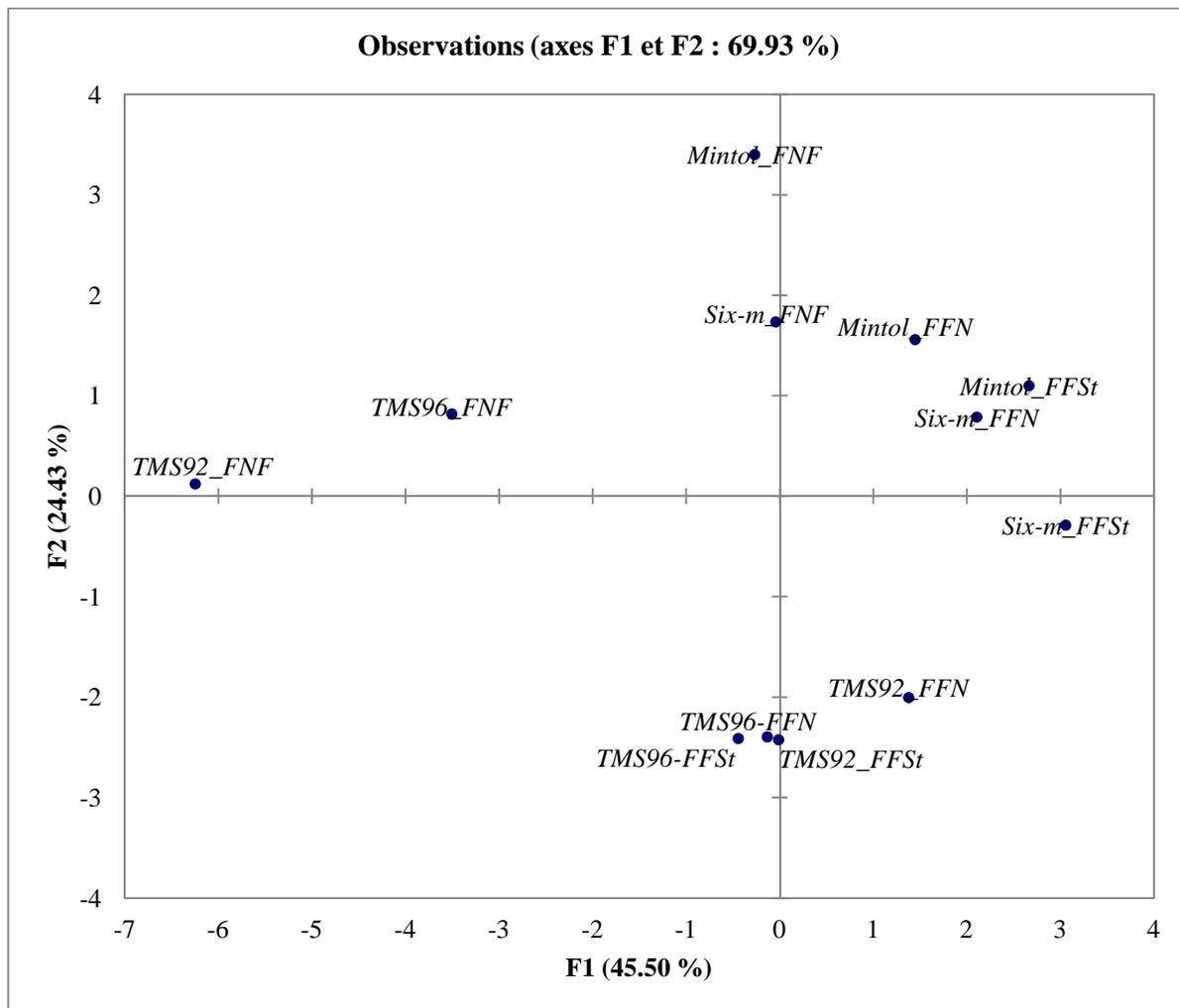


Figure 22. Projection des farines de manioc produites sur le système d'axes (F1 x F2). TMS96= TMS96/023, TMS92= TMS92/326, Six-m= Six-mois, Mintol= Mintol-meko, FNF= farine non fermentée, FFN= farine issue de la fermentation naturelle, FFSt.=farine issue de la fermentation accélérée.

La figure 23 présente sur le plan factoriel F1 x F2, les variables et les farines fermentées et non fermentées produites à partir des variétés améliorées (TMS96/023 et TMS92/326) et traditionnelles (Six-mois et Mintol-meko). Il ressort de cette figure que les farines non fermentées des variétés améliorées (TMS96_FNF et TMS92_FNF) se caractérisent par leurs teneurs élevées en amylopectine et par conséquent elles ont une forte capacité de gonflement et de résistance au cisaillement plus élevée que celles des farines produites à partir du rouissage accéléré des variétés traditionnelles (Six-m_FFSt et Mintol_FFSt), qui, en contrepartie se caractérisent par leur teneur en amylose et leur capacité de rétrogradation élevées. Tandis que les farines issues de la fermentation des variétés traditionnelles aussi bien par le starter que naturellement, se caractérisent par leurs paramètres

d'empesage à savoir : la viscosité maximale, la viscosité finale le creux et la chute de viscosité élevés. De plus, les farines fermentées produites à partir des variétés améliorées s'opposent aux farines non fermentées produites à partir des variétés traditionnelles par leur faible aptitude à rétrograder et leur teneur en cyanure moins élevée.

En définitive, les variétés de manioc traditionnelles peuvent être considérées comme étant les meilleurs pour ce qui est de leur viscoélasticité qui augmente avec le rouissage. Tandis qu'en ce qui concerne la détoxification au cours de la fermentation, elle est accentuée pour les variétés améliorées surtout en présence du starter.

Tableau 19 : Matrice de corrélation entre les différentes variables

Variables	ATT	AP	AM	CYN	IS	CG	Pt	VM	Cr	VF	BV	SV	BV/VM	VF/SV
ATT	1													
AP	-0.336	1												
AM	0.473	-0.518	1											
CYN	-0.773	0.569	-0.546	1										
IS	-0.680	-0.103	-0.097	0.502	1									
CG	-0.528	0.714	-0.581	0.464	0.059	1								
Pt	0.314	-0.015	-0.186	-0.174	-0.690	-0.097	1							
VM	0.161	-0.446	0.559	-0.068	0.411	-0.445	-0.521	1						
Cr	0.268	-0.427	0.661	-0.096	0.229	-0.624	-0.441	0.845	1					
VF	0.407	-0.444	0.721	-0.206	0.084	-0.688	-0.331	0.794	0.985	1				
BV	0.091	-0.384	0.388	-0.057	0.451	-0.274	-0.447	0.919	0.572	0.511	1			
SV	0.650	-0.436	0.776	-0.406	-0.215	-0.751	-0.081	0.620	0.866	0.939	0.343	1		
BV/VM	-0.478	0.286	-0.526	0.215	0.226	0.734	-0.025	-0.259	-0.706	-0.776	0.089	-0.845	1	
VF/SV	-0.426	0.143	-0.287	0.747	0.316	-0.013	-0.116	0.151	0.246	0.163	0.035	-0.018	-0.200	1

Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0.05$

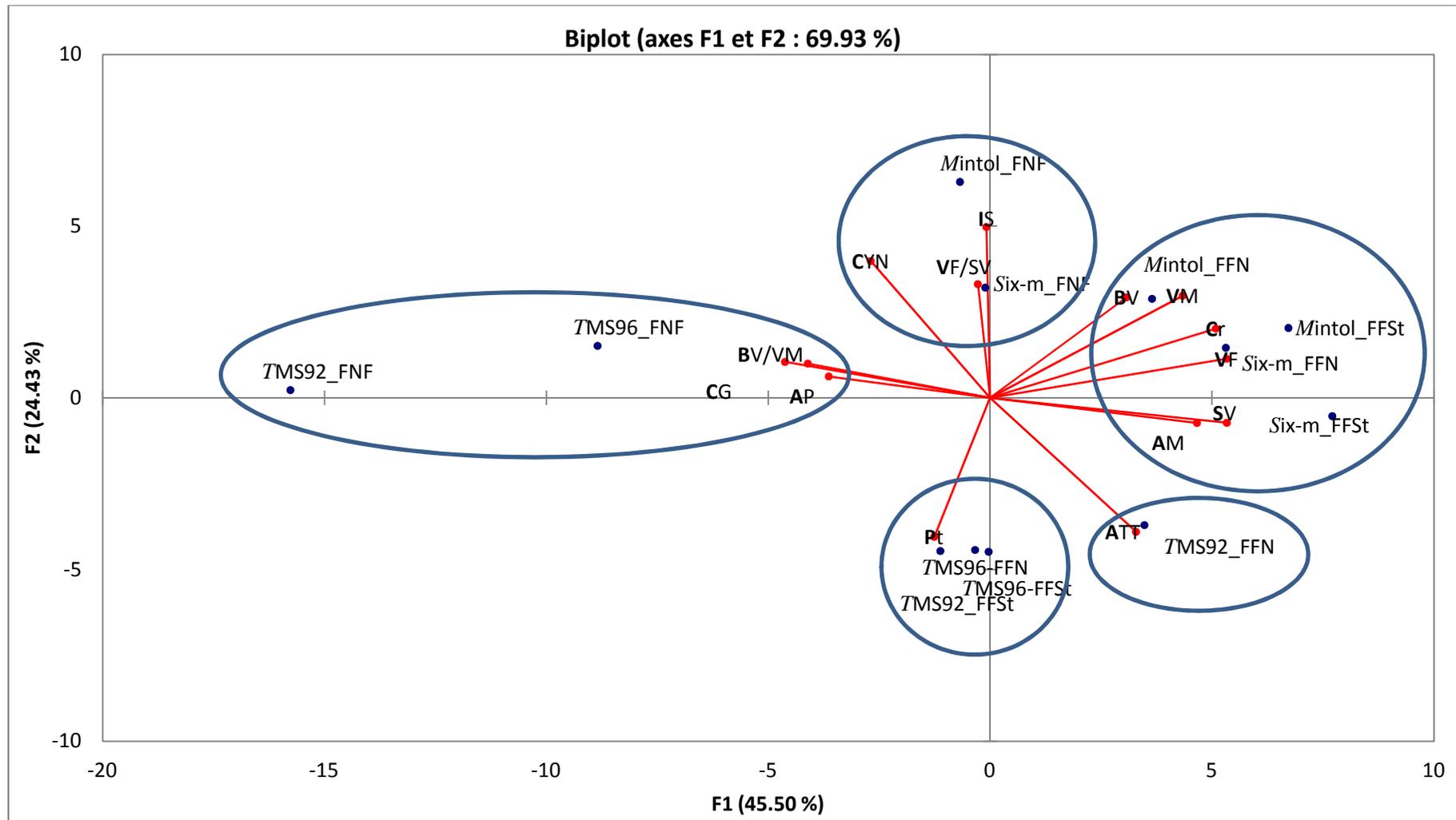


Figure 23. Projection des farines et des variables sur le plan factoriel (F1 x F2)

Tableau 20 : Corrélations entre les variables et les facteurs :

Variables	F1	F2
ATT	0.581	-0.690
AP	-0.642	0.110
AM	0.824	-0.129
CYN	-0.475	0.704
IS	-0.015	0.879
CG	-0.816	0.185
Pt	-0.222	-0.715
VM	0.767	0.525
Cr	0.899	0.357
VF	0.942	0.201
BV	0.544	0.517
SV	0.943	-0.128
BV/VM	-0.726	0.176
VF/SV	-0.049	0.585

Tableau 21 : Coordonnées des observations

Observations	F1	F2
TMS96_FNF	-3.504	0.819
TMS96-FFN	-0.012	-2.424
TMS96-FFSt	-0.444	-2.412
Six-m_FNF	-0.043	1.735
Six-m_FFN	2.105	0.788
Six-m_FFSt	3.056	-0.288
TMS92_FNF	-6.246	0.122
TMS92_FFN	1.378	-2.004
TMS92_FFSt	-0.133	-2.395
Mintol_FNF	-0.268	3.400
Mintol_FFN	1.447	1.559
Mintol_FFSt	2.664	1.100

III.3.5. Conclusion partielle :

La réduction de la durée de fermentation par l'utilisation des starters microbiens visant à augmenter les rendements de production des dérivés de manioc et la réduction de la teneur en cyanure modifie également les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés d'empesage de l'amidon des produits obtenus. L'accélération de la fermentation réduit en effet les teneurs en amylopectine, la capacité de gonflement et le pourcentage de solubilité. L'une des particularités des farines obtenues par l'usage des starters est leur faible viscosité maximale comparée aux farines issues de la fermentation naturelle de durée plus longue. Ce résultat qui va à l'encontre de certaines données de la littérature montrerait que la réduction de la viscosité décrite dans la littérature comme liée à la durée de fermentation serait en réalité liée à la vitesse de dégradation et au degré de ramollissement des racines de manioc. L'accélération de la fermentation réduirait de ce fait le pouvoir épaississant des farines obtenues. Les farines ayant de grandes viscosités maximales ayant tendance à s'épaissir beaucoup plus que les farines de viscosités moindres (Oke & Bolarinwa. 2012), Par conséquent les farines qui proviennent du rouissage naturel seraient plus adaptées à la boulangerie. A l'inverse l'accélération de la fermentation qui réduit la vitesse de rétrogradation, phénomène responsable du rassissement en boulangerie (Malumba *et al.* 2011), produirait des farines moins collantes et par conséquent, plus adaptée à l'alimentation infantile.

Conclusion et Perspectives

CONCLUSION GENERALE

En Afrique subtropicale où quasiment la totalité de la production du manioc est destinée à l'alimentation, le rouissage apparait comme une pratique importante, dans la mesure où il améliore le goût, la valeur nutritionnelle et augmente la durée de vie des produits dérivés du manioc. Notre travail de recherche a consisté à comprendre comment réduire la durée naturelle du rouissage afin d'accroître la productivité de la farine de manioc fermenté à travers l'optimisation de l'activité des cossettes de manioc utilisées à cet effet comme starters du rouissage. Pour cela, nous avons réalisé un diagnostic des pratiques de transformation auprès de 45 productrices de farine de manioc fermenté dans trois localités, du Cameroun dont deux dans la région du centre et une dans la région de l'Est. Nos investigations se sont limitées en saison sèche. Nous avons ainsi mis en évidence une diversité de pratiques de transformation dans lesquelles l'épluchage, le rouissage le séchage et la mouture sont les principales opérations unitaires.

L'épluchage apparaissant comme l'opération unitaire la plus contraignante, notamment en termes de pénibilité et de risques de blessures. De son côté, le rouissage ou fermentation en milieu liquide, reste l'une des étapes incontournables si l'on voudrait obtenir un fofou de qualité. Bien qu'elle soit délicate, la principale contrainte du rouissage est l'approvisionnement en eau en milieu rurale où le rouissage se présente comme l'opération unitaire qui prend plus de temps et apparait donc pour les productrices de farines fermentées, comme une contrainte technico-économique. Dans sa mise en œuvre et dans la définition de la qualité de la farine obtenue, la variété de manioc ne semble pas être un facteur prioritaire. Toutefois les productrices préfèrent les variétés amères et traditionnelles aux variétés douces ou améliorées, les premières fournissant de bons rendements et permettant d'obtenir un produit plus élastique. La qualité du produit final de transformation étant fortement dépendante de la conduite des opérations unitaires impliquées, les conséquences sont variables selon l'opération unitaire concernée. A cet égard, les conditions de rouissage et de séchage sont celles qui influencent le plus la qualité des produits finaux. Le rouissage influence principalement la couleur, l'odeur, la texture (ramollissement) et le goût des produits, alors que le séchage au soleil permet, en plus, des paramètres précédents, de contrôler l'humidité. On notera que si la terminologie utilisée par les opérateurs pour décrire la qualité des produits est générique, la description des défauts inhérents aux mauvaises pratiques techniques est plus explicite et présente une relation forte avec les opérations

unitaires critiques. Ainsi, la non-maîtrise des opérations de rouissage et de séchage aboutit à l'obtention de cossette peu humides de couleur jaunâtre et de goût et amères.

La réduction de la durée du rouissage par l'utilisation starters (cossettes de manioc) variant en fonction des starters récoltés dans les zones productions enquêtées, nous avons été conduits à rechercher les conditions de production de ce starter. Pour cela le starter a été produit à différentes durées de fermentation dans le but d'augmenter sa charge microbienne initiale. Deux temps de production se sont ainsi démarqués par leur charge microbienne importante corrélée à leur capacité à produire des starters permettant de réduire à plus de 50%, la durée naturelle de rouissage. Il s'agit de : la durée de 96 heures caractérisée par un starter qui réduit la vitesse de rouissage et la durée de 120 heures qui se caractérise par l'obtention d'un starter permettant de réduire la durée de la phase de latence. Toutefois entre ces deux starters, les pourcentages de réduction de la durée de rouissage, de l'ordre de 50% ne se sont pas avérés significativement différents. De plus, à cause des gains de temps lors de la production du starter de 96 heures par rapport à celui de 120 heures, nous avons retenu la durée de 96 heures comme durée de fermentation pour la production du starter. La corrélation avérée entre l'activité microbienne du starter et l'accélération du ramollissement des racines de manioc, nous a conduits à améliorer l'activité biologique de ce starter. A cet effet, nous avons revivifié au préalable les germes que ce milieu déshydraté contient par différentes méthodes d'activation. La pré-culture du starter dans l'eau pendant 12 heures et son activation alcoolique ont permis d'améliorer d'environ 18% le starter, contrairement à l'activation thermique qui a plutôt réduit cette activité, car, le plus souvent, est inductrice d'une thermo-résistance des cellules qui restent dans leur état de spores. A cause de l'acidification qu'il entraîne dans le milieu du rouissage et qui peut réduire l'activité de la linamarase, le starter pré-cultivé dans l'eau n'a que permis de réduire de 86% la teneur en cyanure contre 92% obtenu avec le starter non traité. Ce dernier lorsqu'il est utilisé à un pH compris entre 6 et 7 et à une température de 40°C voit son activité réductrice de la durée de ramollissement doubler. L'écosystème de production du starter pouvant être la source de variabilité de l'activité du starter, nous avons produit le starter dans les différentes zones enquêtées et les avons testés dans les mêmes conditions sur différentes variétés de manioc. Cette étude révèle que trois des quatre starters produits, c'est-à-dire 75%, présentent des caractéristiques de cinétique de ramollissement similaires en dépit de la variété fermentée. Montrant ainsi que le starter dont les conditions de production et d'utilisation que nous avons définies, peut être adopté dans toutes les régions du territoire national.

Face à la longue durée de rouissage, nous avons vu que certaines transformatrices de la localité de Bafia utilisent le starter visant à augmenter les rendements de production des dérivés de manioc et obtiennent des produits dont la qualité peut varier dans l'espace et dans le temps. Nous avons donc voulu comprendre quels étaient les modifications physicochimiques et fonctionnelles qui s'opèrent pendant un rouissage accéléré afin de le comparer à un rouissage naturel considéré ici comme un standard. L'analyse des propriétés physicochimiques des farines obtenues a révélé que l'accélération de la fermentation réduit en effet les teneurs en amylopectine, la capacité de gonflement et l'indice de solubilité. Cependant, et ce contrairement à nos attentes, l'une des particularités des farines obtenues par l'usage des starters a été leur viscosité maximale moindre comparée à celles issues de la fermentation naturelle de durée plus longue. Montrant ainsi que l'accélération de la fermentation réduit le pouvoir épaississant des farines obtenues. Elles sont par conséquent moins adaptées à la fabrication des produits qui nécessitent que la viscosité maximale soit élevée en boulangerie comparativement aux farines qui proviennent du rouissage naturel. A l'inverse l'accélération de la fermentation réduit la vitesse de rétrogradation, phénomène responsable du rassissement en boulangerie, permettant donc la production des pâtes moins collantes. Il est également ressortit de cette étude que la variété de manioc influence les propriétés physique et chimique des farines. Expliquant ainsi la préférence des transformatrices pour une variété de manioc plutôt que pour l'autre. Nous avons à cet effet observé une différence entre les variétés de manioc traditionnelles et les variétés de manioc améliorées. Les variétés améliorées ont conduit à la production des farines aux caractéristiques de viscosité très inférieures à celles des variétés de manioc traditionnel. Nous avons pu comprendre ainsi la raison pour laquelle les transformatrices préfèrent les variétés traditionnelles plutôt que celles améliorées pour la production de la farine de manioc fermenté.

PERSPECTIVES

Ce travail a mis en exergue les possibilités d'augmenter la productivité des sous-produits du manioc qui dépendent du rouissage et de réduire les coûts, notamment le temps consacré au rouissage. La réduction du temps de rouissage par l'utilisation du starter de rouissage facile à mettre en œuvre en milieu rural nous apparaît être un enjeu majeur pour les producteurs des dérivés du manioc dans le cadre du développement économique qui s'accompagne de l'augmentation de la plus-value potentiellement réalisable par ces derniers et d'une lutte intensive contre l'exode rurale. En effet le starter amélioré présente l'avantage d'être facilement maniable et à produire, détoxifie les racines de manioc et plus adapté en zone rurale que ceux proposés dans la littérature.

Toutefois nous reconnaissons que beaucoup reste à faire. Il serait par conséquent utile d'envisager, dans les futures études :

- d'étendre notre étude à d'autres régions du Cameroun à vocation productrices et transformatrices du manioc pour voir si nous avons le même diagnostic de pratiques de transformation des racines de manioc en farine, quelles sont les similitudes et les divergences ?
- de déterminer la durée d'utilisation maximale du starter car nous avons remarqué une diminution de la flore microbienne dans le starter avec le temps.
- D'étudier le profils protéiques du starter.
- D'identifier et de caractériser la flore microbienne présente majoritairement dans le starter,
- Et d'implémenter la méthodologie de production et d'utilisation du starter aussi bien en milieu artisanal qu'en milieu industriel.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdulai, A. Diao, X. & Johnson, M. *Achieving regional growth dynamics in African agriculture*. DSDG Discussion paper No.17. Washington, D.C., Institut international de recherche sur les politiques alimentaires, *Acta Horticulturae*, 375, 175–182, (2005).

Adebowale, K.O. & Lawal, O.S. *Microstructure, physicochemical properties and retrogradation behavior of Mucuna bean (Mucuna pruriens) starch on heat moisture treatments*, *Food Hydrocolloids*, 17, 265–272, (2003).

Agbor, E.T., & Mbome, L. *The effects of processing techniques in reducing cyanogen levels during the production of some Cameroonian cassava foods*, *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 354–363, (2006).

Akintonwa, A., O. Tunwashe & Onifade A. *Fatal and non-fatal acute poisoning attributed to cassava-based meal*, *Acta Horticulturae*, 375: 285-288, (1994).

Amoa-Awua W. K. , Owusum., Feglo P. *Utilization of unfermented cassava flour for the production of an indigenous African fermented food, agbelima*, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21, 1201-1207, (2005).

Amoa-Awua W.K.A., Appoh F.E. & Jakobsen M. *Lactic acid fermentation of cassava dough into agbelima*, *International Journal of Food Microbiology*, 31, 87-98, (1996).

Ampe F., Brauman A., Trèche S. & Agossou A. *The fermentation of cassava: optimization by the experimental research methodology*, *Journal of Sciences Food and Agriculture*, 65, 355-361, (1994).

AOAC Official Methods of Analysis, 13th (eds). Washington DC, *Association of Official Analytical Chemists*. (1980).

Aryee, F.N.A., Oduroa, I., Ellisa, W.O., & Afuakwab, J.J. *The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava*, *Food Control*, 17, 916–922, (2006).

Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Behi, Y. E. N. & Coulin, P. *La microflore du ferment de manioc pour la production de l'attiéké Adjoukro à Dabou (Côte d'Ivoire)*. Bioterre, *Revue Internationale des Sciences De la vie et la terre* N° spécial, 286-299, (2002).

Balagopalan, C. *Integrated Technologies for Value Addition and Post Harvest Management in Tropical Tuber Crops*. Central Tuber Crops Research Institute, Kerala India. New York. Academic Press, Inc, 323-452, (2000).

Banks W.C.T. & Muir D.D. *The characterization of starch and its components: A critical comparison of the estimation of amylose content by colorometric determination and potentiometric titration of the iodine complex*. *Starch/Stärke* 3, 81-83, (1974).

Bayoumi, S.A.L., Rowan, M.G., Beeching, J.R. & Blagbrough, I.S. *Constituents and secondary metabolite natural products in fresh and deteriorated cassava roots*. *Phytochemistry*, 71: 598–604, (2010).

BeMiller JN. *Carbohydrate chemistry for food scientists*. 2nd ed. St. Paul, Minn.: AACC Intl., 389 pages, (2007).

Bhattacharya, K.R. *Physicochemical basis of eating quality of rice*, *Cereal Foods World*, 54, 18–28, (2009).

Biliaderis, C.G. & Galloway, G. *Crystallization behavior of amylose-V complexes: structure-property relationships*, *Carbohydrates Research*, 31, 189-196, (1989).

Brauman, A., Kéléké, S., Mavoungou, O., Ampe, F. & Miambi, E. *Etude d'une fermentation lactique traditionnelle des racines de manioc en Afrique Centrale (Congo)*". In Agbor (E.), Brauman (A.), Griffon (D.), Trèche (S.) éd.: *Transformation Alimentaire du Manioc*. Orstom. Paris, 35-46, (1995).

Brauman A., Keleke S., Malonga M., Miambi E., Ampe F. *Microbiological and biochemical characterization of cassava retting, traditional lactic acid fermentation for foo-foo (cassava flour) production*, *Applied. Environnemental.Microbiology*, 62, 2854-2858, (1996).

Buléon A, Colonna P, Planchot V, Ball S. *Starch granules: structure and biosynthesis*, *International Journal of Biology Macromolecules*, 23, 85–112, (1998).

Cardoso A.P., Mirione, E., Ernesto, M., Massaza F., Cliff, J., Haque, M.R. & Bradbury J.H. *Processing of cassava roots to remove cyanogens*, *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 451-460, (2005).

Charles A.L., Sriroth K. & Huang T.C. *Proximate composition, mineral contents, hydrogen cyanide and phytic acid of 5 cassava genotypes*, *Food Chemistry*, 92, 615–620, (2005).

Ciglenecki, I., Eyema, R., Kabanda, C., Taafo, F., Mekaoui, H., Urbaniak V. *Konzo outbreak among refugees from Central African Republic in Eastern region, Cameroon, Food and Chemical Toxicology*, 49, 579–582, (2011).

Coulin P., Farah Z., Assanvo J., Spillmann H. & Puhan Z. *Characterisation of the microflora of attiéke, a fermented cassava product, during traditional small-scale preparation, International Journal of Food Microbiology*, 106, 131–136, (2006).

Davis, R.H. *Cyanogens*, in: D'Mello JPF, Duffus CM, Duffus JH (eds). *Toxic Substances in Crop Plants*, Cambridge: The Royal Society of Chemistry, (1991).

Delange, F., L.O. Ekpechi & H. Rosling, *Cassava cyanogenesis and iodine deficiency disorders, Acta Horticulturae*, 375, 289-293, (1994).

Dixon, M.B., Adebowale, A.A., Onabanjo, O.O. & Dixon, A.G.O. *Effect of variety and drying methods on physico-chemical properties of high quality cassava flour from yellow cassava roots, African Crop Science Conference Proceedings*, 7, 635-641, (2005).

Djouldé D. *Mise au point d'un ferment mixte destiné à la bioconversion des tubercules de manioc cyanogène. Thèse présentée à l'Ecole Nationale Supérieure Des Sciences Agroindustrielles (ENSAI) de l'Université de Ngaoundéré-Cameroun*, 220 pages, (2005).

Djouldé D.R., Essia Ngang J.J. & Etoa F.X. *Amélioration du rouissage du manioc par utilisation d'un starter microbien de trois souches, International Journal of Innovation and Scientific Research*, 14, 268-277, (2015).

Dufour, D.L. *Cassava in Amazonia: lessons in utilization and safety from native peoples*, 11, 417-436, (1994).

Edward V. A., Egounlety M., Huch M., Petrus J., Zyl, Suren V., Singh, Naledzani D., Nesengani, Haakuria M.V. & Franz M.A.P. *Isolation and screening of microorganisms from a gari fermentation process for starter culture development, African Journal of Biotechnology*, 11, 12865-12877, (2012).

Ekwem O H. *Isolation of antimicrobial producing lactobacilli from akamu (a Nigerian fermented cereal gruel), African Journal of Microbiology Research*, 8, 718–720, (2014).

Ernesto, M., Cardoso, A.P., Nicala, D., Mirione. E., Massaza, F., Cliff. J., Haque M.R. and Bradbury J.H. *Persistent konzo and cyanide toxicity from cassava in Northern Mozambique*, *Acta Tropica*, 82, 357-362, (2002).

Essers, A.J.A. & Nout, M.J.R. *Reducing toxicity by simple changes in the traditional preparation of cassava leaves- a small trial in Mozambique*, *Tropical Science*, 29, 269–272, (1989).

Essers, A.J.A. *Making safe flour from bitter cassava by indigenous solid substrate fermentation*, *Acta Horticulturae*, 375, 217–224, (1994).

Essers AJ, Ebong C, van der Grift RM, Nout MJR, Otim-Nape W. & Rosling H. *Reducing cassava toxicity by heap fermentation in Uganda*, *International Journal of Food Science and Nutrition*, 46, 125–136, (1995).

Etudaiye, H.A; Nwabueze, T.U & Sanni, L.O. *Quality of fufu processed from cassava mosaic disease (CMD) resistant Varieties*, *African Journal of Food Science*, 3, 61-67, (2009).

Ezo'o, M.F.T. *Impact de la flore sporulée bactérienne des cossettes de manioc roui et séché sur la durée du rouissage*. Mémoire de Master, 56 pages, (2010).

Falade K.O. & Akingbala J.O. *Utilization of cassava for food*, *Food Review International*, 27, 51-83, (2010).

FAO. *Perspectives de l'alimentation. Analyse des marchés mondiaux – Novembre 2012*. Rome. (2012).

FAO. *Base de données statistiques FAOSTAT* (<http://faostat.fao.org>) (2013).

FAO. *Base de données statistiques FAOSTAT* (<http://faostat.fao.org>) (2014).

Farasara, R., Hariyadi, P., Fardiaz, D. & Dewanti-Hariyadi, R. *Pasting Properties of White Corn Flours of Anoman 1 and Pulut Harapan Varieties as Affected by Fermentation Process*, *Food and Nutrition Sciences*, 5, 2038-2047, (2014).

Fennema O.R. *Water and ice*, in: Fennema OR, editor. *Food Chemistry*. New York, N.Y.: Marcel Dekker, 23–67. (1985).

Friedman, P.A. *Common poisons*, in: Isselbacher K.J.et al., eds. *Harrison's principles of internal medicine*. 9th (ed). London: McGraw-Hill International Student Edition, 953-965, (1980).

- FSANZ.** *Advice on the preparation of cassava and bamboo shoots.* Report Number 2-04. Canberra: FSANZ, Final assessment report proposal. 257pages, (2004).
- Ghiasi K, Varriano-Marston K, Hosney RC.** *Gelatinization of wheat starch. II. Starch surfactant interaction,* Cereal Chemistry, 59, 86–88, (1982).
- Gruhnert, C., Biehl, B. & Selmar D.** *Compartmentation of cyanogenic glucosides and their degrading enzymes,* Planta, 195, 36-42, (1994).
- Guiraud E. Champaillet A., Raimbault M, Moulard S.** *Development of a miniaturized selective counting strategy of lactic bacteria for evaluation of mixed starter culture in a model cassava fermentation,* Journal of Applied Microbiology. 84, 444-450, (1998).
- Hamdy, H.S.** *Purification and characterization of the pectin lyase produced by fermentation of teff (Eragrostis tef) batter,* Advanced Research Biology Science, 1, 36-44, (2005).
- Hanashiro I., Tagawa M., Shibahara S., Iwata K. & Takeda.** *Examination of molar-based distribution of A, B and C chains of amylopectin by fluorescent labelling with 2 aminopyridine,* Carbohydrates Research, 337, 1211–1215, (2002).
- Hasjim, J., Li, E., Dhital, S.,** *Milling of rice grains: The roles of starch structures in the solubility and swelling properties of rice flour,* Starch/Stärke, 64, 631–645, (2012).
- Henshaw, E. E. & Ikpoh, I. S.** *Effect of single bacterial starter culture on odour reduction during controlled fermentation of cassava tubers for foofoo production,* Malaysian Journal of Microbiology, 6, 57-61, (2010).
- Holzappel W.H.** *Appropriate starter culture technologies for small-scale fermentation in developing countries,* International Journal of Food Microbiology, 75, 197-212, (2002).
- Hozappel W.** *Characterization and biochemical properties of predominant lactic acid bacteria from fermenting cassava for selection as starter cultures,* International Journal of Food Microbiology, 114: 342-351. (2007).
- Hoover, R.** *Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review,* Carbohydrate Polymers, 45: 253-267, (2001).
- Jane, J.L., Shen, L., Lim, S., Kasemsuwan, T. and Nip, W.K.** *Physical and chemical studies of taro starches and flours.* Cereal Chemistry, 69, 528-535, (1992).

Jane, J.L., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S. *Effects of amylopectin branch chain-length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch*, Cereal Chemistry, 52, 555-562, (1999).

Juliano B.O., Perez, C.M., Blakeney, A.B., Castillo, D.T., Kongseree, N., Laignelet, B., Lapis, E.T., Murty, V.V.S., Paule, C.M., Webb, B.D. *Cooperative testing on the amylose content of milled rice*, Starch/Stärke, 33, 157–162, (1981).

Kanjana C., Kuakoon P., Vilai S. and Klanarong S *Effect of Lactic Acid Fermentation on Physico-chemical Properties of Starch Derived from Cassava, Sweet Potato and Rice*, Kasetsart Journal, 39, 76 – 87, (2005).

Kawano, K. *Thirty Years of Cassava Breeding for Productivity – Biological and Social Factors for Success*, Crop Science, 43, 1325-1335, (2003).

Kimaryo V. M., Massawe G. A., Holzapfel W. H., Olasupob N. A. *The use of starter culture in fermentation of cassava for production of “Kivunde”, a traditional Tanzanian food product*, International journal of Food Microbiology, 56, 179-190, (2000).

Kimmons J.E., Brown K.H., Lartey A., Collison E., Mensah P.P., Dewey K.G. *The effects of fermentation and/or vacuum flask storage on the presence of coliforms in complementary foods prepared in Ghana*, International Journal of Food Science and Nutrition, 50, 195-201, (1999).

King, N.L.R. & Bradbury, J.H. *Bitterness of cassava – identification of a new apiosyl glucoside and other compounds that affect its bitter taste*. Journal of Science. Food and Agriculture, 68, 223–230, (1995).

Kobawila, S.C., Louembe, D., Keleke, S., Hounhouigan, J. & Gamba, C. *Reduction of the cyanide content during fermentation of cassava roots and leaves to produce bikedi and ntoba mbodi, two food products from Congo*, African Journal of Biotechnology, 4, 689-696, (2005).

Koransky, J.R., Allen, S.D., Dowell, Jr. V.R. *Use of ethanol for selective isolation of spore forming microorganisms*, Applied Environmental Microbiology, 35, 762-765, (1978).

Kostinek M. , Specht I. ,Edward V.A., Pinto C., Egounlety M., Sossa C., Mbugua S., Dortu C., Thonart P., Taljaard L.,Mengu M., Franz C.M.A.P., McMahon J, White W, Sayre R.T. *Cyanogenesis in cassava (Manihot esculenta Crantz)*, Journal of Experimental Botanic, 46, 731-741, (1995).

Lantum, H. *Spastic paraparesis-konzo in the Garoua Boulai Health District, East Province-Cameroon: a hidden endemic disease.* Monograph. Cameroun: Yaounde., Abstracted in the African Index Medicus. 85 pages, (1998).

Li, E., Dhital, S. and Hasjim, J. *Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties, A Review - Starch/Stärke.* 66: 15–27, (2014).

Liu, Q., Donner, E., Yin, Y., Huang, R.L. & Fan, M.Z. *The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers, and legumes grown in China,* Food Chemistry, 99, 470-477, (2006).

Loh J. *The effect of shear rate and strain on the pasting behavior of food starches,* Journal of Food Engineering, 16, 75–89, (1992).

Lu T.J., Duh C.-S., Lin J.-H. and Chang Y.-H. *Effect of granular characteristics on the viscoelastic properties of composites of amylose and waxy starches.* Food Hydrocolloids, 22, 164-173, (2007).

Mabit J., Loisel C., Fayolle F & Legrand J. *Determination of volume fraction submitted to high shear in a scrapped surface heat exchanger,* Journal and Food Engineering, 57, 165-172, (2003).

Mahmood T, Turner M.A, Stoddard F.L. *Comparison of methods for colorimetric amylose determination in cereal grains,* Starch/Stärke, 59, 357–365, (2007).

Maieves H. A., Cardoso D., De Oliveira, Frescura J. R. & Edna R. A. *Selection of cultivars for minimization of waste and of water consumption in cassava starch production* Industrial Crops and Products, 33, 224–228, (2011).

Malumba, P., Janas, S., Deroanne, C., Masimango, T., & Béra, F. *Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique,* Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 15, 315-326, (2011).

Mbougueng, P.D. *Influence des amidons natifs ou acetyles de manioc et de pomme de terre sur les propriétés physicochimiques et texturales du paté de bœuf (*Bos indicus*).* Thèse présentée à l'Ecole Nationale Supérieure Des Sciences Agroindustrielles (ENSAI) de l'Université de Ngaoundéré. 167pages, (2009).

McMahon, J. M., White, W. L. B., & Sayre, R. T. *REVIEW ARTICLE.* Journal of Experimental Botany, 46, 731-741, (1995).

Mensah P., Tomkins A.M., Drasar B.S., & Harrison T.J. *Fermentation of cereals for reduction of bacterial contamination of weaning foods in Ghana*, Lancet, 336: 140-143. (1990).

Messens W., & De Vuyst L. Inhibitory substances produced by Lactobacilli isolated from sourdoughs-a review. *International Journal of Food Microbiology*, 72, 31-43, (2002).

Mlingi, N., Poulter, N.H., & Rosling, H. *An outbreak of acute intoxications from consumption of insufficiently processed cassava in Tanzania*. Nutrition Research, 12, 677–687, (1992).

Montagnac J. A., Davis C. R. & Tanumihardjo S. A. *Processing techniques to reduce toxicity and tntinutrients of Cassava for use as a staple food*, Comprehensive reviews in food science and food safety, 8, 17-27, (2009).

Moorthy, S.N. & Mathew, G. *Cassava fermentation and associated change in physicochemical and functional properties*, Critical reviews in Food Science and Nutrition, 38, 73-121, (1998).

Morrison, W.R. & Karkalas, J. *Starch*. In: Dey PM, editor. Methods in plant biochemistry, London. Academic Press, 2,323–352, (1990).

Nartey, F. *Cassava cyanogenesis ultrastructure and seed germination*, In: Denis R. & Walter F. (eds), Cassava Copenhagenmuksgaard, New York, USA pp. 234, (1978).

Nassar, N.M.A. & Marques A.O. *Cassava leaves as a source of protein*, Journal of Food Agriculture and Environment, 4, 187-188, (2006).

Ndunguru, G. T., Thomson, M., Waida, T. D. R., Rwiza, E., Jeremiah, S., & Westby, A. *Relationship between quality and economic value of dried cassava products in Mwanza, Tanzania*. In Akoroda, M. O. and Terri, J. (eds) Food Security and Crop Diversification in SADC Countries. *The Role of Cassava and Sweet potato*.SARRNET, Malawi, 408-414, (1999).

Newport Scientific. *Applications manual for the Rapid Visco™ Analyzer*, Warriewood NSW, Australia: Newport Scientific Pty. Ltd. AACC International press, ISBN, 152 Pages, (1998).

Numfor, F.A., Walter, W.M. & Schwartz, S.J. *Physicochemical changes in cassava starch and flour associated with fermentation: effect on textural properties*, Starch/Stärke. 47, 86-91, (1995).

Neyman S.L. & Buchanan C.E. *Restoration of vegetative penicillin-binding proteins during germination and outgrowth of Bacillus subtilis spores; relationship of individual protein to specific cell cycles events*, Journal of Bacteriology, 11,164-168, (1985).

Nhassico, D., Muquingue, H., Cliff, J., Cumbana, A., Bradbury, J.H. *Rising African cassava production, diseases due to high cyanide intake and control measures*. Journal of Science and Food Agriculture, 88, 2043–2049, (2008).

Njukwe, E., Nguenkam, A., Mbairanodji, A., Ngue-Bissa, T., Hanna, R., *Cassava processing among small-holder farmers in Cameroon: Opportunities and challenges*, International Journal of Agricultural Policy and Research, 2, 113-124, (2014).

Nuwamanya, E., Baguma, Y., Naushad, E., Taylor, J., & Rubaihayo, P. *Physicochemical and functional characteristics of cassava starch in Ugandan varieties and their progenies*, Journal of Plant Breeding and Crop Science, 2, 1-11, (2010).

Nweke, F. I. Cassava processing in sub-Saharan Africa: the implications for expanding cassava production. *Outlook on Agriculture* 23, 197–205, (1994).

Nzigamasabo, A. & Hui, M.Z. *Functional and chemical properties of ikivunde and inyange, two traditionally processed Burundian cassava flours*, Journal of Food Biochemistry, 30, 429–443, (2006).

O'Brien, G.M., Mbome, L., Taylor, A.J. & Poulter, N.H. *Variations in cyanogen content of cassava during village processing in Cameroon*, Food Chemistry, 44, 131–136, (1992).

Obilie E.M., Tano D. & Amoa Awua W.K.A. *Souring and breakdown of cyanogenic glucosides during the processing of cassava into akyeke*. International Journal of Food Microbiology, 93, 115-121, (2004).

Oguntoyinbo F.A. *Identification and functional properties of dominant lactic acid bacteria isolated at different stages of solid-state fermentation of cassava during traditional gari production*, World Journal of Microbiology and Biotechnology, 23, 1425-1432, (2007).

Okafor, N., Umeh, C., Ibenegbu, C., Obizoba, I. & Nnam, N. *Improvement of gari quality by the inoculation of microorganisms into cassava mash*, International Journal of Food Microbiology, 40, 43-49, (1998).

Oke, M.O. & Bolanriwa I.F. *Effect of Fermentation on Physicochemical Properties and Oxalate Content of Cocoyam (Colocasia esculenta) Flour*, International Scholarly Research Network (ISRN) Agronomy. 4pages, doi:10.5402/2012/978709, (2012).

Okereke H C, Achi O K, Ekwenye U N & Orji F A. *Antimicrobial properties of probiotic bacteria from various sources*, African Journal of Biotechnology, 11, 9416–9421, (2012).

Oluwole, O.S., Onabolu, A.O. & Cotgreave, I.A. *Incidence of endemic ataxic polyneuropathy and its relation to exposure to cyanide in a Nigerian community*, Journal of Neurology and Neurosurgery Psychiatry, 74, 1417–1422, (2003).

Onabolu, A.O., Oluwole, O.S.A., Bokanga, M. & Rosling, H., *Ecological variation of intake of cassava food and dietary cyanide load in Nigerian communities*. Public Health Nutrition, 4, 871–876, (2001).

Onitilo M.O, Sanni L.O, Daniel I, Maziya-dixon, B. & Dixon A. *Physicochemical and functional properties of native starches from cassava varieties in southwest Nigeria*, Journal of Food, Agriculture and Environment 5, 108-114, (2007).

Osungbaro, O; Jimoh, D, & Osundeyi, E. *Functional and pasting properties of composite Cassava-Sorghum flour meals*, Agriculture and Biology Journal of North America ISSN Online, 2151-7525, (2010).

Oyewole, O.B. & Odunfa, S.A. *Microbiological studies on cassava fermentation for 'Lafun' production*, Food Microbiology, 5, 125-133, (1988).

Oyewole, O.B. & Odunfa, S.A. *Characterization and distribution of lactic acid bacteria in cassava fermentation during fufu production*, Journal of Applied Bacteriology, 68, 145-152, (1990).

Oyewole, O.B. *Fermentation of cassava for 'lafun' and 'fufu' production in Nigeria*, Food Laboratory News, 7, 29-31, (1991).

PNDRT (Programme National de Développement des Racines et Racines). *Rapport des études de base dans les cinq antennes*, Fichier électronique. Ministère de l'Agriculture et du développement Rural, 102 pages, (2005).

Prawat, H., Mahidol, C., Ruchirawat, S., Prawat, U., Tuntiwachwuttikul, P., Tooptakong, U., Taylor, W.T., Pakawatchal, C., Skelton, B.W. & White, A.H.,

Cyanogenic and non cyanogenic glycosides from *Manihot esculenta*. *Phytochemistry* 40, 1167–1173, (1995).

Rickard, J.E. & Coursey, D.E. *Cassava Storage, Part 1: Storage of fresh Cassava roots*, Tropical Science, 23, 1-32, (1981).

Rodríguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A., Cuvelier, G., Relkin, P. & Bello-Pérez, L. *Starch retrogradation in cassava flour from cooked parenchyma*, *Starch/Stärke*, 60, 174-180, (2008).

Sanni L.O., Onitilo, M., Oyewole, O.B., Dipeolu, A.O., Adebayo K. Ayinde I.A. Tomlins, K. & Wesby, A. *Effect of Cassava Varieties and processing methods on the qualities of starch in Southwest Nigeria*, Paper presented at the Food Africa, Yaounde, Cameroon, (2003).

Sanni L. O., Kosoko S. B., Adebowale A. A. & Adeoye, R. J. *The influence of palm oil and chemical modification on the pasting and sensory properties of fufu flour*, *International Journal of Food Proprieties*, 7, 229–237, (2004).

Schnürer J. & Magnusson J. *Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives*, *Trends in Food Science & Technology*, 16, 70-78, (2005).

Seguchi M, Hayashi M, Sano Y. & Hirano HY. *Role of amylose in the maintenance of the configuration of rice starch granules*, *Starch/Stärke*, 55,524–528, (2003).

Shittu T. A. ;Sanni L.O. ; Awonorin S.O. ; Maziya-Dixon B. & Dixon A. *Use of multivariate techniques in studying the flour making properties of some CMD resistant cassava clones*, *Food Chemistry*, 101, 1606–1615, (2007).

Singh N, Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. & Gill BS. *Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources*. *Food Chemistry* 81, 219–331, (2003).

Songré-Ouattara L T, Mouquet-Rivier C, Icard-Verniere C, Rochette I, Diawara B & Guyot J P. *Potential of amylolytic lactic acid bacteria to replace the use of malt for partial starch hydrolysis to produce African fermented pearl millet gruel fortified with groundnut*, *International Journal of Food Microbiology*, 130, 258–264, (2009).

Soro-Yao, A.A., Koffi M.D., Kouakou, B., Amani, G. & Thonart, P. *The Use of Lactic Acid Bacteria Starter Cultures during the Processing of Fermented Cereal-based Foods in West Africa, A Review*, *Tropical Life Sciences Research*, 25, 81–100. (2014).

Tang, H., Mitsunaga, T. & Kawamura Y. *Functionality of starch granules in milling fractions of normal wheat grain*, Carbohydrate Polymers 59, 11–17, (2005).

Teles, F.F.F. *Chronic poisoning by hydrogen cyanide in cassava and its prevention in Africa and Latin America*, Food Nutrition Bulletin, 23, 407–412, (2002).

Tester, R.F. & Morrison, W.R., *Properties of damaged starch granules. V. Composition and swelling of fractions of wheat starch in water at various temperatures*, Journal of Cereal Science, 20, 175–181, (1994).

Tufvesson F., Wahlgren M., & Eliasson A.C. *Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperature treatment. Part 1: Monoglycerides*, Starch/Stärke, 55, 61-70, (2003).

Tukomane T., Leerapongnun P., Shobsngob S., & Varavinit S. *Preparation and characterization of annealed- enzymatically hydrolyzed tapioca starch and the utilization in tableting*. Starch/Stärke, 59, 33-45, (2007).

UNCTAD. INFOCOMM commodity profile: Cassava (<http://www.unctad.info/en/infocomm/aacp-products/commodity-profile-cassava/>) (2013).

Westby A., & Choo B.K. *Cyanogens reduction during the lactic fermentation of cassava*. Acta Horticulture, 375, 209–215, (1994).

Wickramasinghe H.A.M. & Noda T. *Physicochemical properties of starches from Sri Lankan rice varieties*. Food Science and Technological Research, 14, 49–54, (2008).

Xiayou Z., Qunyi T., Wenxu Z. & Fei, R. *Pasting rheological properties and gelatinization kinetics of tapioca*, Journal of Food Engineering, 114, 255-261, (2013).

Yadav S., Yadav P. K.,Yadav D. & Yadav K. S. *Pectin lyase: A review*, Process Biochemistry, 44, 1–10, (2009).

Yano M., Okuno I., Kawakami J., Satoh H. & Omura T. *High-amylose mutants of rice, Oryza sativa L*, Theory Applied Genetic, 69, 253–7. (1985)

Yao A.A, Dortu C., Egounlety M., Pinto C., Edward V.A, Huch (née Kostinek), M., Franz, CMAP, Holzapfel, W, Mbugua, S, Mengu, M & Thonart, P. *Production of freeze-dried lactic acid bacteria starter culture for cassava fermentation into gari*. African Journal of Biotechnology, 8, 4996-5004, (2009).

Younoussa D., Momar T. G., Mama S., Praxède G. D., Amadou K., Jean-Paul et Barthelemy, G. L. *Importance nutritionnelle du manioc et perspectives pour l'alimentation de base au Sénégal (synthèse bibliographique)*, *Biotechnologie Agronomie Sociologie et Environnement*, 17, 634-643, (2013).

Article issu de la thèse



Assessment of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Fermentation and Detoxification Using Previously Cassava-fermented Chips

Nardis Nkoudou Ze¹, Sylvain Sado Kamdem², Hélène Bouquet Agnia¹,
Fabrice Ezo'o Mengo¹ and Jean Justin Essia Ngang^{2*}

¹Department of Biochemistry, Faculty of Science, The University of Yaoundé 1, Cameroon.

²Department of Microbiology, Faculty of Science, The University of Yaoundé 1, Cameroon.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration between all authors. Author JJEN designed the study. Author NNZ performed the statistical analysis with author SSK, also wrote the protocol with authors HBA and FEM. Author NNZ wrote the first draft of the manuscript with authors SSK and JJEN. Authors JJEN, SSK and NNZ managed the analyses of the study. Author NNZ managed the literature searches. All authors read and approved the final manuscript.

Article Information

DOI: 10.9734/BJAST/2016/22262

Editor(s):

(1) Gabriela Bahrim, Faculty of Food Science and Engineering, University "Dunarea de Jos" of Galati, Romania.

Reviewers:

(1) Arifa Tahir, Lahore College for Women University, Pakistan.

(2) Edward Missanjo, Malawi College of Forestry and Wildlife, Malawi.

Complete Peer review History: <http://sciencedomain.org/review-history/12421>

Original Research Article

Received 26th September 2015
Accepted 11th November 2015
Published 25th November 2015

ABSTRACT

Aims: This study was aimed as the assessment of dried cassava-fermented chips (DFCC) efficacy in terms of their fermentation acceleration and cyanogens reduction potential.

Study Design: An experimental study design was employed in order to achieve the objective of the study.

Place and Duration of Study: The study was carried out in the *Laboratoire de Microbiologie* of the University of Yaoundé 1, Cameroon between October 2011 and August 2014.

Methodology: Commercial fermented cassava chips samples were analyzed for their performances to accelerate the retting of cassava roots. The performances of DFCC were determined by periodical measure of the degree of softening of the roots in retting process by penetrometry for 4 days. Further, cassava chips were produced at different fermentation times and

*Corresponding author: E-mail: jessia@uy1.uninet.cm, essia_ngang@yahoo.fr;

assessed for the same properties. Finally, the best fermentation time to obtain cassava-fermented chips capable to reduce efficiently the retting time was determined and chips produced at this time were used after different pre-treatments in order to assess their impact on the fermentation performances and detoxification of cassava roots as compared to spontaneous retting.

Results: Results indicated that DFCC samples collected have high retting performances variability correlated to their fermentation time and microbial concentration. The best DFCC used as cassava retting accelerator (CRA) was obtained after 96h of fermentation (CRA-96). It permitted to reduce the retting time from 71.3 ± 8.5 hours to 35.8 ± 1.4 hours compared to the spontaneous fermentation; and final cyanides contain of 7.86 ± 0.00 ppm corresponding to 98.8% reduction. Optimization assays showed that CRA-96 when soaked for 12 h before use, reduce retting time by 58.5% but did not modify cyanides reduction.

Conclusion: The adoption of the CRA-96h as cassava retting accelerator by cassava fermented by-products producers would be great advantage for them who often only ret for 1-2 days and then get into trouble with large cyanide levels in their flour.

Keywords: Cassava; cassava-fermented chips; retting time; cyanogens reduction; fermentation.

1. INTRODUCTION

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a plant of 1-2 m shrub which starchy roots provide food for over 500 million people in the developing world and up to about 60% of their daily calorific needs [1,2]. In spite of its importance, harvested cassava tubers cannot be stored without processing. Physiological deterioration occurs in cassava roots 2-5 days after harvest because of microbial activity [3]. In addition, cassava roots contains cyanogenic glycosides mainly linamarin and in less amount lotaustralin (or methyl linamarin) [4], which are the main nutritional drawbacks that must be avoided. One of this drawback, its toxicity [2,5], is minimised by traditional process during which, roots are transformed into many product. Among processing operations of cassava, retting, which is microbial fermentation of the root, is one of the most suitable methods to reduce the toxic and poisonous constituents (cyanogenic glycosides) of the raw fresh cassava [2,6-8]. During this fermentation, roots are softened, disintegration of the tissue structure results in contact of linamarine with linamarase, which is located in the cell walls and subsequent hydrolysis to cyanhydric acid soluble in water. This retting usually takes 3-5 days depending on the roots dimensions and age, ambient temperature and microbial population involved. The need to accelerate this process has arisen due to the rapid increase of population demand. For this reason, some attempt of starter production in order to enhance the initial microbial population and faster the retting process has been proposed by some authors [9-12]. Notwithstanding these efforts to propose microbial solutions to accelerate the cassava retting, the use of

selected microorganisms have very low dissemination among the producers because of the difficulties to handle strains, their cost and the detoxification not always equal to the traditional product [7,13]. This single strain or selected strain approach to accelerate cassava retting has hence proved to be unsuccessful, indicating that microbial implication during this fermentation should be assessed in and holistic manner. It has been observed that, traditionally rural cassava producers use different empirical methods to accelerate the retting like adding, mild steel, using mother liquor of previous fermented cassava [14]. The use of cassava from previous fermentation is the one mostly adopted retting method in Cameroon even though with fluctuating results. The hypothesis behind the success of this technique is that these fermented chips contain different microbial organisms that constitute the initial flora of the fermentation with a holistic interaction. Currently, at the best of our knowledge, no study has assessed the reasons of this fluctuating results and the level of detoxification achieved when accelerating the process. It is in this perspective that the use of cassava-fermented chips (*starters*) for the acceleration of cassava retting was studied with the objective of assessing its impact on the cassava retting time and the total cyanogens reduction.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Samples Collection

2.1.1 Fresh cassava roots

Twelve months old freshly cassava roots of the bitter variety, traditionally called *Six-mois*, were

always harvested, during the period of study, from Bafia region in Cameroon and transported directly in polyethylene back to the laboratory experience.

2.1.2 Cassava-fermented chips

Fifteen Gross-sellers from the main food distribution markets in Yaoundé-Cameroon were randomly selected and for each seller, samples were collected from top, middle and bottom of bags in order to have a weight of about 2 kg. All samples (15) were placed each, in sterile plastic bags, labelled (S1 to S15), then transported to the laboratory in an insulated box containing a freezing pack, and stored at 8°C.

2.2 Determination of Cassava Fermentation Time Necessary for Production of Starter with the Best Retting Performance

2.2.1 Production of starters

Cassava roots were peeled, cut into cylinder of approximately 4 cm length x 5 cm diameter, washed and divided in five set of 500 g each. Every set was submerged in 500 ml of sterilized tap water at the ambient temperature (between 28 and 32°C) in the laboratory and fermentation was stopped after 24 h, 48 h, 72 h, 96 h and 168 h respectively for the 5 set of experiment. At the end of each the fermentation time, cassava root were removed, dewatered and dried at 40°C in a ventilated oven for two days, when water content of samples was inferior to 15% (w/w). The dried cassava chips obtained were crushed in a blender and flours got from each set, wrapped in labelled airtight plastic sachets and named CRA-24, CRA-48, CRA-72, CRA-96 and CRA-168 (constitute the starters with CRA for "Cassava Retting Accelerator") with respect to the length of fermentation, then stored at 4°C for subsequent analyses.

2.2.2 Fermentation procedure with starters

Cassava tubers were peeled cut into cylinder like previously described, washed and divided into sets of 500 g each. Fermentation was performed by submerging 500 g of cassava pieces of each set in 500 ml of tap water and then, inoculated with 1% (w/v) of starters powder previously produced. One set representing the control (natural fermentation) were not inoculated. Retting (fermentation in water) was conducted at ambient temperature (between 28 and 32°C) in

the laboratory and followed during 4 days by evaluation of cassava root softening. Three tests were performed for each essay.

2.2.3 Evaluation of cassava roots softening and determination of the retting performances of the starters

Retting performance was determined by periodical measure of the degree of cassava roots softening of the chunks with a penetrometry instrument (RPN10 Berlin). The more the softening was, the higher was the distance of penetration of the penetrometry-needle. The sigmoid nature of the softening kinetics made it possible for the data to be fitted to the Baranyi and Roberts [17] model. This fitting permitted to estimate the kinetics parameters (the time to initiate softening (TIS) and the softening rate (SR)) as shown in Fig. 1. The retting time (RT) was calculated with the expression below:

$$RT = TIS + 0.8^* / SR \quad (1)$$

*0.8 is the penetrometry index, which corresponds to the level softening most suitable for most transformed cassava foods chosen.

Each retting kinetics test was carried on three times and the results presented as mean plus standard deviation.

2.3 Improvement of Cassava Starter Activity

In order to further improve the performance of the cassava retting accelerator (CRA) used, the best starter obtained from previous experiment was subjected to the four series of pre-treatments described below before inoculation to 500 g of cassava pieces submerged in 450 ml of sterilised water.

- 1- With the view to obtain rapidly the vegetative form of microorganism generally present in the flour in spore forms 5 g of CRA called CRA-96 ThA, were diluted in 45 ml sterile water, heated at 80°C for 10 min and immediately cooled down at 30°C
- 2- 5 g of CRA called CRA-96 ChA, was diluted in solution of ethanol 60%v/v, agitated at 60 rpm (rotation per minute) during one hour with the same aim as the first pre-treatment.
- 3- To increase the initial charge of viable microorganism, 5g of CRA named CRA-96NB was inoculated in 45 ml of sterile

nutrient broth made of potatoes starch 2% w/v and 0.5% w/v of yeast extract, and then incubated at 37°C for 12 h

- 4- In order the revived spore flora of CRA before his utilization, 5 g of CRA called CRA-96W was simply soaked in 45 ml of sterile water and incubated at 37°C for 12 h.

Two set of control were also used (CRA-96 and set without CRA).

2.4 Microbial Groups Cell Load Determination

Total mesophilic aerobic flora (TMAF); sulfite-reducing flora (SRF) and total *Bacillus* spp spores count were enumerated using the traditional plate count technique. For all the CRA produced or collected, 10 g of the product was mixed with 90 ml of 0.9%w/v NaCl sterile solution. The suspension obtained constituted the stock solution of the sample from which a series of decimal dilutions was performed and 0.1 ml of the appropriate dilution sowed on suitable solid medium surface. TMAF was enumerated at 30°C for 24 hours on Plate Count Agar (PCA, Oxoid, Basingstoke, UK). Sulfite-

reducing flora (SRF) was obtained by culturing in absence of oxygen in an anaerobic jar on TSN Tryptone Sulfite-Neomycin (TSN, Oxoid, Basingstoke, UK) at 45°C for 24 hours. Total *Bacillus* spp spores (TBF) was enumerated on BCP (Bromocresol purple) agar supplemented with potatoes starch at 30°C for 72 hours. Each sample was analysed three times and the results presented as mean plus standard deviation.

2.5 Determination of Total Cyanide Content

Cyanide content of cassava before and after processing, was determined using the picrate kit B2 for determination of the total cyanide content of cassava flour [15,16]. A 100 mg flour sample was placed in a plastic vial, a small filter paper impregnated with pH 6 buffers, and linamarase was added, followed by 0.5 ml of water and a yellow picrate paper. The vial was immediately closed and left at 30°C overnight. The next day the yellow-brown picrate paper was separated from the plastic backing strip and placed in 5 ml of water. The absorbance of the solution was measured at 510 nm and the total cyanide content in ppm was calculated by multiplying by 396 [15].

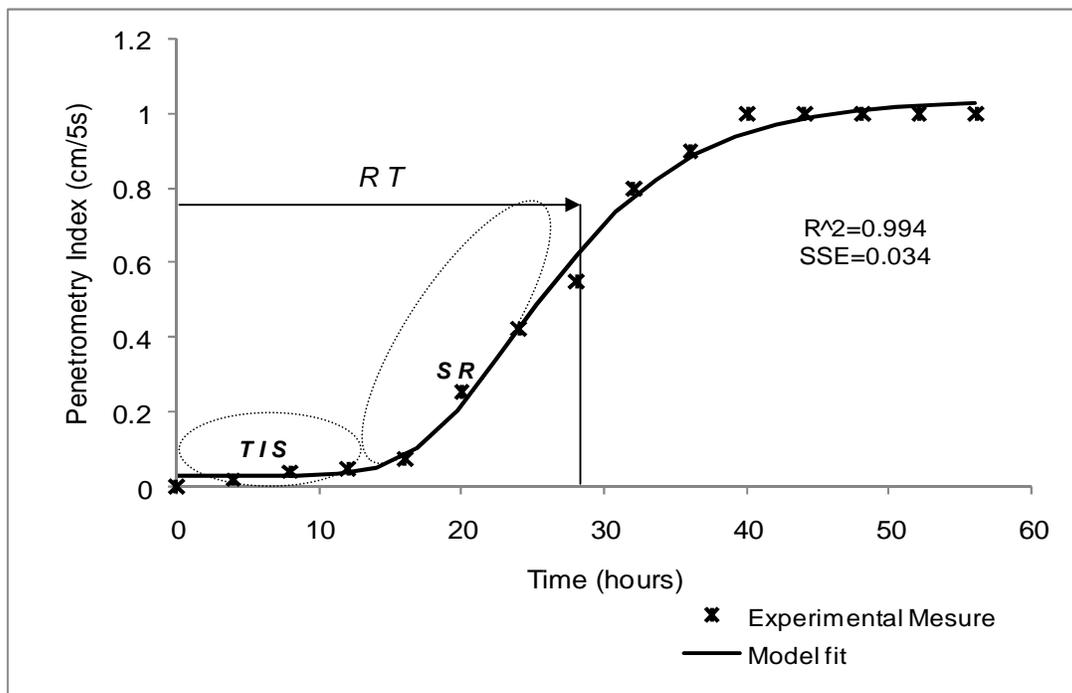


Fig. 1. Evolution of penetrometry index with time fitted with Baranyi and Robert model
Kinetics parameters are shown in italic. TIS= Time to initiate softening; SR= Softening rate; RT= Retting time

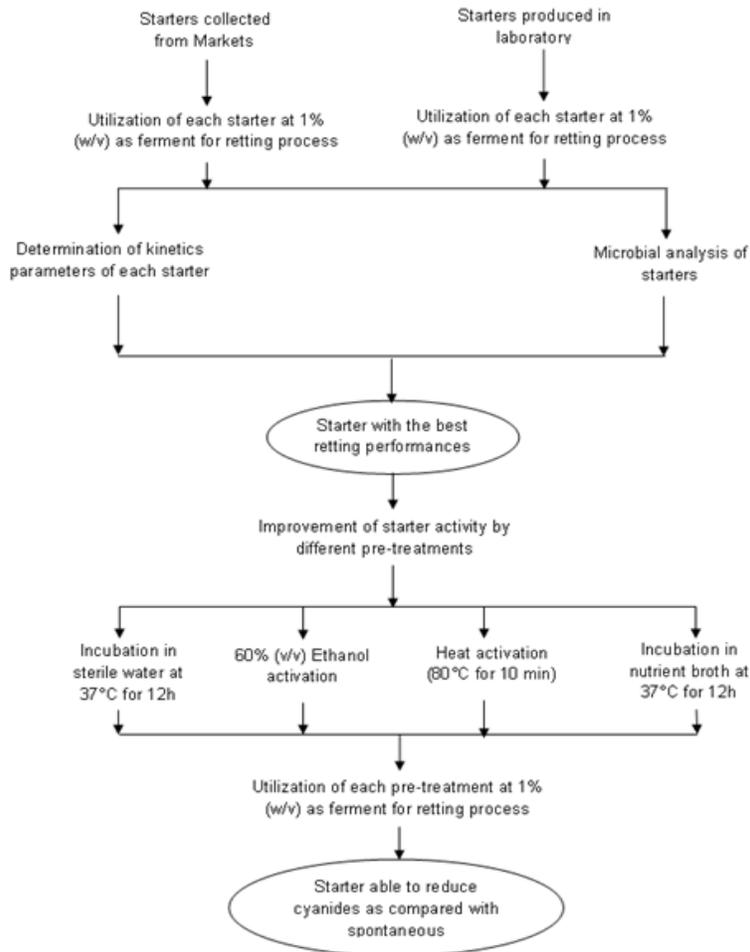


Fig. 2. Overall experimental description

2.6 Statistical Analysis

The analysis of the data of the profile of softening according to time was made by adaptation to the model of Baranyi and Robert [17] by using *DM-fit* software made free available on the www.combase.cc site. SPSS version 16.0 Chicago, IL, USA was used for analysis of variance (ANOVA), and statistical differences between means ($p < .05$) were tested by the Fisher's least significant difference (LSD) test.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Evaluation of the of Cassava-fermented Chips Collected from Market to Accelerate the Retting

Retting parameters presented on Table 1, show that Retting Time (RT) and the time to initiate

softening (TIS) varied with the commercial chips used, which confirms the observations made during traditional processing. It appears from the land survey that the use of these dry fermented cassava samples for new fermentations permitted to obtain a variety of retting kinetics differing for their TIS and SR. This result can be attributed to the different origins of the samples and the nature of the microbial communities responsible for the fermentation. Microbial analysis (Table 2) shows that, Total mesophilic aerobic flora (TMAF) value ranged from 3.6 ± 0.2 log CFU/g to 7.4 ± 0.0 log CFU/g while total *Bacillus* spp spores (TBS) cell loads, they varied between 2 ± 0.0 log CFU/g and 5.6 ± 0.2 log CFU/g (Table 2). The lowest microbial group content was that of SRF, which did not exceed 1.4 ± 0.3 logs CFU/g and were under the detection value in some samples. The reduction of the TIS and retting time (RT) by most of the samples used as compared to the control indicates that the initial

microorganism pool of dry fermented cassava samples have contributed in different ways in initiating the softening of the cassava roots. Microbial enzymes like cellulases, xylanases, pectin methyl esterases, polygalacturonases, and lyases are known to be responsible of cell walls disruption, facilitating the microbial actions leading to cassava softening [18,6]. The fact that dry fermented samples with good performances on the TIS are not always the same with good performances on the softening rate (SR) indicates that different microbial communities are involved in these phases and the retting is just the combination of their actions. This also explains why it was at the level of the retting time that the significant correlations were observed with the microbial growth cell loads (Table 3).

Table 1. Retting kinetics parameters of spontaneous fermentation and fifteen dried cassava chips samples (S)

Dry fermented cassava samples	Retting kinetic parameters		
	TIS	SR	RT
Control	53.7±12.5	1.8±0.7	58.8±10.2
S1	42.8±2.2	0.6±0.3	56.5±2.8
S2	42.3±2.8	0.6±0.1	55.7±0.4
S3	50.7±7.5	2.5±0.8	54.2±6.2
S4	34.2±3.9*	0.8±0.1	44.5±3.8*
S5	44.3±3.5	4.7±1.9*	46.2±2.6*
S6	41.1±6.2	2.9±0.2	46.8±6.0*
S7	48.2±3.9	2.5±0.7	51.6±3.0
S8	40.1±2.5*	0.3±0.0	63.2±0.2
S9	39.0±1.8*	0.8±0.2	61.1±4.2
S10	36.9±1.9*	1.4±0.2	42.8±1.1*
S11	32.8±0.4*	0.8±0.1	42.3±1.2*
S12	28.7±3.6*	0.7±0.1	39.9±2.3*
S13	37.8±2.4*	1.5±0.3	43.4±1.2*
S14	35.4±4.0*	0.8±0.1	44.9±2.7*
S15	34.9±1.9*	0.9±0.1	44.1±1.3*

NB: those results are results from 15 processors sampled once but analyzed in triplicate. TIS: Time to initiate softening. SR: Softening rate; RT: Retting time.

Mean ± SD = Mean values ± standard deviation of error of means of three experiments. * indicates values significant different statistically with control at ($P < .05$)

3.2 Influence of Retting Time on the Performances Cassava-fermented Chips

In order to understand the origin of the variability observed with commercial samples, cassava chips were produced at different fermentation (retting) times. Those chips were compared for

their microbial loads and their kinetics parameters when for retting acceleration. It can be noted from the 5 Cassava Retting Accelerator (CRA) produced, that three of them: CRA-72; CRA-96 and CRA-168) considerably reduce the retting duration with respect to the control experiment where fermentation was spontaneous with respective retting times of 34.3±4.6 hours, 30.9±3.1 hours and 28.1±4.5 hours. While retting time of control was 71.3±8.5 hours (Table 4). Although the RT of those three CRA was not significantly different, the data of this parameter and those of TIS obtained with CRA-96 and CRA-168 were much closed and slightly better than that of CRA-72. From these results, because of the time, saving with respect of CRA-168, 96 hours appears, as the time require for cassava retting accelerator production. For microbial load (TBS and SRF), it can be observed that, SRF did not increase with the fermentation time chosen for the CRA production as it was the case for TBS, or TBF (Table 4). The variability and the quantity of microbial groups are result of the different fermentation length of the samples used as cassava retting accelerators. CRA obtained after 48 h of cassava fermentation (CRA-72; CRA-96 and CRA-168) proved to have statistically the same performances in accelerating the retting process. Generally, before 48 hours of fermentation, all microorganism groups that contribute to the retting of cassava are not well developed [7,19]. After the 48 hours, Abriba et al. [20] and Kostinek et al. [8] shown that *Bacillus subtilis* and *Latobacillus plantarum* are the most dominant flora throughout the cassava retting. The choice of the CRA-96 was hence a balance between the attribute obtained with CRA-72 and CRA-168. The process of drying in order to produce CRA favours the survival of spore forming bacteria that are mainly *Bacillus* spp and *Clostridium* spp. Fermentation of cassava roots using *Bacillus* spp rich dough as inoculums showed to permit the achievement of the disintegration of the cassava tissue due to the production of wide range of pectinolytic enzymes [21].

The presence of SRF generally less than 1 log cfu/g in dry fermented sample and 4 log CFU/g at the end of fermentation or in the pre-incubated CRA, conducted us to an experiment where pre-incubated CRA in water was tenfold diluted and all the dilutions used as inoculums for a new cassava retting. As result, all the fermentations were accelerated, but the butyrate odour perception was very low in the retting with the inoculums of the fifth decimal dilution and hence,

with low probability of SRF. This experiment, which data are not presented in this work, indicated the sulfite-reducing spores were the most responsible of the butyrate odour and were not capital in the retting process.

Table 2. Selected microbial group cell loads of dry fermented cassava samples obtained from different markets in the centre region Cameroon

Dry fermented cassava samples	Microbial groups (Log CFU/g)		
	TAMF	TBS	SRF
S1	4.4±0.2	3.3±0.2	0.0±0.0
S2	4.9±0.1	4.6±0.1	0.3±0.0
S3	4.1±0.2	3.0±0.0	0.0±0.0
S4	3.6±0.2	3.1±0.2	0.7±0.0
S5	4.3±0.3	3.3±0.0	1.4±0.3
S6	6.3±0.1	4.9±0.0	1.0±0.0
S7	6.2±0.0	4.1±0.1	0.0±0.0
S8	5.8±0.3	5.6±0.0	1.0±0.0
S9	7.3±0.0	4.4±0.2	0.0±0.0
S10	7.4±0.0	5.6±0.1	0.0±0.0
S11	5.5±0.1	2.0±0.0	0.7±0.0
S12	7.4±0.0	5.0±0.4	0.7±0.0
S13	7.4±0.2	4.6±0.3	1.0±0.0
S14	7.1±0.1	3.9±0.0	0.4±0.0
S15	7.2±0.3	3.0±0.0	0.0±0.0

CFU: Colony forming units; TAMF: Total mesophilic aerobic flora; TBS: Total Bacillus spp spores

Table 3. Correlation results between microbial groups' cell loads from different dried cassava chips and the kinetics parameters of the retting

Microbial groups	Retting kinetic parameters	
	TIS	RT
TAMF	0.091	-0.390*
TBS	-0.005	-0.547*
SRF	-0.107	-0.322*

*All correlation significant at $P < .01$. TAMF: Total mesophilic aerobic flora; TASF: Total aerobic spore flora; TBS: Total Bacillus spp. spores; SR: Softening rate; TR: Retting time

3.3 Influence of Some Pre-treatment of CRA-96 on the Reduction of Cassava Retting Time and Cyanide Content

In Table 5, the addition of 1% of CRA-96 during fermentation or the same accelerator previously treated at 80°C for 10 min did not improve significantly the TIS as it was the case with the other pre-treatments (Chemically activated; water

soaked and pre-culture in nutrient broth). The best performance in the reduction of the retting time of chemical activation with respect to the thermal activation may be due to the low damage induced to the vegetative cells, which could easily regenerate after the pre-treatment. Regarding the softening rate, only two pre-treatments of CRA-96 (CRA-96W and CRA-96NB) induced a significant increase with respect to the control and other pre-treatments. The calculation of the retting time indicated that, it ranged from 54.9±9.3 hours in the control to 25.7±1.9 hours to the fermentation accelerated by the addition of CRA-96 previously pre-incubated in water (Table 5). It can be observed that the use of accelerators after incubation in nutrient broth (CRA-96 NB), in water (CRA-96 W) and activated with ethanol (CRA-96 Ch A) significantly improved the retting time with respect to the control, the use of thermally activated CRA and CRA without pre-treatment. The best gain in retting time was observed with the use of CRA-96 W, which permitted to reduce the retting time of the control experiment, by 58.5%. Using CRA-96 without any pre-treatment only permitted to reduce the time of the control experiment by 42.6%. When the pre-treatment involved an incubation of the CRA in a solution before the use, enriching the solution with nutrients (CRA-96 NB), reduced the softening rate of the accelerator. This may be explained by the fact that nutrient rich solution favours the growth of all microorganisms in the CRA, reducing the cell load advantage of spores that have to initiate the softening. On the other hand, pre-incubating CRA-96 in simple water aerobically or in anaerobic condition, results in the hydration of the spores that favours their germination and the growth of micro flora present in a less pronounced way due to nutrient limits.

Retting independently of the method always resulted in cyanide content reduction (Table 6). The use of pre-treated CRA-96 did not result in higher detoxification compared to the direct use of CRA-96. Moreover, the use of CRA-96 and CRA-96 NB produce a cassava flour with HCN content of 7.86±0.00 ppm and 36.3±0.0 ppm respectively that was lower than that of control (52.3±0.0 ppm) (Table 6). Using CRA-96 brought to a 98.8% reduction of total cyanide content compared to 92% of the spontaneous retting; this reduction using the cassava retting accelerator should be associated the 33.5% reduction of the retting time achieved, while CRA-96W which induced a 53.2% reduction of the retting time only brought to a 85.8% reduction of the cyanide

content (Table 6). The initial pH of the retting environment did not specifically influence the detoxification based on the present data. Cyanide reduction is known to be combination of endogen enzyme and microbial enzyme action [7,11,22-24]. The best cyanide content reduction was obtained when CRA-96 without any pre-treatment was used to accelerate the retting. In fact, it can be observed that pre-incubation of CRA-96 leads to inoculums with

Table 4. Retting kinetics parameters and microbial groups cell loads of cassava retting accelerator (CRA) compare to spontaneous fermentation (control)

Retting conditions	Retting kinetic parameters			Microbial groups cell loads (log CFU/g)	
	TIS (h)	SR (mm/h)	RT (h)	TBS	SRF
Control	42.2±8.3 ^b	0.3±0.1 ^a	71.3±8.5 ^e	Nd	Nd
CRA-24	38.1±11.8 ^{ab}	0.4±0.2 ^a	62.1±6.1 ^d	2.9±0.0 ^a	0.7±0.0 ^a
CRA-48	39.5±6.1 ^{ab}	1.0±0.1 ^{ab}	47.2±5.1 ^c	3.5±0.8 ^a	1.4±0.2 ^b
CRA-72	34.3±4.6 ^b	1.7±0.7 ^b	40.4±1.7 ^{ab}	4.9±0.6 ^b	4.0±0.1 ^d
CRA-96	30.9±3.1 ^{ab}	1.8±0.6 ^b	35.8±1.4 ^a	5.7±0.1 ^b	3.2±0.2 ^c
CRA-168	28.1±4.5 ^a	1.6±0.5 ^b	33.3±2.7 ^a	5.4±0.1 ^b	3.2±0.2 ^c

CFU: colony forming unit; RT: retting time SR: Softening rate; TBS: Total Bacillus spp spores; SRF: Sulfite-reducing flora; TIS: Time to initiate softening. Nd: No detected. Mean ± sd = Mean values ± standard deviation of error of means of three experiments. The means in the same column followed with different letters are significantly different at (P <.05)

Table 5. Variation of retting kinetics parameters and percentage reduction of retting time with respect to the spontaneous retting (control) obtained using different pre-treatments modalities of CRA-96

Different pre-treatments modalities of CRA	TIS (h)	SR (mm/h)	RT (h)	%RT reduction
Control	39.8±6.6 ^b	0.5±0.3 ^a	62.0±11.5 ^c	0
CRA-96	27.4±6.3 ^a	1.2±0.6 ^{ab}	35.6±2.3 ^b	42.6
CRA-96 ThA	38.1±9.8 ^b	0.7±0.2 ^{ab}	50.3±6.1 ^a	18.9
CRA-96 ChA	20.4±2.5 ^a	0.8±0.0 ^{ab}	30.3±2.1 ^a	51.1
CRA-96W	19.2±0.7 ^a	1.2±0.0 ^b	25.7±0.4 ^a	58.5
CRA-96NB	19.5±1.7 ^a	0.9±0.1 ^{ab}	27.9±1.71 ^a	50

CRA-96: ThA= thermal activation in water at 80°C for 10 min; ChA = Chemical activation using ethanol 60%. BN= Pre-culture in nutrient broth. W= soaked 12h in water; RT: Retting time SR: Softening rate; TIS: Time to initiate softening. Mean ± sd = Mean values ± standard deviation of error of means of three experiments. The means in the same column followed with different letters are significantly different at (P <.05)

Table 6. Cyanide levels of peeled root and fermented cassava flour obtained after retting using different CRA-96 pre-treatments and initial pH of the retting medium

Peeled root/Different CRA pre-treatments	Cyanide levels (ppm)	cyanide levels reduction %	RT (h)	Initial pH of the retting medium
Peeled root	655±0.9 ^g	0	0	-
Spontaneous retting	52.3±0.0 ^c	92.0	54.9±9.3 ^a	6.3
CRA-96ThA	110.7±0.0 ^f	83.1	52.5±9.6 ^a	5.2
CRA-96ChA	90.4±0.0 ^d	86.2	30.3± 2.8 ^c	5.2
CRA-96	7.8±0.0 ^a	98.8	36.5±2.8 ^b	5.3
CRA-96W	92.7±0.0 ^e	85.8	25.7±1.9 ^c	4.8
CRA-96NB	36.3±0.0 ^b	94.4	27.7±2.7 ^c	5.0

CRA-96: ThA= thermal activation in water at 80°C for 10 min; ChA = Chemical activation using ethanol 60%. BN= Pre-culture in nutrient broth. W= Soaked 12h in water; RT: Retting time Mean ± sd = Mean values ± standard deviation of error of means of three experiments. The means in the same column followed with different letters are significantly different at (P <.05)

a low pH that also lowers the initial pH of the cassava fermentation batch. This may result in the reduction of linamarase activity obtained by cassava cell disintegration or by microbial growth. Ogonnaya and Oyebuchi, [25] observed between pH 4 and 5 more than 60% of linamarase relative activity is expressed with a maximum at around pH 4.5. The fact that the initial pH does not have a direct impact on the level of cyanide reduction suggests that the endogenous enzyme activity alone is not enough for the retting and the action of each group of the microorganism with their enzymatic diversity are fundamental. Although, the cyanogens residues obtained in the cassava flour were higher than the limit of 10 ppm proposed by WHO in all cases except for none pre-treated CRA-96. Agbor and Mbome [26] demonstrated that steam cooking could further reduce these values to about 12% of the dry material concentration.

4. CONCLUSION

This study has shown that the use of dry fermented cassava chips at 1% (w/v) can contribute to the acceleration of the retting time of cassava. This acceleration can also provide up to 98.8% of cyanogens content reduction as compared to the fresh root and about 85% when compared to the traditional spontaneous fermentation. These results can boost cassava based foods production as this CRA can be easily implemented compared to the management of pure strains based starters.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Australian National University-RSB, Canberra, through the Dr Howard Bradbury who provided the kit b2 that helps for total cyanides determination in flour sample. This publication is an output of a project funded by EU (contrat de subvention n° dcifood/2010/252-886), with the support of AIRD (Agence Inter-etablissements de Recherche pour le Développement), in the framework of the research team TQI2A (Technologie, Qualité et Innovations Agro Alimentaires).

COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

1. Montagnac JA, Davis CR, Tanumihardj SA. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2009;181-194.
2. Kobawila SC, Louembe D, Keleke S, Hounhouigan J, Gamba C. Reduction of the cyanide content during fermentation of cassava roots and leaves to produce bikedi and ntoba mbodi, two food products from Congo. *African Journal of Biotechnology*. 2005;4:689-696.
3. Achi OK, Akomas NS. Comparative assessment of fermentation techniques in the processing of fufu, a traditional fermented cassava product. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2006;5:224-229.
4. Bradbury JH, Holloway WD. *Chemistry of tropical root crops: Significance for nutrition and agriculture in the Pacific*. Australian Centre for International Agricultural Research, Monograph No. 6, Canberra, Australia; 1988.
5. Onabolu AO, Oluwole OSA, Bokanga M, Rosling H. Ecological variation of intake of cassava food and dietary cyanide load in Nigerian communities. *Public Health Nutrition*. 2001;4:871-876.
6. Brauman A, Kéléké S, Malonga M, Miambi E, Ampe F. Microbiological and biochemical characterization of cassava retting a traditional lactic acid fermentation for foo-foo (cassava flour) production. *Applied and Environmental Microbiology*. 1996;62:2854-2858.
7. Kimaryo VM, Massawi GA, Olasupo NA, Holzappel WH. The use of a starter culture on the fermentation of cassava for the production of 'kivumde', a traditional Tanzanian food product. *International Journal of Food Microbiology*. 2000;56:179-190.
8. Kostinek M, Specht I, Edward VA, Pinto C, Egounlety M, Sossa C, Mbugua S, Dortu C, Thonart P, Taljaard L, Mengu M, Franz MAP, Holzappel WH. Characterisation and biochemical properties of predominant lactic acid bacteria from fermenting cassava for selection as starter cultures. *International Journal of Food Microbiology*. 2007;114:342-351.
9. Assanvo JB, Agbo GN, Behi YEN, Coulin P, Fara Z. Microflora of traditional starter made from cassava for "attieke" production in Dabou (Côte d'Ivoire). *Food Control*. 2006;17:37-41.
10. Giraud E, Gosselin L, Rimbault M. Degradation of cassava linamarin by lactic

- acid bacteria. *Biotechnology Letter*. 1992; 14:593-598.
11. Lei V, Amoa-Awua WKA, Brimer L. The ability of isolates of *Lactobacillus plantarum* from spontaneous cassava fermentation to degrade cyanogenic glucosides. *International Journal of Food Microbiology*. 1999;53:169–184.
 12. Ahaotu I, Ogueke CC, Owuamanam CI, Ahaotu NN, Nwosu JN. Protein improvement in gari by the use of pure cultures of microorganisms involved in the natural fermentation process. *Pakistan Journal of Biology. Science*. 2011;14:933–938.
 13. Edward VA, Egounlety M, Huch M, Petrus J, Zyl SV, Singh, Naledzani D, Nesengani, Haakuria MV, Franz MAP. Isolation and screening of microorganisms from a gari fermentation process for starter culture development. *African Journal of Biotechnology*. 2012;11:12865-12877.
 14. Njoku VO, Chidi O. Assessment of some fermentation processes of cassava tubers. *International Archive of Applied Sciences and Technology*. 2010;1:20–25.
 15. Bradbury MG, Egan SV, Bradbury JH. Picrate paper kits for determination of total cyanogens in cassava roots and all forms of cyanogens in cassava products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1999;79:593–601.
 16. Egan SV, Yeoh HH, Bradbury JH. Simple picrate paper kit for determination of the cyanogenic potential of cassava flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1998;75:258-262.
 17. Baranyi J, Roberts TA. A dynamic approach to predicting Bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology*. 1994;23:277-294.
 18. Oyewole OB, Odunfa. Extracellular enzyme activities during cassava fermentation for « fufu » production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 1992;8:71-72.
 19. Abodjo KC, Tagro GS, Olo K, Akissi KF, Koffi NR, Koussemon CM. Biochemical and microbial changes during traditional spontaneous lactic acid fermentation process using two varieties of cassava for production of a “Alladjan” starter. *International Food Research Journal*. 2010;17:563-573.
 20. Abriba C, Effiom, Henshaw E, Lenox J, Eja M, Ikpoh S, Ikpoh L, Bassey, Agbor E. Microbial succession and odour reduction during the controlled fermentation of cassava tubers for the production of ‘fofoo’, a staple food consumed popularly in Nigeria. *Journal Microbiology and Biotechnology Research*. 2012;2:500-506.
 21. Amoa-Awua WKA, Jakobsen M. The role of *Bacillus* species in the fermentation of cassava. *Journal of Applied Bacteriology*. 1995;79:250–256.
 22. Amoa-Awua WKA, Filtenborg O, Sefa-Dedeh S, Jakobsen M. The contribution of moulds and yeasts to cassava dough ‘Agbelima’ fermentation. *Journal of Applied Microbiology*. 1997;83:288–296.
 23. Nambisan B. Strategies for elimination of cyanogens from cassava for reducing toxicity and improving food safety. *Food and Chemical Toxicology*; 2010. DOI: 10.1016/j.fct.2010.10.035
 24. Obilie EM, Kwaku TD, Amoa-Awua WK. Souring and breakdown of cyanogenic glucosides during the processing of cassava into akyeke. *International Journal of Food Microbiology*. 2004;93:115–121.
 25. Ogbonnaya N, Onyebuchi AF. Linamarase Enzyme from *Lactobacillus delbrueckii* NRRL B-763: Purification and some properties of a β -Glucosidase. *Journal Mex. Chem. Soc*. 2011;55:246-250.
 26. Agbor ET, Mbome IL. The effects of processing techniques in reducing cyanogen levels during the production of some Cameroonian cassava foods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006;19:354–363.

© 2016 Nkoudou et al.; This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:
The peer review history for this paper can be accessed here:
<http://sciedomain.org/review-history/12421>

Annexes

ANNEXE I: Composition et préparation des milieux de culture

- Le milieu PCA (Plate Count Agar)

Tryptone	15 g
Dextrose	1 g
Extrait de levures	2,5 g
Agar	12 g
Eau qsp	1 L
pH	7.2 ± 0.2

Préparation : dissoudre les différents ingrédients dans de l'eau distillée. Ensuite autoclaver le mélange dans un Erlen-Meyer à 121°C pendant 15 minutes. Refroidir à 45-50°C et bien mélanger avant de couler les boîtes.

- La gélose Tryptone-Sulfite-Néomycine (TSN)

Tryptone	15 g
Extrait de levures	10 g
Sulfite de Sodium	1. g
Citrate d'ammonium Ferrique	0.5 g
Sulfate de Neomycin	50.mg
Sulfate de Polymixin B	20. mg
Agar	13.5 g
Eau qsp	1 L
pH	7.2 ± 0.2

Préparation : suspendre 40 g de milieu TSN (Biokar 001) déshydraté, dans 1 litre d'eau distillée. Attendre 5 minutes, puis mélanger jusqu'à l'obtention d'une suspension homogène. Chauffer lentement en agitant fréquemment jusqu'à complète dissolution. Ajuster, si nécessaire, le pH à 7,2. Répartir, puis stériliser à l'autoclave 121°C pendant 15 minutes ensuite.

- La gélose BCP (gélose Lactosée au Pourpre de Bromocrésol) supplémentée d'amidon

Peptone	5 g
---------------	-----

Extrait de viande	3g
Lactose	10g
Amidon	
Agar	15g
Pourpre de bromocrésol	0,025g
Eau qsp	1 L
pH	7

Préparation : dissoudre les différents ingrédients dans de l'eau distillée. Ensuite autoclaver le mélange dans un Erlen-Meyer à 121°C pendant 15 minutes. Refroidir à 45-50°C et bien mélanger avant de couler les boîtes.

- **La gélose MRS** (Man, Rogosa et Sharpe)

Peptone	18 g
Extrait de levures	4 g
Glucose	20 g
Tween80	1ml
Hydrogénate dipotassique	2 g
Citrate de Tri-ammonium	2 g
Acétate de Sodium anhydre.....	3 g
Sulfate de magnésium 7H ₂ O	0,2 g
Sulfate de manganèse anhydre	0,034 g
Agar.....	12 g
Eau qsp	1 L
pH.....	6,2

Préparation : dissoudre 31 g de milieu MRS (Biokar 089) déshydraté, dans 1 litre d'eau distillée. Attendre 5 minutes, puis mélanger jusqu'à l'obtention d'une suspension homogène. Chauffer lentement en agitant fréquemment jusqu'à complète dissolution. Ajuster, si nécessaire, le pH à 7,2. Répartir, puis stériliser à l'autoclave 121°C pendant 15 minutes ensuite.

Gélose à l'amidon (0.6% peptone. 0.5 g/L MgSO₄. 0.5 g/L KCl. 1% amidon soluble 2% agar. pH 7.0)

ANNEXE II : fiche d'enquête sur les pratiques de transformation du manioc en cossettes

TRANSFORMATION DU MANIOC EN COSSETTES

Information enquêteur	Réponse
Numéro de questionnaire
Date de l'enquête/...../.....
Lieu de l'enquête <ul style="list-style-type: none"> • Village • Ville • Unité administrative
Nom et prénoms	
Age	<20 ans <input type="checkbox"/> 20 – 30 ans <input type="checkbox"/> 30 – 40 ans <input type="checkbox"/> >40 ans <input type="checkbox"/>
Niveau scolaire	Primaire Secondaire Universitaire autres , préciser _____
Nom de l'unité	
Type d'unité	Familial <input type="checkbox"/> Artisanal <input type="checkbox"/> Semi-industriel <input type="checkbox"/> Industriel <input type="checkbox"/>
Taille de l'unité : (Nombre de personnes participant à votre activité)	

MATIERES PREMIERES UTILISEES

1/ Quelles matières premières utilisez-vous dans votre transformation du manioc en cossettes ?

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

Auto production Achat Autre (*préciser*)

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

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

Variétés de manioc	Pourquoi utilisez-vous cette variété de manioc ?

5/ Quels sont les principaux ingrédients que vous utilisez dans votre transformation ? _____

6/ Quelle quantité de manioc transformez-vous au même moment, et quelle quantité de produit fini en obtenez-vous ?

Quantité de manioc Minimum _____

Maximum : _____

Quantité de produit fini. Minimum _____

Maximum _____

7/ Combien de fois le faites-vous :

Par jour ? _____ Par semaine ? _____ Par
 mois ?.....

8/ A quelles périodes de l'année transformez-vous le manioc ? Pourquoi ?

Période	Quantités transformées	Explication

PROCEDES DE TRANSFORMATION ET PRODUITS FINIS

9/ Pouvez-vous décrire, au besoin pour chaque produit que vous transformez, les principales étapes de votre transformation et les outils utilisés, en précisant comment et pourquoi chaque opération est menée ? (*au cas où plusieurs produits sont transformés, faire un tableau par produit. Tableaux supplémentaires joints*)

Opérations	Durée de l'opération	Quantité de matière première utilisée	Autres ingrédients ajoutés (désignation)	Equipements Utilisés (Quantité + désignation)	Main d'œuvre (<i>préciser nombre et sexe</i>)	Produit obtenu

10/ Quels sont les critères de qualité les plus importants dans le choix du manioc utilisé pour votre transformation ? Expliquez

Produits de transformation	Critères de qualité les plus importants pour le choix du manioc	Explication

Produits de transformation	Critères de qualité les plus importants pour le choix du manioc	Explication

- 11/ Quels critères de qualité utilisez-vous pour apprécier les produits que vous obtenez au cours de votre transformation ? Quels problèmes de qualité rencontrez-vous ?
(remplissez le tableau)

Produits (intermédiaires et finis)	Critères de qualité utilisés pour apprécier le produit	Problèmes de qualité rencontrés

- 12/ Le mode de transformation que vous appliquez est-il propre à votre localité ou bien, l'avez-vous emprunté ?

Pratique technique locale Pratique technique empruntée

- 13/ Quelles sont les opérations de la transformation dont la mauvaise exécution peut nuire à la qualité du produit final ? Pourquoi ?

Opérations (désignation)	Critères de qualité du produit final affectés	Pourquoi ?

- 14/ Quelles sont les opérations les plus difficiles au cours de la transformation du manioc en cossette ?

Opérations difficiles (désignation)	Pourquoi ?

Opérations difficiles (désignation)	Pourquoi ?

15/ En dehors des difficultés liées à certaines opérations, rencontrez-vous d'autres problèmes au cours de la transformation du manioc ?

16/ Pensez-vous qu'il est nécessaire d'apporter des améliorations

16.1 - À la transformation du manioc en cossettes ? Oui Non

Si oui,
lesquelles ? _____

16.2 - À la qualité des cossettes de manioc ? Oui Non

Si oui, lesquelles ?

17/ Accepteriez-vous que nous revenions travailler avec vous pour une amélioration de votre système de production ?

Oui Non