

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE 'SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE
L'ENVIRONNEMENT'
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES



Année : 2016-2017

N° : 201726

THESE DE DOCTORAT

Présentée pour l'obtention du grade de Docteur, Mention **BIOLOGIE, PHYSIOLOGIE ET**
PATHOLOGIE VEGETALES

Spécialité : **ECOLOGIE et AGROFORESTERIE**

Présentée par : **NADJIAM Djirabaye**

CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA PRODUCTION
DU MANIOC (*Manihot esculenta* Crantz) AU TCHAD
PAR L'ETUDE DE LA DIVERSITE DES CULTIVARS

Soutenue le 08 juillet 2017 devant le jury composé de :

Président : **Tahir A. DIOP**, Professeur titulaire (FST/UCAD, Sénégal)
Rapporteurs : **Pape Mbacké SEMBENE**, Professeur titulaire (FST /UCAD, Sénégal)
 Saliou NDIAYE, Maître de Conférences (ENSA-Université, Sénégal)
 Mbaye DIOP, Maître de Recherche (ISRA-CNRA, Sénégal)

Examineurs : **Diégane DIOUF**, Maître de Conférences (FST/UCAD, Sénégal)
 Aliou GUISSSE, Professeur titulaire (FST/UCAD, Sénégal)

Directeur de Thèse : Aliou GUISSSE, Professeur titulaire (FST/UCAD, Sénégal)

DEDICACE

A mon défunt père NADJAM NDERNGUE, victime de l'intolérance des hommes

A ma défunte sœur aînée, HADJA AÏSSATOU KINGUI

Que vos âmes reposent en paix et que Dieu le Tout Miséricordieux vous accueille dans son royaume

A mon épouse MONEMBAYE TOLMBAYE ODETTE et à mes enfants MASRA JOEL-WILFRIED, AÏSSA ROXANE-AUDREY et NAFISSATOU BENEDICT-MAZARINE.

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement le Professeur Aliou GUISSSE qui a accepté de diriger cette thèse malgré ses multiples occupations. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude. Que Dieu tout puissant le bénisse ainsi que toute sa famille.

Mes vifs et chaleureux remerciements s'adressent également aux éminentes personnalités qui m'ont fait l'honneur d'examiner cette thèse : Professeur Tahir A. DIOP qui a accepté de présider le Jury; Professeurs Mbacké SEMBENE, Saliou NDIAYE et Mbaye DIOP qui ont siégé comme membres rapporteurs; Professeur Diegane DIOUF qui a accepté d'être l'examineur de cette Thèse.

Je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance à mes responsables hiérarchiques de l'ITRAD, Dr DJONDANG Koye, Yassine DOUDOUA et Brahim SYAM.

Je remercie le PRASAC et l'Union Européenne pour la bourse qui m'a été octroyée ainsi que le Délégué National du PRASAC, Brahim Hissene HIREKE, pour ses encouragements. Au Professeur Mbaïlao MBAÏGUINAM, je voudrais lui dire sincèrement merci pour sa disponibilité et ses conseils.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi au personnel du laboratoire d'Ecologie Végétale et d'Eco-hydrologie, Département de Biologie Végétale, au Professeur Mbacké SEMBENE et Dr Fatimata MBAYE, du laboratoire de biologie moléculaire, Département de biologie animale de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD, pour les conseils et orientations dans le cadre des travaux de genotypage. De même, je voudrais exprimer ma gratitude à Dr Nicolas AYEISSOU du laboratoire d'Analyses et d'Essais de l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'UCAD, où j'ai pu conduire des analyses physicochimiques.

Des remerciements sont également adressées à : Dr Mariama DIALLO de l'Université Gaston Berger de Saint Louis (Sénégal) ; Dr Papa Saliou Sarr du Laboratory of Plant Gene Expression, Kyoto University, Uji, Japan ; Djim-assal DATOLOUM du CNRD Tchad ; M^{me} Fama DIOP, Secrétaire de l'ED-SEV.

Aux collègues de l'ITRAD, j'adresse mes remerciements et ma profonde gratitude à tout le personnel et particulièrement à Dr Michel NAÏTORMBAÏDE, Wedjou KEBGNABE, Ehnou GONGNET et BELENGAR Netoloum.

Mon frère, Dr Adoum Hassan MAHAMAT, grand merci pour ta disponibilité. Que Dieu tout puissant comble ta famille et toi, des bénédictions.

A mon épouse, MONEMBAYE TOLMBAYE Odette, je lui dis merci pour son affection, son soutien permanent ses encouragements et sa patience.

A mes enfants, Ron, Sandy et Benny, que le Très Haut les guide et les bénisse.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES SIGLES	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	viii
RESUME.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Contexte et problématique	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES	3
1.1. GENERALITES SUR LE MANIOC	3
1.1.1. Origine, domestication et dispersion du manioc	3
1.1.2. Caractéristiques botaniques et écologie	4
1.1.3. Taxonomie.....	5
1.1.4. Usages et valeurs nutritionnelles.....	6
1.1.5. Production et importance économique du manioc dans le monde	6
1.2. LE MANIOC AU TCHAD	11
1.2.1. Situation géographique.....	11
1.2.2. Cadre socioéconomique	12
1.2.3. Situation alimentaire et nutritionnelle	13
1.2.4. Historique.....	13
1.2.5. Les caractéristiques de la production nationale du manioc.....	14
1.2.5.1. Les zones de production.....	14
1.2.5.2. La production nationale du manioc	16
1.2.5.3. Place du manioc dans les systèmes de production	19
1.2.5.4. Travaux de recherche sur l'amélioration du manioc	22
1.2.5.5. Implication des partenaires dans la diffusion des variétés améliorées.....	24
1.3. LA DIVERSITE GENETIQUE DU MANIOC	26
1.3.1. Pratiques et savoirs traditionnels de gestion des cultivars de manioc.....	26
1.3.2. Variabilité agromorphologique	27
1.3.2.1. Les descripteurs morphologiques et agronomiques	27
1.3.2.2. Caractérisation agromorphologique	28
1.3.3. Diversité au niveau moléculaire.....	29
1.3.3.1. Importance des marqueurs moléculaires	29
1.3.3.2. Extraction, amplification et séquençage.....	30
1.3.3.3. Polymorphisme et diversité génétique	31
1.3.3.4. Phylogénie moléculaire	31
CHAPITRE 2 : ANALYSES DES PRATIQUES PAYSANNES DE GESTION DES ..	33
CULTIVARS DE MANIOC	33
2.1. SITUATION DE REFERENCE SUR LA CULTURE DU MANIOC.....	33
2.1.1. Introduction	33
2.1.2. Méthodologie	33
2.1.3. Résultats	35
2.1.3.1. Profil des enquêtés	35
2.1.3.2. Importance de la culture du manioc et usages.....	36
2.1.4. Discussion	38
2.1.5. Conclusion partielle.....	39

2.2. PRATIQUES PAYSANNES DE GESTION DE LA DIVERSITE DES CULTIVARS	39
2.2.1. Introduction	39
2.2.2. Méthodologie	40
2.2.2.1. Collecte des données	40
2.2.2.2. Analyses statistiques	40
2.2.3. Résultats	41
2.2.3.1. Diversité variétale du manioc dans la zone d'étude	41
2.2.3.2. Critères paysans d'identification et de préférence des cultivars	46
2.2.3.3. Modes d'obtention des boutures	46
2.2.4. Discussion	47
2.2.5. Conclusion partielle.....	52
CHAPITRE 3 : PROSPECTION, CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE	53
3.1. PROSPECTION ET COLLECTE DE MANIOC CULTIVE	53
3.1.1. Introduction	53
3.1.2. Méthodologie	53
3.1.3. Résultats et discussion.....	54
3.1.4. Conclusion partielle.....	56
3.2. CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE	57
3.2.1. Introduction	57
3.2.2. Matériel et méthodes	58
3.2.2.1. Matériel végétal.....	58
3.2.2.2. Site d'étude.....	58
3.2.2.3. Dispositif expérimental	58
3.2.2.4. Collecte des données	60
3.2.2.5. Traitements et analyses statistiques.....	61
3.2.3. Résultats	62
3.2.3.1. Caractères qualitatifs morphologiques	62
3.2.3.2. Analyse descriptive des caractères quantitatifs	64
3.2.3.3. Corrélations entre les caractères quantitatifs.....	65
3.2.3.4. Structuration de la diversité agromorphologique	66
3.2.3.5. Différenciation des cultivars à l'échelle régionale.....	69
3.2.4. Discussion	69
3.2.5. Conclusion partielle.....	72
CHAPITRE 4 : CARACTERISATION MOLECULAIRE ET PHYSICOCHIMIQUE .	73
DES CULTIVARS DE MANIOC	73
4.1. DIVERSITE GENETIQUE DE LA SEQUENCE ITS1-5,8S-ITS2 DES.....	73
CULTIVARS DE MANIOC	73
4.1.1. Introduction	73
4.1.2. Matériel et méthodes	74
4.1.2.1. Matériel végétal.....	74
4.1.2.2. Extraction d'ADN	74
4.1.2.3. Quantification de l'ADN extrait.....	74
4.1.2.4. Amplification par réaction de polymérisation en chaîne	75
4.1.2.5. Séquençage de la région ITS-1-5,8S -ITS-2.....	75
4.1.2.6. Traitements et analyses des données	76
4.1.3. Résultats	77
4.1.3.1. Polymorphisme et diversité génétique	77
4.1.3.2. Structure génétique des populations.....	78
4.1.3.3. Analyses phylogénétiques	78

4.1.3.4. Structure démographique des populations	81
4.1.4. Discussion	81
4.1.4.1. Polymorphisme et diversité génétique	81
4.1.4.2. Structure génétique.....	82
4.1.4.3. Analyses phylogénétiques	82
4.1.4.4. Structure démographique des populations	83
4.1.5. Conclusion partielle.....	83
4.2. EVALUATION PHYSICOCHIMIQUE ET BIOCHIMIQUE DES	84
CULTIVARS DE MANIOC	84
4.2.1. Introduction	84
4.2.2. Matériel et Méthodes.....	86
4.2.2.1. Matériel végétal.....	86
4.2.2.2. Préparation des échantillons.....	86
4.2.2.3. Analyses physicochimiques et biochimiques.....	86
4.2.2.4. Analyses statistiques	87
4.2.3. Résultats	88
4.2.3.1. Analyses descriptives des caractéristiques physicochimiques et biochimiques..	88
4.2.3.2. Analyse des variances des constituants physicochimiques et biochimiques.....	89
4.2.3.3. Variation des teneurs en acides cyanhydriques.....	91
4.2.3.4. Structuration de la variabilité des cultivars à partir des caractéristiques	91
physicochimiques des feuilles.....	91
4.2.3.5. Structuration de la variabilité des cultivars à partir des caractéristiques	92
physicochimiques des tubercules	92
4.2.4. Discussion	93
4.2.5. Conclusion partielle.....	96
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	97
Conclusion générale	97
Perspectives	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	99
ANNEXES	xi
Annexe 1: Répartition des villages par département, région et groupe ethnique.....	xi
Annexe 2 : Noms des cultivars de manioc inventoriés dans la zone d'étude.....	xii
Annexe 3 : Noms et codes des cultivars de manioc collectés	xii
Annexe 4 : Origine ethnique et signification des noms locaux de certains cultivars	xiii
Annexe 5: Taux de perte de cultivars de manioc par village	xv
Annexe 6: Distribution et étendue de certains cultivars de manioc du sud du Tchad.....	xvi
Annexe 7: Fiches techniques d'analyse moléculaire.....	xvii
Annexe 8 : Protocoles d'analyses chimiques	xxi
Annexe 9 : Publications scientifiques	xxiii
Résumé	

LISTE DES SIGLES

- **APROMA** : Association des Producteurs de Manioc
- **BRA** : Bureau de la Recherche Agronomique
- **CEMAC** : Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale
- **CIAT** : Centro Internacional para la Agricultura Tropical
- **CORAF** : Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles
- **DFPE** : Direction des Forêts, Pêche et Environnement
- **DONATA** : Diffusion des Nouvelles Technologies Agricoles en Afrique
- **DPSA** : Direction de la Production et des Statistiques Agricoles
- **DREM** : Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie
- **EMBRAPA** : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
- **FAOSTAT** : Statistiques des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
- **FMI** : Fonds Monétaire International
- **IDH** : Indice de Développement Humain
- **IITA** : Institut International d'Agriculture Tropicale
- **IPGRI** : International Plant Genetic Resources Institute
- **ITRAD** : Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement
- **MAI** : Ministère de l'Agriculture et de l'Irrigation
- **OMD** : Objectifs du Millénaire pour le Développement
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **ONDR** : Office National du Développement Rural
- **PIB** : Produit Intérieur Brut
- **PMTRA** : Plan A Moyen Terme de la Recherche Agricole
- **PND** : Programme National de Développement
- **PQ** : Plan Quinquennal
- **PRASAC** : Pôle Régional de Recherche Appliquée au Développement des Systèmes Agricoles d'Afrique Centrale
- **PRBC** : Programme de Recherche sur Base Compétitive
- **PSAOP** : Projet d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations des Producteurs
- **RGPH** : Recensement General de la Population et de l'Habitat
- **SDA** : Schéma Directeur de l'Agriculture
- **SECADEV** : Secours Catholique pour le Développement
- **SODELAC** : Société de Développement du Lac

LISTE DES FIGURES

N° Figures	Libellés	Pages
Figure 1:	Carte de répartition du manioc dans le monde	4
Figure 2:	Production et superficies en manioc des principaux pays Afrique	8
Figure 3:	Carte climatique et formations végétales du Tchad	12
Figure 4:	Production des plantes à racines et tubercules (tonnes) de 2013-15	17
Figure 5:	Evolution de production et superficies emblavées de 2005 à 2014	18
Figure 6:	Carte de localisation géographique des régions et villages enquêtés	35
Figure 7:	Sites de collecte des cultivars de manioc	55
Figure 8:	Schéma du dispositif expérimental	59
Figure 9:	Classification des cultivars en fonction des traits morphologiques qualitatifs selon la méthode d'agrégation de Ward	64
Figure 10:	Réseau d'haplotypes montrant les relations évolutives entre les différents haplotypes	79
Figure 11:	Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode du Neighbor-Joining	79
Figure 12:	Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode du maximum de parcimonie	80
Figure 13:	Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode du maximum de vraisemblance	80
Figure 14:	Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode de l'inférence Bayésienne	80
Figure 15:	Distributions des différences par paire d'haplotypes (mismatch distribution)	81
Figure 16:	Biplot des relations entre cultivars et constituants chimiques des tubercules	93

LISTE DES TABLEAUX

N° Tableau	Libellés	Pages
Tableau I:	Classification du manioc cultivé	5
Tableau II:	Production de manioc (%) dans le monde : moyenne 2006-2012	7
Tableau III:	Productions (millions tonnes), superficies (millions d'ha) et rendement (t/ha) en manioc des principaux pays producteurs mondiaux	8
Tableau IV:	Comparaison des moyennes de rendement de manioc en milieu paysan des principaux pays producteurs africains	9
Tableau V:	Quantité de manioc importé et exporté (x 1000 t)	10
Tableau VI:	Moyennes et totales des superficies et productions des principales espèces (campagne agricole 2014/15)	16
Tableau VII:	Moyennes de production de manioc (en tonnes) par région administrative	19
Tableau VIII:	Evolution des rendements de manioc (en kg/ha) pour la période 2009 à 2015	22
Tableau IX:	Coordonnées géographiques des villages prospectés	34
Tableau X :	Profil des enquêtés	36
Tableau XI	Origine ethnique et signification des noms locaux de quelques cultivars de manioc étudiés	41
Tableau XII:	Variation de la diversité du manioc à l'échelle des régions et villages	43
Tableau XIII:	Taux de perte de cultivars de manioc par village	44
Tableau XIV:	Distribution des cultivars observés dans au moins 3 villages	45
Tableau XV:	Principaux critères paysans de sélection variétale du manioc	46
Tableau XVI :	Critères de sélection des cultivars selon les groupes ethniques	47

Tableau XVII:	Modes d'obtention des boutures par région d'étude	54
Tableau XVIII:	Zone de prospection, de collecte et nombre de champs prospectés	60
Tableau XIX:	Caractères morphologiques qualitatifs et variantes observés à 3, 6, 9 MAP	61
Tableau XX:	Caractères morphologiques qualitatifs et variantes observés à la récolte	61
Tableau XXI:	Caractères agromorphologiques quantitatifs	63
Tableau XXII:	Caractéristiques des variables quantitatifs des 59 cultivars de manioc	65
Tableau XXIII:	Matrice de corrélation entre les caractères quantitatifs	66
Tableau XXIV:	Variabilité globale des caractères suivant les 6 axes factoriels	67
Tableau XXV:	Valeurs propres et corrélations entre les caractères et les 3 premiers axes factoriels	67
Tableau XXVI:	Composition des groupes issus de la CAH	68
Tableau XXVII:	Caractéristiques des 4 groupes de cultivars issus de la CAH	68
Tableau XXVIII:	Performances des 59 cultivars de manioc à l'échelle des régions	69
Tableau XXIX :	Noms locaux et niveau de distribution et étendue des cultivars	74
Tableau XXX:	Polymorphisme de la région <i>ITS-1-5,8S-ITS-2</i> des 12 cultivars	77
Tableau XXXI:	Distribution des individus dans les haplotypes identifiés	78
Tableau XXXII:	Matrice des distances génétiques des cultivars de manioc	78
Tableau XXXIII:	Indices des tests demogénétiques de la population globale	81
Tableau XXXIV:	Distribution et étendue, origine et goût des cultivars de manioc	86
Tableau XXXV :	Analyses descriptives des constituants chimiques des tubercules secs	88
Tableau XXXVI :	Analyses descriptives des constituants chimiques des feuilles séchées	88
Tableau XXXVII:	Analyses des variances des caractéristiques biochimiques des tubercules secs	89
Tableau XXXVIII	Analyses des variances des constituants des tubercules séchés	90
Tableau XXXIX :	Composition chimique des feuilles séchées des 9 cultivars	90
Tableau XL :	Concentrations en acides cyanhydriques des feuilles et tubercules frais	91
Tableau XLI :	Valeurs propres et contributions des caractéristiques physicochimiques des cultivars aux axes factoriels	92
Tableau XLII:	Variation des constituants chimiques des feuilles des groupes issus de CAH	92
Tableau XLIII:	Caractéristiques chimiques des tubercules des groupes issus de CAH	93

LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

N° Planche	Libellés	Pages
Planche 1:	Manioc planté autour des parcelles maraîchères dans les ouadis (Kanem)	15
Planche 2:	Manioc planté le long des canaux d'irrigation (Kanem)	15
Planche 3:	Mode de plantation des boutures de manioc dans le village Krah (Mandoul)	21
Planche 4 :	Journée de récolte de manioc dans les exploitations familiales	36
Planche 5 :	Séchage des feuilles de manioc	38
Planche 6 :	Séchage des cossettes de manioc	38
Planche 7 :	Cultivars de manioc contrastés dans les champs	55
Planche 8 :	Boutures des cultivars de manioc collectées et étiquetées	56
Planche 9:	Tubercules de manioc de quelques cultivars étudiés	65

RESUME

Le manioc est une importante source alimentaire et de revenus pour les communautés rurales du sud du Tchad. Dans les petites exploitations familiales, les paysans détiennent un nombre important de cultivars inexploités par la recherche. L'objectif de cette étude est d'évaluer le niveau de la diversité du manioc et d'en analyser les pratiques locales de gestion. Une enquête suivant une approche participative a été conduite suivie d'une prospection et de collecte des boutures. Les cultivars ont été évalués à l'aide des descripteurs agromorphologiques et des caractéristiques physicochimiques. Les séquences nucléotidiques de la région ITS1-5.8S-ITS2 de l'ADNr de 12 cultivars choisis selon leur importance ont été analysées. La zone d'étude se caractérise par une importante diversité variétale (Indice de Shannon : 3,38). Au total, 75 noms locaux sont inventoriés et 59 cultivars collectés. Leur dénomination est basée sur les origines, le cycle, le goût, les différentes parties de la plante et sur des faits socioculturels. La productivité, le goût et la grosseur des tubercules sont des critères prioritaires de sélection. Les critères d'identification sont les feuilles et tiges. Le nombre de cultivars varie de 2 à 12 par village (6 en moyenne), de 1 à 4 cultivars (2 en moyenne) entre les ménages. La perte de la diversité est en moyenne de 18,20 %. Au niveau phénotypique, 3 groupes de cultivars se différencient par la couleur de leurs feuilles apicales, de la nervure et de la forme des tubercules. Par rapport aux performances agronomiques, 2 groupes de cultivars productifs sont identifiés et qui peuvent servir de lignées parentales. L'évaluation des constituants physicochimiques des feuilles a permis d'identifier des groupes ayant des teneurs significatives en calcium (2108,4mg/100g), magnésium (478,6 mg/100g) et potassium (1369,2 mg/100g). Concernant les tubercules, certains cultivars sont plus riches en amidon (31,05 g/100g), d'autres en sucres totaux (57,99g/100g) ou cendres (8,32 g/100g). De fortes teneurs en acides cyanhydriques, de 10 à plus de 150 ppm, sont observées tant au niveau des feuilles que des tubercules frais. Les analyses moléculaires révèlent une forte diversité haplotypique (0,954), une faible diversité nucléotidique (0,026) et deux clades solidement soutenus composés de 4 et 5 cultivars. Ces cultivars sont caractérisés par une stabilité démographique ou une expansion démographique modérée. Les cultivars performants et les pratiques de gestion de la diversité seront intégrés dans le programme d'amélioration du manioc.

Mots-clés : Diversité génétique, variabilité agromorphologique, qualité nutritionnelle, savoirs paysans, cultivar, manioc, Tchad.

ABSTRACT

Cassava is an important source of food and income for rural communities in Southern Chad. In small family fields, farmers have a large number of cultivars untapped by research. The aim of this study is to assess their diversity and to analyze their traditional management practices. A survey using questionnaire and participatory rural appraisal is conducted followed by prospecting and collection of stem cuttings. Cultivars are evaluated using agro-morphological descriptors and physicochemical characteristics. The nucleotide sequences of the ITS1-5.8S-ITS2 region of the rDNA of 12 cultivars selected according to their importance are analyzed. The study zone is characterized by an important level of varietal diversity (Shannon-Weaver diversity index: 3.38). Seventy-five (75) local names are recorded and 59 cultivars are collected. Their name is based on the origins, cycle, taste, different parts of the plant and sociocultural facts. High yield root, taste and large sized rate are the farmer preferred criteria. Identification criteria are leaves and stems. The number of the cultivars ranges from 2 to 12 per village (6 on average), from 1 to 4 cultivars (2 on average) at household level. The average rate of diversity loss is 18.20 %. At phenotypic level, 3 groups of cultivars are different by the color of their apical leaf, vein leaf and roots shape. For agronomic performance, two high potential yield groups of cultivars are identified which can be used as parent lines. Groups with significant concentrations of calcium (2108.4 mg/100g), magnesium (478.6 mg/100g) and potassium (1369.2 mg/100g) are identified by physicochemical analysis of leaves. For roots, some cultivars are richer in starch (31.05 g/100g), others in total sugar (57.99 g/100g) or ash (8.32 g/100g). High levels of hydrocyanic acids, from 10 to more than 150 ppm, are observed both in the fresh leaves and roots. Molecular analysis reveals great haplotype diversity (0.954), low nucleotide diversity (0.026) and two strongly supported clades composed of 4 and 5 cultivars. These cultivars are characterized by demographic stability or moderate population growth. High-performing cultivars and the diversity management practices will be incorporated into the cassava improvement program.

Keywords: Genetic diversity, agro-morphological variability, nutritional quality, farmers' knowledge, cultivar, cassava, Chad.

INTRODUCTION GENERALE

Contexte et problématique

Le Tchad fait partie des pays du Sahel, où la production agricole est souvent déficitaire car dépendant d'une pluviométrie aléatoire et des moyens de production rudimentaires. En 2011, ce déficit agricole a été de 455000 t. Même si la production céréalière s'est améliorée en 2014/15, elle ne couvre pas les besoins des populations. L'agriculture Tchadienne est de type familial, extensif et peu productif. Cependant, sa contribution au PIB est significative car malgré les revenus pétroliers, elle est passée de 12,5% en 2008 à 23 % en 2011 (PND, 2013). Afin d'améliorer les productions agricoles, des politiques et orientations stratégiques ont été élaborées. C'est ainsi que l'intensification de la culture du manioc a été retenue parmi les priorités du programme national de sécurité alimentaire (PNSA, 2005; PQ, 2013; PND, 2013). Introduite au Tchad en 1930 (Gaide, 1956), la culture du manioc s'est étendue dans les zones rurales et périurbaines. La production n'a pas beaucoup évolué malgré la diffusion des variétés améliorées, car de 256270 t en 2000, elle a atteint à peine, 230700 t en 2010 (FAOSTAT, 2010). Actuellement, la moyenne quinquennale est de 252874 t (DPSA, 2015). Les rendements sont faibles de 6 à 10 t/ha alors que le rendement potentiel des cultivars améliorés est estimé à plus de 30 t/ha et par an (Cock, 1985). Aussi, dès les années 90, le Tchad et l'IITA ont introduit à travers des essais régionaux, des cultivars améliorés qui ont été peu diffusés et faiblement adoptés par les paysans. La plupart d'entre eux continuent à utiliser des cultivars locaux pour la stabilité de leur production dans les zones marginales comme l'ont rapporté Willemen et al. (2007) et pour des raisons socioculturelles. Cependant, très peu de travaux de recherche ont été conduits sur ces cultivars locaux. En effet, on ne signale nulle part, des missions de prospection dans tout le bassin de production du manioc. Seulement six (6) villages ont été enquêtés et vingt-deux (22) cultivars locaux collectés et comparés, dans des essais de rendement et d'observations sur des maladies, aux cultivars améliorés. Alors que le manioc présente généralement une grande diversité à travers les différentes zones agroécologiques (Nweke et al., 1994 ; Dixon et al., 2002). De plus, Allem et Hahn (1991) ont montré que l'érosion génétique peut provenir du remplacement des cultivars locaux par ceux qui sont améliorés. Par conséquent, il convient de caractériser les cultivars existant au Tchad afin d'identifier ceux présentant des potentiels pour des travaux de sélection. Pour réaliser ces travaux, cette thèse intitulée "Contribution à l'amélioration de la production du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au Tchad par l'étude de la diversité des cultivars" a été conduite. La caractérisation agromorphologique sera faite à l'aide des descripteurs appropriés (Fukuda et Guevara, 1998; Fukuda et al., 2010). La caractérisation physicochimique permettra

d'identifier les constituants à valoriser dans les domaines alimentaire ou industriel. L'analyse moléculaire, sera aussi utilisée car elle est la plus appropriée (Rimoldi et al., 2010 ; Asare et al., 2011) et elle n'est pas en plus influencée par des effets environnementaux.

La présente étude se propose d'apporter des réponses aux questions suivantes :

- Quels sont les pratiques paysannes de gestion des cultivars *in situ* et le niveau de la diversité génétique ?
- Existe-il des traits désirables qui pourront être intégrés dans un programme national de sélection et de création variétale?

Objectif général

Contribuer à une meilleure connaissance des cultivars de manioc pour améliorer la sécurité alimentaire au Tchad.

Objectifs spécifiques

- inventorer les cultivars de manioc existant dans la zone d'étude ;
- comprendre les processus et les logiques paysans de nomination de ces cultivars;
- identifier les critères paysans de reconnaissance et de sélection;
- évaluer leur variabilité phénotypique, physicochimique et génétique.

Afin d'atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées :

- Les paysans ont des critères spécifiques d'appréciation et de sélection des cultivars ;
- Les processus et les logiques de nomination des cultivars de manioc par les paysans sont différents selon les régions et ou des groupes culturels ;
- Les cultivars de manioc présentent des variabilités agromorphologiques, physicochimiques et moléculaires.

Structuration du document

Cette thèse est subdivisée en sept (7) parties dont quatre chapitres:

- Introduction générale ;
- Chapitre 1 traite les généralités et la revue bibliographique ;
- Chapitre 2 analyse les pratiques paysannes de gestion des cultivars de manioc ;
- Chapitre 3 porte sur la prospection, collecte et caractérisation agromorphologique;
- Chapitre 4 concerne la caractérisation physicochimique et moléculaire;
- Conclusion générale et perspectives sont présentées dans la sixième partie ;
- Références bibliographiques et annexes constituent la septième partie.

CHAPITRE 1 : GENERALITES

1.1. GENERALITES SUR LE MANIOC

1.1.1. Origine, domestication et dispersion du manioc

Originaire du Brésil et probablement du Mexique (Elias et al., 2001a; Allem, 2002), le manioc a été domestiqué en Amazonie par les cultivateurs Amérindiens, il y a plus de 7000 ans (Dickau et al., 2007). Même si initialement, le nord-est du Brésil était considéré comme le centre de domestication, des études plus récentes (Olsen et Schaal, 1999 ; Olsen et Schaal, 2001 ; Léotard et al., 2009) ont montré que c'est dans le sud-ouest du bassin de l'Amazonie que le manioc a été domestiqué par les Amérindiens à partir des populations sauvages. Environ 40 espèces sauvages sur 98 appartenant au genre *Manihot* (Rogers et Appan, 1973) ont été identifiées au centre du Brésil qui abrite ainsi le plus grand réservoir de la diversité des espèces de manioc dans le monde. Selon Allem (1994), le plus proche parent sauvage de la forme cultivée du manioc *M. esculenta* subsp. *esculenta* est *M. esculenta* subsp. *flabellifolia*. Des études moléculaires sur des accessions d'espèces sauvages en collection ont permis aussi de confirmer le lien de parenté phylogénétique entre ces deux sous-espèces (Roa et al., 1997). D'autres travaux utilisant des marqueurs moléculaires ont également montré une affinité plus grande entre le manioc et les espèces sud-américaines, en particulier *M. flabellifolia* et *M. peruviana*, (Second et al., 1997). Aussi, il apparaît à ce jour, que l'espèce cultivée *M. esculenta* proviendrait soit d'hybridations successives entre deux espèces sauvages *M. esculenta* subsp. *flabellifolia* et *M. esculenta* subsp. *peruviana* soit de l'espèce *M. glaziovii*. En effet, il a été signalé que des hybrides issus de *M. esculenta* et *M. glaziovii* sont aussi fréquentes dans le nord-est brésilien (Second et al., 1997). L'espèce cultivée de manioc, dénommée *Manihot esculenta* Crantz a pour principal centre de diversification le Brésil et l'Afrique étant le centre secondaire. C'est la seule espèce cultivée pour ses racines tubéreuses. Sa dispersion en Amérique a favorisé l'accroissement de sa diversité génétique dans cette zone (Charrier et Lefevre, 1998). Selon la carte de diffusion (**Figure 1**) mise au point par le CIAT, cette plante s'est répandue dans une grande partie de l'Afrique, l'Asie et l'Amérique du Sud et particulièrement dans plus de 60 pays dont la plus part sont en voie de développement (Adeyemo, 2009). Sur le continent asiatique, l'introduction du manioc semble s'être faite par les Philippines, l'Inde et l'Asie du Sud-est. Quant à l'Australie, la diffusion du manioc s'est faite à la fin du 19^{ème} siècle. En Afrique, le manioc a été introduit vers la seconde et la fin du 16^{ème} siècle vers 1570 par des navigateurs portugais sous forme de boutures (Jones, 1959 ; Cours et Fritz, 1961 ; Rogers et Appan, 1973). D'après Jones (1959), cette introduction s'est faite par le golfe de Guinée et dans l'embouchure du fleuve Congo au

cours de la première moitié du XVII^{ème} siècle au niveau de l'Afrique centrale. Au cours de la deuxième moitié du XVI^{ème} siècle, par la région malgache (Kent, 1969 ; Jennings, 1976) puis par la côte africaine orientale au cours du XVIII^{ème} siècle par les portugais à partir du Cap Vert et du Mozambique. Sa diffusion complète vers ce continent qui a duré plus de 400 ans s'est faite principalement par les populations eux-mêmes et dans les zones tropicales et subtropicales qui sont devenues par la suite des zones de prédilection de cette culture à travers le monde. Les voies historiques de cette diffusion du manioc en Afrique, ont fait l'objet de plusieurs hypothèses (Delêtre, 2010) et les données recueillies ont permis d'identifier les axes probables de cette dispersion sur le continent africain (Cartel et al., 1992).

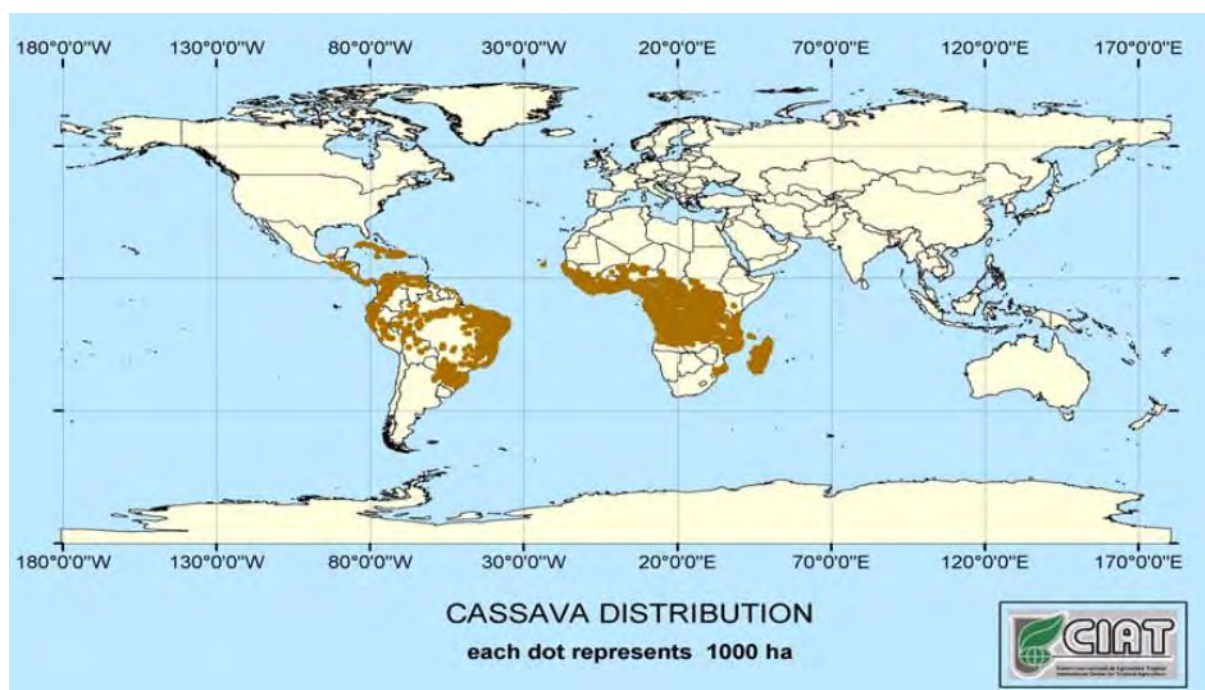


Figure 1 : Carte de répartition du manioc dans le monde

Source : Centro Internacional de Agricultura Tropical en Colombie (CIAT)

Chaque point de couleur brune indique des superficies supérieures à 1000 ha emblavées en manioc.

1.1.2. Caractéristiques botaniques et écologie

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) fait partie de la famille des Euphorbiacées. C'est une plante arbustive, pérenne et une dicotylédone qui présente une grande diversité à travers les différentes zones agroécologiques. Elle possède $2n=36$ chromosomes comme toutes les espèces du genre *Manihot*. C'est une plante monoïque et son mode de reproduction est allogame. La pollinisation est aussi bien anémophile qu'entomophile. Sa multiplication se fait surtout par voie végétative sous forme de boutures mais celle-ci est aussi possible par voie sexuée. Les cycles de développement varient selon les variétés et les facteurs du milieu. Par ailleurs, le manioc possède deux glucosides cyanogéniques, la linamarine et la lotaustraline

(McMahon et al., 1995) qui selon leur teneur sont à l'origine de sa classification en variétés douces et variétés amères. C'est une culture des régions tropicales et subtropicales où la pluviométrie annuelle est supérieure à 500 mm et des températures supérieures à 20°C. Certaines variétés peuvent se cultiver jusqu'à 2000 m d'altitude ou dans des régions subtropicales où les températures sont basses même en dessous de 16°C. Elle peut aussi pousser dans des conditions de température élevée et de fort ensoleillement. Toutefois au-delà de la température optimale qui se situe à 30°C, des baisses significatives de la production ont été constatées. En effet, le taux maximum de croissance se situe entre 25 et 29°C. Disposant d'une capacité réelle à avoir de bon rendement même sur des sols peu fertiles, le manioc tolère bien les sols pauvres et acides et se cultive bien sur des sols légers, bien drainés et riches en potassium mais il est sensible aux périodes d'inondation prolongée. En définitive, il est peu exigeant, rustique et s'adapte à de nombreuses conditions de stress écologique (sécheresse, forte acidité, etc.) et à des types variés de sols et de niveau de fertilité. Des études récentes sur l'impact des changements climatiques sur les principales cultures en Afrique ont aussi montré que le manioc comparé à d'autres, s'adaptera mieux aux conditions climatiques extrêmes qui sont prévues en 2030. Cependant, même si cette culture possède une capacité élevée d'adaptation au niveau des écosystèmes divers, il demeure sans nul doute qu'il existe surtout en Afrique, quelques contraintes phytosanitaires qui sont à l'origine d'importantes baisses de rendement ou de destruction totale de la plante. Ces contraintes sont la mosaïque africaine, la bactériose, la cochenille farineuse et les acariens verts. En outre, des dégâts importants provoqués par des criquets et surtout des termites sont aussi souvent signalés.

1.1.3. Taxonomie

Bien connu dans le monde rural, divers noms lui sont attribués à savoir : *mandioca*, *cassava*, *yuca*, *manioc*, *cassave* et *ngali*. La classification de l'espèce cultivée du manioc est présentée dans le **Tableau I**.

Tableau I: Classification du manioc cultivé

Règne	Végétal
Super embranchement	Rhizophytes
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédone
Subclass	<i>Archichlamydeae</i>
Ordre	<i>Euphorbiales</i>
Famille	<i>Euphorbiaceae</i>
Subfamily	<i>Manihotae</i>
Genre	<i>Manihot</i>
Espèce	<i>Manihot esculenta</i> Crantz

1.1.4. Usages et valeurs nutritionnelles

Au niveau mondial en 1996, il a été estimé qu'environ 60 % de la production du manioc est destinée à la consommation humaine, 33% à la consommation animale et le reste au secteur industriel comme les textiles, la production d'éthanol, etc. (Soccol, 1996). En 2004, c'est plus de 70% de cette production mondiale qui est utilisée dans la consommation humaine (El-Sharkawy, 2004). C'est la principale source d'énergie dans les régions tropicales (Cock, 1982 ; Cock, 1985). Sur le plan de la consommation humaine, aussi bien en Amérique latine, en Asie qu'en Afrique, plus d'une vingtaine de produits sont issus de la transformation des tubercules de manioc à savoir la farinha de mandioca, gari, fufufu, cossettes, tapioca, kokonté, fécule, amidon, attiéké, cassave, chikwangua, myondo ou mambéré. Les jeunes feuilles de manioc sont aussi consommées dans beaucoup de pays africains sous forme de légumes après blanchiment et cuisson. Au Brésil, cette consommation se fait plutôt sous forme de poudre. Au niveau du goût, on distingue les variétés douces qui sont consommées sous forme bouillie, grillée ou frite. Quant à celles qui sont amères, la présence de fortes concentrations en glucosides cyanogéniques dans les racines, exige des opérations d'élimination de ces substances nocives. On note ainsi une grande diversité de préparations culinaires et d'usages de manioc à travers le monde. Les tubercules contiennent jusqu'à 35% d'amidon, des teneurs significatives en vitamine C, en thiamine, riboflavine et niacine mais très pauvres en protéines, environ 1,7 % selon Latham (1979). Ils sont déficients en acides aminés tels que la méthionine, la lysine et la cystéine. Cependant, des variétés hybrides dont les tubercules ont jusqu'à 5% de teneur en protéine ont été créées (Nassar et Ortiz, 2010). Par contre, les feuilles sont plus riches en protéines (plus de 25%) et renferment aussi du fer, du calcium, des vitamines A et B mais dont les teneurs baissent après les différents procédés de transformation (Latham, 1979 ; Achidi et al., 2008; Montagnac et al., 2009).

1.1.5. Production et importance économique du manioc dans le monde

Les régions tropicales et subtropicales d'Amérique Latine, des Caraïbes, d'Asie et d'Afrique sont les principales zones de production du manioc dans le monde. Depuis quelques années, on note une nette progression de cette production. Déjà de 1994 en 1995, cette production est passée de 160 à 165 millions de tonnes ce qui situait le manioc au 5^{ème} rang des productions végétales alimentaires après le maïs, le riz, le blé et la pomme de terre. En 2010, l'Afrique représentait 51% de la production annuelle mondiale soit 200 millions de tonnes, l'Asie 34% et l'Amérique latine 15% (Nassar et Ortiz, 2010). Cette augmentation qui s'est faite de manière progressive est ainsi passée de 223 millions de tonnes en 2006 à 263 millions en 2012 soit 54%. Au cours de cette même période, les superficies emblavées ont également

progressé d'environ 18 millions d'hectares à 20 millions avec certains rendements de 11 t/ha à 13 t/ha (FAOSTAT, 2012). Ce qui confirme ce que Scott et al. (2000) ont suggéré que la production mondiale du manioc allait augmenter de plus de 50% au cours de la période allant de 1993 à 2020, à un taux annuel de croissance d'environ 2,5% en Afrique et 1,2% en Amérique Latine. Le **Tableau II** indique la moyenne de la production du manioc sur la période allant de 2006 à 2012 (FAOSTAT, 2013). Les principaux pays producteurs dans le monde sont le Nigeria, le Brésil, l'Indonésie, la Thaïlande et la RDC. Cette tendance de la production a été observée depuis quelques années (**Tableau III**) avec des variantes aussi bien au niveau des superficies emblavées et des productions que des rendements obtenus au niveau de ces pays. Particulièrement en Afrique, déjà en 1999, la production s'élevait à plus de 160 millions de tonnes de manioc (FAO, 2000). Deux pays se trouvent parmi les 3 producteurs mondiaux. Le Nigéria est le premier producteur au monde avec 31,4 millions de tonnes (poids frais), la RDC est le 3^{ème} pays avec 18,9 millions de tonnes (FAO, 1995). En 2010, l'Afrique produisait plus de 51% de la production annuelle mondiale soit 200 millions de tonnes, l'Asie 34% et l'Amérique latine 15% (Nassar et Ortiz, 2010). Actuellement, la production au Nigeria est de 54. 831.600 t et en RDC 16.608.900 t. Comme le montre la **Figure 2**, Les principaux pays producteurs de manioc en Afrique sont de 2004 à 2014, dans l'ordre le Nigeria, la RDC, le Ghana et l'Angola (FAOSTAT, 2015). Le Nigeria est en même temps le plus grand producteur aussi bien au niveau mondial qu'en Afrique. Les superficies emblavées sont aussi les plus importantes au Nigéria. Cependant ces deux dernières années, il apparaît qu'après les 3 premiers pays cités plus haut, la Tanzanie et le Mozambique sont entrain de surpasser l'Angola (Afrique Agriculture, 2014). Plus de 90% de cette production sur le continent africain, sont utilisés pour la consommation humaine.

Tableau II : Production de manioc (%) dans le monde : moyenne 2006-2012

Continent	Production (%)
Afrique	54,00
Asie	31,50
Amérique	14,30
Océanie	0,10

Source : FAOSTAT, 2013

Tableau III : Productions (millions tonnes), Superficies (millions d'ha) et rendement (t/ha) en manioc des principaux producteurs mondiaux

Pays	Année											
	2008			2010			2012			2014		
	Prod	Sup	Rdt	Prod	Sup	Rdt	Prod	Sup	Rdt	Prod	Sup	Rdt
Nigeria	44,58	3,778	11,80	42,53	3,482	12,22	50,95	6,402	7,96	54,83	7,10	7,72
Brésil	26,70	1,889	14,14	24,97	1,790	13,95	23,04	1,693	13,61	23,24	1,57	14,83
Indonésie	21,59	1,193	18,10	23,92	1,183	20,22	24,18	1,130	21,40	23,44	1,00	23,36
Thaïlande	25,16	1,184	21,25	22,01	1,168	18,83	29,85	1,362	21,91	30,02	1,35	22,26
RDC	15,01	1,851	8,11	15,01	1,855	8,09	16,00	1,980	8,08	16,61	2,06	8,08

Prod : Production ; Sup : superficie ; Rdt : Rendement

Source : FAOSTAT, 2015

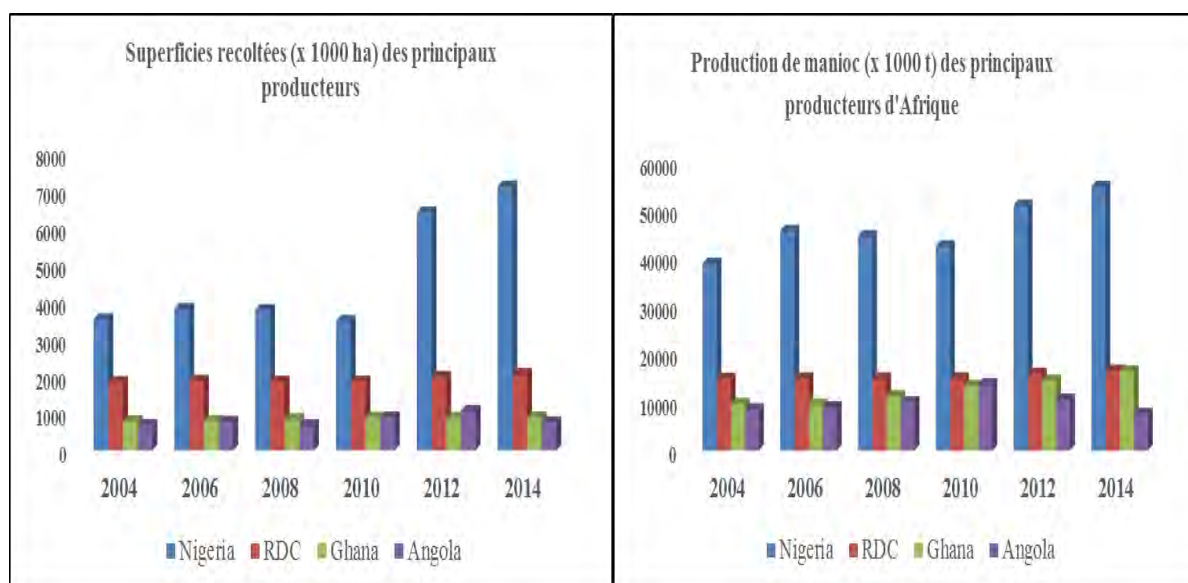


Figure 2 : Production et superficies en manioc des principaux pays producteurs en Afrique
Source : FAOSTAT, 2015

Son importance dans l'alimentation humaine en Afrique a contribué à l'intensification des activités de recherche sur cette culture par la mise au point des variétés à haut rendement dans des centres de recherche de renommée internationale en Afrique sont l'IITA à Ibadan au Nigeria et EMBRAPA au Brésil. Cependant en milieu paysan, ces rendements sont encore moyens compte tenu des différentes contraintes. C'est ainsi qu'au niveau des principaux pays producteurs africains, la moyenne de ces rendements pour la période allant de 2004 à 2012 comparée au rendement de la campagne 2011-2012 (**Tableau IV**), ne présente pas de variations assez importantes. Ces variations sont plus importantes au niveau des pays. Ce qui montre à suffisance que la diffusion de ces variétés améliorées dans certains pays, reste confrontée à un certain nombre de contraintes. Les raisons de ces baisses de rendements sont également dues à de multiples facteurs que sont les maladies, les ravageurs, etc. On note cependant des exceptions, au Malawi, dont les rendements se situent autour de 22 t/ha (FAOSTAT, 2013).

Tableau IV: Comparaison des moyennes de rendement de manioc en milieu paysan des principaux producteurs africains

Pays	Rendement moyen (t/ha) (2004-2011)	Rendement moyen (t/ha) (2011-2012)
Nigeria	12	14
RDC	8	7 - 8
Ghana	14	16
Angola	13	12

En Asie et en Afrique, la culture du manioc est surtout pratiquée par des petites exploitations familiales qui dans ce contexte de changement climatique, leur assure la sécurité alimentaire et génère des revenus. Le manioc joue ainsi de plus en plus, un rôle essentiel dans l'alimentation des populations urbaines et rurales. C'est le deuxième aliment de base et l'une des principales sources d'énergie en Afrique sub-Saharienne (Benesi et al., 2004). En termes de production globale annuelle, le manioc occupe la sixième place au niveau mondial et est aussi l'aliment de base pour plus de 800 millions de personnes surtout en Afrique Subsaharienne, en Asie et en Amérique du Sud (Burns et al., 2010). C'est donc une ressource irremplaçable dans la lutte contre la faim et la malnutrition (Nassar et Ortiz, 2010). Il occupe le 8^{ème} rang mondial par son apport en Kcal par capita par jour de consommation après le riz, le blé, la canne à sucre, le maïs, le soja, la patate et l'huile de palme (FAOSTAT, 2009). C'est pourquoi, dans une de ses publications récentes, « *Save and Grow: Cassava, a guide to sustainable production intensification* », l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation a estimé que le manioc est non seulement la culture du 21^{ème} siècle mais que c'est aussi la culture des pauvres" (FAO, 2013). Avec le lancement de l'AIAF par l'Organisation des Nations Unies, le 22 novembre 2013 à New York, et qui a pour objectif de mettre en évidence, « *le vaste potentiel détenu par les agriculteurs familiaux dans l'éradication de la faim et la conservation des ressources naturelles* », le manioc trouve ainsi une place non négligeable dans l'économie mondiale. En effet, estimées à 500 millions dans le monde, ces exploitations de petite ou moyenne taille, représentent jusqu'à 80% des exploitations agricoles en Afrique. Ce qui dénote de l'importance de cette culture dans l'amélioration de la sécurité alimentaire. En effet, dans sa *Lettre Afdi 457*, la FAO, estimait que 842 millions d'êtres humains dans le monde, étaient victimes de faim chronique en 2011-2013. Et *l'Afrique Subsaharienne est la région, où l'a noté la plus forte prévalence de sous-alimentation car un Africain sur quatre (24,8%) souffre de la faim*. Et ce malgré, les prévisions de croissance économique mondiale faites par le FMI pour l'Afrique qui devrait

passer de 5% en 2013 à 6% en 2014. En outre, afin d'augmenter la productivité du manioc dans le monde, un partenariat mondial du manioc pour le 21^{ème} siècle (GCP21) a été mis en place. C'est une organisation mondiale à but non lucratif qui vise à combler les lacunes en recherche et développement et à promouvoir le financement international des recherches sur le manioc (Afrique Agriculture, 2014). La culture du manioc pourrait donc apparaître comme l'une des solutions aux problèmes de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la pauvreté. En effet, on remarque de plus en plus que la demande en tubercules est en nette augmentation. Ce qui pourrait éventuellement encourager les ménages familiaux originaires d'Afrique et d'Asie à intensifier les productions en manioc afin d'améliorer leurs revenus. Sur le plan économique, les tubercules de manioc sont exportés ou importés sous formes séchées. Au niveau mondial, les quantités importées ou exportées cumulées se situent autour de 5 à 6 millions de tonnes ces 10 dernières années. Ces flux importants s'expliquent par la masse importante des transactions effectuées au niveau du continent asiatique. L'Asie est en même temps, le plus gros importateur et exportateur de manioc (**Tableau V**). En 2011, la Thaïlande (3,5 millions de tonnes) et le Vietnam (2,5 millions de tonnes) sont les deux gros pays exportateurs en Asie et au niveau mondial avec des revenus monétaires respectivement d'environ 980 millions et 960 millions de dollars US. Par contre, c'est la Chine qui est le plus gros importateur mondial (5 millions de tonnes) pour une valeur d'à peu près 1,5 milliard de dollars US. Cette importante exportation constatée en Asie repose essentiellement sur une forte demande sous forme séchée utilisée dans l'alimentation du bétail et de l'amidon dont les usages sont multiples dans l'industrie. Quant aux continents africain et sud-américain, ces flux sont négligeables (FAOSTAT, 2013). En effet, l'Afrique et l'Amérique Latine qui sont de grands producteurs semblent destinées leur production à la consommation interne surtout que cette production est assurée essentiellement par des petites exploitations familiales.

Tableau V : Quantité de manioc importé et exporté (x 1000 t)

Zones	Année							
	2006		2008		2010		2011	
	Import	Export	Import	Export	Import	Export	Import	Export
Monde	5.594	5.512	4.010	4.152	6.380	6.291	5.855	6.682
Asie	5.251	5.388	3.056	3.771	6.237	6.128	5.717	6.537
Afrique	0,788	6,000	3,000	9,000	12,00	12,00	9,000	6,000
Sud Amérique	7,000	11,00	2,000	11,00	25,00	28,00	24,00	26,00

Source : FAOSTAT, 2013

1.2. LE MANIOC AU TCHAD

1.2.1. Situation géographique

Pays d'Afrique Centrale et enclavé, le Tchad est situé entre les 7° et le 24° de latitude Nord et les 13° et 24° de longitude Est. Le pays couvre une superficie de 1.284.000 km² dont 47% sont situés dans la zone saharienne, 43% en zone sahélienne et 10% dans la zone soudanienne. Le climat est de type continental chaud et variant d'une zone à climat tropical semi-humide à l'extrême sud à un climat désertique au nord du pays. La pluviométrie est aussi très aléatoire avec moins de 50 mm à plus de 800 mm par an selon les zones. La végétation et les sols sont très variés. La zone soudanienne est caractérisée par des savanes boisées et des forêts claires avec des sols de couleur rouge de texture uniformément argilo-sableuse à argileuse. La zone sahélienne est dominée par la savane arbustive avec des sols hydromorphes, ferrugineux tropicaux peu lessivés et des sols bruns ou brun rouges subarides. La zone saharienne est désertique et caractérisée surtout par des épineux rabougris ou de palmeraies se développant sur des sols bruns ou brun-rouge subarides (**Figure 3**).

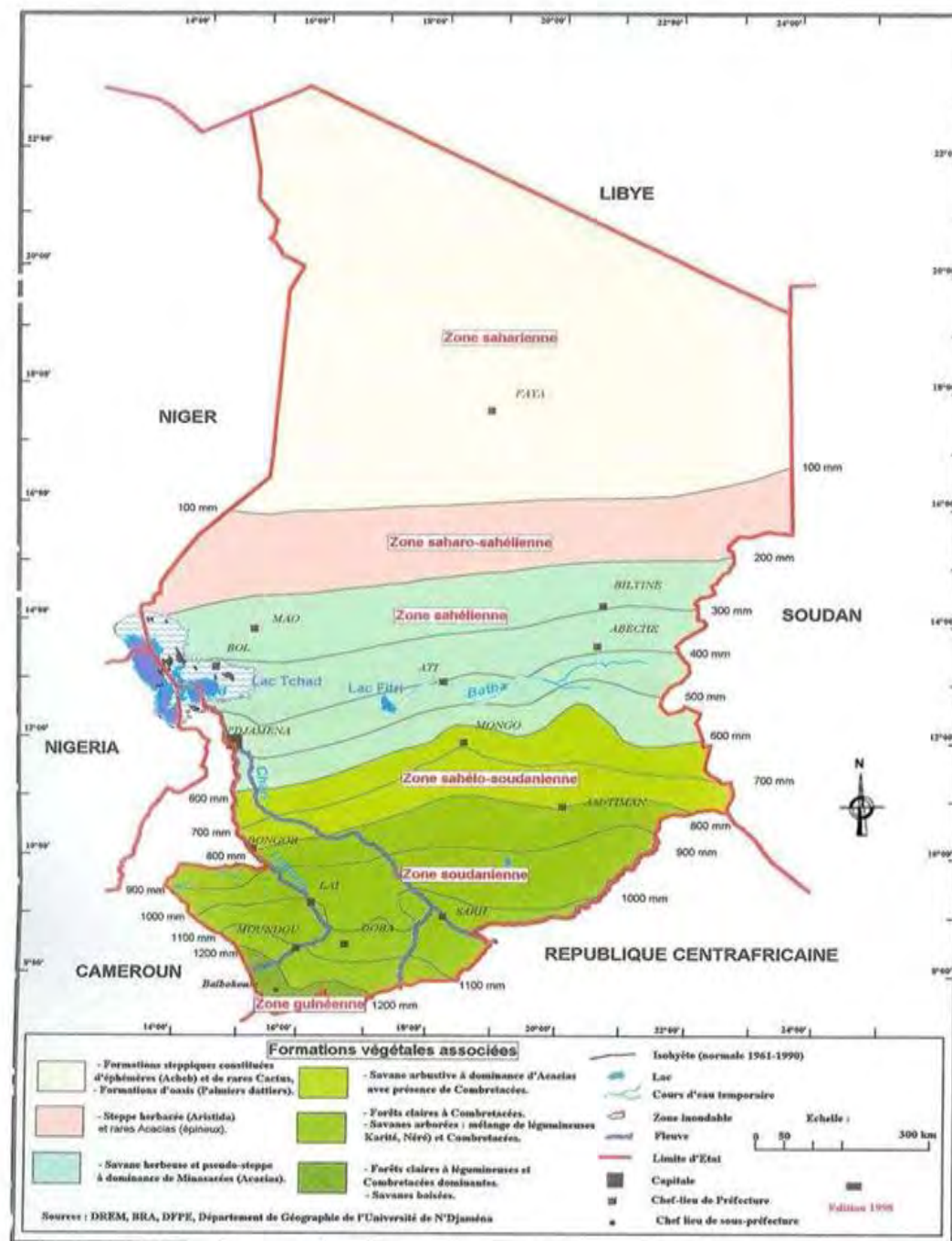


Figure 3 : Carte climatique et formations végétales du Tchad

Source : DREM, BRA, DFPE, Département de Géographie de l'Université de N'Djaména, Edition 1998

1.2.2. Cadre socioéconomique

Le Tchad est peuplé de 11039873 d'habitants avec une densité moyenne de 8,6 habitants/km² répartie de manière inégale (INSEED, 2012). Le taux de croissance démographique est de 3,5% par an avec une espérance de vie de 50 ans. Sur le plan économique, le taux de croissance du PIB est passé de 9,6 % en 2003 à 30,1 % en 2004 grâce à l'exploitation du

pétrole. Le taux moyen de croissance économique s'est établi à 7 % par an et celui du PIB est estimé à 3,7 % par an au cours de la décennie 2000-2011 (ECOSIT 3, 2011). En 2011, la contribution de l'agriculture au PIB était estimée à 23 % dont 20% provenaient de la production vivrière et 3% des cultures de rente. Cette contribution est significative malgré les revenus pétroliers car de 2005 à 2008, la contribution agricole au PIB n'était que de 12,5% (PND, 2013).

1.2.3. Situation alimentaire et nutritionnelle

Concernant le niveau de la pauvreté, 46,7% de la population, vit avec environ 652 francs CFA par jour en 2011 contre 55% en 2003 (ECOSIT3, 2011). Cette régression de la pauvreté a été possible avec l'exploitation du pétrole. Toutefois, ce seuil de pauvreté est plus marqué en milieu rural (59%) qu'en milieu urbain (25%). Quant à l'IDH, aucune amélioration n'a été observée depuis plusieurs années. Sur le plan de la Sécurité alimentaire et nutritionnelle, la proportion de la population n'atteignant pas le seuil calorifique était de 33% en 1996 contre 31% en 2009 (EVST, 2009). Le régime alimentaire est peu diversifié car ce sont le sorgho et le mil qui sont les plus consommés et qui représentent la moitié de la ration calorique. L'insécurité alimentaire affecte 44,2% de la population dont 64% vivent en dessous du seuil de pauvreté. Les couches sociales les plus vulnérables sont les enfants, les femmes, les personnes âgées et les petits producteurs. Il convient de préciser que cette insécurité alimentaire est principalement liée au caractère déficitaire de la production céréalière, à la pauvreté, au non diversification des activités génératrices de revenus, aux chocs récurrents (sécheresse, inondation, etc.). Les résultats préliminaires de l'enquête nutritionnelle (SMART) réalisée en août et septembre 2011 dans 11 régions de la bande sahélienne, ont montré que les taux de malnutrition aiguë globale sont très élevés et dépassaient le seuil d'urgence préconisé par l'OMS. En effet, sont concernés plus de 15% dans 6 régions, représentant plus de 4 millions de personnes. Cette malnutrition aiguë est l'une des causes indirectes de mortalité importante chez les enfants.

1.2.4. Historique

La culture du manioc était pratiquée en République Centrafricaine, pays frontalier à partir de 1850 (Tisserant, 1953) puis s'est propagée aux abords de l'Oubangui-Chari au moment de la première guerre mondiale (Sautter, 1958). Elle fut ensuite introduite au début des années 1930 au Tchad, par l'administrateur colonial dans la zone soudanienne à la suite de l'invasion acridienne de 1929-1930 qui avait détruit en partie les cultures céréalières (Gaide, 1956). De ces zones frontalières où la culture du manioc était effectivement pratiquée dès 1940, celle-ci progressa vers le sud-ouest du pays pour atteindre vers 1950, le Mayo Kebbi. Actuellement le

manioc est largement cultivé dans la zone méridionale et il constitue avec le coton, le riz et l'arachide, l'une des sources non négligeables des revenus pour les agriculteurs. On y retrouve deux types, le manioc amer et le manioc doux. Les variétés amères sont transformées avant la consommation. Le manioc doux est généralement cultivé à petite échelle mais aussi de plus en plus dans les zones périurbaines. Il est consommé sous forme fraîche, bouillie ou transformé en cossettes. Les jeunes feuilles sont consommées sous forme de légumes. Les épluchures sont surtout utilisées dans l'alimentation animale et dans la fabrication des boissons alcoolisées.

1.2.5. Les caractéristiques de la production nationale du manioc

1.2.5.1. Les zones de production

Le bassin de production du manioc se situe dans la zone soudanienne et soudano-guinéenne aux frontières du Cameroun et de la RCA. Cette zone s'étend du sud-ouest au sud-est en passant par l'extrême sud, d'isohyète 700 à 1200 mm. Depuis quelques décennies, la culture du manioc prend de l'importance et s'étend également à la zone sahélo-soudanienne et sahélienne. Cependant la production dans cette dernière zone y est encore très faible car confinée dans des aires bien spécifiques comme les jardins et les ouadis, sorte de dépressions où la nappe phréatique est à moins d'un mètre. En effet, dans le Kanem et le Lac, régions situées dans la bande sahélienne et à l'ouest, le manioc est cultivé dans les ouadis, aux pourtours des parcelles des cultures maraîchères (**Planche 1**) et le long des canaux d'irrigation (**Planche 2**). Avec la démographie galopante, l'exode rural massif vers les centres urbains, les besoins alimentaires dans les villes, sont de plus en plus croissantes. Pour subvenir à ces besoins énormes, l'on constate qu'un nouveau type d'agriculture se pratique dans les zones périurbaines, le long des berges des fleuves comme le Chari et le Logone après le retrait des eaux. Au Tchad, la culture du manioc est pratiquée à des proportions très variables dans la majorité des zones agroécologiques du pays, excepté la zone saharienne. Cependant, depuis plusieurs années, seule la production des zones soudanienne et soudano-guinéenne est comptabilisée par les services en charge de la vulgarisation. En effet, la production du manioc dans la zone sahélienne, est très faible donc considérée comme négligeable. Ce qui est confirmé par une enquête réalisée par Mbayhoudel et Naïtormaïdé (1998) dans cette partie du pays située entre les latitudes 10° et 14° Nord et les longitudes 15° Ouest et 20° Est. Les résultats indiquaient que la culture du manioc occupait une place marginale. Il n'est produit que dans dix des quarante villages échantillonnés et enquêtés. Cette faible production est due à plusieurs contraintes telles que la destruction par les animaux car c'est une zone par excellence de l'élevage nomade, la faible pluviométrie, l'insuffisance des

terres agricoles, les habitudes alimentaires car les céréales constituent l'aliment de base de ces populations. De plus, environ 49% des superficies cultivables sont allouées aux céréales, 40% aux légumineuses et seulement 4% au manioc. Toutefois, ces dernières années, avec la promotion du manioc dans cette partie du pays, les données de cette zone surtout au niveau des régions de Hadjer Lamis, du Lac et du Salamat, sont évaluées et prises en compte dans les résultats des campagnes agricoles.



Planche photographique 1 : Plants de manioc autour des parcelles maraîchères dans les ouadis (Kanem)

Source : Molengar Ngoundo, ERCU/FAO



Planche photographique 2 : Manioc planté le long des canaux d'irrigation (Kanem)

Source : Molengar Ngoundo, ERCU/FAO

1.2.5.2. La production nationale du manioc

Même si l'alimentation de base est constituée des céréales, les plantes à racines et tubercules occupent une place assez significative. Au cours de la campagne agricole 2014/2015, la production céréalière est de 2748669 t et celle des oléagineux est estimée à 995936 t. Quant aux tubercules et racines, la production est de 8% comparée à la production totale (**Tableau VI**). Comme l'indique la **Figure 4**, la moyenne quinquennale de production nationale des plantes à racines et tubercules toutes espèces confondues (manioc, patate, taro) est de 496244 t (RT, 2015). Sur cette tranche d'années, la production en manioc est la plus élevée et elle est estimée à 252874 t. Toutefois, cette production a connu une évolution mitigée malgré la diffusion des variétés améliorées en provenance de l'IITA par l'ITRAD. Car de 256270 t en 2000, la production a atteint environ 391255 t en 2010 et fortement baissée à 166888 t en 2015 pour différentes raisons et contraintes.

Tableau VI: Moyennes et totales des superficies et productions des principales espèces (campagne agricole 2014/15)

Espèce	Production par espèce (t)	Superficie par espèce (ha)	Superficie totale (ha)	Production totale (t)
Céréales			3212184	2748669
Mil	694751	1103180		
Sorgho et Berberé (sorgho de décrue)	1416108	1628672		
Blé	809	622		
Maïs	332889	285993		
Riz	304112	193717		
Oléagineux/ Légumineuses			1407773	1109858
Arachide	791088	774604		
Sésame	204848	421562		
Niébé	113922	211607		
Plantes à racines et tubercules			42311	313817
Manioc	166888	30682		
Patate	142677	9330		
Taro	4252	2299		

Source : ONDR/SODELAC/DPAS, 2015

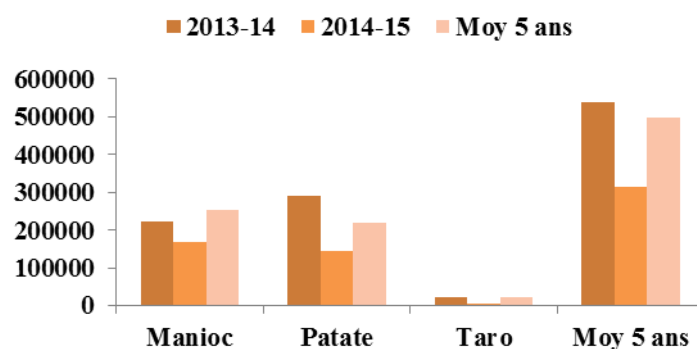


Figure 4: Production des plantes à racines et tubercules (en tonnes) de 2013 à 2015

Source : ONDR/SODELAC/DPAS, 2015.

L'analyse de la production nationale pendant les 10 dernières années, présentée à la **Figure 5** montre que celle-ci est très variable et en baisse par rapport à certaines campagnes agricoles. Plusieurs raisons expliquent ce fait. Pendant et vers la fin des années 90, au niveau de la recherche, plusieurs activités relatives à l'introduction des tests d'introduction des variétés améliorées à haut potentiel de rendement et résistantes à la mosaïque en provenance de l'IITA. Ces variétés ont ensuite fait l'objet des tests en milieu réel et des campagnes de vulgarisation auprès des producteurs. C'est ce qui explique en partie l'amélioration de la production pendant les années 2000 jusqu'à 2005. A partir de cette période jusqu'à ces 10 dernières années, la production du manioc est très fluctuante d'une année à l'autre. Le pic de cette production a été obtenu pendant la campagne agricole 2010/11. Cette variabilité importante dans la production est due au fait que très peu de variétés améliorées sont mises à la disposition des producteurs. L'indisponibilité et l'inaccessibilité des boutures et l'érosion génétique, car ce sont les mêmes boutures qui sont prélevées et ensuite utilisées pour les cultures suivantes, sont certainement aussi à l'origine des baisses de rendement et donc de la production. Par ailleurs, certaines de ces variétés ne répondent pas aux besoins réels de ces producteurs et ont sûrement été abandonnées pour revenir à leurs variétés traditionnelles. Cette baisse de la production peut aussi s'expliquer par certains phénomènes récurrents que sont la dévastation par les animaux domestiques responsables de nombreux conflits entre agriculteurs et éleveurs, le phénomène du changement climatique à savoir les inondations et les sécheresses fréquentes, l'indisponibilité des boutures dans certaines zones, l'encadrement des producteurs et des ravageurs comme les termites et surtout la mosaïque. Les conflits entre agriculteurs et éleveurs sont dus à l'arrivée massive de ces derniers dans le sud du pays dans le milieu des années 1980 (Arditi, 1992 ; Buijtenhuis, 1995 ; Magrin, 2001). Par ailleurs, en plus de ces contraintes, certaines années ont été marquées par des guerres qui sont à l'origine

de l'afflux des réfugiés et des retournés venant de la République Centrafricaine, pays frontalier du Tchad. Concernant les superficies emblavées en manioc, la moyenne dans les 10 dernières années est d'environ 44000 ha. Cette répartition est toutefois très inégale et l'on remarque également une baisse de 40% surtout pendant les 3 dernières campagnes agricoles. Les raisons sont les mêmes que celles à l'origine de la baisse de la production. Les régions concernées sont celles situées dans les zones où les conflits fonciers, agriculteurs et éleveurs, agriculteurs et faunes sauvages, la dévastation par des pachydermes, sont encore fréquents. Cependant, le manioc demeure non seulement une véritable source de revenus pour les petits producteurs mais aussi un moyen de diversification des productions végétales. En effet, au Tchad, le développement du manioc est étroitement lié historiquement à la politique de sécurité alimentaire et c'est ce qui montre aujourd'hui, cette fonction régulatrice du manioc en cas de crise alimentaire (Magrin, 2001). L'analyse des moyennes de production en manioc par région administrative au cours des 6 dernières années (**Tableau VII**), montre que les 4 régions productrices les plus importantes sont toutes situées dans la zone soudanienne. Trois de ces régions sont en plus localisées dans la partie du pays par où la culture du manioc s'est introduite au Tchad. Les autres dont les productions sont aussi intéressantes se situent dans le prolongement direct de la zone de pénétration. Ce qui semble indiquer que l'évolution de cette culture suit une logique socioéconomique intéressante à exploiter par la recherche afin d'améliorer son niveau d'adoption et de production.

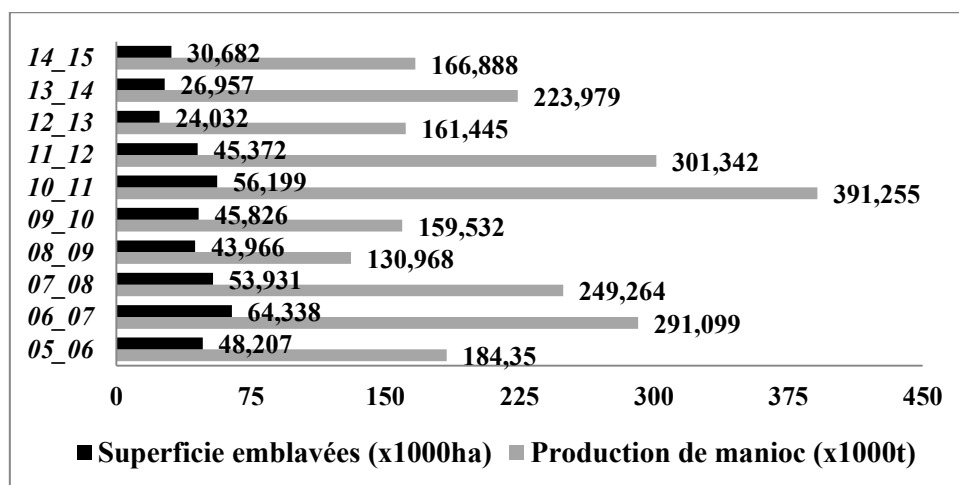


Figure 5: Evolution de la production et des superficies emblavées en manioc de 2005 à 2014
Source : ONDR/SODELAC/DPSA

Tableau VII : Moyennes de production de manioc (en tonnes) par région administrative

Zone/CA*	09_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	Moy 6 ans
Moyen Chari/Mandoul	25795	25028	37328	26678	44124	34686	32273
Tandjilé	33146	55463	64170	//	23316	8185	30713
Logone Occidental	24865	204469	119102	60734	41338	55592	84350
Logone Oriental	24321	47638	34300	29927	39809	19506	32583
Mayo Kebbi Ouest	24526	27080	15348	16439	8193	2579	15694
Mayo Kebbi Est	26879	31577	31094	27667	23242	20409	26811
Hadjer Lamis	//	//	//	//	//	1448	1448
Lac	//	//	//	//	//	4817	4817
Salamat	//	//	//	//	//	19664	19664

CA* : Campagne Agricole ; **Source** : ONDR, 2009 à 2015

1.2.5.3. Place du manioc dans les systèmes de production

C'est la principale plante la plus cultivée parmi les plantes à racines et tubercules au Tchad, aussi bien en termes de superficie qu'au niveau de la production. Culture pratiquée pendant longtemps autour des cases, le manioc est de plus en plus cultivé sur de grandes superficies et sur des sites éloignés des habitations où des problèmes de gardiennage se posent avec acuité. C'est ainsi que dans certaines régions considérées comme des bassins de production, sont mises en place des champs communautaires où les paysans s'organisent en groupes de surveillance. Parfois les champs sont implantés aussi le long des grands axes routiers et des pistes où leur surveillance est plus facile. D'autres protègent leurs champs par des haies mortes ou vives constituées généralement de citronniers. Dans les zones périurbaines surtout autour de la capitale N'Djaména, c'est le manioc doux qui se cultive le long des berges de deux affluents du Lac Tchad. Dans la zone sahélienne, le manioc se cultive aussi bien en pluvial que dans les aires humides comme les ouadis, au bord des cours d'eau et autour du Lac Tchad, après l'inondation et le retrait des eaux. Au niveau national, pendant longtemps, la culture du manioc se faisait en pure. De plus en plus, avec les problèmes fonciers et la disponibilité des terres, plusieurs associations culturales sont pratiquées. Il est associé soit à l'arachide, au niébé, au sorgho, à la patate ou au coton. L'association avec le niébé ou le coton, posent d'énormes problèmes de santé. En effet, le niébé et le coton sont soumis à des traitements phytosanitaires fréquents, au cours de leur cycle, et ces produits chimiques se retrouvent dans les feuilles de manioc qui dans ce cas, ne sont pas adaptés à la consommation.

Parfois, il se pratique en culture intercalaire avec des arbres fruitiers. Le manioc est souvent cultivé sur des sols moins fertiles et sans apports d'engrais ni traitement phytosanitaire. Quelque fois, un traitement chimique à base d'insecticide est utilisé dans la lutte contre les termites. La norme standard de densité conseillée par les structures en charge de la vulgarisation est 1 m x 1 m soit 10000 plants par hectare. Cependant en milieu rural, ces densités ne sont pas souvent respectées. Naïtormbaïdé (2004) a montré dans une étude conduite sur 5 sites pilotes, 6 différentes densités pratiquées par des paysans. Les périodes de plantation se situent au mois de juillet et d'août. La taille des boutures plantée conseillée varie entre 15 et 25 cm. Trois modes de plantation sont utilisés: oblique, vertical et horizontal. Le mode horizontal a été retenu et conseillé par les services de vulgarisation. Mais ces conseils sur la taille des boutures et les modes de plantation ne sont pas souvent respectés par les paysans. Au niveau d'une région, ces pratiques peuvent varier au sein des villages et même d'un champ à l'autre (**Planche 3**). Le manioc se cultive sous forme de boutures et non en graines. Les boutures sont prélevées sur les tiges au moment de la récolte et utilisées pour la campagne suivante. Les techniques d'utilisation des microboutures (1 ou 2 nœuds) qui permettent d'accélérer la production de ces boutures avant leur plantation dans des champs, sont peu connues des producteurs. De manière générale, les opérations culturales sont les mêmes dans toutes les régions productrices. Le manioc est le plus souvent cultivé au sein de petites exploitations familiales et dans des systèmes d'agriculture itinérante sur brûlis. Les boutures sont plantées après un labour à plat ou sur des billons. Toutefois, dans la zone sahélienne, certains paysans les plantent sans labour préalable. Deux à trois sarclages et désherbages sont ensuite effectués. Les rendements moyens au cours des 6 dernières années sont très variables selon les zones de culture (**Tableau VIII**). Les rendements de 10 et 19 t/ha observés dans les zones du Salamat et du Lac où seules les données de l'année 2015 sont disponibles, sont spécifiques car ces deux zones sont les plus fertiles du pays et le manioc ne s'y cultive que sur des petites superficies (Lac : 248 ha ; Salamat : 1817 ha). Les variétés utilisées ici sont des variétés améliorées récemment introduites dans ces localités de la zone sahélienne qui sont par excellence des régions productrices du sorgho de décrue (Berbéré) pour le Salamat et du maïs pour le Lac. Quant aux régions de la Tandjilé et les deux logones, les rendements obtenus (8 à 10 t/ha) expliquent en partie le faible taux d'adoption ou de disponibilité des variétés améliorées. La proximité de la ferme de Deli de la station de recherche de la zone soudanienne de l'ITRAD où été conduits tous les travaux de recherche sur le manioc, n'a apparemment pas favorisé l'accessibilité aux variétés améliorées. Les paysans de ces localités ne semblent pas aussi bien adoptés les nouvelles technologies ou bien

les actions de vulgarisation n'ont pas été assez efficaces. Cependant, avec la nouvelle approche de Champ-Ecole Paysan et des parcs à bois pour la multiplication des boutures saines, qui se développe de plus en plus, la vulgarisation des variétés améliorées pourrait mieux contribuer à l'amélioration de la productivité du manioc. Dans les régions du Mandoul et du Moyen Chari qui font partie des points d'entrée du manioc au Tchad, les rendements sont encore plus faibles à cause semble-t-il des problèmes de disponibilité des variétés améliorées mais l'on a noté aussi lors des missions de prospection, la présence importante des plants virosés (mosaïque africaine) dans les champs. Cette observation a été aussi signalée par Monelmbaye (2010) qui a indiqué dans une étude que l'incidence de la mosaïque africaine dans cette zone est de 90,61 %. Il convient cependant de noter que malgré ce rendement moyen de 7 t/ha pour toutes variétés confondues, il est tout de même encourageant, car en RCA, où le manioc représente plus de 80% de la consommation alimentaire avec une production estimée à 600.000 t, le rendement moyen n'est que de 3 t/ha. De manière générale, les cultivars locaux de manioc sont souvent sensibles à la mosaïque et leurs rendements varient entre 6 et 10 t/ha (Naïtormbaïdé et al., 2009) alors que pour les variétés améliorées, ces rendements moyens sont entre 30 et 40 t/ha.



Planche photographique 3 : Mode de plantation des boutures dans le village Krah (Région du Mandoul).

Tableau VIII : Evolution des rendements de manioc (en kg/ha) pour la période 2009 à 2015

Zone/CA*	09_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	Moy 6 ans
Mandoul	2506	2709	3079	2783	4064	3750	3148
Moyen Chari	2916	3180	6527	6527	6058	2235	4574
Tandjilé	4500	11025	7900	11250	9430	5876	8330
Logone occidental	4250	11710	10548	9200	11498	13654	10143
Logone oriental	3833	11751	9948	9580	11110	7186	8901
Mayo Kebbi Ouest	3465	3250	3000	3352	3181	3013	3210
Mayo Kebbi Est	3138	3435	7043	9080	7602	5021	5886
Hadjer lamis						950	
Lac						19400	
Salamat						10822	

CA* : Campagne Agricole ; **Source** : ONDR, 2009-2015

1.2.5.4. Travaux de recherche sur l'amélioration du manioc

Historiquement, le développement de cette culture s'est fait à partir des cultivars introduits à partir de la République Centrafricaine et dont les populations sont à cheval entre les deux pays. Toutefois, ces cultivars sont en majorité sensibles à la mosaïque. Au niveau national, il n'a pas eu à ce jour des travaux de sélection et de croisement pour la mise au point des variétés performantes. Les travaux de recherche se sont limités aux tests d'introduction et d'adaptation des variétés à haut rendement et résistantes à la mosaïque. Afin d'améliorer la productivité et la production du manioc, un programme national d'amélioration des plantes à racines et tubercules a été mis en place et a permis l'introduction de 110 variétés performantes en provenance de l'IITA (Ibadan, Nigeria). Ces variétés ont été testées en milieu contrôlé de 1993 à 1998 à la ferme de Deli, site d'expérimentation de l'ITRAD. Les travaux sont surtout axés sur des essais de rendement, l'évaluation de la résistance des variétés à la mosaïque, à la bactériose et à la l'acarien vert. Après cette première phase, quelques variétés ont été identifiées et diffusées en milieu paysan. De même, les aspects liés aux techniques de transformation ont fait l'objet de vulgarisation auprès des producteurs. Les résultats de cette diffusion sont assez mitigés. Actuellement, en milieu paysan, à peine deux ou trois de ces variétés sont encore disponibles chez les producteurs et les véritables raisons de ce faible taux, ne sont pas encore élucidées. Concernant les cultivars locaux, une prospection effectuée dans les années 90 dans la zone proche du site d'expérimentation, a permis de collecter 22 cultivars. Ceux-ci sont mis en collection conservatrice à la ferme de Deli de l'ITRAD et

reconduits chaque année. En matière de recherche, il convient aussi de noter que les collections nationales des spéculations agricoles, constituent à n'en point douter, des sources de conservation et des possibilités d'exploitation des ressources phylogénétiques locales. Contrairement aux Centres internationaux et nationaux à travers le monde comme l'IPGRI, l'EMBRAPA au Brésil, le CIAT en Colombie et l'IITA à Ibadan au Nigeria qui disposent des banques de germoplasme ayant des milliers de cultivars locaux ou introduits de manioc, il y a très peu de collections au niveau de l'ITRAD qui est pourtant la seule structure autorisée au Tchad. Cette insuffisance s'explique surtout par le manque adéquat d'infrastructures de conservation. Dans le cas du manioc, on compte seulement deux collections et de plus elles sont de petite taille. La plus importante et la plus ancienne, c'est celle de la ferme de Deli. Elle est issue d'une sélection de plus de 500 variétés en provenance de l'IITA en 1994. Actuellement, elle est constituée de 110 variétés améliorées et 22 locales. La seconde collection la plus récente compte 19 accessions et est localisée à la station de recherche de Bebedjia de l'ITRAD. Toutes ces variétés sont maintenues *in situ* à chaque campagne agricole pour la sélection conservatrice. Depuis 2007, les aspects concernant la recherche agricole, ont été pris en compte dans le Plan à Moyen Terme de la Recherche Agricole (PMTRA, 2010). Des politiques et stratégies ont permis de préciser les priorités et des actions susceptibles d'assurer la relance des activités des productions agricoles. Aussi, il a été question de diversifier les cultures, de valoriser et de développer les filières porteuses. C'est dans ce contexte que les plantes à racines et tubercules ont de plus en plus commencé à retenir l'attention des pouvoirs publics. Dans le cadre du Programme de Recherche sur Base Compétitive du Projet d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations des Producteurs, une étude a permis de sélectionner trois variétés de manioc tolérantes à la sécheresse et à la mosaïque africaine. Ce sont des variétés performantes et adaptées à la zone des savanes du Tchad (Naïtormaïdé et al., 2009). Malgré l'introduction et la diffusion des variétés résistantes à la mosaïque, l'état phytosanitaire du manioc dans certaines zones du pays reste préoccupant. En effet, une étude conduite dans les départements du Barh-koh et de la Grande Sido au sud du Tchad, a montré l'existence de la mosaïque africaine dans tous les champs de manioc des localités enquêtées ainsi que la présence des autres maladies tels que la bactériose, la cochenille farineuse et la striure brune du manioc. L'incidence de ces maladies et ravageurs est variable suivant les localités mais les impacts sont toutefois très importants sur le manioc. L'incidence de la mosaïque africaine dans ces deux départements est de 90,61 % et il a été montré que sa propagation se fait par le biais des boutures (Monelmbaye, 2010). Les techniques de transformation et de conservation du manioc ont depuis les années 90, fait

également l'objet de nombreux travaux de recherche par l'ITRAD. En effet les producteurs ont été formés sur différents produits transformés tels que le gari, les chips, les beignets, les biscuits, le "mamberé", les cossettes, l'amidon, la farine, les feuilles séchées, etc. De même, des broyeuses motorisées, des râpeuses et des presses mécaniques ont été développés et largement vulgarisés dans les zones de production. Ces actions de diffusion continuent à être réalisées à travers l'ITRAD et grâce au projet "transfert des technologies et bonnes pratiques agricoles" (DONATA/CORAF) où deux plateformes multi acteurs de diffusion de ces technologies ont été mises en place depuis 2011 dans deux villages situés dans la sous-préfecture de Deli. La "plateforme de production" avec l'introduction de deux variétés améliorées de manioc à haut rendement et tolérantes à la mosaïque, a permis d'avoir des résultats très encourageants. L'utilisation du matériel sain, résistant à la mosaïque par les producteurs, a contribué à l'augmentation significative des superficies et de la production de manioc dans les sites pilotes. Environ 5625 producteurs ont été ainsi formés en techniques culturales, au suivi des cultures, les semis en ligne et le respect de la densité. Ont été mis en place, 2 ha de champs écoles puis 14 ha de parc à bois. Les boutures obtenues ont permis d'emblaver 190 ha. Les rendements sont passés de 6.000 à 14000 kg/ha soit une amélioration de 130%. Récemment en début 2015, la mise en œuvre de la deuxième phase, a permis l'organisation d'un atelier de renforcement des capacités des producteurs en techniques de transformation et conservation de manioc aux membres de la "Plateforme transformation et commercialisation des produits à base de manioc". Des actions de recherche sur le manioc sont aussi conduites au niveau du PRASAC qui est une institution spécialisée de la CEMAC. En effet, avec 700000 ha emblavés et 4000000 t produites par an, cette culture joue un rôle important dans la sécurité alimentaire des populations de la sous-région d'Afrique Centrale. Afin de contribuer à accroître durablement les performances des exploitations productrices du manioc et de développer l'accès des produits aux marchés, des équipes de recherche pluridisciplinaire des Etats membres de la Communauté ont été constituées autour des thématiques prioritaires dans le cadre du projet « *Production durable du manioc en Afrique Centrale et intégration au marché* » pour la période allant de 2011 à 2015. Même si les résultats des travaux de recherche ne sont pas encore disponibles, cette initiative montre l'importance de l'attention accordée à cette culture par les pouvoirs publics.

1.2.5.5. Implication des partenaires dans la diffusion des variétés améliorées

Plusieurs partenaires techniques et financiers, des ONG humanitaires ou de développement et des groupements des producteurs interviennent également dans ce secteur depuis plusieurs années. Grâce à l'appui de la FAO, plusieurs projets de développement ont été financés et

conduits en collaboration avec les structures techniques du Ministère en charge de l'Agriculture. En 2004, le projet TCP / CHD / 2903 (T) « *Intensification de la Productivité et de la Production des plantes à racines et tubercules* » avait permis de réaliser une situation de référence de 5 sites pilotes et de proposer des axes d'intervention. De 2011 à 2013, la stratégie d'intervention a évolué et s'est basée sur une nouvelle stratégie de multiplication et de diffusion des variétés de manioc par la création des parcs à bois et des champs écoles. C'est ainsi que le *Projet TCP/CHD/3301 « Projet d'Appui à la Gestion Intégrée du Manioc »* a fourni du matériel végétal sain aux producteurs et au renforcement de leurs capacités par l'approche Champ-Ecole Paysan. Au total, 43 ha de parcs à bois, 25 ha de Champs Ecoles et 170 parcelles de production ont mis en place dans 7 régions. Entre 2010 et 2011, suite à la baisse de la pluviométrie et à sa mauvaise répartition dans le temps et l'espace, des poches d'insécurité alimentaire ont été constatées dans certaines localités des régions du Kanem à l'ouest et du sud du pays. La FAO a apporté plusieurs appuis dans le cadre du projet « *Intervention de ERCU/FAO dans la filière manioc au Tchad* » à ces localités. Au Kanem, 65.000 boutures de manioc ont été distribuées aux ménages vulnérables ayant des parcelles dans les ouadis en vue de lutter contre la malnutrition. Dans le sud du pays, 280.000 boutures d'une variété améliorée douce, la TME 225, ont permis la mise en place de 28 ha de parcs à bois, répartis dans 5 régions pilotes. Par rapport aux ONG humanitaires et les associations locales des producteurs de manioc, les interventions relatives à la distribution des boutures, ciblent les camps des réfugiés et les déplacés qui vivent dans les zones frontalières avec la RCA, les victimes des inondations, de la sécheresse ou parfois des dévastations par la faune sauvage. Comme exemples, l'on peut signaler les actions de l'APROMA de la Nya Pendé (région du Logone oriental) et du SECADEV qui ont eu pour principales stratégies, la multiplication et la redistribution des boutures améliorées. L'APROMA a ainsi redistribué 240.000 boutures en 2007. Le SECADEV a intervenu dans les localités de Bousso et Ba-Illi, zone de transition entre la zone sahélienne et soudanienne pour secourir les populations autochtones et déplacées frappées par la famine de 1984. Les populations ont été organisées en groupements et l'intervention s'est faite en filière à partir de 2002. La filière manioc est la plus importante avec l'introduction des variétés améliorées en provenance de l'IITA, préalablement testées par l'ITRAD et qui ont permis de contribuer significativement à la sécurité alimentaire dans cette zone. Environ 720,41 ha ont été emblavés en manioc, 1038 producteurs et transformatrices formés en techniques culturales et de transformation et 4320 t de produits et sous-produits de manioc commercialisés.

1.3. LA DIVERSITE GENETIQUE DU MANIOC

1.3.1. Pratiques et savoirs traditionnels de gestion des cultivars de manioc

Ces pratiques et savoirs sont basés sur des caractères phénotypiques. La connaissance approfondie des facteurs socioculturels, économiques et agronomiques de cette gestion paysanne de la diversité variétale, pourrait contribuer de manière efficiente à la valorisation de ces ressources phytogénétiques. Plusieurs travaux antérieurs ont montré l'importance de ces savoirs locaux. Dans le cas du manioc, le potentiel et la richesse de cette diversité ont été documentés et rapportés par plusieurs auteurs. Elias et al. (2000a) ont rapporté que dans les agrosystèmes traditionnels des tribus Amerindiens Makushi de la Guyane, les cultivars de manioc constituent une source non négligeable en matière de diversité génétique. Une étude comparative menée sur l'état de la diversité variétale du manioc chez les populations amérindiennes du haut Rio Negro d'Amazonie, a révélé également une diversité variétale importante et dont les modes de gestion reposent sur des savoirs et des savoir-faire locaux (Pinton et Empeaire, 2001). Chez le manioc, où la multiplication peut se faire par voie végétative, sexuée ou les deux à la fois, la base de cette diversité peut être étroite ou très large avec de fortes variations en fonction du nombre de cultivars soit par village soit par paysan. Des résultats ont ainsi été rapportés par de nombreux auteurs dont certains concernent le nombre de cultivars par paysan (Boster, 1984 ; Chernela, 1986; Manusset et al., 2006; McKey et al., 2001; Empeaire et al., 2003 ; Kombo et al., 2012) tandis que d'autres ont été évalués au niveau village (Boster, 1984 ; Elias et al., 2000a; Agre et al., 2015a). Les critères de sélection et de reconnaissance des cultivars font aussi partie de ces connaissances couramment utilisées par les paysans dans le maintien de la diversité. Toutefois certains auteurs notent que même si ces critères sont pertinents et utiles, ils sont très nombreux, variables et assez confus. En effet, certains critères peuvent servir en même temps à sélectionner un cultivar par rapport à un trait agronomique mais aussi à l'identifier. D'autres se réfèrent soit aux caractères qualitatifs visibles (Boster 1985; Manu-Aduening et al., 2014), soit une combinaison des caractères quantitatifs et qualitatifs. Les paysans identifient les cultivars en leur attribuant des noms. Charrier et al. (1988) ont montré que les paysans distinguent d'abord les cultivars de manioc à partir de leurs traits agronomiques, morphologiques et de leur goût puis cette diversité est ensuite et le plus souvent traduite par leur dénomination en langage vernaculaire. Cette dénomination des cultivars dans la langue locale a été soulignée par Empeaire et al. (1998) comme étant un facteur culturel important dans le maintien de la biodiversité du manioc à l'échelle d'une région où se côtoient différents groupes culturels. Plusieurs auteurs ont fait mention de l'existence de cette nomenclature

locale du manioc en Afrique (Manu-Aduening et al., 2005; Delêtre, 2010; Kombo et al., 2012; Kosh-Komba et al., 2014; Agre et al., 2015a). Toutefois certains affirment que même si ces noms locaux sont des traits socioculturels importants pour ces communautés, ils sont peu utiles dans une classification botanique des génotypes (Maroya et al., 1995) et ne sont pas des indicateurs pertinents de diversité (Sardos et al., 2008). Ce qui ne semble pas être tout à fait l'avis de Caillon et al. (2005), qui dans une étude sur le taro (*Colocasia esculenta* L.Schott), observe que même si la richesse du savoir d'une société n'est pas toujours l'indicateur d'une large base génétique des plantes cultivées, les critères locaux d'identification utilisés par les paysans sont suffisamment fins pour différencier, nommer en langue vernaculaire, classer et connaître l'origine des différents morphotypes. Ce rôle primordial joué par les paysans dans la gestion de la diversité a été également rapporté par plusieurs auteurs et sur d'autres cultures. Abdou et al. (2014) ont souligné l'importance du rôle de l'organisation sociale dans la structuration de la diversité génétique. Ils ont rapporté que la structuration de la diversité nommée montre une organisation spatiale et linguistique des écotypes d'oignons (*Allium cepa* L.) qui ont été inventoriés au Niger. Chez certaines plantes à racines et tubercules comme l'igname (*Dioscorea rotundata*), le mélange des cultivars dans un champ, est aussi courant. Leur choix est fonction de nombreux facteurs, des préférences et intérêts du paysan (Baco, 2014). L'évaluation des pratiques de gestion de la diversité du niébé (*Vigna unguiculata*) au Bénin, a permis de dégager non seulement une diversité importante mais de révéler aussi l'existence d'un système dynamique de gestion paysanne tel que les traitements botaniques, la multiplication de semences et l'association culturale (Baco et al., 2008). Par ailleurs, d'après Sawadogo et al. (2014), les dénominations paysannes chez le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) s'expliqueraient par le mode de sélection paysanne basé essentiellement sur des caractères phénotypiques visibles en rapport avec leur origine. Ces appellations varient entre les ethnies, au sein d'une même ethnie et selon les localités. Dans ce dernier cas, des observations similaires ont été également rapportées par Harouna et al. (2014) sur le voandzou (*Vigna Subterranea* L.) et sur le sorgho par Sawadogo et al. (2014).

1.3.2. Variabilité agromorphologique

1.3.2.1. Les descripteurs morphologiques et agronomiques

Les descripteurs morphologiques sont établis sur la base des caractères morphologiques. On appelle caractère tout attribut observable d'un organisme qui permet de faire des comparaisons entre organismes (Darlu et Tassy, 1993). Ces caractères sont quantitatifs ou qualitatifs. Certains peuvent se révéler pertinents pour des travaux d'amélioration et de sélection. D'après certains auteurs (Lozano, 1985 ; Dixon et al., 1991 ; Nweke et al., 1994), le manioc compte de

nombreux génotypes qui répondent différemment aux divers facteurs édaphiques, climatiques et biotiques. Aussi, Fukuda et Guevara (1998) ont indiqué que l'évaluation de la variabilité génétique existante est nécessaire et qu'elle doit se faire sur la base des descripteurs appropriés et reconnus. Ces descripteurs doivent aussi avoir une héritabilité élevée qui peut même s'exprimer dans des différentes zones agroécologiques (Fukuda et Guevara, 1998 ; Fukuda et al., 2010). De nombreux descripteurs ont été ainsi utilisés dans la caractérisation agromorphologique de nombreuses espèces de plantes. Même si ces caractères sont influencés par l'environnement, ils sont intimement liés aux terroirs responsables de l'expression des caractères de la plante contrairement aux marqueurs moléculaires (Vieira et al., 2011). Dans le cas du manioc, la nécessité de disposer d'un outil standard permettant la collecte des données et leurs analyses a été le principal objectif visé par les chercheurs travaillant sur les aspects relatifs à ce type de caractérisation. Une première liste de descripteurs morphologiques et agronomiques a été élaborée par Fukuda et Guevara (1998). Par la suite, afin d'affiner cette liste, Fukuda et al. (2010) ont établi une seconde en tenant compte de la première et en la comparant à celle mise au point par IPGRI et CIAT (2003). La plupart des descripteurs retenus sont qualitatifs, très peu sont de nature quantitative. Les organes de la plante qui sont concernés sont les feuilles, les tiges et les parties souterraines.

1.3.2.2. Caractérisation agromorphologique

Cette caractérisation agromorphologique est faite sur la base des caractères observables. Plusieurs travaux de caractérisation utilisant de nombreux traits morphologiques et agronomiques très variés, ont été conduits sur le manioc (Léfèvre, 1988). Dans 7 régions d'Amazonie, 20 caractères ont servi pour une analyse morphologique comparative chez plusieurs cultivars de manioc cultivés. Une faible différenciation géographique a été révélée et chaque classe conserve une grande proportion de caractères morphologiques communs (Emperaire et al., 2003). En outre, à partir d'une description morphologique des plants in situ, Manusset (2006), a élaboré une clé d'identification des cultivars de manioc chez différents groupes culturels en Guyane française. Dans deux pays limitrophes du Tchad, des études similaires ont été également conduites. En République Centrafricaine (RCA), à l'aide de 27 caractères morphologiques, Kosh-Komba et al., (2014) ont mis en évidence une hétérogénéité au sein des accessions de manioc détenues par les paysans. Au Congo Brazzaville, et dans le département de la Bouenza, 86 cultivars locaux, ont été inventoriés et regroupés en 36 types sur la base de leurs caractéristiques agronomiques et culinaires (Kombo et al., 2012). En Afrique de l'Ouest, et particulièrement en Côte d'Ivoire, 14 traits morphologiques ont permis de regrouper 159 accessions en 3 classes de 143 morphotypes et

16 doublons (N'zue et al., 2014). D'autres travaux basés uniquement sur des aspects agronomiques et conduits dans le même pays ont permis de classer 70 cultivars de manioc (Bakayoko et al., 2012). Au Ghana, Asare et al. (2011) ont à partir de 19 caractères, évalué et classé 43 accessions du germoplasme de manioc dans des groupes bien distincts. Turyagyenda et al. (2013) ont montré quant à eux, que différents cultivars préférés des paysans évalués dans des conditions de déficit hydrique, s'adaptent à des zones agroécologiques variées de niveaux différents de stress hydrique. Cependant, certains génotypes peuvent disparaître sous la pression d'autres types de stress biotiques ou abiotiques (Muluallem et Dagne, 2014). Les caractères agromorphologiques sont aussi couramment utilisés par les paysans dans la nomenclature locale mais aussi dans l'identification et la sélection des cultivars (Maroya, 1995; Grenand, 2002 ; Empereire et Peroni, 2007 ; Rimoldi et al., 2010 ; Kosh-komba et al., 2014). Ces procédés d'attribution des noms à partir des caractères agromorphologiques sont aussi fréquents chez d'autres plantes dans les écosystèmes agricoles (Chantereau et al., 2010 ; Sadiki et al., 2012 ; Gbaguidi et al., 2013). Même si des confusions peuvent résulter des synonymies fréquentes, celles-ci ne limitent pas leur application dans le cadre de l'étude de la variabilité et de l'amélioration génétique (Rimoldi et al., 2010).

1.3.3. Diversité au niveau moléculaire

1.3.3.1. Importance des marqueurs moléculaires

Les marqueurs moléculaires sont fréquemment utilisés dans l'analyse des génomes des plantes car ils présentent l'avantage de ne pas être influencés par les effets environnementaux par rapport aux traits phénotypiques (Vieria et al., 2011). Les plus utilisés dans le cas du manioc, sont les RAPD ou ADN polymorphes amplifiés au hasard (Zacarias et al., 2004 ; da Silva et al., 2015), les AFLP ou polymorphisme de longueur des fragments d'amplification (Elias et al., 2000b ; Kunkeaw et al., 2010 ; Whankaew et al., 2012), les isozymes (Zaldivar et al., 2004 ; Efisue, 2013) et surtout les microsatellites (Siqueira et al., 2009 ; Acquah et al., 2011; Montero-Rojas et al., 2011 ; Kawuki et al., 2013; Beovides et al., 2015). Quant aux marqueurs SNPs ou Polymorphisme de nucléotides simples, ils ont servi non seulement à l'évaluation de la diversité et à la création des cartes de liaisons génétiques mais aussi à développer des cores de collection des cultivars de manioc pour les programmes de sélection (Oyelakin et al., 2013 ; Oliveira et al., 2014). Le genotypage par séquençage a été aussi identifié comme un outil performant pour l'identification des cultivars de manioc existant en milieu paysan (Rabbi et al., 2015). Actuellement, la région inter génique composée de deux espaceurs ITS1 et ITS2 ainsi que le gène 5.8S de l'ADN ribosomal sont utilisés dans les

études phylogéniques chez les plantes (Alvarez et Wendel, 2003) et en particulier chez les Angiospermes (Jobes et Thien, 1997). Se basant sur le gène 5,8 ADNr, Sekmani et al. (2014) ont mis en évidence une importante similarité entre deux espèces fourragères, *Festuca arundinaceae* et *Lolium perenne*. De même, Sharma et al. (2002) ont montré que la longueur et les séquences des ITS sont des paramètres pertinents pour l'évaluation de la diversité génétique au niveau intra spécifique chez l'orge et le blé. Des résultats similaires ont aussi révélés que cette région intergénique est plus informative que les marqueurs chloroplastiques dans l'identification des espèces (Chen et al., 2010). Cependant, même si cette région est largement utilisée dans des études phylogénétiques chez beaucoup d'espèces, elle est moins fréquente dans le cas du manioc. En effet, les travaux se sont surtout focalisés sur les ravageurs du manioc. Le séquençage de la région ITS1 rDNA a permis d'évaluer la diversité génétique des différents biotypes de *Bemisia tabaci* (Rabello et al., 2008). Des populations d'acarien vert ont été également évaluées par rapport à leur aire de dispersion et leur structuration génétique (Navajas et al., 1994).

1.3.3.2. Extraction, amplification et séquençage

La variabilité moléculaire présente dans le matériel végétal est déterminée par les méthodes d'analyses de marqueurs moléculaires basées sur l'amplification en chaîne par polymérase de l'acide désoxyribonucléique (ADN). Plusieurs méthodes d'extraction de l'ADN ont été développées. Ces protocoles sont entre autres ceux de Qiagen (DNeasy Plant Mini Kit), du tampon d'extraction Mixed Alkyl Triméthyl Ammonium Bromure d'ammonium (MATAB) et de Risterucci et al. (2000). La réaction de polymérisation en chaîne (PCR) permet d'amplifier spécifiquement *in vitro* et en quantité très importante une séquence d'ADN d'intérêt (Saiki et al., 1985). Cette technique de la PCR est souvent utilisée pour le clonage des Espaceurs Internes Transcrits (*ITS-1* et *ITS-2*) séparés par la 5,8S ADNr de l'ADN ribosomique nucléaire. Ces espaceurs sont non codants et hautement polymorphes. C'est pour cette raison, qu'ils sont fréquemment utilisés en biologie moléculaire pour mettre en évidence une différence génétique entre espèces ou entre individus au sein d'une même espèce. Les unités répétées en tandem d'ADN ribosomique nucléaire sont séparées les unes des autres par des NTS). Une unité est composée d'un espaceur externe transcrit (*ETS*), de trois régions codant pour chacune des sous-unités ribosomique (18S, 5.8S, 28S) et de deux espaceurs internes transcrits (*ITS-1* et *ITS-2*). La technique du séquençage consiste à déterminer la séquence en nucléotides d'un fragment d'ADN. Elle permet, en comparant les séquences d'un même gène chez différents individus de la même espèce ou d'espèces différentes, de mettre en évidence des mutations ponctuelles. Le séquençage selon la méthode de Sanger et al. (1977) est basé

sur une réaction de PCR particulière utilisant l'amplifiat d'ADN purifié comme matrice de départ, en plus des composés habituels que sont la polymérase, les amorces, les desoxynucleotides (dNTPs), les ions magnésium (Mg^{2+}) et des nucléotides modifiés, les didesoxynucleotides (ddNTPs).

1.3.3.3. Polymorphisme et diversité génétique

L'évaluation du niveau de polymorphisme des séquences étudiées se fait à l'aide de l'analyse des sites conservés (C) et des sites polymorphes (V). Les sites polymorphes sont composés des sites singletons (S) et des sites informatifs en parcimonie (Pi). Le nombre d'haplotypes (h), la diversité haplotypique (Hd) et la diversité nucléotidique (π) permettent d'évaluer la diversité génétique. La diversité haplotypique définit la probabilité que deux gènes tirés au hasard dans un échantillon soient différents (Nei, 1987) :

$$h_{e-H} = \frac{n}{n-1} \left(1 - \sum p_i^2 \right)$$

avec n, le nombre de séquence dans l'échantillon et p_i la fréquence de chaque haplotype. La diversité nucléotidique π mesure la divergence nucléotidique moyenne entre toutes les paires de séquences (Tajima, 1983) selon la formule :

$$\pi = \sum_{i < j}^m \frac{d_{ij}}{c}$$

où m est le nombre total de séquences, d_{ij} le nombre de différences nucléotidiques entre la séquence i et j, et c le nombre de comparaison de séquences.

1.3.3.4. Phylogénie moléculaire

La phylogénie est l'étude des relations de parenté entre êtres vivants. Elle permet de reconstituer l'évolution des organismes vivants. Ce terme a été inventé par Haeckel (1866). Les informations concernant les ITS de l'ADN ribosomique nucléaire sont utilisées pour réaliser des arbres phylogénétiques au moyen des méthodes classiques de reconstruction phylogénétique. Les plus couramment utilisées sont les méthodes de Neighbour-Joinings, Maximum de Parcimonie et Maximum de Vraisemblance. Il existe de nombreuses méthodes de reconstruction des distances. La méthode de distance de Neighbour-Joinings (Saitou et Nei, 1987) est basée sur le calcul des distances génétiques séparant des séquences homologues et sur le principe d'évolution minimale. La méthode "Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Mean" (UPGMA) est l'algorithme de clustering simple produisant des arbres à branches non proportionnelles à la divergence moléculaire. Le Maximum de

Parcimonie est la recherche de l'arbre phylogénique le plus court dont le nombre de changements évolutifs c'est-à-dire des substances nucléotidiques est le plus faible. On distingue plusieurs modèles. Le modèle de Wagner qui autorise *a priori* convergences et réversions (Wagner, 1984). La parcimonie de Camin-Sokal (Camin et Sokal, 1965) qui n'autorise que les convergences et celle de Dollo (Le Quesne, 1972) qui n'accepte que les réversions. En plus du Maximum de Parcimonie, une autre méthode également avancée existe à savoir le maximum de vraisemblance et l'algorithme bayésien. L'inférence bayésienne (Holder, 2003) s'appuie principalement sur le théorème de Bayes. Enfin, les reconstructions phylogénétiques et la robustesse des nœuds se basent sur les méthodes du bootstrap. Les arbres phylogéniques obtenus sont donc les comparaisons et les reconstructions des séquences évolutives d'ADN homologues au sein d'un échantillon d'espèces. Ces arbres sont complémentaires des réseaux haplotypiques car ils permettent de tester la fiabilité de l'ordre de branchement des haplotypes grâce à une procédure de 'bootstrap'. Les reconstructions et la robustesse des nœuds sont évaluées pour 1000 répétitions de bootstrap. Le 'bootstrap' consiste à répéter la reconstruction d'un arbre une multitude de fois et à déterminer le pourcentage de fiabilité des différents branchements suggérés par la méthode de reconstruction choisie. Les pourcentages de répliques permettent de conclure si un branchement peut être considéré comme très significatif ou robuste (Hillis et Bull, 1993).

CHAPITRE 2 : ANALYSES DES PRATIQUES PAYSANNES DE GESTION DES CULTIVARS DE MANIOC

2.1. SITUATION DE REFERENCE SUR LA CULTURE DU MANIOC

2.1.1. Introduction

La production mondiale du manioc est estimée à 270293801 t sur 24221970 ha emblavés, dont plus de 50% proviennent de l'Afrique (FAOSTAT, 2014). Le Nigeria est le plus gros producteur avec 54831600 t/an. Au niveau des pays de la Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale, la production annuelle moyenne sur les 5 dernières années (2010 à 2014) est de 5699133 t. Le Tchad avec 240052 t est le 5^{ème} producteur sur les 6 pays membres de cette zone. Actuellement, même si l'alimentation de base est constituée par des céréales, il apparaît de plus en plus que les plantes à racines et tubercules (manioc, patate, taro) occupent une place non négligeable au niveau national, avec une production 496244 t soit 8% par rapport à la production agricole totale. La production moyenne quinquennale en manioc est la plus élevée avec 252874 t (Rapport Tchad, 2015). L'analyse des moyennes de production annuelle par région administrative des 6 dernières années a montré que les 5 régions productrices les plus importantes sont toutes situées dans la zone d'étude. Le présent travail consiste à faire le point de la situation du manioc dans la zone d'étude. Il s'agit de déterminer l'importance, les différents usages ainsi que les groupes ethniques qui pratiquent cette culture.

2.1.2. Méthodologie

Une enquête a été conduite dans la zone méridionale située entre le 8^{ème} et le 10^{ème} parallèle. Sur la base des données statistiques des structures de vulgarisation et de recherche, 5 régions et 6 départements ont été retenus. Un recensement systématique des villages où se cultivent le manioc a été réalisé. Les villages au sein des différents départements ont été choisis selon la méthode de Labé et Palm (1999). Ces villages ont été ainsi choisis sur la base d'un tirage aléatoire en s'intéressant particulièrement aux villages de grande production de manioc et leur nombre est compris entre 7 et 10 par département. Les coordonnées géographiques des villages ont été relevées à l'aide d'un GPS (**Tableau IX**) et cartographiées avec ArcGIS 10.2 (**Figure 6**). Les paysans producteurs de manioc dans chaque village ont été également choisis quel que soit leur sexe, de façon aléatoire. Leur nombre est compris entre 12 et 16 par village. L'unité statistique est l'exploitation agricole représentée par le Chef de cette exploitation ou l'un des membres. Avant la phase de collecte des données proprement dite, dans chaque village, une rencontre préparatoire s'est d'abord tenue entre les conseillers agricoles, la

recherche et les autorités locales. Une réunion générale est ensuite organisée à l'arrivée dans chaque village où les objectifs et protocoles d'enquête sont exposés. L'enquête proprement dite a consisté à recueillir les informations relatives au village et de faire l'inventaire des cultivars de manioc. Cette collecte des données s'est faite par les méthodes de recherche participative. Elle s'était basée sur des entretiens structurés sous forme de questionnaire et complétés par des entretiens non structurés, dans 43 villages auprès de 636 paysans. Ces données ont été ensuite traitées avec le logiciel Sphinx (*Sphinx Plus2-Edition Lexica-V5*).

Tableau IX : Coordonnées géographiques des villages prospectés

N°	Village	Longitude (E)	Latitude (N)	N°	Village	Longitude (E)	Latitude (N)
1	Kamkoutou	16,0686	7,9055	23	Bereokou	15,614767	9,301803
2	Begolbé	16,042	7,7769	24	Debrenng	15,81	9,03
3	Bengar I	16,0191	7,8097	25	Bigui	15,5472	9,2263
4	Bekao II	16,0333	7,9063	26	Bereo Bissi	15,539	9,38
5	Bendja II	16,5777	8,0555	27	Sateignan I	17,36225	8,11478
6	Belama	16,8333	7,8166	28	Doubadené 4	17,7	8,166
7	Koumao	15,6105	7,6119	29	Doubadene 5	17,733	8,5
8	Mboura	15,5855	7,5858	30	Sanodji	17,748	8,302
9	Ngaram Ngolé	15,6666	7,9166	31	Sateignan II	17,566	8,1666
10	Kaïnodji	18,745	8,787	32	Koudoti	17,544	8,2166
11	Motobo	18,6333	8,9166	33	Bekourou	17,3204	8,06274
12	Maïkoun	18,668	8,6688	34	Dakou	17,799	8,221
13	Morkoh	18,5005	8,8188	35	Ndilingala	17,6991	8,2513
14	Balimba	18,3463	9,153	36	Sadama	17,724	8,516
15	Koumogo	18,2733	8,67	37	Bira I	15,8666	8,7333
16	Mandba	18,29752	8,48701	38	Bira II	15,8054	8,6532
17	Danamadji	18,5713	8,7425	39	Ngara	16,05403	8,32762
18	Ndakano	18,6041	8,5666	40	Rongondoh	16,05	8,4666
19	Kokanté	18,491	8,775	41	Kaga	15,566	8,477
20	Tchoua	16,0833	9,3166	42	Gari A	15,7666	8,6333
21	Daradja Nadji Kelo	15,832521	9,257286	43	Gari B	15,78	8,524
22	Dogou Yatréo	15,6527	9,3333				

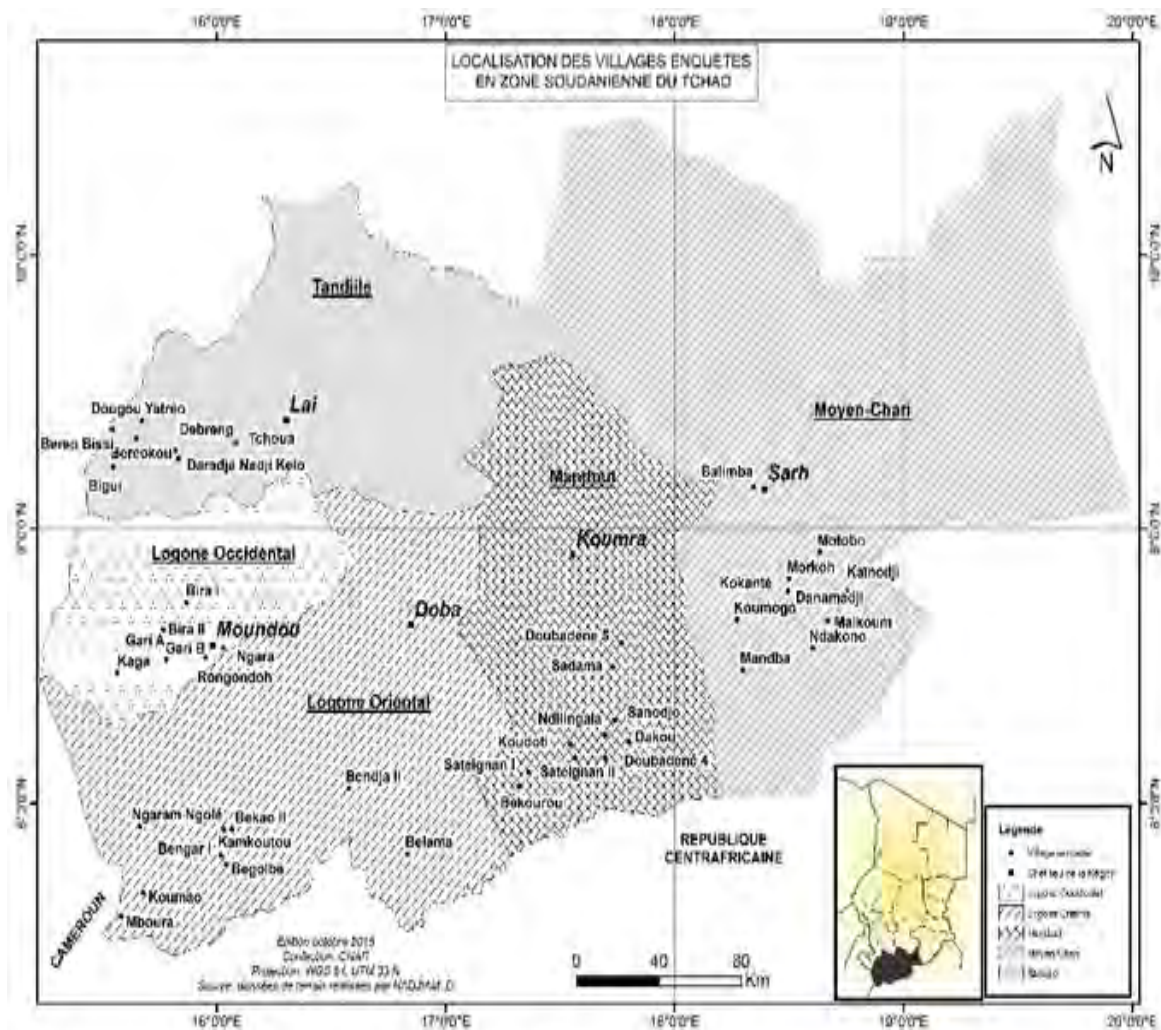


Tableau X : Profil des enquêtés

Variable	Répartition par sexe		Religion			Niveau d'études		Tranches d'âge	
	M	F	Protestants	Catholiques	Autres	Primaire/ secondaire	analphabète	Jeunes < 35 ans	Adultes > 35 ans
Nombre producteurs (%)	92	8	60	37	3	85	11	42,90	57,10

**Planche photographique 4 : Journée de récolte de manioc dans les exploitations familiales**

2.1.3.2. Importance de la culture du manioc et usages

Dans la zone d'étude, chez les exploitations productrices de manioc, la culture du manioc (36,30%) est la première des trois cultures les plus pratiquées avec l'arachide (23,30%) et le sorgho (22,50%). Le manioc est cité en première position dans la région du Mandoul (20,80%), en deuxième position dans les deux Logones et le Moyen Chari (14,40%). La moyenne des superficies emblavées est de 1,75 ha par paysan. Plus de la moitié des paysans enquêtés (56,30%) cultivent du manioc sur des superficies comprises entre 1 et 3 ha. Très peu (15,50%) le font sur des superficies supérieures à 3 ha alors que certains (28,20%) n'utilisent que de petits champs de moins d'un ha. Concernant les usages du manioc, les différentes parties de la plante sont utilisées à différents fins. Les tubercules sont destinés à la fois à

l'autoconsommation et à la vente estiment la majorité des paysans enquêtés (92%). Concernant les feuilles même si certains enquêtés (47,00%) déclarent les vendre, un peu plus de la moitié (52,50%) affirment qu'ils consomment directement une bonne partie de leur production. Quant aux tiges, elles sont soit réutilisées comme boutures dans les nouveaux champs (68,40%), directement vendues (67,50%), soit utilisées comme bois de chauffe (29,70%). Une faible proportion (6,50%) les utilise dans l'alimentation du bétail tandis que d'autres (3,60%) affirment les utiliser dans la production du sel local. A peine 2,50% disent les abandonner dans les champs où les brûler. Sur le plan technologique, les feuilles et les tubercules sont aussi souvent transformées sous diverses formes et selon les ethnies. La transformation des feuilles (**Planche 5**), principale activité féminine, est pratiquée par de nombreux ménages (80,80%). Elles sont séchées, blanchies puis cuites avec d'autres ingrédients sous forme de sauce. Dans le cas des tubercules, les ménages sont encore plus nombreux à les transformer (94,30 %). Les produits élaborés les plus courants sont les cossettes (50%) (**Planche 6**), le mamberé (44,70%) qui est une sorte de pâte de manioc enroulée dans des feuilles de bananier ou de mil et cuite à la vapeur, les tubercules fraîches cuites (43,90%) et la pâte (42,60%). Très peu de paysans produisent de l'amidon (13,40%) et du gari (6,90%). Les ethnies les plus impliquées dans la production de l'amidon sont les Lakka (58,96%) et pour le gari ce sont les Kaba (31,88%). Les Mbaye font souvent cuire les tubercules doux (60,85%), produisent de la pâte (28,30%) et du mambere (60,85%). La transformation en cossettes pour la conservation et la production ultérieure de la farine, est une activité surtout présente en territoire Ngambaye (24,44%) et Lakka (21,21%).



Planche photographique 5 : Séchage des feuilles de manioc



Planche photographique 6 : Séchage des cossettes de manioc

2.1.4. Discussion

Dans le sud du Tchad, le manioc est cultivé sur des petites exploitations familiales. Pendant longtemps, cette culture se faisait en pure mais avec la démographie, les conflits agriculteurs et éleveurs (Arditi, 1992 ; Buijtenhuis, 1995) et l'insécurité alimentaire récurrents, plusieurs associations culturales sont de plus en plus pratiquées. Cette stratégie a eu des impacts positifs sur les revenus des producteurs comme cela fut rapporté également dans une étude conduite au Nigeria où l'association du manioc avec l'igname, le maïs et le melon a été très bénéfique en termes de gains financiers (Obasi et al., 2015). L'importance du manioc dans cette étude a été aussi révélée par les usages variés de ses différentes parties. Les tubercules et les feuilles

sont destinés à la consommation où à la vente. Les tiges sont de plus en plus valorisées comme boutures, bois de chauffe et pour la production d'un sel local destiné surtout à des usages médicaux. Les feuilles sont consommées après blanchiment et cuisson. Cependant, les produits dérivés de la transformation de ces feuilles sont peu variés et diversement appréciés selon les localités. Dans le département du Bahr Sara en territoire Mbaye, les feuilles atteintes par la mosaïque africaine, sont prisées à cause semble-t-il de leur succulence. Par contre, dans la région du Logone occidental, elles sont plutôt rejetées. Par rapport aux tubercules, l'étude a révélé plusieurs produits dérivés dont le mambere d'origine centrafricaine, l'amidon et le gari introduits à partir du Nigeria. Dans ce dernier cas, les raisons de la faible adoption de cette technologie, sont liées à leur complexité et aux habitudes alimentaires des autochtones.

2.1.5. Conclusion partielle

L'étude a montré que bien que la culture du manioc soit récente, de par l'importance de sa production, contribue de manière significative à la sécurité alimentaire. Les multiples usages des différentes parties de cette plante ainsi que les nombreux produits dérivés issus des transformations technologiques et culinaires expliquent l'intérêt de cette culture. Toutefois, cet intérêt est très variable selon les groupes ethniques et linguistiques.

2.2. PRATIQUES PAYSANNES DE GESTION DE LA DIVERSITE DES CULTIVARS

2.2.1. Introduction

Au Tchad, les systèmes de production sont basés sur une agriculture et un élevage de subsistance. Ces systèmes traditionnels sont de type extensif, peu productif et reposant sur une agriculture familiale pratiquée sur de petites superficies. Dans le cas du manioc, les paysans détiennent un nombre important de cultivars qui n'ont pas fait l'objet d'une prospection exhaustive ni d'études approfondies, excepté une dizaine qui ont été mis en collection. Ces cultivars sont souvent sélectionnés et conservés pour différentes raisons et intérêts par les paysans qui maintiennent cette diversité variétale *in situ* dans leurs exploitations agricoles. Par conséquent, il est fréquent de trouver dans les champs aussi bien des cultivars locaux que des cultivars améliorés. Les travaux antérieurs sur le manioc à travers le monde (Elias, 2000 ; Elias et al., 2000a ; Fleury, 2000 ; McKey et al., 2001 ; Pinton et Empereire, 2001) ont mis en évidence le rôle des pratiques agricoles et sociales dans la constitution et le maintien d'une haute diversité. La connaissance approfondie des facteurs socioculturels, économiques et agronomiques de cette gestion paysanne, contribue à la valorisation de ces ressources phytogénétiques locales. La conservation des cultivars *in situ*

dépend de nombreux paramètres et critères qui sont propres à chaque région, ethnie ou un environnement économique et socioculturel particulier. Afin d'améliorer la productivité et la production du manioc, une bonne connaissance des pratiques et savoirs traditionnels de gestion de la diversité sur cette culture est nécessaire pour l'élaboration d'un programme national d'amélioration et de création variétale. A ce jour, ce potentiel génétique de même que les stratégies et les méthodes de gestion paysanne qui s'y rattachent, n'ont jamais été documentées. L'objectif de la présente étude est d'inventorier les cultivars de manioc existant dans la zone d'étude, de comprendre les logiques de leur nomination, d'identifier les critères paysans de sélection et de reconnaissance, d'analyser l'étendue et la distribution de cette diversité.

2.2.2. Méthodologie

2.2.2.1. Collecte des données

La méthodologie de collecte est la même que celle utilisée pour la situation de référence du manioc dans la zone d'étude. Ce sont 5 régions, 6 départements et 43 villages qui sont concernés. Cependant, la distribution et l'étendue des cultivars ont été déterminées par la méthode participative d'analyse des quatre carrés ou "Four Square Analysis" (Dansi et al., 2010). L'enquête conduite auprès des paysans avait pour but de faire la connaissance des exploitations concernées par la culture du manioc et d'évaluer le niveau de la diversité variétale et sa gestion à l'échelle du ménage.

2.2.2.2. Analyses statistiques

Les données qualitatives et quantitatives ont été analysées à l'aide du logiciel Sphinx (*Sphinx Plus2-Edition Lexica-V5*). Des analyses de la variance (ANOVA) et des tests de Newman-Keuls au seuil de 5% ont été effectués sur certaines données quantitatives grâce au logiciel XLSTAT-Pro version 2013.5.01. La distribution et l'étendue de la diversité variétale dans la zone d'étude, ont été évaluées par la méthode d'analyse des 4 carrés ou "Four Square Analysis" utilisée par Dansi et al. (2010), décrite et utilisée sur le manioc par Kombo et al. (2012). Le taux de perte des cultivars (TPC) à l'échelle du village, a été calculé selon la méthode utilisée par Kombo et al. (2012) d'après la formule $TPC = [(n-k)/N] \times 100$ avec n : nombre de cultivars cultivés par peu de ménages et sur de petites superficies, k : nombre de cultivars nouvellement introduits et N : le nombre total de cultivars recensés dans le village. Les résultats ont ensuite été présentés sous forme de tableaux à l'aide du logiciel Excel (2007). Le degré de la diversité des cultivars dans la zone d'étude a été déterminé par l'indice de diversité (H) selon Shannon (1948). Cet indice a été utilisé par Agre et al. (2015a) pour évaluer l'importance de la diversité variétale du manioc.

2.2.3. Résultats

2.2.3.1. Diversité variétale du manioc dans la zone d'étude

Taxonomie locale et logiques paysannes d'attribution des noms

Sur les 5 sites enquêtés, 75 noms locaux de cultivars ont été inventoriés. Il en ressort que 5 portent les noms d'origine, 7 correspondent aux noms des villages, 4 autres sont des prénoms et 2 font référence à la structure de recherche qui les a introduit. Les cultivars recensés sont d'origine locale, excepté 9 qui sont été identifiés comme améliorés sur la base de leurs noms. Toutefois, cette distinction reste à être confirmée par des analyses de caractérisation morphologique et moléculaire. Les cultivars les plus cités sont Tessem (38,70%), Six mois (17,50%), Boyo (15,40%), Pangassou (14,60%) et Tamadoz (13,50%). La liste de ces cultivars et les significations de leurs noms sont présentées dans le **Tableau XI**. Cinq cultivars sont d'origine centrafricaine et dont les noms ont des significations identiques à certains noms locaux. Les appellations sont très variées avec quelque fois des synonymies dans d'autres groupes ethniques. Les faits socioculturels, les avantages que procure la culture du manioc, les origines, le cycle, le goût et les différentes parties de la plante sont utilisés par les paysans pour nommer les cultivars.

Tableau XI: Origine ethnique et signification des noms locaux de certains cultivars

N°	Noms locaux	Synonymies	Origine ethnique	Signification des noms
1	Tessem	Tessem taboti Essai Ngali ONDR	Ngambaye	Me permet de franchir la période de famine
2	Poum Poum	Koum Koum Kome Kome	Ngambaye/Lakka	Très farineux, quand tu en manges tu ne peux pas ouvrir la bouche
3	Rendah		Ngambaye	Tige blanche
4	Six mois			La maturité est atteinte en 6 mois
5	Mandarakako		Sangho (RCA)	
6	Tinodji		Ngambaye	Source de mésentente entre les membres d'une même famille
7	Mboguerel	MBeugeurang Mbeuguerel	Ngambaye/Lakka	Le fou ne peut pas l'identifier
8	Kaba		Kaba	Originaire de l'ethnie Kaba
9	Zimbinamawa		Sangho (RCA)	Me sortir de la pauvreté
10	Mbia		Kaba	Donne une bonne bouillie
11	Ngalindah	Garinda	Gor/Kaba	Manioc blanc
12	Maroua			Ville de l'Extrême Nord du Cameroun
13	Mbindakass		Ngambaye	feuilles (pétiole) rouges
14	Ndjabra		Arabe local	Les racines de rônier
15	Moreye		Zimé	Du village Moreye
16	Mbaï issiguo		Ngambaye	Le Chef est assis d'un air autoritaire
17	Ngalibaka		Zimé	Manioc amer
18	Berokouh		Zimé	Du village Berokouh
19	Lizette			Introduit par Mr Lizette
20	Ngali maguilira		Marba	Manioc amer
21	Garoua			Ville de l'Extrême Nord du Cameroun

N°	Noms locaux	Synonymies	Origine ethnique	Signification des noms
22	Sima	Taï sima	Ngambaye	De gros et longs tubercules
23	Madjiganim	Madjeganem	Sara/Ngambaye	Sauver mes enfants
24	Kangaba	Kaguenba	Sangho (RCA)	Tenir bon, résister
25	Pangassou		Baya (RCA)	
26	Mandoz		Mbaye	
27	Ngouôkoh	Djienhoko	Sangho (RCA)	Maturité à 1an
28	Boyo	Bio	Mbaye	Si tu en manges, tu prends du poids
29	Bebedja			Ville abritant le Centre de recherche
30	Tamandodji		Mbaye	Un pied remplit un grand récipient
31	Damain		Mbaye	Les racines sont enfouies profondément dans le sol
32	Ndabodleub		Mbaye	l'idiot est punit et corrigé
33	Karanga		Sarakaba	
34	Madmba		Saramadjingaye	Je donne à l'étranger (l'invité)
35	Delila			De la ferme de la localité de Deli
36	Tolmad		Mbaye/Gor/ Sarakaba	Tue le singe
37	Landoh		Saramadjingaye	Attrape la pauvreté
38	Tolmbadjé		Lakka/Ngambaye	Tue les étrangers qui en mangent beaucoup
39	Yasso		Mboum	
40	Tiseim		Lakka	Séparation
41	Mbaïkana		Ngambaye	Chef du village de Kana
42	Kouradjé		Ngambaye	Feuilles ressemblant à celles du Kapokier
43	Kaïra		Ngambaye	Ce qui est dure, solide et difficile à déterrer ou à manger
44	Bayaka			Du village de Bayaka
45	Afouka		Mboum	

Diversité des cultivars à l'échelle de la région, du village et des ménages

Le nombre de cultivars inventoriés varie de 2 à 12 par village avec une moyenne de 6 sur l'ensemble de la zone d'étude (**Tableau XII**). Les différences significatives observées au seuil de 5% pour le nombre de cultivars par village ont permis de les classer en deux groupes bien distincts. C'est dans les régions du Mandoul et du Logone occidental, avec une moyenne de 8 cultivars par village, qu'a été enregistrée la plus forte diversité avec 11 et 12 cultivars. La plus faible diversité, 2 et 3 cultivars, a été observée dans les régions du Logone oriental, du Moyen Chari et de la Tandjilé avec respectivement en moyenne : 3,89 ; 4,90 et 5,57 de cultivars par village. Les régions à forte diversité variétale, sont peuplées des Mbaye. Quant aux trois autres régions, elles sont habitées en majorité des Lakka et Mboum (Logone oriental), des Saramadjingaye (Moyen Chari), des Zimé et Lele (Tandjilé). A l'échelle des ménages, le nombre de cultivars varie de 1 à 4 avec une moyenne de 2 cultivars par ménage. La majorité des ménages enquêtés (65,88%) utilisent chacun 2 à 3 cultivars. Environ un quart (24,69%) utilisent seulement 1 cultivar par ménage. Ceux qui détiennent le plus grand nombre, soit 4 cultivars par ménage, sont moins nombreux (9,43%). Ces derniers sont tous

originaires des villages du département du Bahr Sara peuplé en majorité des Mbaye. Par ailleurs, l'indice de diversité de Shannon obtenu est de 3,38 pour toute la zone d'étude.

Tableau XII: Variation de la diversité du manioc à l'échelle des régions et villages

Région	Ethnies majoritaires	Nombre villages	Valeur minimale de cultivars	Valeur maximale de cultivars	Nombre moyen de cultivars
Logone Oriental	Lakka/MBoum	9	2	6	3,89±0,71a
Moyen Chari	Saramadjingaye	10	2	9	4,90±0,68a
Tandjilé	Zimé/Lele	7	3	8	5,57±0,81a
Mandoul	Mbaye	10	4	11	7,90±0,68b
Logone Occidental	Ngambaye	7	5	12	8,57±0,81b
Zone d'étude		43	2	12	6,16±0,74

Les moyennes affectées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%. Test de Newman-Keuls.

Evaluation du taux de perte des cultivars

A l'échelle du village et sans tenir compte des synonymies, ce sont 38 cultivars qui ont disparu d'après les paysans. Ce nombre varie de 1 à 14 avec en moyenne 3,81 cultivars par village. En effet, 11 villages totalisent entre 6 et 8 cultivars et 12 autres entre 3 et 5 cultivars disparus. Dans 7 villages enquêtés, seulement 1 et 2 cultivars sont signalés comme disparus. Même si aucune disparition n'a été observée dans 10 villages, ce phénomène est très prononcé dans les villages Sateignan II, Sateignan I et Koudoti avec respectivement 11, 13 et 14 cultivars (**Tableau XIII**). Par ailleurs, la moyenne de cultivars utilisés par beaucoup de ménages sur de grandes superficies n'est qu'un seul cultivar. Par contre cette moyenne est 2 cultivars pour la catégorie correspondant aux petites superficies emblavées par peu de paysans. En tenant compte de ce nombre de cultivars cultivés par peu de ménages et sur de petites superficies, du nombre de cultivars nouvellement introduits et du nombre total de cultivars recensés dans le village, le taux moyen de perte des cultivars pour toute la zone d'étude, est de 18,20% et varie entre 11% dans le village de Bira II et 50% dans les villages Kokante, Dogou Yatreo et Koumao. Ce taux est nul dans 30,23% des villages de la zone d'étude. Au niveau régional, le nombre de cultivars disparus varie de 4 à 21 avec en moyenne 11,20 cultivars. Les régions du Mandoul et du Logone oriental avec respectivement 21 et 14 cultivars sont les plus touchées. Seulement 4 cultivars tous identifiés dans le village de Daradja, ont disparu de la région de la Tandjilé alors qu'il y en avait 8 dans le Moyen Chari et 9 dans le Logone occidental.

Tableau XIII: Taux de perte de cultivars de manioc par village

N° Village	NTC	NCD	Distribution et étendue				TPC (%)
			M+S+	M+S-	M-S+	M-S-	
1 Kamkoutou	3	7	2	0	0	1	0
2 Begolbé	4	4	1	0	1	2	25
3 Bengar I	6	8	1	0	2	3	16,67
4 Bekao II	6	6	1	0	2	3	33,33
5 Bendja II	4	1	3	0	0	1	0
6 Belama	3	1	3	0	0	0	0
7 Koumao	2	3	0	0	1	1	50
8 Mboura	3	1	1	0	1	1	0
9 Ngaram ngolé	3	0	1	0	1	1	0
10 Bira I	9	6	0	1	1	7	44,44
11 Bira II	9	4	0	0	3	5	11
12 Tchoua	4	0	0	1	2	1	0
13 Daradja	8	4	2	0	2	4	37,5
14 Dogou Yatréo	6	0	0	1	1	4	50
15 Berokouh	6	0	1	1	2	2	16,67
16 Debreng	7	0	1	1	3	2	14,29
17 Ngara	10	3	0	1	6	3	20
18 Rogongoh	9	0	0	0	5	4	33,33
19 Kaga	12	0	0	0	6	6	41,67
20 Bigui	5	3	3	0	0	2	20
21 Bere	3	4	0	1	1	1	0
22 Gari A	5	4	0	2	0	3	20
23 Gari B	7	6	0	1	1	5	28,57
24 Sateignan I	6	13	3	0	1	2	16,67
25 Doubadene IV	10	7	1	0	6	3	0
26 Doubadene V	11	5	3	0	5	3	18,18
27 Sanodjo	8	5	2	0	4	2	12,5
28 Sateignan II	8	11	4	0	2	2	12,5
29 Kaïnodji	8	1	0	0	8	0	0
30 Motobo	5	3	1	0	2	2	20
31 Maïkoum	4	0	2	0	1	1	25
32 Koudoti	5	14	3	0	0	2	20
33 Bekourou	11	8	0	0	6	5	36,36
34 Morkoh	4	2	0	0	4	0	0
35 Balimba	2	0	2	0	0	0	0
36 Koumogo	4	0	2	0	1	1	25
37 Dakou	6	6	2	0	2	2	16,67
38 Ndilingala	4	6	2	0	1	1	25
39 Sadama	10	6	2	0	5	3	20
40 Madimba	4	2	0	0	4	0	0
41 Danamadji	7	6	0	0	7	0	0
42 Ndakono	9	3	1	0	6	2	22,22
43 Kokante	2	1	1	0	0	1	50
Moyenne	6	3,81	-	-	-	-	18,20

NTC : Nombre Total de Cultivars ; NCD : Nombre de Cultivars Disparus ; M+S+ : Beaucoup de Ménages et Grandes Superficies ; M+S- : Beaucoup de Ménages et Petites Superficies ; M-S+ : Peu de Ménages et Grandes Superficies ; M-S- : Peu de Ménages et Petites Superficies. TPC : Taux de Perte des Cultivars.

Importance de la distribution et de l'étendue des cultivars

Les cultivars recensés sont inégalement répartis dans les villages de la zone d'étude. Les cultivars Tessem et Six mois sont les plus connus et sont présents respectivement dans 27 et 22 villages. Ils ont une large distribution dans plusieurs villages de toutes les régions. D'autres comme Mandrakako, Mbogueral, Lizette, Sima et Berokouh sont cultivés dans plusieurs villages mais uniquement sur de petites superficies et par peu de ménages (**Tableau XIV**). Dans 8 villages recensés, un seul cultivar mais pas le même par village est emblavé sur des grandes superficies mais par peu de ménages. Le village Ngaram ngolé du Logone oriental et 11 autres situés dans les vallées des fleuves Mandoul et Chari, sont caractérisés par le fait que 8 cultivars y sont produits exclusivement par peu de ménages mais sur de grandes superficies. Seuls les cultivars présents dans au moins 3 villages sont dans ce cas concernés. Dans 28 villages, n'est cultivé qu'un seul cultivar par village quel que soit les superficies et le nombre de ménages.

Tableau XIV : Distribution et étendue des cultivars observées dans au moins 3 villages:

M⁺S⁺: cultivars utilisés par beaucoup de ménages sur de grandes superficies ; M⁺S⁻: cultivars utilisés par beaucoup de ménages sur de petites superficies ; M⁻S⁺: cultivars utilisés par peu de ménages sur de grandes superficies ; M⁻S⁻: cultivars utilisés par peu de ménages sur de petites superficies.

Noms locaux des cultivars	NTV	M ⁺ S ⁺	M ⁺ S ⁻	M ⁻ S ⁺	M ⁻ S ⁻
Tessem	27	11	6	3	7
Poum Poum	9	1	0	4	4
Rendah	5	1	0	2	2
Six mois	22	4	1	7	10
Mandrakako	7	0	0	0	7
Tinodji	10	1	0	5	4
Mbogueral	5	0	0	0	5
Mbindakass	4	0	0	2	2
Ndjabra	3	0	0	1	2
Moreye	6	1	3	2	0
Ngalibaka	5	2	1	1	1
Lizette, Sima ⁽¹⁾	3	0	0	0	3
Madjingani	6	0	0	4	2
Kangaba	11	2	0	4	5
Pangassou	9	7	0	0	2
Mandoz	8	4	0	1	3
Ngouôkoh	5	1	0	1	3
Boyo	10	6	0	1	3
Guebida	5	4	0	0	1
Bebedjia, Tamandodji, Tolmad ⁽²⁾	4	1	0	3	0
Karanga	3	0	0	2	1
Gentil	3	1	0	2	0
Madinta	3	2	0	1	0
Delila, Ndabodleub, Djihoko, Konhongo ⁽³⁾	3	0	0	3	0
Bandou, Ngalindah, Damain					

⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾: Ces cultivars sont regroupés car ils ont les mêmes distributions et étendues. NTV : nombre total de villages correspondant à un cultivar.

2.2.3.2. Critères paysans d'identification et de préférence des cultivars

Ces critères sont soit uniques soit une combinaison de plusieurs autres. Les résultats montrent que les paysans (70,10%) reconnaissent les cultivars à partir de leurs feuilles. D'autres (40,80%) le font à partir des tiges. Les pétioles (2,70%) et les tubercules (3,30%) sont très peu utilisés comme critères. Toutefois, d'autres critères dits complémentaires comme la couleur, la forme, la taille, le nombre de lobes et le nombre de ramifications, permettent aux paysans de compléter leur système d'identification. Quant à la sélection des cultivars, celle-ci repose sur 9 critères de type agronomique, technologique et économique. Les 3 critères prioritaires de choix, sont respectivement la productivité, le goût et la grosseur des racines (**Tableau XV**). La précocité, la facilité à la transformation, les revenus générés et la résistance aux maladies et ravageurs sont aussi jugés importants. Seuls 5% des enquêtés ont retenu la tolérance à la sécheresse. Au niveau des régions, pour les paysans de la Tandjilé (13,40%), seule la productivité est le critère le plus déterminant. Les paysans du Mandoul (21,90%) et du Moyen Chari (16,00%) sont plutôt intéressés par les cultivars résistants aux ravageurs et aux maladies. La répartition de ces critères sur le plan ethnique montre des niveaux très divers. Chez les Lakka, Ngambaye et Mboum, 7 critères ont été dénombrés pour 9 chez les Mbaye et les Sara.

Tableau XV: Critères de sélection des cultivars selon les groupes ethniques majoritaires et pourcentages de réponses correspondants à chaque critère donné

Critères de sélection	Pourcentage de réponses dans la zone d'étude	Pourcentage de réponses par groupe ethnique majoritaire				
		<i>Lakka</i>	<i>Ngambaye</i>	<i>Mboum</i>	<i>Mbaye</i>	<i>Sara</i>
Productivité	89,80	9,40	13,10	5,80	28,00	4,90
Goût (doux)	78,80	7,70	10,70	5,80	27,40	4,70
Grosses tubercules	72,80	7,90	9,80	3,60	27,40	4,40
Précocité	63,40	9,40	9,60	6,10	26,30	3,30
Facilité de transformation	53,80	3,60	5,20	3,50	26,70	2,50
Résistance aux maladies	51,30	0,30	5,40	1,40	26,10	3,90
Forte valeur marchande	51,60	6,50	6,50	1,30	15,40	0,50
Facilité de cuisson	35,40	2,00	7,10	2,50	14,60	0,60
Tolérance a la sécheresse	4,90	-	-	-	4,40	0,20

2.2.3.3. Modes d'obtention des boutures

Selon les réponses des paysans, les principaux modes d'obtention des boutures dans la zone d'étude, sont les échanges du matériel génétique entre paysans d'une même localité (60,84%) et des introductions faites par quelqu'un du village (37,43%). Seulement quelques paysans interrogés (26,10%) affirment que cette introduction se fait à travers les institutions de recherche et de vulgarisation. Les résultats par région dans le **Tableau XVI**, montrent que les

échanges locaux sont élevés dans les régions du Mandoul (36,43%) et du Moyen Chari (29,46%). De même, les paysans du Mandoul (38,66%) et ceux du Moyen Chari (32,35%) signalent que les cultivars sont introduits par quelqu'un du village. Les implications de la recherche et des services de vulgarisation, ont été signalées dans le Mandoul (31,33%) et dans le Logone oriental (31,93%). Dans le Mandoul, la majorité des paysans (59,78%) rapportent que les boutures sont introduites par les ONGs alors qu'un nombre plus élevé (82,14%) estime que cela se fait à travers les projets de développement dans la Tandjilé.

Tableau XVI: Modes d'obtention des boutures par région d'étude

Mode d'obtention des boutures					
Régions	Localement	Quelqu'un du village	Recherche/ vulgarisation	ONG	Projet
Mandoul	36,43%	38,66%	31,33%	59,78%	3,57%
Moyen Chari	29,46%	32,35%	10,24%	11,96%	7,14%
Logone Oriental	4,65%	17,23%	31,93%	28,26%	-
Tandjilé	16,80%	5,88%	5,42%	-	82,14%
Logone occidentale	12,66%	5,88%	21,08%	-	7,14%
Total	100%	100%	100%	100%	00%

2.2.4. Discussion

L'étude a révélé des pratiques très variées de gestion de la diversité. Le nom local le plus largement répandu du manioc au Tchad est « ngali ou ngari ». L'attribution des noms vernaculaires aux cultivars ainsi que leurs significations sont des pratiques courantes ancrées dans les sociétés traditionnelles. Ces pratiques ont été signalées dans plusieurs travaux. Missihoun et al. (2012) ont affirmé que le nom local est l'unité de base que les producteurs utilisent dans la gestion et la sélection des ressources végétales. L'importance de ce facteur culturel dans la gestion et le maintien de la biodiversité a été également rapportée par d'autres auteurs (Emperaire et al., 1998 ; Manusset, 2006). Dans la présente étude, les processus utilisés par les paysans pour attribuer des noms aux cultivars, sont très variés. Le paysan donne son propre nom, celui de son ancêtre, du village d'origine ou de son propre village au cultivar introduit. Des expressions sous forme de proverbes, des similitudes avec d'autres plantes ou des qualificatifs qui mettent en relief certains aspects (couleurs, formes, etc.), sont aussi souvent utilisés pour nommer ou renommer les cultivars. D'autres dénominations ont trait aux avantages que génère la culture du manioc surtout pendant les périodes de soudure ou de famine par exemple « me sauver de la famine », « sauver mes enfants ». Les populations amérindiennes, accordent quant à eux, plus d'importance aux traits architecturaux

et le cultivar est nommé en se référant à la partie épigée de la plante (Emperaire et al., 2003). L'analyse de tous ces noms ont permis d'avoir des informations sur les origines, le cycle, les rendements, les caractéristiques technologiques et organoleptiques des cultivars. Ces appellations peuvent être identiques ou varier d'un site à l'autre, d'une ethnie à une autre et désigner parfois le même cultivar. La forte variabilité morphologique du manioc à travers les différentes zones agroécologiques, est à l'origine de l'attribution des noms différents (Dixon et al., 1991 ; Nweke et al., 1994). Au Tchad, quand un cultivar n'a pas un nom spécifique, il est tout simplement qualifié de manioc doux ou amer dans les différents dialectes comme l'ont aussi rapporté Charrier et al. (1988) dans une étude similaire. Les qualificatifs doux les plus répandus sont "koul ", "sohol ", "yasso" et pour les cultivars amers "ade", "baka", "maguilira" et "ate. Ce qui n'est pas le cas en Amazonie où les variétés douces sont regroupées sous un seul nom de macaxeiras dans les régions centre et nord-est du Brésil et les variétés amères sont nommées mandiocas dans la partie nord-ouest (Emperaire et al., 2003). Par ailleurs chez les Wayãpi de la Guyane française, à un cultivar donné de manioc peut être attribué plusieurs noms qui sont souvent des types de combinaisons motivées. Ainsi le premier peut faire référence à la morphologie du cultivar, le second, une caractéristique précise et le troisième peut faire allusion à l'usage en faisant mention du sous-produit (Grenand, 2002). Ces stratégies paysannes de nomination des cultivars sont identiques à celles observées dans cette zone d'étude et l'analyse révèle que les Ngambaye et les Mbaye attribuent plus de noms aux cultivars avec respectivement 21 et 13 dénominations. Ces modes de nomination ont été aussi signalés chez d'autres espèces. Les populations d'ethnie mossi du Burkina, ont désigné par plus d'une quinzaine de noms, des variétés de sorgho à grains sucrés, sur la base des caractères phénotypiques visibles et de leur origine (Sawadogo et al., 2014). La multiplicité des dialectes dans une communauté contribue à la dénomination des cultivars. Au Vanuatu, l'existence de 109 langues vernaculaires a permis que la plupart des cultivars introduits soient renommés dans ces langues locales (Sardos et al., 2008). Il en est de même à l'échelle d'une région où se côtoient différents groupes culturels (Emperaire et al., 1998). Les mêmes procédés sont observés au sud du Tchad. La langue de l'ethnie majoritaire et originaire de la région est utilisée pour nommer les cultivars locaux ou renommer ceux qui sont introduits. Dans ce dernier cas, ne sont pas renommés les cultivars provenant d'un même ou proche groupe linguistique comme cela a été signalé dans une étude sur les taros au Vanuatu (Caillon et al., 2005). Contrairement à Baco (2014) qui estime que les transferts variétaux de l'igname au Bénin, s'accompagnent rarement de transferts de nom.

La plupart des cultivars inventoriés sont locaux et leur nombre est faible, comparé à d'autres zones. Dans la zone d'origine du manioc, 137 variétés ont été dénombrées dans une seule tribu indienne (Chernela, 1986). En Guyane française, cette diversité variétale est encore plus élevée avec 296 variétés recensées (Manusset, 2006). Malgré cette différence, le potentiel génétique local mis en évidence dans cette étude, est important. L'indice de Shannon est aussi important que celui obtenu dans le cas de l'étude des cultivars de manioc du Centre Bénin et qui traduit une forte diversité variétale (Agre et al., 2015a). L'inventaire a aussi révélé que c'est un cultivar amélioré doux qui est le plus cultivé. Ces cultivars doux sont très appréciés pour leur consommation immédiate sous forme fraîche ou bouillie. Ils sont souvent cultivés dans les zones périurbaines, autour des cases à cause des vols et pour des facilités de récolte. Par contre ceux qui sont amers, sont emblavés dans des champs éloignés des habitations. Cependant, il n'existe pas une répartition particulière de types de cultivars en fonction des régions. Les populations du sud du Tchad, cultivent à la fois des cultivars doux et amers contrairement en Amérique du Sud où beaucoup de groupes d'indigènes de l'Ouest d'Amazonie ne cultivent que du manioc doux et ceux de la partie basse du Bassin Amazonien du manioc doux et amer (Bradbury et al., 2013). Cependant, aussi bien à l'échelle du village que des ménages, cette diversité est inférieure par rapport aux résultats obtenus au Congo (Kombo et al., 2012). Toutefois le nombre de cultivars utilisés par ménage est similaire à celui obtenu au Ghana, (Manu-Aduening et al., 2005). Par contre, par rapport aux villages amérindiennes à forte diversité (Boster, 1984 ; McKey et al., 2001 ; Empereire et al., 2003) celle observée dans la présente étude est très faible. Le nombre élevé des variétés observé dans les champs des Amérindiens s'explique par le fait que ces derniers combinent le système de propagation par voie végétative et sexuée (Sardos et al., 2008; McKey, 2012). Ces auteurs ont rapporté que cette pratique a un impact important sur la dynamique du maintien de la diversité. D'autres ont montré que la diversification génétique peut être non seulement extrêmement rapide dans les champs mais que cette technique permet aux paysans de bénéficier des avantages des deux modes de reproduction tout en minimisant leurs inconvénients (Elias et al., 2001a; McKey et al., 2001). Ce mode de gestion qui amplifie la diversité variétale est cependant très variable suivant les différentes zones du continent africain et particulièrement en Afrique Centrale. Au Gabon, certains paysans arrachent systématiquement les plants spontanés issus de la reproduction sexuée, tandis que d'autres les conservent et utilisent leurs boutures dans les champs de la campagne agricole suivante (Delêtre, 2010). Au Congo, la majorité des producteurs ne prennent pas en considération la reproduction sexuée dans la diversification du manioc (Kombo et al., 2012). En Afrique de

l'ouest et surtout dans le Centre du Bénin, la multiplication du manioc à partir des graines est peu connue des paysans (Agre et al., 2015a). Au Tchad, la culture du manioc se pratique uniquement sous forme de boutures. Quelques jours avant la période des plantations, les tiges vigoureuses et ayant de nombreux nœuds foliaires, sont prélevées, préparées sous forme de boutures et ensuite replantées dans les nouveaux champs. Dans certaines régions, c'est surtout la partie apicale de ces tiges qui sont utilisées. Afin de conserver leurs cultivars, les paysans les gardent jalousement en les replantant, ce qui explique en partie, le faible nombre de cultivars observé au niveau des ménages.

L'étude a aussi révélé que des variations sur le nombre de cultivars ont été observées entre villages d'une même région et même entre les villages des régions différentes. Les détenteurs d'un ou plusieurs types de cultivars dans un village, sont bien connus. Ces résultats sont similaires aux travaux de Willemen et al. (2007), qui affirment que les paysans ont vraiment conscience du nombre exact et précis des cultivars existant dans leurs villages. Ils constituent par conséquent une source pertinente d'informations sur la diversité à l'échelle communautaire. La prise en compte du nombre de cultivars à l'échelle du village pour évaluer la diversité variétale, a été aussi rapportée sur d'autres cultures (Dansi et al., 1997 ; Konan et al., 2007 ; Barro-Kondombo, 2010 ; Missihoun et al., 2012 ; Gbaguidi et al., 2013).

La diversité observée au niveau des villages et par rapport aux groupes ethniques, montre que la culture du manioc est appréhendée de manière différente selon les communautés. En milieu Mbaye et Ngambaye, on trouve plus de cultivars que dans les autres villages de la zone d'étude. Ce sont aussi les deux ethnies qui attribuent plus de noms aux cultivars. Différentes raisons expliquent cette tendance. Les communautés Mbaye sont dans la zone d'introduction du manioc au Tchad. Ils continuent à conserver cet héritage colonial en maintenant la culture du manioc. Les ethnies Ngambaye ont quant à eux, été favorisés par la proximité de la ferme de l'institut national de recherche où des cultivars améliorés sont évalués et vulgarisés. L'existence d'un nombre élevé de cultivars dans cette zone est aussi due aux transferts des boutures entre les régions. Ce qui n'est pas le cas de la Tandjilé composée en majorité des Zimé et des Lele, qui est plutôt une zone traditionnelle de la culture du riz. Cette variabilité de la diversité entre les villages et les régions, a été aussi signalée par Delêtre (2010) qui a indiqué qu'au Gabon, existe un système matrilineaire « sud » caractérisé par des niveaux élevés de diversité variétale et un système patrilinéaire « nord » caractérisé par une faible diversité. Le nombre élevé de cultivars dans un champ et la mixité des cultivars doux et amers pour des raisons de conservation ou des stratégies de lutte contre l'insécurité alimentaire, contribuent à l'amélioration du niveau de la diversité variétale.

La distribution et l'étendue des cultivars varient d'un village à l'autre et d'une région donnée à une autre. Cette inégale répartition et localisation géographique est due au faible transfert des boutures entre localités éloignées, à l'adaptabilité de certains cultivars à une région, aux choix des paysans, à la proximité des zones d'introduction. L'étendue des cultivars introduits à partir de la RCA et du Cameroun est surtout centrée dans les villages des régions frontalières. Par rapport au risque de leur disparition totale qui est confirmée par le fait que moins d'un quart sont cultivés sur de grandes superficies et par beaucoup de ménages, il serait souhaitable que ces cultivars soient intégrés dans un programme national de sélection variétale. Car Elias et al. (2000a) ont montré dans une étude sur les agrosystèmes traditionnels des tribus Makushi Amerindiens de la Guyane, que les cultivars locaux de manioc constituent une source non négligeable en matière de diversité génétique. De plus, comme le souligne Brush (1995), la diversité génétique a sans doute sensiblement diminué dans certaines parties d'Afrique en particulier au Sahel, en raison de la désertification, par conséquent, il est important de conserver et valoriser le potentiel phytogénétique existant. Il ressort également de cette étude que ce sont surtout les cultivars locaux qui sont en voie de disparition. Toutefois, des cultivars disparus d'une localité continuent à être cultivés dans une autre et parfois sous une autre dénomination. Le taux moyen de perte est relativement important et même très élevé dans certains villages. Comparé à des études conduites dans d'autres zones d'Afrique (Kombo et al., 2012 ; Agre et al., 2015a), ce taux est moyen. Les principales raisons de ces abandons sont la faible productivité, les longs cycles, la pourriture des gousses et la préférence pour certaines variétés améliorées. Les critères organoleptiques, technologiques, la sensibilité à la mosaïque et à la sécheresse sont très peu cités. Malgré ces contraintes, les cultivars continuent à être conservés pour des besoins spécifiques comme l'ont évoqué certains auteurs (Allem et Hahn, 1991).

Dans la zone d'étude, les paysans utilisent un ou plusieurs traits pour reconnaître les cultivars. Les feuilles et les tiges sont plus utilisées car elles sont facilement observables dans les champs. Le premier niveau d'identification se fait pendant la phase de développement végétatif. Les caractères liés aux tubercules serviront dans une seconde phase à compléter les informations obtenues au niveau des parties aériennes. Pour la sélection des cultivars, les paysans utilisent trois critères prioritaires, la productivité, le goût et la grosseur des racines. Ces critères sont identiques à ceux rapportés par Kombo et al., (2012). La productivité est le critère le plus déterminant comme l'a signalé Allem (1985). En général, plusieurs critères sont utilisés dans cette phase sélective. A défaut, les paysans se contentent d'un seul critère qui leur apparaît plus important. Mais cette importance est très variable car les contraintes de la

culture du manioc se posent différemment selon les localités. Pour les régions comme la Tandjilé, où cette culture est relativement récente, avec l'introduction des cultivars améliorés, c'est la productivité qui préoccupe les paysans. Contrairement à ceux des régions du Mandoul et du Moyen Chari qui sont plutôt intéressés par les cultivars résistants aux maladies et aux ravageurs. Ces critères varient non seulement en fonction des régions mais aussi selon les ethnies. Ces observations sont similaires à celles de Penet (1999) qui rapporte que ces critères paysans sont assez complexes et peuvent servir en même temps à choisir un cultivar par rapport à un trait agronomique mais aussi à l'identifier.

Quant aux modes d'obtention des boutures, les mêmes boutures passent d'une exploitation à l'autre. Ce fait a été aussi rapporté par Abdou et al. (2014) qui affirment que la gestion de la diversité des ressources génétiques de l'oignon est affectée par les modes d'échange, de transmission et de sélection de semences. Dans une étude sur la diversité du niébé, ces types d'échanges inter-paysans ont été qualifiés de pratiques de proximité et de troc (Baco et al., 2008). Ces auteurs ont montré que ces échanges variétaux s'effectuent surtout entre paysans d'un même village, moyennement entre villages et rarement entre villages transfrontaliers. En Amazonie tropicale, chez les tribus Makushi, les échanges de boutures de manioc se font sous forme de dons (McKey et al., 2001). Par contre Baco (2014) a rapporté qu'au Bénin, les ventes de semences d'igname se font au champ. Dans la présente étude, les boutures sont souvent échangées, offertes gratuitement et parfois vendues. Ces échanges sont aussi favorisés par le mode de production du manioc qui se fait sous forme de boutures et non en graines. Actuellement, se développent de plus en plus, l'approche Champ-Ecole Paysan et les parcs à bois pour la multiplication des boutures. Au niveau des régions, les échanges inter paysans sont plus importants dans les régions du Mandoul et du Moyen Chari. Le faible niveau d'introduction des boutures à partir des institutions spécialisées, est à l'origine du faible nombre de cultivars améliorés recensés. Dans le Logone occidental, ces échanges et introductions sont les plus faibles. Les conflits récurrents entre agriculteurs et éleveurs dans cette région, sont à l'origine de l'abandon de cette culture par certains paysans.

2.2.5. Conclusion partielle

La diversité nommée est significative dans la zone d'étude. Les stratégies paysannes de maintien de cette diversité sont basées sur la conservation *in situ*. Les cultivars sont caractérisés par des noms locaux qui permettent d'avoir des informations sur l'origine, le cycle, les rendements, les caractéristiques technologiques et organoleptiques, la couleur, la forme et l'aspect des différentes parties de la plante. Ils sont sélectionnés en fonction des besoins spécifiques des paysans et des groupes ethniques. Des critères sont utilisés pour leur

identification et les échanges des boutures se font surtout entre paysans. Ces pratiques ont un impact important sur cette diversité. Même si les paysans connaissent bien le niveau de la diversité dans leur village et les environnants, le taux élevé de perte des cultivars et leur méconnaissance de la reproduction sexuée, constituent des risques réels non seulement sur cette diversité mais aussi sur la culture du manioc.

CHAPITRE 3 : PROSPECTION, CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE

3.1. PROSPECTION ET COLLECTE DE MANIOC CULTIVE

3.1.1. Introduction

Au Tchad, la culture du manioc prend de l'ampleur dans la zone soudanienne du pays en procurant de revenus substantiels pour les petites exploitations familiales. Cette zone couvre 10% du territoire national et les systèmes de production y sont diversifiés. En plus du manioc, les autres cultures pratiquées sont le coton, le mil, sorgho, arachide, etc. Actuellement, de nombreux cultivars de manioc existent en milieu paysan mais ce potentiel génétique local n'est pas documenté. En effet, on ne signale nulle part des prospections dans toutes les zones de grande production du pays ni des travaux de recherche pour leur valorisation. Toutefois, des prospections sectorielles ont été faites même si celles-ci n'ont pas tenu compte des divergences ou des différences entre les cultivars collectés. Naïtormbaïdé (2004) a ainsi collecté 6 cultivars améliorés et 19 locaux dans 5 villages enquêtés. Mbayhoudel et Naïtormbaïdé (1998) ont quant à eux identifié à partir des noms locaux, 16 cultivars dans la zone semi-aride. Le présent travail consiste à prospecter et à collecter les cultivars de manioc existant dans les 5 principales régions productrices.

3.1.2. Méthodologie

La prospection et la collecte des boutures des cultivars, se sont déroulées dans 5 régions, du 20 au 31 juillet 2014 dans la zone méridionale située entre le 8^{ème} et le 10^{ème} parallèle. Ces régions sont le Logone Occidental, Logone Oriental, Mandoul, Moyen Chari et Tandjilé. Les villages concernés sont situés dans les départements de Monts de Lam, Nya Pendé, Lac Wey, Mandoul, Moyen Chari et Tandjilé Ouest. Les opérations de collecte se sont basées sur un échantillonnage sélectif. Dans les champs des paysans, ont été prélevées des boutures correspondant aux plants présentant des différences au niveau phénotypique. Des individus présentant des caractères de tolérance ou de résistance à certains pathogènes ont été aussi collectés. Cinquante boutures de 25 cm environ, sont prélevées par individu identifié puis coupées en biseau à l'aide d'une machette désinfectée. Elles sont ensuite rassemblées,

conditionnées dans des sacs en plastique codées et étiquetées. Des numéros à quatre chiffres, dont les deux premiers indiquent l'année de collecte et les deux derniers désignant l'ordre dans lequel la collecte a été réalisée, ont été attribués aux accessions. Les champs de collecte sont situés à au moins 1 km des grands axes routiers. Chaque prélèvement est suivi d'un entretien avec le paysan qui fournit les échantillons. Cet entretien a consisté à recueillir l'origine des cultivars, leurs noms locaux et leur signification.

3.1.3. Résultats et discussion

Le **Tableau XVII** résume les zones de prospection à savoir les régions, les départements et les villages. Dans ces villages, les coordonnées géographiques des points prospectés ont été relevées à l'aide d'un Global Position System (GPS), traitées grâce au logiciel ArcGIS 10.2 et localisées sur une carte (**Figure 7**). Ces sites de prélèvement de boutures sont en grande partie localisés dans la zone d'introduction du manioc au Tchad (Gaide, 1956). En effet, cette introduction s'est faite à partir de la RCA, le long des fleuves comme l'a signalé Sautter (1958). Dans ces sites, les plants de manioc cultivé dans les champs paysans présentent des différences phénotypiques assez importantes. Le nombre de cultivars dans un champ est très variable selon les paysans, les villages et parfois les groupes ethniques (**Planche 7**). Ces observations ont été également rapportées par de nombreux auteurs à travers le monde (Boster, 1984; Chernela, 1986; McKey et al., 2001; Kombo et al., 2012).

Tableau XVII : Zones de prospection, de collecte et nombre de villages prospectés

Région	Département	Villages prospectés
Logone oriental	Monts de Lam	9
Moyen Chari	Bahr Kôh	5
	Grande Sido	5
Tandjilé	Tandjilé Est	7
Mandoul	Bahr Sara	10
Logone occidentale	Lac Wey	7

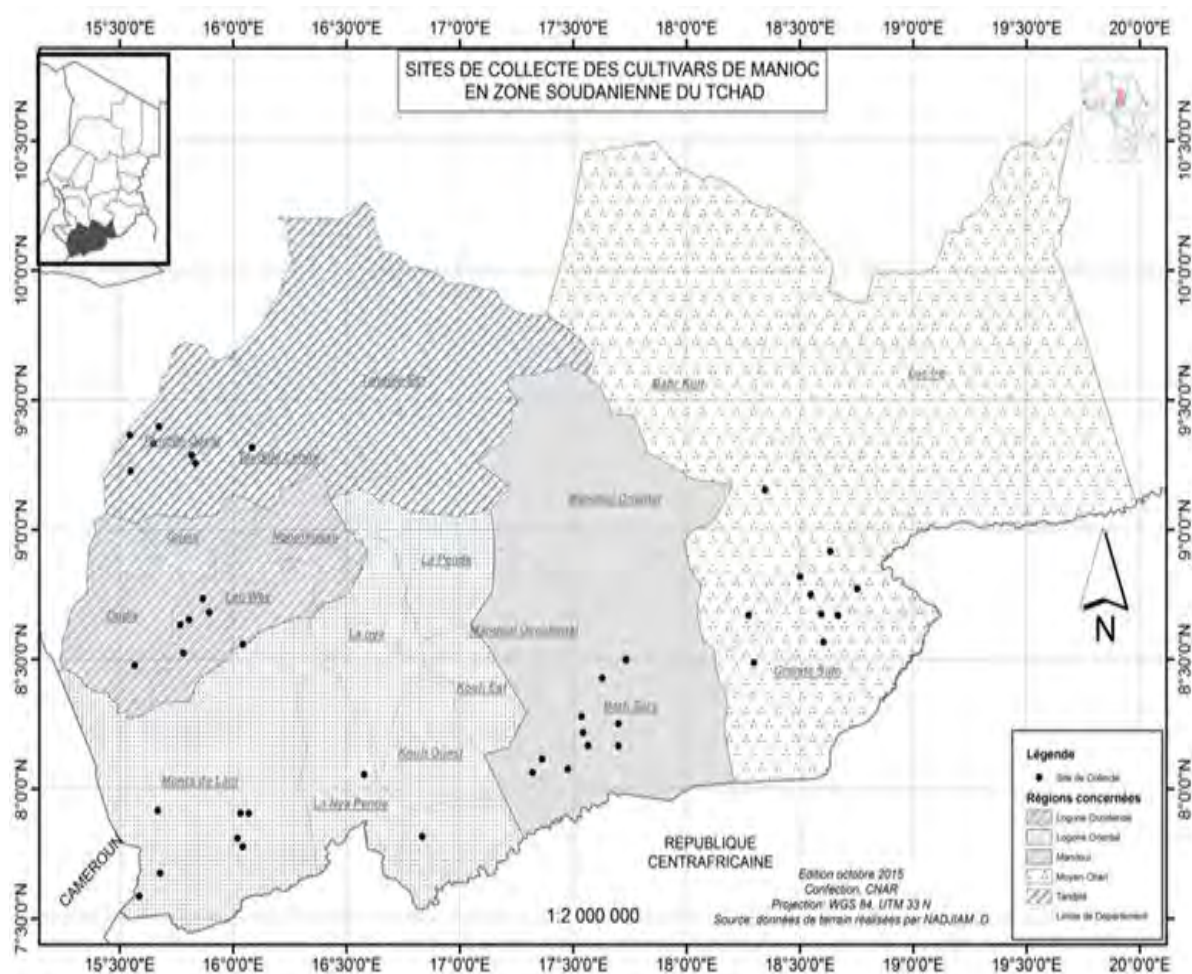


Figure 7 : Sites de collecte des cultivars de manioc



Planche photographique 7 : Cultivars de manioc contrastés dans les champs

Au total, 59 cultivars ont été collectés et répartis comme suit : 18 ont été collectés dans le Logone Occidental, 11 proviennent du Logone Oriental, 11 dans le Moyen Chari, 10 ont été prélevés dans le Mandoul et 9 dans la Tandjilé (**Planche 8**). Parmi ces cultivars, 9 ont été identifiés comme améliorés grâce aux caractéristiques phénotypiques observées dans les champs et aux informations recueillies auprès des paysans. Toutefois, ces observations doivent être complétées par des analyses agromorphologiques mais aussi moléculaires.



Planche photographique 8 : Boutures des cultivars de manioc collectées et étiquetées

3.1.4. Conclusion partielle

La prospection a permis de collecter cinquante-neuf (59) cultivars de manioc. A l'issue de ce travail préliminaire, il est nécessaire de conduire des travaux sur les cultivars locaux car le risque de leur disparition avec l'introduction des variétés améliorées est réel. C'est dans ce cadre, qu'il a été prévu dans la seconde phase des activités de cette thématique, de procéder à leur caractérisation agromorphologique et moléculaire. L'exploitation de ces ressources phytogénétiques pourra éventuellement contribuer à l'amélioration de la production agricole.

3.2. CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE

3.2.1. Introduction

Au Tchad, le manioc est largement cultivé dans la partie méridionale du pays avec peu ou pas d'intrants et souvent en association. Malgré les problèmes liés à sa dévastation par les animaux, il continue à s'étendre dans les régions à forte population et dans les zones périurbaines. Sur les 10 dernières années, la production moyenne annuelle a été estimée à 226000 t sur une moyenne en superficie estimée à 44000 ha. Par région administrative, les moyennes de production annuelle au cours des 6 dernières années, ont varié entre 32000 et 85000 t (ONDR et al., 2015). Les 5 régions les plus productives sont toutes situées entre 8^{ème} et 10^{ème} parallèle. Cependant, la productivité est faible et le degré d'incidence de la mosaïque africaine est très élevé dans certaines régions. Aussi pour répondre à ces contraintes, des variétés améliorées ont été introduites dans les années 90 grâce à la recherche et à l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA). Actuellement, en milieu paysan, moins d'une dizaine de ces variétés sont encore disponibles chez les producteurs pour des raisons d'inaccessibilité et d'indisponibilité des boutures mais aussi par le fait que certaines sont inadaptées aux pratiques culturales traditionnelles et aux besoins réels des producteurs. Ces hypothèses ont été aussi émises par Turyagyenda et al. (2012) qui ont signalé que les paysans préfèrent un système de sélection diversifié qu'un type de sélection avec des critères modernes ou classiques d'amélioration. Par conséquent, dans la zone d'étude, la plupart des producteurs continuent à utiliser de nombreux cultivars locaux pour des raisons de stabilité de leur production (Willemen et al., 2007). De nombreuses études de caractérisation utilisant des caractères agromorphologiques ont été conduites aussi bien sur le manioc (Léfèvre, 1988 ; Nassar, 2004 ; Kosh-Komba et al., 2014 ; N'zue et al., 2014) que sur d'autres espèces. Dans ce dernier cas, on peut citer le cas de deux espèces de cocoyam (Mwenye et al., 2010), le niébé (Nadjiam et al., 2015), le maïs (N'da et al., 2014), les écotypes locaux d'oignons (Boukary et al., 2012) et même sur des plantes menacées de disparition comme le *Solenostemon rotundifolius* au Burkina Faso (Nanema et al., 2009). Les caractères agromorphologiques sont ainsi fréquemment utilisés dans l'évaluation préliminaire de la diversité de nombreuses espèces de plantes. Cette analyse est très utile dans l'étude de la diversité (Asare et al., 2011). Au Tchad, malgré l'importance de ces cultivars et leur parfaite connaissance par les paysans qui les maintiennent *in situ*, leurs performances agronomiques et leurs traits morphologiques n'ont pas été déterminés ni documentés, excepté pour les cultivars améliorés. Pourtant, une évaluation préalable de ces cultivars par ces types de descripteurs

peut ensuite servir de base à des études moléculaires. Le but de cette étude est d'évaluer sur la base des traits phénotypiques et agronomiques, le germoplasme du manioc, de déterminer les relations entre les caractères et d'analyser la structuration de la variabilité morphologique.

3.2.2. Matériel et méthodes

3.2.2.1. Matériel végétal

Il est constitué de cinquante-neuf (59) cultivars qui ont été collectés dans cinq (5) régions au sud du Tchad.

3.2.2.2. Site d'étude

L'étude a été conduite pendant la campagne agricole 2014-2015, à la station de recherche agronomique de Bebedjia, située entre 8°40' de latitude Nord, 16°33' de longitude Est et à une altitude de 384 m. Le climat est de type tropical chaud et humide avec une saison pluvieuse et une saison sèche. La pluviométrie au cours de cette campagne a été de 1031,3 mm en 70 jours. Le mois d'août avec 307,6 mm en 13 jours, a été le mois le plus humide tandis qu'au mois de novembre, n'a été enregistré que 4,7 mm en 2 jours. La température moyenne annuelle a été de 27,3°C. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux. La végétation est caractérisée par des forêts claires et des savanes arborées (DREM, 1998).

3.2.2.3. Dispositif expérimental

Il est constitué des blocs de Fisher à 3 répétitions (**Figure 8**). Après le labour, la délimitation et le piquetage des parcelles, les boutures mesurant entre 25 à 30 cm de longueur, ont été plantées avec des écartements de 1 m entre les lignes et poquets. Les blocs sont séparés par des allées de 2 m. L'unité expérimentale est représentée par une ligne de 12 m comprenant 12 plants par cultivar. La parcelle utile comptait 10 plants marqués pour faciliter les observations.

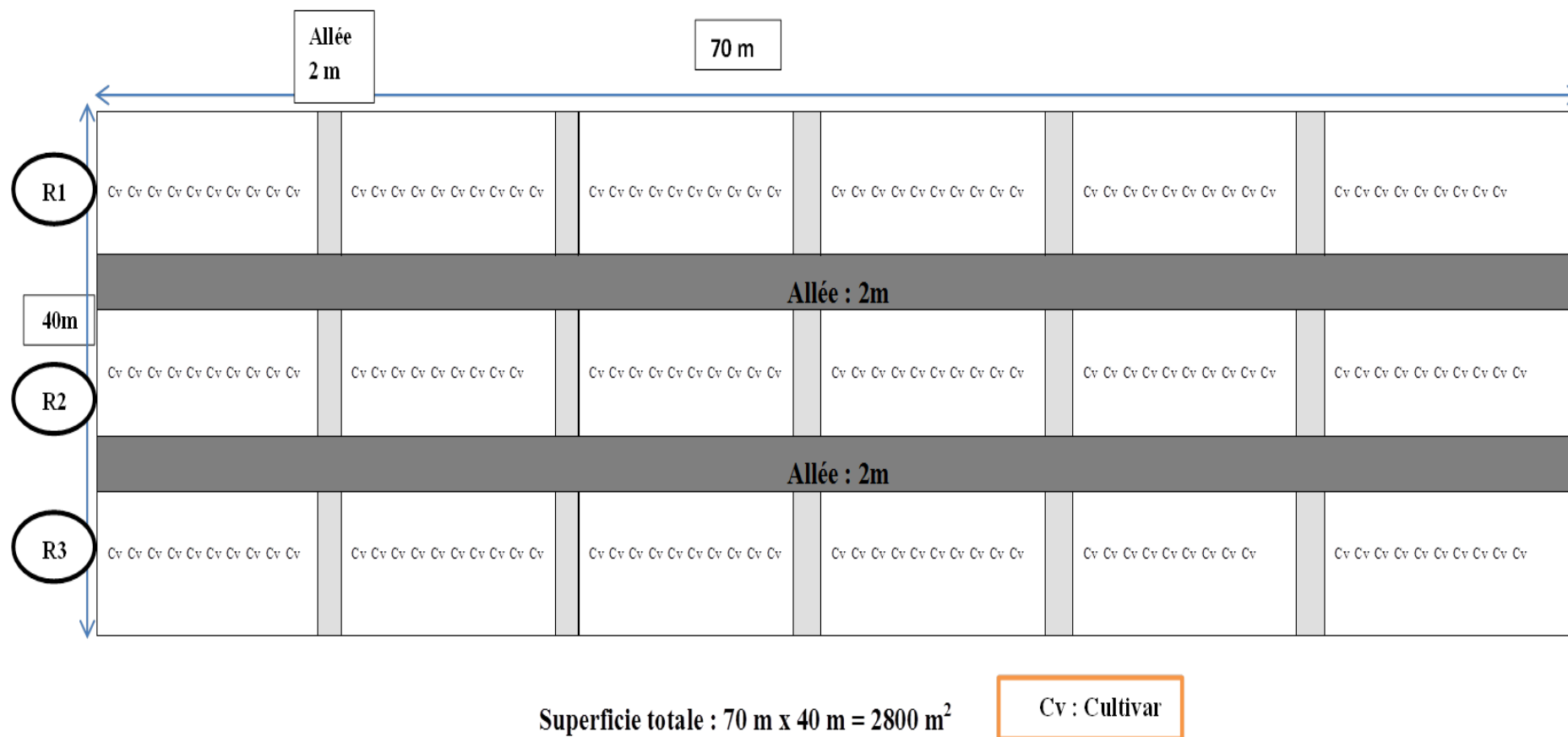


Figure 8: Schéma du dispositif expérimental

Tirage aléatoire des 59 cultivars et répartition dans les blocs de chaque répétition ;

Les boutures de chaque cultivar sont plantées perpendiculairement sur une ligne de 12 m avec des écartements de 1 m x 1m soit 12 plants par cultivar;

*R : Répétition

3.2.2.4. Collecte des données

Les caractères agromorphologiques ont été observés à 4 différentes périodes. La collecte des données qualitatives a été faite à 3, 6, 9 mois après plantation (MAP) (**Tableau XVIII**) et à la récolte (**Tableau XIX**) à l'aide de 32 descripteurs dont les modalités varient entre 2 et 7. La variante la plus fréquemment observée sur plusieurs plants, est notée. La présence ou l'absence des fleurs (Flor), des fruits (Ff) et de la graine (Gr) et les dates d'apparition, ont été relevées à intervalles réguliers pendant tout le cycle végétatif jusqu'à la récolte. Pour la collecte des données quantitatives (**Tableau XX**), des mesures et des comptages ont été effectués au niveau de 3 plants pour chacun des cultivars et par répétition. Les comptages ont concerné le nombre de folioles, de feuilles, de lobes et tubercules par plant. Les largeurs des lobes, les longueurs des lobes, pétioles, tubercules, les diamètres des tiges et des tubercules ainsi que la hauteur des plants ont été mesurées. La biomasse aérienne (feuilles, branches, tiges) et les tubercules ont été séparément pesés. L'indice de récolte (IR) a été calculé de la manière suivante: $IR = \frac{PTF}{(PTF + PBO)}$ avec PTF: Poids Tubercules Frais; PBO: Poids Biomasse aérienne fraîche.

Tableau XVIII : Caractères morphologiques qualitatifs et variantes observés à 3, 6 et 9 MAP

Stades	Variables qualitatives	Codes	Variantes
3 MAP*	Couleur des feuilles apicales	Cfa	3. Vert clair 5. Vert foncé 7. Violet-gris 9. Violet
	Pubescence des feuilles apicales	Pfa	0. Absent 1. Présent
	Velum sur feuille âgée	Va	0. Inexistant, 1. Existant
6 MAP	Forme de la foliole centrale	Ffc	1. Ovoïde 2. Ellipto-lancéolée 3. Ovale-lancéolée 4. Oblancéolée 5. Lancéolée 6. linéaire 7. Autres
	Couleur du pétiole	Cp	1. Vert-jaunâtre 2. Vert 3. Vert-rougeâtre 5. Rouge-verdâtre 7. Rouge 9. Violet
	Couleur des feuilles	Cfe	3. Vert- clair 5. Vert foncé. Vert-violacé 9. Violet
	Lobe marginal	Lom	3. Uni 7. Sinueux
	Couleur de la nervure principale	Cnp	3. Vert 5. Vert-rougeâtre 7. Vert-rougeâtre 9. Rouge
	Orientation du pétiole	Op	1. Haute 3. Horizontale 5. Basse 7. Irrégulière
9 MAP	Proéminence des nœuds foliaires	Pro	3. Proéminent 5. Semi-proéminent
	Couleur du cortex de la tige	Cxt	1. Orange 2. Vert-clair 3. Vert-foncé
	Couleur de l'épiderme de la tige	Cet	1. Crème 2. Marron clair 3. Marron foncé 4. Orange
	Couleur externe de la tige	Ct	3. Orange 4. Jaune-verdâtre 5. Doré 6. Gris 7. Argenté 8. Marron-clair 9. Marron foncé
	Mode de croissance de la tige	Mct	1. Droit 2. Zigzag
	Longueur des entrenœuds	Len	3. Court (≤ 8 cm) 5. Moyen (8-15cm) 7. Long (≥ 15)
	Couleur des branches terminales	Cbt	3. Vert 5. Vert-violacé 7. Violet
	Stipule marginal	Stm	1. Entier 2. Fourchu
	Longueur des stipules	Lst	3. Court, 5. Long

Tableau XIX : Caractères morphologiques qualitatifs et variantes observés à la récolte

Stades	Variables qualitatives	Codes	Variantes
12 MAP	Mode de ramification	Mor	1. Erigé 2.Dichotomus 3.Trich. 4. Tetrachotomus
	Forme de la plante	Fp	1. Compact 2.Ouvert 3. Parapluie 4.Cylindrique
	Nature du pédoncule racinaire	Npr	0. Sessile 3.Pédonculée 5.Mixte
	Constrictions des tubercules	Cotu	1. Peu/absente 2.Moyenne (4-6) 3. Trop (> 6)
	Forme des tubercules	Ftu	1. Conique 2.Conicylind 3.Cylind. 4. Irrégulière
	Couleur externe du tubercule	Cext	1. Blanc 2.Jaune 3.Marron clair 4.Marron foncé
	Couleur de la pulpe radiculaire	Cpr	1. Blanc 2.Crème 3.Jaune 4. Orange 5.Rose
	Couleur du cortex du tubercule	Cct	1. Blanche/crème 2.Jaune 3. Rose 4. Violet
	Aptitude à l'épluchage	Epl	1. Facile 2.Difficile
	Texture de l'épiderme du tubercule	Tet	3. Lisse 5. Intermédiaire 7.Rugueux
	Epaisseur du cortex du tubercule	Ect	1. Mince 2. Intermédiaire 3. Epais
	Goût	Gt	1. Doux 2. Fade 3. Amer
	Floraison	Flor	0. Absente 1. Présente
	Formation des graines	Gr	0. Absente 1.Présente

MAP* : Mois Après Plantation

Tableau XX: Caractères agromorphologiques quantitatifs

Stades	Variables quantitatives	Codes
3 MAP	Nombre de folioles	Nfo
	Nombre de feuilles	Nfe
6 MAP	Nombre de lobes	Nlb
	Ratio : Longueur lobe/largeur lobe	Rt
	Longueur du pétiole (en cm)	Lp (cm)
12 MAP	Hauteur de la plante (en cm)	Hp (cm)
	Diamètre de la tige à 50 cm du sol (en cm)	Dtp (cm)
	Nombre de tubercules/plant	Ntb
	Poids tubercules/plant (en g)	Ptu (g)
	Poids biomasse/plant (en g)	Pbo (g)
	Longueur tubercule (en cm)	Ltb (cm)
	Diamètre médian tubercule (en cm)	Dmt (cm)
	Indice de Récolte	IR

3.2.2.5. Traitements et analyses statistiques

Les cultivars ont été décrits à l'aide des descripteurs des caractéristiques morphologiques et agronomiques du manioc élaborées par Fukuda et al. (2010). Les pourcentages des distributions des différentes variantes des caractères qualitatifs ont été déterminés. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT-Pro version 2013.5.01. L'organisation et la structure de la variabilité morphologique ont été visualisées à l'aide d'un dendrogramme. Les variables quantitatives ont été analysées par des méthodes statistiques descriptives et ensuite soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) afin d'identifier les traits significatifs. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de déterminer les relations entre les caractères étudiés. Les groupes issus de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) ont été soumis aux analyses des variances. Une autre analyse des variances a permis d'évaluer les différences entre les cultivars issus des régions.

3.2.3. Résultats

3.2.3.1. Caractères qualitatifs morphologiques

La répartition des cultivars de manioc étudiés en fonction des variantes observées sont résumés dans le **tableau XXI**. Certaines variantes telles que la forme érigée des tiges, de couleur jaune-verdâtre, des épidermes marron-clair ainsi que la facilité de l'épluchage des tubercules et l'absence de pubescence ont été observés chez plus de 80 à 95% des cultivars. Par contre, aucune variabilité n'a été observée pour certaines variantes analysées. Le velum est inexistant sur toutes les feuilles âgées. De même, tous les cultivars étudiés, ont des nœuds foliaires proéminents, des entrenœuds peu espacés et des cortex des tiges de couleur vert clair. Le mode de croissance de ces tiges se fait de façon droite et à la récolte, les racines ont toute une allure traçante. Par ailleurs, pour certains caractères, comme la couleur des feuilles et l'aspect des lobes, il y a autant des cultivars aux feuilles vert clair que vert foncé et les lobes ont des contours autant sinueux qu'uniformes. Il ressort également de cette étude que 69% sont doux. Environ 75% et plus de cultivars ont des tubercules dont les cortex ne sont pas épais et faciles à éplucher. Les cultivars avec des pulpes racinaires de couleur jaune sont moins présents (15%) dans la zone d'étude. Les stades de floraison et de formation des graines n'ont concerné que très peu de cultivars. Seulement 5% sont précoces et qui ont présenté des fleurs à 6 MAP. Le stade de floraison a été atteint à 9 et à 12 MAP pour 17% d'entre eux. Par contre, sur 7% seulement de ces cultivars, ont été observés des graines à la récolte. L'analyse de la variabilité des cultivars par la classification ascendante hiérarchique réalisée sur la base des caractères morphologiques qualitatifs, met en évidence trois groupes (**Figure 9**). Le groupe I est constitué de 29 cultivars caractérisés par des feuilles vert-violacé avec une nervure de couleur verte, un pédoncule racinaire sessile et des tubercules de forme cylindro-conique. Au sein de ce groupe, trois couples de cultivars présentent entre eux un nombre élevé de similarités. Les individus concernés sont GAN0606 et BOR0808, DVA3 et TE1355, DVA5 et TL0101. Le groupe II est composé de 15 cultivars caractérisés par des folioles centrales de forme ellipso-lancéolée et d'un pédoncule racinaire mixte. Les 15 cultivars du groupe III, ont des feuilles de couleur vert- clair, leur nervure est rouge, des lobes aux contours uniformes et des tubercules de forme irrégulière.

Tableau XXI: Pourcentage des cultivars en fonction des variantes morphologiques

Caractères	Variantes	%	Caractères	Variantes	%
Couleur des feuilles apicales	Vert clair	37	Mode de croissance	Droite	100
	Violet-gris	48			
	Violet	15			
Pubescence des feuilles	Absent	93	Couleur branches terminales	Vert	42
	Présent	7		Vert-violacé	58
Velum sur feuille âgée	Inexistant	100	Longueur stipules	Court	22
				Long	78
Couleur des feuilles	Vert clair	44	Stipule marginal	Entier	95
	Vert foncé	56		Fourchu	5
Lobe marginal	Uni	53	Nature du pédoncule racinaire	Sessile	61
	Sinueux	47		Pédonculée	12
Couleur du pétiole				Mixte	27
	Vert-rougeâtre	2	Constriction des tubercules	Peu ou absente	5
	Rouge-verdâtre	49		Moyenne	70
	Rouge	20		Beaucoup	25
Forme de la foliole centrale	Violet	29	Couleur externe des tubercules		
	Ellipto-lancéolée	74		Blanche ou crème	27
	Oblancéolée	2		Jaune	29
	Droite	24		Marron clair	22
Couleur nervure feuille				Marron foncé	
	Vert	63	Texture épiderme du tubercule	Lisse	53
	Vert-rougeâtre	10		Intermédiaire	20
Orientation du pétiole	Rouge	27		Rugueux	27
	Vers le haut	22	Forme des tubercules	Cylindro-conique	59
	Horizontale	70			2
Nœuds foliaires	Irrégulière	8		Cylindrique	39
				Irrégulière	
Couleur de la tige	Proéminent	100	Allure des racines	Traçante	100
	Orange	9			
	Jaune-verdâtre	83	Couleur de la pulpe radiculaire	Blanc	20
Couleur du cortex tige	Gris	8		Crème	65
	Vert clair	100		Jaune	15
Ecart entre les nœuds	Court	100	Epaisseur du cortex du tubercule	Mince	29
				Intermédiaire	46
				Epais	25
Couleur de l'épiderme de la tige	Crème	2	Couleur du cortex des tubercules	Blanc ou crème	69
				Jaune	24
				Rose	5
				Violet	2
Mode ramification de la tige	Marron-clair	95	Aptitude à l'épluchage	Facile	85
	Orange	3		Difficile	15
	Erigé	85	Goût	Doux	69
Forme de la plante	Dichotomus	13		Fade	17
	Trichotomus	2		Amer	14
	Compact	5	Floraison	Présente	22
Forme de la plante	Ouvert	5		Absente	78
	Parapluie	9	Graine	Présente	7
	Cylindrique	81		Absente	93

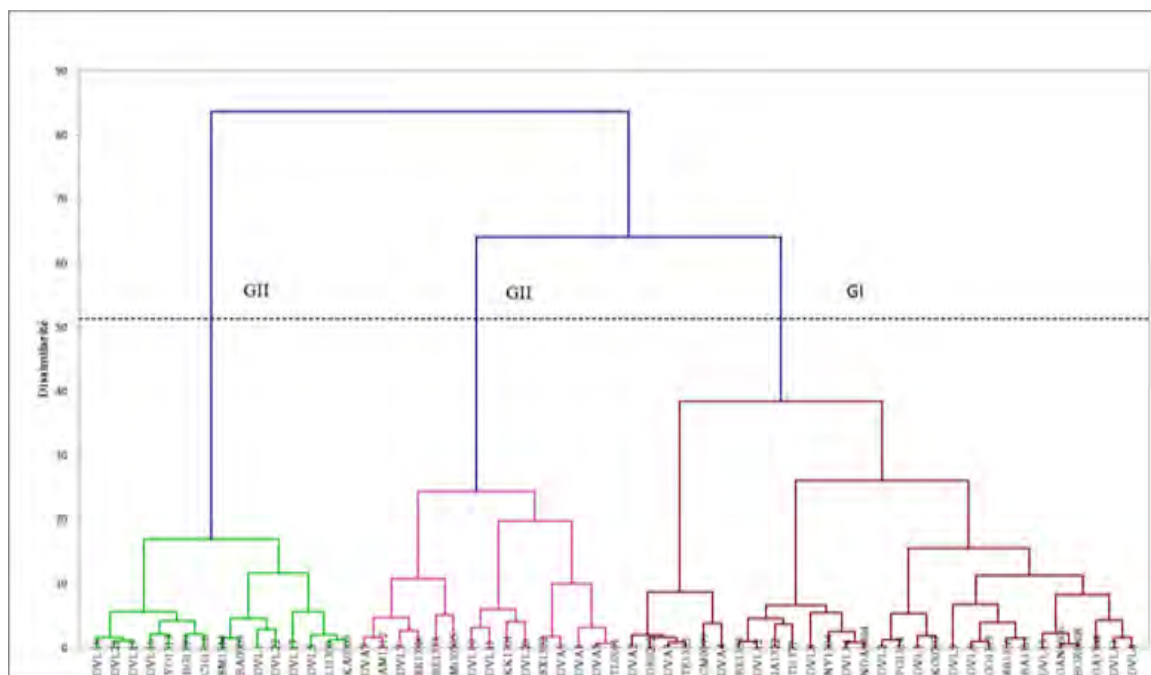


Figure 9: Classification des cultivars en fonction des traits morphologiques qualitatifs selon la méthode d'agrégation de Ward.

3.2.3.2. Analyse descriptive des caractères quantitatifs

Les résultats des analyses (**Tableau XXII**) ont révélé des écarts élevés pour certains variables comme le nombre de feuilles par plant (Nfe), la taille des lobes (Rt), la longueur des pétioles (Lp), le nombre de tubercules par plant (Ntb) ainsi que leur longueur (Ltb), la biomasse aérienne (Pbo), le poids des tubercules par plant (Ptu) et l'indice de récolte (IR). Des différences significatives à hautement significatives ont été observées pour tous les caractères étudiés avec des coefficients de variation qui vont de 11,80% pour le nombre de folioles (Nfo) et de lobes (Nlb) à 48,60% pour le poids des tubercules par plant (Ptu). Les cultivars étudiés ont en moyenne des pétioles longs (Lp) de 24,07 cm. Le plus court pétiole est celui d'un cultivar avec seulement 1,25 cm. Les cultivars de petite taille ont 167,50 cm de hauteur par contre les grands plants sont à 294,00 cm. Les caractéristiques des tubercules sont aussi très variés (**Planche 8, de A à F**). Le nombre moyen de tubercules par plant (Ntb) est de 7 avec seulement 3 tubercules pour les cultivars moins productifs et 13 pour les plus productifs. Cependant, les tailles de ces tubercules sont significatives (Ltb) avec une moyenne de 32,56 cm. Les tubercules courts ont 22,11 cm, alors que les plus longs ont une longueur moyenne de 52,44 cm. La biomasse aérienne constituée des feuilles, des tiges et des branches est très élevée avec une moyenne de 4825, 15g par plant. La production en tubercules se situe entre 583,3 g pour les cultivars peu productifs et 7833,33 g pour les plus performants avec une

moyenne de 1486,42 g. Quant à l'indice de récolte (IR), il varie de 9,3% pour les faibles productions à 63,5% pour les plus importantes avec une moyenne de 37,8%.

Tableau XXII : Caractéristiques des variables quantitatives des 59 cultivars de manioc

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV (%)	Signification de F
Nfo	7,000	10,000	8,006	0,944	11,80	**
Nfe	24,000	53,333	34,705	4,585	13,20	**
Nlb	7,000	9,000	7,718	0,910	11,80	**
Rt	2,927	12,100	5,245	2,346	44,60	**
Lp (cm)	1,250	34,000	24,070	4,866	20,20	**
Hp (cm)	167,500	294,000	237,420	24,979	10,50	**
Ntb	2,667	12,333	6,588	2,116	32,00	**
Ltb (cm)	22,111	52,444	32,563	6,334	19,40	**
Dmt (cm)	3,149	7,472	5,039	0,940	18,60	*
Dtp (cm)	1,943	4,459	2,787	0,474	17,00	*
Pbo (g)	1466,667	9722,222	4825,152	1635,559	33,80	**
Ptu (g)	583,333	7833,333	3048,349	1486,418	48,60	**
IR	0,093	0,635	0,378	0,117	30,80	**

* : Significatif ; ** : Hautement significatif.

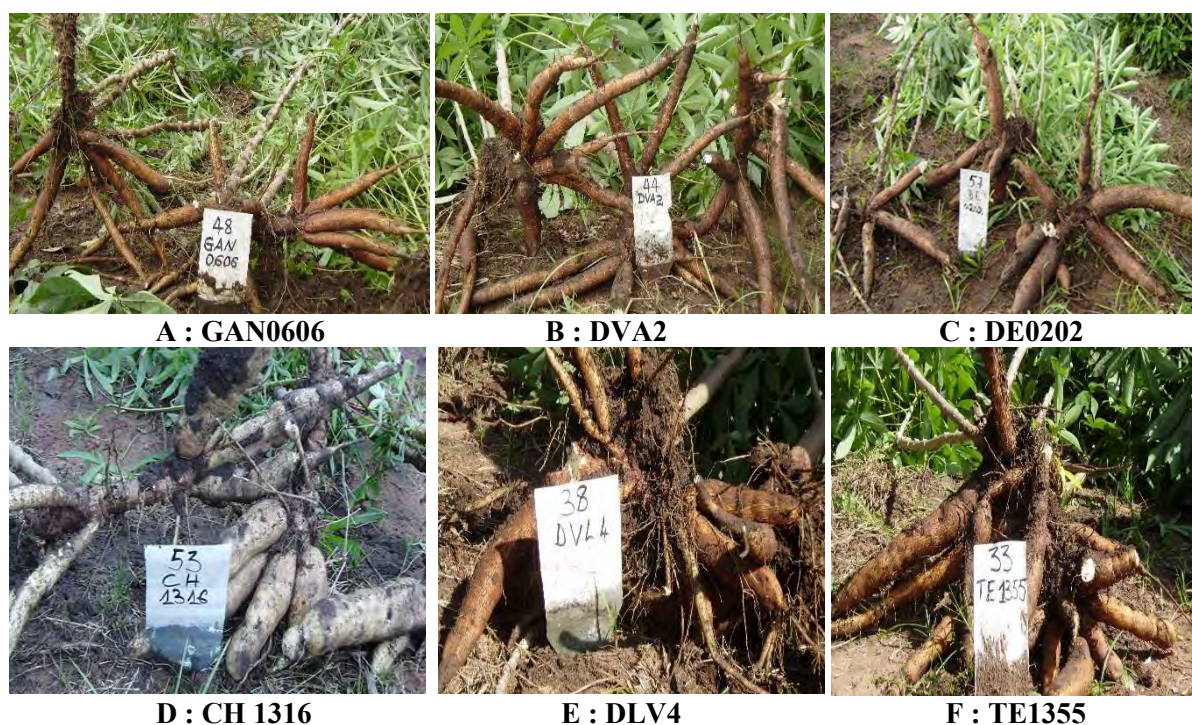


Planche photographique 9 (de A à F) : Tubercules de manioc de quelques cultivars étudiés

3.2.3.3. Corrélations entre les caractères quantitatifs

La matrice (**Tableau XXIII**), montre des corrélations hautement significatives entre certains couples de caractères. Des corrélations positives sont observées entre le nombre de folioles

(Nfo) et le nombre de lobes (Nlb). Le poids des tubercules est corrélé positivement au nombre (Ntb), à la longueur (Ltb) et au diamètre médian des tubercules (Dmt). L'indice de récolte (IR) est corrélé positivement au poids des tubercules (Ptu) mais négativement à la biomasse aérienne (Pbo). L'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO=0,687) et le test de sphéricité de Bartlett hautement significatif ($p < 0,0001$), permettent d'envisager une analyse en composante principale afin d'estimer la variabilité des cultivars étudiés.

Tableau XXIII: Matrice de corrélation entre les caractères quantitatifs

Variables	Nfo	Nfe	Nlb	Rt	Lp	Hp	Ntb	Ltb	Dmt	Dtp	Pbo	Ptu	IR
Nfo	1												
Nfe	0,000	1											
Nlb	0,577	0,011	1										
Rt	0,342	-0,135	0,384	1									
Lp	0,275	0,120	0,362	0,036	1								
Hp	0,088	0,374	0,020	-0,074	0,243	1							
Ntb	-0,150	0,026	-0,236	0,060	0,054	0,197	1						
Ltb	0,182	0,220	0,161	0,264	0,243	0,095	0,220	1					
Dmt	0,156	0,121	0,146	-0,055	0,419	0,222	0,212	0,216	1				
Dtp	0,232	0,231	0,173	-0,042	0,392	0,250	0,147	0,383	0,501	1			
Pbo	0,167	0,150	0,107	0,179	0,235	0,178	0,298	0,356	0,167	0,298	1		
Ptu	0,066	0,156	0,070	0,140	0,292	0,185	0,529	0,566	0,533	0,431	0,316	1	
IR	-0,028	0,071	0,051	0,006	0,193	0,093	0,344	0,336	0,456	0,249	-0,317	0,757	1

Les valeurs en gras sont significatives à un niveau de signification $\alpha=0,05$

3.2.3.4. Structuration de la diversité agromorphologique

Les six premiers axes de l'analyse en composantes principales (ACP) expliquent 83,27% de la variabilité globale (**Tableau XXIV**). Au total 11 des caractères quantitatifs étudiés permettent d'analyser cette variabilité agromorphologique car ils contribuent à au moins l'un de ces axes à hauteur de plus de 18%. Les contributions à l'axe 1 qui expliquent 29,56% de la variabilité sont dues aux caractères relatifs à la forme des tubercules à savoir la longueur (Ltb) et le diamètre médian des tubercules (Dmt), au diamètre de la tige à 50 cm du sol (Dtp), au poids des tubercules (Ptu) et à l'indice de récolte. Cet axe est caractérisé par des cultivars ayant des tubercules de grande taille (Ltb) dont les diamètres médians (Dmt) sont aussi importants. Le diamètre de la tige principale à 50 cm du sol (Dtp) est aussi élevé, de même que le poids des tubercules par plant (Ptu) et l'indice de récolte (IR). Le nombre de folioles (Nfo), de lobes (Nlb) et leur taille (Rt) contribuent à l'axe 2. On y trouve des cultivars ayant un nombre élevé de lobes, de folioles et de larges lobes. Avec 12,80% du niveau de variabilité, l'axe 3 est corrélé au nombre de feuilles (Nfe) et à la hauteur des plants (Hp) et se caractérise par des individus de grande taille et très feuillus (**Tableau XXV**).

Tableau XXIV: Variabilité globale des caractères suivant les 6 axes factoriels

Axe Factoriel	Axe 1 (29,56%)	Axe 2 (17,98%)	Axe 3 (12,80%)	Axe 4 (9,24%)	Axe 5 (7,48%)	Axe 6 (6,21%)
Caractère	C.P.	C.P.	C.P.	C.P.	C.P.	C.P.
Nfo	1,96	31,01	1,32	0,43	4,09	0,70
Nfe	2,98	0,85	31,06	14,10	12,58	9,90
Nlb	1,67	33,28	0,34	1,27	0,25	9,29
Rt	0,84	18,74	12,89	19,47	2,15	0,02
Hp	4,25	0,79	25,44	9,34	30,26	0,97
Ntb	7,33	9,76	7,46	9,64	18,59	6,17
Ltb	13,26	1,18	1,21	11,39	26,51	6,10
Dmt	14,69	0,12	0,97	24,14	3,12	0,00
Dtp	13,37	0,33	7,39	6,37	1,82	36,20
Ptu	24,11	1,33	5,14	0,02	0,21	1,66
IR	15,54	2,63	6,79	3,84	0,41	28,98

C.P. : Contributions partielles en % ; Valeurs significatives des contributions en gras

Tableau XXV: Valeurs propres et corrélations entre caractères et les 3 premiers axes factoriels

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Valeur propre	3,250	1,980	1,410
Variabilité (%)	29,560	17,980	12,800
% cumulé	29,560	47,540	60,340
Nfo	0,253	0,783	0,136
Nfe	0,311	-0,129	0,661
Nlb	0,233	0,811	0,069
Rt	0,165	0,609	-0,426
Hp	0,372	-0,125	0,598
Ntb	0,488	-0,439	-0,324
Ltb	0,657	0,152	-0,131
Dmt	0,691	-0,048	0,117
Dtp	0,659	0,080	0,323
Ptu	0,885	-0,162	-0,269
IR	0,711	-0,228	-0,309

En gras, les valeurs significatives et hautement significatives

Les résultats issus de l'analyse par la CAH à partir de 11 caractères quantitatifs, ont mis en évidence 4 groupes de cultivars (**Tableau XXVI**). Deux groupes, I et II présentent un nombre élevé de cultivars, avec respectivement 27 et 16 individus. Le groupe III compte 9 individus alors qu'il y en a 7 dans le groupe IV. Tous les caractères présentent des différences hautement significative à significative (**Tableau XXVII**). Six caractères permettent de différencier au moins trois groupes. Le diamètre de la tige principale et médian des tubercules ne permettent qu'une distinction entre deux groupes. L'analyse des performances de ces

classifications, montrent que le groupe I est constitué par des cultivars de grande taille (Hp) ayant le nombre moyen de feuilles le plus élevé par plant (Nfe). Les tubercules ont des diamètres médians importants (Dmt), des poids (Ptu) et des indices de récolte moyens (IR). Le groupe II renferme des cultivars caractérisés par peu de folioles (Nfo), moins de lobes (Nlb), de petites tailles (Rt), de nombreux tubercules (Ntb) et autant productifs (Ptu) que les individus du groupe III. Ces derniers sont composés d'individus possédant le plus grand nombre de lobes (Nlb) les plus larges (Rt) ainsi que de nombreux et longs tubercules (Ltu). Dans le groupe IV, on y trouve des plants de petite taille (Hp), peu productifs (Ptu). Ils produisent peu de tubercules (Ntu), qui sont de courte taille (Ltu) et dont les diamètres médians sont également petits (Dmt).

Tableau XXVI: Composition des groupes issus de la CAH

Groupes	Taille	Composition
1	27	BE1303, NY1304, DVL13, DVL7, DVL1, DVL5, JA1322, CM0099, TI1377, DVA4, SM1344, DVL11, DVL15, DVL4, DVL12, DVA6, DVA7, DVL8, DVL16, DVL14, TL0101, GO1315, CH1316, YO1313, AM1312, BA0909, KA0303
2	16	GA1304, KK1301, SX1302, DVL17, DVL10, BE1333, DVA3, TE1355, DVL18, DVA2, DVA5, NDA0404, MG0505, DE0202, DVL20, DVA1
3	9	DVL9, DVL3, DVL2, SB1366, KG0707 DVL6, BA1311, GAN0606, PG1314
4	7	LI1300, SR1388, BG1399, DVL21 DVL22, DVL19, BOR0808

Tableau XXVII : Caractéristiques des 4 groupes de cultivars issus de la CAH

Variable	GI	GII	GIII	GIV	P
Nbre	27	16	9	7	
Nfo	8,35±0,09 ^a	7,29±0,11 ^b	8,70±0,15 ^a	7,43±0,17 ^b	**
Nfe	35,54±0,50 ^a	34,83±0,65 ^{ab}	33,65±0,87 ^{ab}	32,57±0,98 ^b	*
Nlb	8,06±0,08 ^b	7,00±0,10 ^c	8,44±0,14 ^a	7,10±1,16 ^c	**
Rt	4,53±0,12 ^b	3,95±0,16 ^c	10,09±0,21 ^a	4,75±0,24 ^b	**
Hp	245,03±2,66 ^a	234,02±3,46 ^{ab}	231,99±4,61 ^{ab}	222,83±5,23 ^b	*
Ntb	6,01±0,20 ^b	8,04±0,26 ^a	7,23±0,35 ^a	4,70±0,40 ^c	**
Ltb	31,11±0,60 ^c	33,73±0,78 ^b	39,04±1,04 ^a	27,16±1,18 ^d	**
Dmt	5,23±0,09 ^a	5,21±0,12 ^a	5,08±0,16 ^a	3,89±0,18 ^b	**
Dtp	2,88±0,05 ^a	2,74±0,07 ^a	2,87±0,09 ^a	2,44±0,10 ^b	*
Ptu	2711,31±128,39 ^b	4001,43±166,78 ^a	3924,14±222,37 ^a	1043,87±252,14 ^c	**
IR	0,36±0,01 ^b	0,45±0,01 ^a	0,41±0,02 ^{ab}	0,25±0,02 ^c	**

Nbre : Nombre d'individus. Les moyennes affectées des mêmes lettres et sur la même ligne ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 0,05.

3.2.3.5. Différenciation des cultivars à l'échelle régionale

Les caractéristiques mises en évidence dans les 5 régions, sur la base de 11 caractères quantitatifs, ont montré des différences significatives pour 7 d'entre eux (**Tableau XXVIII**). Le nombre de lobes par plant est le variable le plus pertinent dans la différenciation géographique des cultivars. Les cultivars du Mandoul, ont plus de folioles (Nfo : 9), de lobes (Nlb : 9) et un important indice de récolte (IR : 0,42). Dans le Moyen Chari et le Logone Occidental, on dénombre plus de tubercules par plant (Ntb:7). Les cultivars du Logone Oriental se caractérisent par l'importance de leur feuillage (Nfe : 36) et une production intermédiaire en tubercules par plant (Ptu 2792,06g). La région de la Tandjilé renferme les cultivars les moins productifs (Ptu : 2204g), avec peu de tubercules (Ntb : 5) et comptant aussi moins de lobes (Nlb : 7). Par contre, dans le Mandoul, le Moyen Chari et le Logone Occidental, ils sont nettement plus productifs par rapport aux deux autres régions.

Tableau XXVIII: Performances des 59 cultivars de manioc à l'échelle des régions

Région	Caractères quantitatifs										IR
	Nfo	Nfe	Nlb	Rt	Hp (cm)	Ntb	Ltb (cm)	Dmt (cm)	Dtp (cm)	Ptu (g)	
Mandoul	9 ^a	34 ^{ab}	9 ^a	6,13 ^a	232,88	5 ^b	33,07	5,20	2,79	3524,38 ^a	0,42 ^a
Moyen Chari	8 ^{ab}	33 ^b	8 ^b	6,09 ^a	236,40	7 ^a	34,98	5,04	2,77	3265,32 ^a	0,38 ^{ab}
L ⁽¹⁾ . Oriental	7 ^b	36 ^a	8 ^b	4,65 ^b	236,27	6 ^{ab}	32,26	4,95	2,80	2792,06 ^{ab}	0,37 ^{ab}
L ⁽¹⁾ .Occidental	7 ^b	34 ^{ab}	8 ^b	4,79 ^b	244,38	7 ^a	31,49	5,31	2,89	3508,31 ^a	0,39 ^{ab}
Tandjilé	7 ^b	34 ^{ab}	7 ^c	4,99 ^{ab}	237,49	5 ^b	30,96	4,70	2,65	2204,63 ^b	0,33 ^b
p-value	0,018	0,023	< 0,0001	0,008	0,448	0,004	0,098	0,104	0,443	0,001	0,018

L⁽¹⁾ : Logone. Les moyennes affectées des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 0,05.

3.2.4. Discussion

L'importance croissante du manioc dans la sécurité alimentaire au Tchad, nécessite des études plus approfondies. La valorisation et l'utilisation de cette diversité maintenue in situ par les paysans, sont des opportunités pour l'amélioration de la production nationale. La caractérisation agromorphologique de ce potentiel, est la phase préliminaire qui servira de base à des études moléculaires. La présente étude a permis d'évaluer sur la base des traits morphologiques et agronomiques, le niveau de la variabilité du manioc au Tchad. L'analyse des caractéristiques qualitatives au niveau des différents organes, ont montré une variation assez importante au sein des cultivars étudiés. La coloration apparaît comme le trait le plus représentatif et le plus distinctif. Des résultats similaires ont été obtenus par Asare et al. (2011). De même Agre et al. (2016) ont rapporté que les paysans identifient les cultivars à partir des couleurs des feuilles et des tiges. L'analyse révèle également que la plupart des

cultivars, n'ont pas de pubescence et le cortex de leurs tiges est uniquement de couleur vert clair. Ces résultats sont similaires à ceux de Kosh-Komba et al. (2014) qui ont étudié la typologie de la diversité du manioc en RCA et ont mis en évidence des classes de variétés cultivées dont certaines sont caractérisées par l'absence de la pubescence et des cortex des tiges de couleur vert claire. Par ailleurs, 22% des cultivars ont fleuri, ce qui semble important, comparé à ce qu'ont rapporté N'Zue et al. (2014) qui sur un nombre plus élevé d'accessions, n'ont identifié que 20%. Dans la présente étude, ce pourcentage toutefois faible peut s'expliquer en partie par le fait que la plupart des cultivars sont de forme cylindrique et érigée. En général, les paysans sélectionnent des cultivars peu ramifiés pour des facilités de récolte et des associations culturales. D'après Médard (1973) les maniocs non ramifiés ne fleurissent pas. Charrier et Lefèvre (1988), ont également souligné que ce caractère est lié à la floraison, par conséquent, la domestication de ce type de cultivars, entraîne une réduction du nombre de fleurs. De plus, la méconnaissance de l'importance de la reproduction sexuée dans la culture du manioc, en particulier dans plusieurs pays africains, rapportée par certains auteurs (Manu-Aduening et al., 2005 ; Delètre, 2010 ; Kombo et al., 2012), fait qu'en milieu paysan, la floraison n'est pas un critère pertinent dans le choix des cultivars. Même si la majorité des paysans du Centre et Sud Benin Agre et al. (2016), et ceux du Congo (Kombo et al., 2012) admettent que les plants de manioc produisent des fleurs. Cependant, moins de 30% des paysans du Centre Benin reconnaissent que des plantules puissent provenir des graines (Agre et al., 2016). A la récolte, une diversité de couleur de pulpe des tubercules a été observée au sein des cultivars. Ces colorations sont généralement associées à des pigments, les caroténoïdes et les flavonoïdes présents en concentrations variables. Environ, 15% des cultivars ont leur pulpe de couleur jaune. Cette variante a été également observée sur certains cultivars mais à des pourcentages inférieurs dans les zones de forêt du Bénin et du Nigeria, au Gabon et en Côte d'Ivoire (Maroya, 1995; Delètre, 2010 ; N'Zue et al., 2014). Dans le cas du Gabon, 9 cultivars jaunes correspondant à 4 génotypes distincts ont été identifiés (Delètre, 2010). La coloration jaune des pulpes est un indicateur de teneur élevée en caroténoïdes et en acides aminés. Emperaire et al. (1998) indiquent qu'ils sont rares en Afrique contrairement à l'Amazonie. Dans le cas du Tchad, leur introduction semble être faite soit à travers la vulgarisation des variétés améliorées introduites par l'IITA, soit à partir de la RCA. Le pourcentage du niveau des constriction des racines observé dans cette étude est plutôt moyen. L'absence ou la faible présence de ce caractère, facilite les opérations post-récolte et limite les pertes pendant l'épluchage (Sanni, 1995). De même la texture lisse ou intermédiaire de l'épiderme et la minceur de l'épaisseur du cortex des tubercules de la majorité des

cultivars, allègent les travaux d'épluchage faits essentiellement par des femmes. Très peu de cultivars ont des pétioles rouges et des cortex des tubercules de couleur rose contrairement à ce qui a été observé en Côte d'Ivoire, où il en a été dénombré plus de 60 à 70% (N'Zue et al., 2014). Par contre, les tiges de tous les cultivars évalués, ont un mode de croissance droite, avec des cortex de couleur vert clair, des nœuds proéminents avec entre eux des écarts très courts. Ils ne présentent pas de velum et l'allure des racines est traçante. Cette position horizontale des racines est très appréciée en milieu paysan. Car les cultivars à racines plongeantes ou verticales sont difficiles à récolter et ne permettent pas souvent de disposer des racines entières (Sanni, 1995). Sur la base des variables qualitatives, les 59 cultivars ont été classés en 3 groupes. Ils ont été différenciés par la coloration de leurs feuilles et de leur nervure, de la nature de leur pédoncule racinaire, la forme des folioles centrales et des tubercules. L'existence des couples de cultivars présentant un nombre important de similarités entre eux, semble attester la présence des doublons. Les doublons ont été souvent mis en évidence par plusieurs auteurs dans de nombreuses collections à travers le monde, par exemple chez le manioc (Asare et al., 2011; N'Zue et al., 2014) et le niébé (Gbaguidi et al., 2015). En milieu paysan, un même cultivar peut avoir plusieurs noms ou un même nom peut être attribuer à des cultivars différents (Elias et al., 2001b). La détection et l'identification de ces doublons seront faites à l'aide des techniques de biologie moléculaires (RFLP, RAPD). Ces techniques ont été utilisées avec succès non seulement dans l'évaluation de la diversité génétique mais aussi dans la détection des doublons au sein des collections de manioc (Beeching et al., 1993 ; Marmey et al., 1994). L'analyse des caractères quantitatifs a révélé des écarts importants ainsi que des coefficients élevés de variation pour certains caractères, indiquant une forte hétérogénéité entre les cultivars étudiés. Des résultats similaires sur le manioc, ont été obtenus au Bénin par Agre et al. (2015b) où certaines moyennes des caractères quantitatifs sont identiques. Par contre, au Tchad, les plants sont de grande taille avec des tubercules plus courts. De même, les différences hautement significatives et les corrélations entre certains couples de caractères attestent de l'importance de cette variabilité. Sur la base des caractères quantitatifs, les six premiers axes avec 83,27% expliquent une variabilité globale plus importante que celle mise en évidence en RCA, avec 55% mais dont les contributions partielles ($CP \geq 18$) des caractères sont identiques. L'analyse du premier axe, révèle que les caractères quantitatifs pertinents pour évaluer cette variabilité sont similaires à ceux utilisés par Agre et al. (2015b) excepté la hauteur de la première ramification qui n'a pas fait l'objet de la présente étude. Cependant, la structuration entre les cultivars améliorés et locaux n'est pas très nette car leur différenciation n'est pas réellement visible comme l'ont

aussi rapporté Kosh-Komba et al. (2014). Les groupes II et III obtenus à partir des variables quantitatifs, présentent des traits intéressants et peuvent être intégrés dans un programme d'amélioration variétale. Ces cultivars sont caractérisés par leur forte productivité, des tubercules de taille moyenne ou grande ainsi que par l'importance de leurs lobes. En effet, de lignées parentales peuvent être constituées à partir de certains cultivars identifiés sur l'ensemble de la collection, à savoir Kebiang (KG0707), Tinodji_2 (DVL18), Madjiganem (GA1304), Pangassou (PG1314) et Tolmbadjé (BA1311). De même Mandarakako (DVL12), Tolmade (TL0101), Biyo (YO1313) du groupe 1 peuvent servir de lignées. Turyagyenda et al., (2012), ont rapporté que la diversité génétique et l'hétérozygotie observées au sein des cultivars locaux de manioc étaient légèrement supérieures aux cultivars élites. Sur 154 allèles révélés, 24% étaient uniques et seulement présentes dans les cultivars locaux. La différenciation régionale des cultivars correspond généralement aux besoins des populations. Les habitudes alimentaires en plus de l'importance des rendements en tubercules, les revenus que génère la culture du manioc, influencent les choix des cultivars. Toutefois, on note une différenciation régionale assez moyenne. Dans chaque région, les cultivars ont des caractéristiques spécifiques mais certains sont identiques à d'autres régions. La diversité des cultivars observée est liée aux expériences des communautés dans la culture du manioc. La Tandjilé est une zone traditionnelle de production du riz. La culture du manioc y est plus récente par conséquent, moins d'expériences dans la maîtrise des itinéraires techniques et dans le choix des cultivars. Contrairement au Moyen Chari et au Mandoul qui sont les points d'entrée du manioc au Tchad et le Logone Occidental qui abrite une station de recherche. Dans ces régions, on trouve les cultivars les plus productifs. De plus, dans le Moyen Chari et le Logone Occidental, sont sélectionnés des cultivars ayant beaucoup de tubercules par plant. C'est un trait intéressant pour la sélection car le taux d'héritabilité est de 29,03% chez le manioc (Mulualet et Dagne, 2014). Par contre des larges lobes ont été plutôt observés dans le Moyen Chari et le Mandoul. Les cultivars ont été nettement discriminés par rapport à leur région d'origine par le nombre de lobes par plant. D'après certains auteurs, les dimensions ou la forme de ces lobes varient en fonction des cultivars et du milieu (Graner, 1942 ; Nweke et al., 1994).

3.2.5. Conclusion partielle

L'étude révèle l'existence d'une importante variabilité au sein de la collection. Des traits agromorphologiques pertinents et trois classes de cultivars performants ont été identifiés. Des cultivars présentant de meilleures caractéristiques végétatives, des cultivars avec des tubercules courts et productifs mais avec moins de folioles et de lobes et enfin ceux ayant de

nombreux folioles, de lobes, de longs tubercules et très productifs. A l'échelle régionale, les cultivars ont des caractéristiques spécifiques mais certaines sont identiques. Le nombre de lobes par plant est le variable le plus pertinent dans la différenciation des cultivars d'origine régionale différente. La diversité variétale ainsi observée, témoigne du rôle déterminant des paysans dans le maintien et la conservation *in situ* de ce potentiel génétique. Pour sauvegarder et valoriser ces génotypes, ceux présentant des traits pertinents seront intégrés dans des programmes de sélection après des analyses moléculaires complémentaires.

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION MOLECULAIRE ET PHYSICOCHIMIQUE DES CULTIVARS DE MANIOC

4.1. DIVERSITE GENETIQUE DE LA SEQUENCE ITS1-5,8S-ITS2 DES CULTIVARS DE MANIOC

4.1.1. Introduction

Originaire du Brésil, le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) a été introduit à la fin du 16^{ème} siècle en Afrique sub-Saharienne où il est largement cultivé par les communautés rurales. Afin d'exploiter et valoriser les différents cultivars de manioc, plusieurs travaux de caractérisation ont été conduits à travers le monde. Au niveau agromorphologique, de nombreux caractères ont été ainsi mis en évidence mais qui sont cependant influencés par des facteurs environnementaux. Ce qui par conséquent, limite leur application dans des programmes de sélection variétale (Rimoldi et al., 2010 ; Asare et al., 2011 ; Rabbi et al., 2015). En effet, les génotypes de manioc répondent différemment aux divers facteurs édaphiques, climatiques et biotiques (Dixon et al., 1992). De plus, en milieu paysan, un même cultivar peut avoir plusieurs noms ou un même nom peut être attribué à des cultivars différents (Elias et al., 2001b ; Zacarias et al., 2004 ; Emperaire et Peroni, 2007). Ces pratiques paysannes sont à l'origine des confusions lors de l'identification des cultivars. Toutefois, ces contraintes ont été levées avec les analyses moléculaires qui ont permis de mieux appréhender les études de diversité génétique et d'identification des cultivars améliorés ou locaux au sein des collections. Car, la caractérisation des cultivars de manioc au sein d'une collection est plus détaillée et plus fiable, si les traits morphologiques et les performances agronomiques sont associés ou complétés par des analyses moléculaires (Rimoldi et al., 2010 ; Asare et al., 2011 ; Sreelekha et al., 2011). De plus, ces marqueurs moléculaires ne sont pas influencés par les effets environnementaux par rapport aux traits phénotypiques (Vieria et al., 2011). Dans la zone soudanienne du Tchad, les paysans maintiennent *in situ* de nombreux cultivars pour des raisons et des besoins spécifiques. Les travaux de caractérisation

agromorphologique ont révélé une importante variabilité phénotypique au sein de la collection. Toutefois, la séquence ITS1-5,8S-ITS2 de ces cultivars n'a jamais été évaluée afin de déterminer la variation et les relations génétiques entre eux. L'objectif de cette étude, est d'analyser la diversité génétique et les relations phylogénétiques entre les cultivars de manioc.

4.1.2. Matériel et méthodes

4.1.2.1. Matériel végétal

Ce matériel est constitué de 12 cultivars de manioc issus de la collection faite dans la zone soudanienne du Tchad. Ils ont été choisis sur la base des appréciations paysannes et selon l'importance de leur aire de répartition géographique (**Tableau XXIX**).

Tableau XXIX: Noms vernaculaires, origine et niveau de distribution des cultivars étudiés

Codes	Noms vernaculaires	Dist/étendue ⁽¹⁾	Origine ⁽²⁾
SB1366	Simon (épluchure blanche)	Large	Local
DVA2	Tessem	Large	IITA
BA0909	Kangaba	Large	RCA ⁽³⁾
GA1304	Madjiganem	Moyenne	Local
TI1377	Tinodji_2	Moyenne	Local
BA1311	Ngalibaka	Moyenne	Local
DVL2	Six mois Binda	Spécifique	Local
TL0101	Tolmade	Spécifique	Local
KA0303	Karanga	Spécifique	Local
DVL12	Mandrakako	Faible	RCA
DVL22	Binda Kasse (toxique)	Faible	Local
DVL3	Pangassou_1	Faible	RCA

⁽¹⁾Distribution et étendue des cultivars : Large (4 à 5 régions) ; Moyenne (2 à 3 régions) ; Spécifique (1 région) ; Faible (cultivars en voie de disparition).

⁽²⁾ : Ces origines ont été recueillies en milieu paysan pendant la phase de prospection et de collecte

⁽³⁾ : RCA : République Centrafricaine.

4.1.2.2. Extraction d'ADN

Cette extraction s'est faite à partir des feuilles fraîches selon le protocole MATAB (Mixed Alkyltriméthylammonium Bromure d'Ammonium) préchauffé à 65°C comme suggéré par Gawal et Jarret (1991). Les débris cellulaires et les protéines en solution ont été éliminés par addition au mélange, de la solution de chloroforme / isoamyle alcool 24:1 (CIAA). Pour dégrader les ARN, de la Rnase est additionnée à la suspension d'ADN, et mis en incubation à 37° C pendant une heure.

4.1.2.3. Quantification de l'ADN extrait

Dans chaque tube, 2 µl d'extrait d'ADN, 2 µl de bleu de bromophénol x6 et 6 µl d'eau ultra pure ont été mélangés et l'ensemble déposé dans les puits du gel. L'électrophorèse est réalisée sur un gel horizontal d'agarose à 0,8% additionné à 2,5 µl de bromure d'éthidium (BET) et immergé dans un tampon TBE x 1 [89 mM Tris (Sigma), 89 mM d'acide borique (Sigma), 2 mM EDTA, pH 8,3] à 100 volts pendant 30 mn. Les bandes d'ADN colorées au BET sont

visualisées aux UV à 320 nm puis photographiées à l'aide du logiciel BioCapt. L'extrait d'ADN est quantifié par une estimation visuelle en comparaison aux bandes d'un marqueur de poids moléculaire, le Smart Ladder de 200 à 10.000 pb.

4.1.2.4. Amplification par réaction de polymérisation en chaîne

Une réaction d'amplification par polymérisation en chaîne (Saiki et al., 1985) de la région des *ITS-1* et *ITS-2* séparés par la *5,8S ADNr* de l'ADN ribosomique des cultivars, a été effectuée en utilisant le couple d'amorces conçu par Sun et al. (1994) : AB101 fwd. (17SE) (5' ACG AAT TCA TGG TCC CGT GAA GTG TTC G 3') et AB102 rev. (26SE) (5' TAG AAT TCC CCG GTT CGC TCG CCG TTA C 3'), dans un volume réactionnel de 25 µl contenant 18,3 µl d'eau ultra pure ; 2,5 µl de tampon non coloré (10x) ; 1 µl de MgCl₂ supplémentaire (25 mM) ; 0,5 µl de dNTP (2,5 mM) ; 0,25 µl de chaque amorce (100 µM) ; 0,2 µl de Taq Polymérase (5U/µl) et 2 µl d'extrait d'ADN. Les réactions d'amplification ont été réalisées dans un thermocycleur dans les conditions suivantes : dénaturation initiale à 94°C pendant 3 mn, suivie de 35 cycles de dénaturation à 94°C pendant 1 mn, hybridation à 51°C pendant 1 mn et une élongation du brin d'ADN complémentaire à 72°C pendant 1 mn ; une élongation finale à 72°C pendant 10 mn. Le rendement et la spécificité de la PCR ainsi que la taille des fragments amplifiés ont été ensuite contrôlés en effectuant une électrophorèse sur gel d'agarose à 1,5% dans un tampon Tris Acétate EDTA (TAE 0,5x) et en présence de bromure d'éthidium. Un volume de 5 µl d'amplifiât est chargé dans chaque puits du gel avec 5 µl d'une solution de bleu de bromophénol. Un puits est consacré au marqueur de poids moléculaire (PM), le Smart Ladder qui a permis de vérifier la taille des amplifiâts. Après la migration (100 V pendant 30 mn), le gel est déposé sur une plaque transparente équipée d'une lampe UV et ensuite photographié. Afin de disposer d'une quantité suffisante d'ADN pour le séquençage, deux PCR de 25 µl ont été effectués pour chaque individu. Les amplifiâts ont ensuite été conservés au froid à -20°C dans des tubes eppendorf de 1,5 ml.

4.1.2.5. Séquençage de la région ITS-1-5,8S -ITS-2

Le séquençage de la totalité de la région *ITS-1*, *ITS-2* et *5,8S ADNr* de l'ADN ribosomique a été effectuée à l'aide d'un séquenceur de marque ABI 3730xl sequencer (Applied Biosystems) et selon la méthode de Sanger et al. (1977). Ce séquençage s'est basé sur une réaction de PCR particulière utilisant l'amplifiât d'ADN purifié comme matrice de départ, en plus des composés habituels (polymérase, amorces, dNTPs, Mg²⁺), et les didesoxynucléotides (ddNTPs). Les fragments de tailles différentes synthétisés sont ensuite séparés par électrophorèse sur gel d'acrylamide (des plus petits aux plus grands). La lecture du gel est

réalisée par le balayage automatique d'un laser qui permet de détecter les différents fluorochromes couplés aux 4 ddNTPs. L'électrophorégramme obtenu, après traitement informatique, a permis la lecture de la succession des bases de l'ADN séquencé.

4.1.2.6. Traitements et analyses des données

La correction et l'alignement des séquences nucléotidiques issues du séquençage ont été effectués avec le logiciel BioEdit ver.7.1.7 (Hall, 1999) qui utilise l'algorithme Clustal W (Thompson et al., 1994). Pour distinguer les séquences d'individus, ils ont été nommés selon le format : Initiale du site de collecte numéro du pied sélectionné. Dans toutes les analyses concernant les séquences nucléotidiques, les délétions ont été considérées comme un cinquième état de caractères (Felseintin, 1985 ; Sanderson, 1989). Les sites conservés (C) et les sites polymorphes (V) composés des sites singletons (S) et des sites informatifs en parcimonie (Pi) ont été calculés en utilisant le logiciel MEGA7 ver.7.0 (Kumar et al., 2016). La moyenne des différences nucléotidiques par paires (k) a été également estimée. Les fréquences nucléotidiques correspondant aux quatre nucléotides ont été calculées de même que les taux des substitutions entre les séquences (Tamura et al., 2011). Les diversités haplotypique (Hd) et nucléotidique (π) ont été estimées à l'aide du logiciel DnaSP ver. 5.10.01. (Rozas et al., 2010). La diversité haplotypique observée définit la probabilité que deux gènes tirés au hasard dans un échantillon soient différents (Nei, 1987). La diversité nucléotidique mesure la divergence nucléotidique moyenne entre toutes les paires de séquences (Tajima, 1983). Les différenciations génétiques F_{ST} et les distances génétiques intra et inter populations ont été calculées respectivement avec le logiciels DnaSP et MEGA 7 en utilisant le modèle Kimura 2-paramètre: K2P (Kimura, 1980). Afin de visualiser la répartition géographique de la diversité génétique au niveau de l'ADN ribosomique nucléaire, un réseau haplotypique a été construit avec le logiciel Network ver. 5.0.0.0 à travers la méthode Median-Joining (Bandelt et al., 1999). Des arbres phylogénétiques ont été réalisés au moyen de trois méthodes classiques de reconstruction phylogénétique, Neighbour-Joinings de Saitou et Nei (1987), Maximum de Parcimonie et Maximum de Vraisemblance à l'aide du logiciel MEGA 7. Ce même logiciel a permis de déterminer le meilleur modèle de substitution des données en inférence bayésienne à l'aide du critère d'information d'akaike (Akaike, 1973). L'inférence bayésienne a ensuite permis d'établir des relations phylogénétiques entre les cultivars grâce au logiciel MrBayes ver. 3.2.5 (Huelsenbeck et Ronquist, 2001). Le modèle Tamura 3-parameter a été appliqué pour les reconstructions et la robustesse des nœuds a été évaluée par la méthode (1000 répétitions) du bootstrap (Tamura et al., 2011). La distribution des probabilités postérieures dans la

reconstruction de l'arbre utilisant l'approche bayésienne a été estimée via la méthode MCMC, Markov Chain Monte Carlo (Brooks, 1998). L'hypothèse de neutralité des mutations pour les séquences de la région étudiée, a été estimée en utilisant les statistiques D de Tajima (Tajima, 1989), F_S de Fu (Fu, 1997) et de R2 de Ramos-Onsins et Rozas (Ramos-Onsins et Rozas, 2002) à l'aide du logiciel DnaSP. Ce même logiciel a permis de générer des courbes de « mismatch distribution » (Roger et Harpending, 1992) afin de tester si les populations sont à l'état stationnaire ou en expansion.

4.1.3. Résultats

4.1.3.1. Polymorphisme et diversité génétique

L'analyse du polymorphisme et de la diversité génétique des 12 cultivars séquencés ont une longueur de 542 paires de bases (pb). Les gènes ciblés dans cette étude, ont permis de remarquer 15 sites avec des gaps, 468 sites conservés (C) et 62 mutations survenues dans 59 sites polymorphes (V) dont 44 sites en singletons (S) et 15 sites informatifs en parcimonie (Pi) (**Tableau XXX**). Les fréquences nucléotidiques sont de 18,64% pour les Adénines (A), 14,01% pour les Thymines (T), 34,46% pour les Cytosines (C) et 32,89% pour les Guanines (G). Le contenu G+C est de 67,35% contre 32,65% pour celui d'A+T. Le taux de substitutions est en faveur des transversions qui sont de 67,46 contre 32,54 pour les transitions. La diversité génétique constitué de 9 haplotypes sur les 12 cultivars analysés, se caractérise par une diversité haplotypique de $h_{e-H}=0,954$ et une diversité nucléotidique de $\pi=0,026$ avec des différences par paires de nucléotides de $k=14,045$. Sur l'ensemble de la population globale, il existe 9 haplotypes constitués de 6 haplotypes individuels et de 3 haplotypes doubles (**Tableau XXXI**).

Tableau XXX : Polymorphisme de la région *ITS-1-5,8S-ITS-2* des 12 cultivars de manioc

Paramètres	Nombre de sites
Nombre total de séquences (N)	12
Nombre total de sites	542
Sites avec des gaps (G)	15
Sites conservés (C)	468
Nombre de mutations	62
Sites variables (V)	59
Sites singletons (S)	44
Sites Informatifs en parcimonie (Pi)	15
Nombre des haplotypes (H)	9
Diversité Nucléotidique (π)	0,026
Diversité Haplotypique (Hd)	0,954
Distance génétique moyenne	0,028

Tableau XXXI : Distribution des individus dans les haplotypes identifiés

Haplotypes (H)	Nombre d'Individus	Individus
H1	2	GA1304 et BA0909
H2	1	DVA2
H3	1	BA1311
H4	2	TL0101 et KA0303
H5	1	TI1377
H6	1	SB1366
H7	2	DVL22 et DVL3
H8	1	DVL12
H9	1	DVL2

4.1.3.2. Structure génétique des populations

Les différenciations génétiques (F_{ST}) ont été déterminées, de même les distances génétiques intra et inter populations ont été calculés. La différenciation génétique moyenne de la population est de $F_{ST}=0,314$ avec un nombre de migrants par génération de $Nm=0,55$ alors que la matrice montre que les distances génétiques varient entre 0,00 et 0,07 avec une moyenne de 0,028 (**Tableau XXXII**). Par ailleurs, le ratio global dN/dS a été estimé à 0,66.

Tableau XXXII: Matrice des distances génétiques inter-variétales de *Manihot esculenta*

	BA0909	BA1311	DVA2	DVL12	DVL22	DVL2	DVL3	GA1304	KA0303	SB1366	TI1377
BA0909											
BA1311	0,02										
DVA2	0,03	0,05									
DVL12	0,03	0,05	0,07								
DVL22	0,01	0,03	0,05	0,02							
DVL2	0,03	0,05	0,07	0,03	0,01						
DVL3	0,01	0,03	0,05	0,02	0,00	0,01					
GA1304	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01				
KA0303	0,02	0,03	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02			
SB1366	0,03	0,05	0,07	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03		
TI1377	0,02	0,04	0,06	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04	
TL0101	0,02	0,03	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01

4.1.3.3. Analyses phylogénétiques

Le réseau d'haplotypes obtenu à partir des séquences nucléotidiques montre 9 haplotypes et 6 vecteurs médians (**Figure 10**). Le premier présente un haplotype principal composé de 2 individus (DVL22 et DVL3) et 3 haplotypes dérivés individuels (DVL12, DVL2 et SB1366). Le second haplo-groupe possède un haplotype principal composé de 2 individus (GA1304 et BA0909) et 2 haplotypes dérivés individuels (DVA2 et BA1311) et le troisième est constitué d'haplotype majoritaire (TL0101 et KA0303) et d'un haplotype dérivé individuel (TI1377).

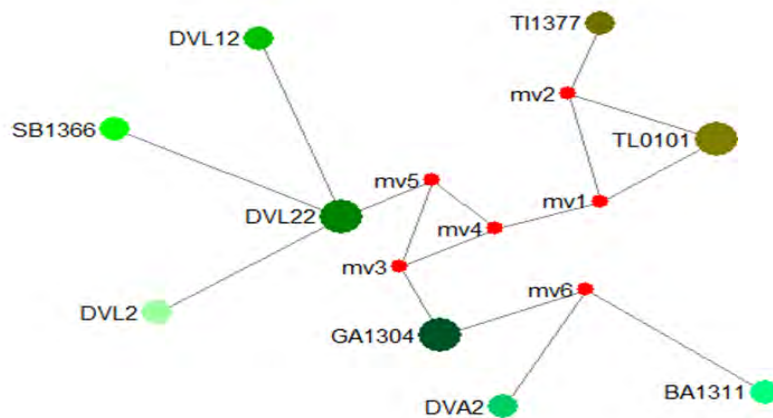


Figure 10: Réseau d'haplotypes montrant les relations évolutives entre différents haplotypes

Les arbres phylogénétiques établis selon la méthode de Neighbor-Joinings (**Figure 11**), Maximum de Parcimonie (**Figure 12**) et Maximum de Vraisemblance (**Figure 13**) ont donné deux regroupements d'individus composés respectivement de 4 et 5 cultivars. Le premier regroupement est composé des cultivars BA1311, DVA2, BA0909 et GA1304. Le second est constitué des cultivars DVL12, SB1366, DVL22, DVL2 et DVL3. Par contre trois regroupements bien distincts ont été observés sur l'arbre phylogénétique issu de la méthode de l'inférence Bayésienne (**Figure 14**).

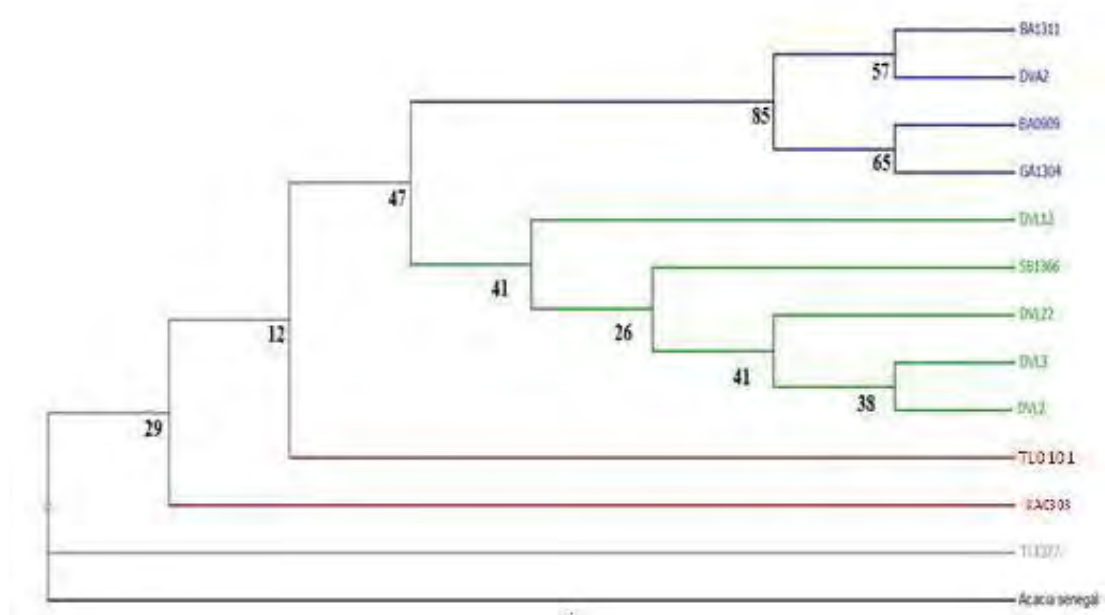


Figure 11: Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode du Neighbor-Joining

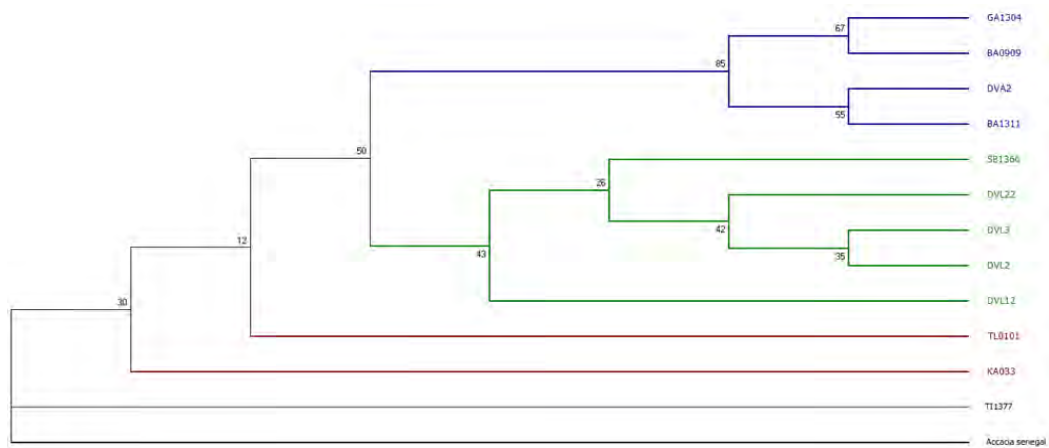


Figure 12 : Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode du Maximum de Parcimonie

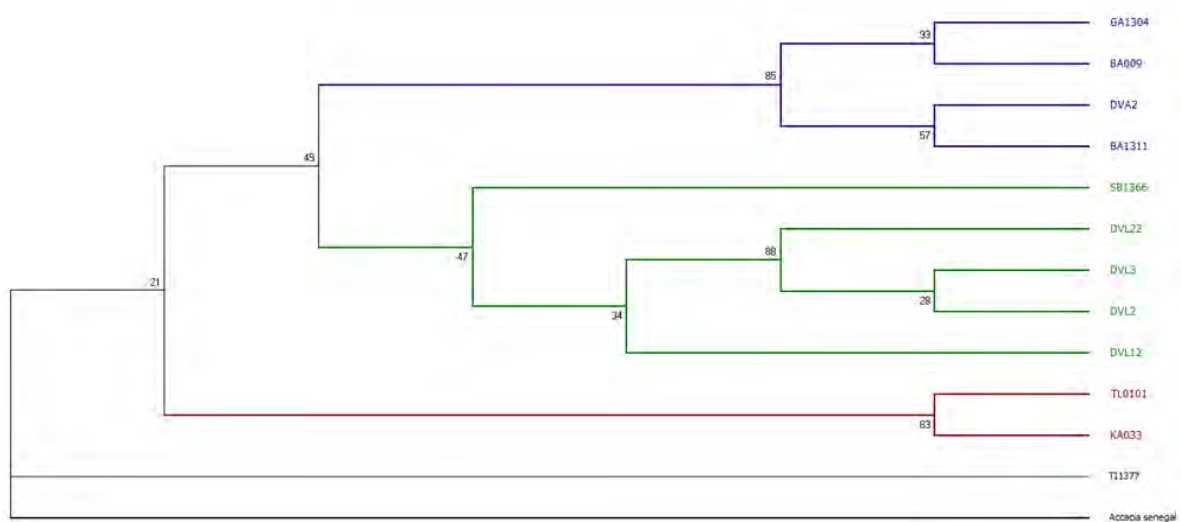


Figure 13 : Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode du Maximum de Vraisemblance

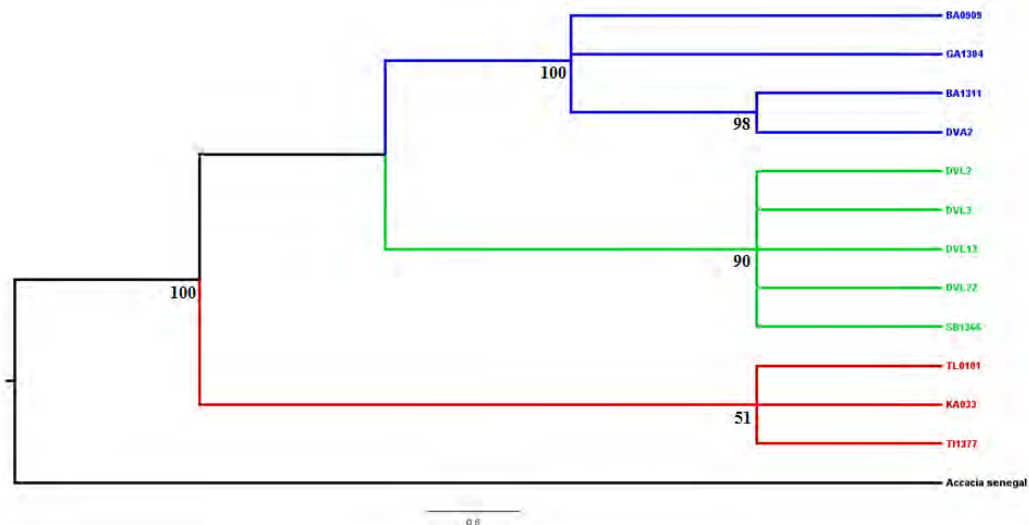


Figure 14: Relations phylogénétiques entre cultivars de manioc par la méthode de l'inférence Bayésienne

4.1.3.4. Structure démographique des populations

Les valeurs des tests des indices démogénétiques de la population globale étudiées sont résumées dans le **Tableau XXXIII**. Toutes les probabilités obtenues ne sont pas significatives. L'indice D de Tajima est négatif. La distribution du nombre observé des différences entre haplotypes par paires simulées ne s'ajustent pas à celles observées. Cette distribution est également de type multimodal (**Figure 15**).

Tableau XXXIII : Indices des tests démogénétiques de la population globale

Indices	Population globale
D de Tajima	-1,29611 ($P > 0,10$)
Fs de Fu	0,38853 ($P = 0,519$)
R2	0,15060 ($P = 0,523$)
Raggedness (r)	0,05566 ($P = 0,613$)

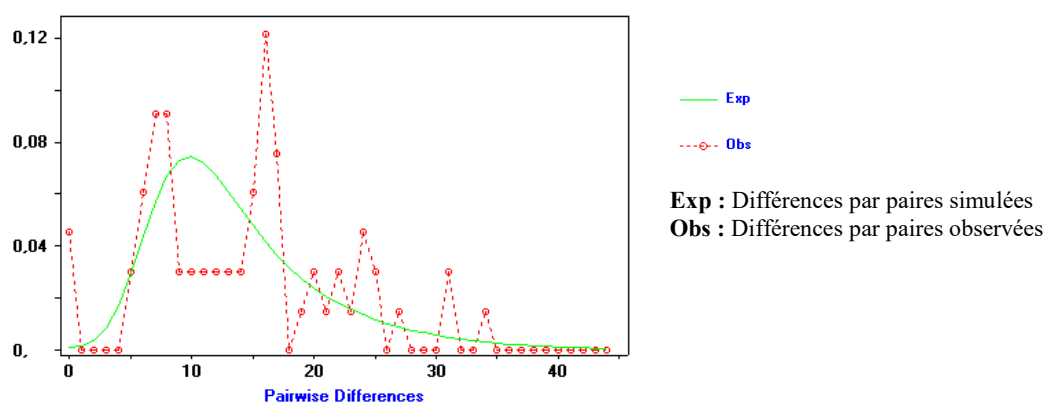


Figure 15 : Distributions des différences par paire d'haplotypes (mismatch distribution).

4.1.4. Discussion

4.1.4.1. Polymorphisme et diversité génétique

Dans cette étude, la longueur des séquences nucléotidiques des cultivars de manioc mises en évidence, sont similaires à celles rapportées par (Murphy et al., 2003) chez *Acacia* subgenus *Phyllodineae* mais aussi par Baldwin et al. (1995) qui a montré qu'elle varie entre 500–700 bp chez les angiospermes. Toutefois la longueur de ces séquences est faible par rapport à celle des gymnospermes qui varie de 1500–3700 bp (Maggini et al., 2000). L'analyse de la séquence nucléotidique a révélé l'existence de 59 sites polymorphes ce qui apparaît faible comparé aux 110 sites observées chez les Mimosoideae et 187 chez plusieurs espèces de la famille des Graminées (Kim et al., 2014). Par contre, avec 10,89% des sites polymorphes observés dans la présente étude, ce pourcentage est plus élevé que celui observé dans le cas du

polymorphisme de l'ADN chloroplastique chez le genre *Lathyrus* de la famille des Fabaceae qui est plus conservatrice (Marghali et al., 2014). Les cultivars analysés, sont caractérisés par une grande diversité haplotypique et une faible diversité nucléotidique (Grant et Bowen, 1998) avec un nombre moyen de différences par paires de nucléotides. Les proportions des guanines et cytosines sont pratiquement le double de celles des adénines et des thymines. Elles sont légèrement supérieures à celle observées dans les génomes des Graminées (Kim et al., 2014) mais nettement inférieures à celles d'*Acacia* subgenus *Phyllodineae* (Murphy et al., 2003). Concernant les substitutions, l'analyse révèle qu'au niveau de la région étudiée, leur taux est en faveur des transitions et non des transversions. Par contre, des études similaires conduites sur des formes sauvages de l'orge et de blé, ont montré que la séquence du 5.8S rDNA, est conservée chez ces deux espèces qui n'ont présenté que trois substitutions dont deux transitions et une transversion (Sharma et al., 2002).

4.1.4.2. Structure génétique

L'analyse de la matrice de distance des 12 cultivars montre un léger isolement du cultivar DVA2 dont la distance génétique est la plus élevée par rapport aux autres. Cette observation confirme le fait que c'est un cultivar amélioré provenant de l'IITA qui a été introduit par la recherche. Les distances génétiques entre les couples de cultivars suivants : GA1304 et BA0909, TL0101 et KA0303, DVL22 et DVL3, sont pratiquement nulles. Ces résultats ont été confirmés par le nombre d'haplotypes révélé par l'analyse des séquences nucléotidiques. Le niveau de différenciation entre les cultivars analysés, est faible de même que le nombre de migrants par génération. Le ratio global dN/dS étant également faible ce qui suggère une sélection principalement purificatrice.

4.1.4.3. Analyses phylogénétiques

Le réseau d'haplotypes obtenu à partir des séquences nucléotidiques ne présente pas une structure particulière. Le nombre total des haplotypes obtenu est similaire à celui rapporté par Sekmani et al. (2014) dans l'analyse du gène 5,8S ADNr de deux espèces fourragères. La grande diversité haplotypique observée chez les cultivars étudiés, confirme l'intérêt de la région inter génique composée de deux espaceurs ITS1 et ITS2 ainsi que le gène 5.8S de l'ADN ribosomal. En effet, cette région présente un niveau élevé de divergence interspécifique de plus en plus utilisée dans des études de diversité génétique et phylogénétique (Hřibová et al., 2011). Trois haplo-groupes liés entre eux par des vecteurs médians ont été aussi identifiés dans ce réseau d'haplotypes. Ces liens et vecteurs médians constituent respectivement le nombre de pas mutationnels et la barrière du flux génétique qui séparent les différents nœuds. Les reconstructions par Neighbor-Joinings, maximum de

parcimonie et maximum de vraisemblance ont abouti à des typologies essentiellement similaires, seules les branches à l'intérieur de chaque regroupement varient selon la méthode (algorithme) utilisée. Pour les trois reconstructions phylogénétiques, deux regroupements d'individus dont seule une lignée évolutive sont supportées par de fortes valeurs de bootstrap de 85%. Comparée aux trois précédentes méthodes utilisées qui ont permis de déterminer un clade solide et un autre non-résolutif avec une forte valeur de bootstrap inférieure à 70%, les relations phylogénétiques établies avec l'approche bayésienne ont révélé l'existence de deux clades solidement soutenus avec des valeurs de bootstrap de 90 et 100%. En effet, selon Hillis et Bull (1993), en général, un branchement soutenu supérieur ou égal à 90% des réplifications est considéré comme très significatif et un soutien supérieur ou égal à 70% est considéré comme robuste.

4.1.4.4. Structure démographique des populations

Les indices démogénétiques de la population globale de manioc étudiée ont donné des valeurs non significatives. Ces valeurs suggèrent que la population de manioc est caractérisée par une stabilité démographique ou une expansion démographique modérée. Cette tendance d'une population en équilibre démographique est confirmée par l'analyse démographique de la méthode de « mismatch distributions », qui montre que la distribution du nombre observé de différences entre haplotypes pris deux à deux est multimodale. Les valeurs observées ne s'ajustent pas à celles attendues sous le modèle simulé en accord avec l'hypothèse d'un événement d'expansion de la population.

4.1.5. Conclusion partielle

Cette étude de la diversité génétique basée sur les séquences de la région intergénique ITS1-5,8S-ITS2 rDNA de 12 cultivars de manioc, a révélé une grande diversité haplotypique mais une faible diversité nucléotidique. L'analyse de la matrice de distance a montré un léger isolement du cultivar Tessem par rapport aux autres cultivars. Des relations phylogénétiques ont été observées entre certains cultivars. L'approche bayésienne a révélé deux clades solidement soutenus. Le premier clade est composé de quatre (4) cultivars (Tessem, Ngalibaka, Madjiganem et Kangaba). Le second est constitué en plus des trois (3) cultivars menacés de disparition (Mandrakako, Binda Kasse et Pangassou), de deux (2) autres (Simon à épiluchure blanche et Six mois Binda). Les cultivars étudiés sont aussi caractérisés par une stabilité démographique ou une expansion démographique modérée.

4.2. EVALUATION PHYSICOCHIMIQUE ET BIOCHIMIQUE DES CULTIVARS DE MANIOC

4.2.1. Introduction

Le manioc joue un rôle primordial dans l'alimentation des populations urbaines et rurales des régions tropicales d'Afrique subsaharienne et d'Amérique Latine. Cette importance se traduit par la grande diversité des préparations culinaires faites à partir des feuilles et des tubercules. De nombreux plats dérivés du manioc avec des appellations très variées, ont ainsi été signalés dans plusieurs pays (Mpondo et Nkoudou, 1995 ; Kawano, 2003 ; Kouassi et al., 2010 ; McKey et al., 2012 ; Babasanya et al., 2013 ; Agre et al., 2015b) et également au Tchad (Mbaïlao et Mbayhoudel, 1995 ; Nadjiam et al., 2014). Pour la préparation de ces mets, les cultivars sont souvent choisis selon leurs aptitudes et leurs caractéristiques physico-chimiques. Chaque cultivar est traditionnellement associé à une manière particulière de le préparer (Champagne, 2010). En outre, ces procédés de transformation technologique et culinaire des tubercules et des feuilles apportent une plus-value aux paysans. En effet, les tubercules à l'état frais sont très périssables et ne se conservent pas au-delà de 3 jours (Beeching et al., 1998 ; Doue et al., 2014). Comparée aux grandes cultures, le manioc a la plus courte durée de vie au stade post récolte (Ghosh et al., 1988). Sur le plan de la valeur nutritionnelle, les feuilles et les tubercules de manioc ont des compositions physicochimiques et biochimiques très variées. En Amazonie, les tubercules représentent jusqu'à 80 % de l'apport calorique journalier. C'est le deuxième aliment de base et l'une des principales sources d'énergie en Afrique sub-Saharienne (Dixon et al., 2002) et la moins coûteuse (Nyerhovwo, 2004). La partie comestible du manioc représente 80% du poids sec total de la plante alors que dans les graines des céréales, elle n'est que de 35% (Nassar et Ortiz, 2010). Les tubercules sont riches en carbohydrates mais très pauvres en protéines (Latham, 1979). Les feuilles sont plus riches en protéines, en minéraux et en vitamines dont les teneurs baissent au cours des transformations (Achidi et al., 2003; Montagnac et al., 2009). La variation des paramètres physicochimiques et biochimiques est aussi liée aux différents types de cultivars. Chaves et al. (2005) ont montré l'existence d'une variation importante dans la qualité nutritionnelle des tubercules de manioc. Les populations d'Amazonie possèdent des cultivars de manioc à haute teneur en sucres libres (Carvalho et al., 1998 ; Alves, 2000). D'après Afoakwa et al. (2011), ces types de cultivars sont appropriés pour la fermentation, et pour la production industrielle d'éthanol et d'acides organiques. Des variations génétiques considérables dans les propriétés physicochimiques de l'amidon des génotypes exotiques et

traditionnels de manioc ont été rapportées par Nuwamanya et al. (2009). Quant à Fasuyi et Aleto (2005), la composition physicochimique et biochimique des feuilles et tubercules, varient non seulement en fonction des cultivars mais aussi en fonction de l'âge des plantes, de leur localisation géographique, des pratiques culturales et des conditions climatiques. Pour l'étude de tous ces paramètres, certains auteurs se sont basés uniquement sur des cultivars améliorés (Koua et al., 2012 ; Doue et al., 2014), d'autres ont travaillé sur des cultivars locaux (Koko et al., 2014 ; Mehounou et al., 2016). Par contre, Afoakwa et al. (2011), ont fait plutôt une étude comparative des caractéristiques des amidons et des sucres de ces deux types de cultivars. Le manioc contient aussi des substances cyanogéniques comme la linamarine et lotaustraline (Nartey, 1968) qui sont à la base de la différenciation des maniocs doux et amers (Empereur et al., 2003). La liaison entre le goût et la toxicité n'est pas toujours respectée car tous les maniocs amers sont toxiques mais certains maniocs doux le sont aussi comme l'a rapporté Lefèvre (1998). En effet, il est établi que même le manioc doux contient des glucosides cyanogéniques qui libèrent sous l'action enzymatique, de l'acide cyanhydrique (Coursey, 1973). De nombreux travaux antérieurs conduits sur plusieurs génotypes, ont montré des variations de concentration en acides cyanhydriques dans les tubercules (Cardoso et al., 2005 ; Mégnanou et al., 2009 ; Kouassi et al., 2010). Cette teneur est très variable aussi bien parmi les cultivars qu'à travers les localités (Burns et al., 2012). Et elle dépend non seulement du cultivar, mais aussi des pratiques culturales, de l'âge de la plante (McMahon et al., 1995) et des conditions environnementales (de Bruijn, 1973 ; Bokanga et al., 1994 ; McMahon et al., 1995). Au Tchad, les cultivars amers sont les plus répandus et leur identification est peu fiable. En milieu rural, la classification en manioc doux ou amer se fait en goûtant les tubercules. Les maniocs doux ne subissent pas souvent de transformations technologiques avant leur consommation, contrairement aux maniocs amers. Et même dans ce dernier cas, les procédés de transformation ne permettent pas de s'assurer de l'élimination ou de la baisse significative du niveau de l'acide cyanhydrique résiduel. Concernant les feuilles, elles sont consommées après blanchiment et parfois séchage sous forme de légumes. Par rapport aux tubercules, la farine obtenue à partir des cossettes est la principale forme la plus utilisée dans les plats cuisinés. Malgré l'existence d'un certain nombre de cultivars en milieu paysan (Nadjiam et al., 2014), leurs valeurs nutritionnelles ne sont pas connues ni exploitées. La présente étude se propose d'analyser les constituants physicochimiques et biochimiques des feuilles et des tubercules séchés des cultivars de manioc afin d'identifier les meilleures caractéristiques à valoriser dans des domaines d'applications diverses.

4.2.2. Matériel et Méthodes

4.2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de neuf (9) cultivars provenant de la prospection et de la collection qui ont été faites dans la zone soudanienne du Tchad. Ces cultivars ont été choisis selon le niveau de leur importance et de leur aire de répartition géographique (**Tableau XXXIV**).

Tableau XXXIV : Distribution et étendue, origine et goût des cultivars de manioc

Codes	Noms vernaculaires	Dist/étendue ⁽¹⁾	Origine ⁽²⁾
SB1366	Simon (épluchure blanche)	Large	Local
DVA2	Tessem	Large	IITA
BA0909	Kangaba	Large	RCA ⁽³⁾
DVL2	Six mois binda	Spécifique	Local
TL0101	Tolmade	Spécifique	Local
KA0303	Karanga	Spécifique	Local
DVL12	Mandrakako	Faible	RCA ⁽³⁾
DVL22	Binda Kasse (toxique)	Faible	Local
DVL3	Pangassou 1	Faible	RCA ⁽³⁾

⁽¹⁾Distribution et étendue des cultivars : Large (4 à 5 régions) ; Spécifique (1 région) ; Faible (cultivars en voie de disparition). ⁽²⁾ : Origines déterminées pendant la phase de collecte ; ⁽³⁾ : RCA : République Centrafricaine.

4.2.2.2. Préparation des échantillons

Les neuf (9) cultivars de manioc ont été implantés à la station agronomique de Bebedjia de l'ITRAD. A 12 mois après plantation, les tubercules et les premières feuilles apicales pleines ont été récoltés. Les feuilles ont été étalées et séchées à l'ombre et à l'air libre. Les tubercules frais ont été lavés puis pelés manuellement avec un couteau en inox. Ils ont ensuite été râpés à l'aide d'une râpeuse mécanique mise au point par l'IITA. Les chips obtenues ont été étalées et mises à sécher à l'air libre. Après le séchage, les échantillons des tubercules et des feuilles ont été emballés et étiquetés.

4.2.2.3. Analyses physicochimiques et biochimiques

Les teneurs des différents constituants au niveau des feuilles et des tubercules, ont été déterminés par les méthodes classiques de dosages chimiques.

La teneur en eau de chaque échantillon, a été obtenue par la méthode de la dessiccation à 105°C à l'étuve pendant 2 heures. Cette teneur en eau (Humidité) exprimée en pourcentage a été calculée à l'aide de la formule suivante : Humidité (%) = $100 * (M_0 - M_1) / PE$ avec :

- M_0 : masse en grammes de la prise d'essai + tare avant séchage
- M_1 : masse en grammes de la prise d'essai + tare après séchage
- PE : prise d'essai

La matière sèche (MS) a été déterminée de la manière suivante : $MS(\%) = 100 - \text{Teneur en eau}$.

Le dosage des protéines a été déterminé par la méthode de Kjeldahl et selon la norme AFNOR NFV0 3-707. Les échantillons sont minéralisés par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur sous forme de pastille. Les produits de la réaction sont ensuite soumis à une alcalinisation suivie d'une distillation à l'aide d'un appareil de type Kjeldahl. Enfin l'ammoniac libéré est récupéré dans une solution d'acide borique et titrée en retour par une solution d'acide sulfurique. La teneur en protéine est obtenue à partir de celle de l'azote multipliée par un facteur de conversion : $\text{Protéines (\%)} = [V1 \times 1,4 \times C1 \times 5,7] / PE$ avec V1 : volume de titration ; C1 : concentration ; PE = prise d'essai 1g.

Pour la détermination de la teneur en fibres totaux, les échantillons ont été minéralisés par l'acide sulfurique et la soude suivie d'une filtration et incinération du résidu à 400 °C dans un four à moufle. Le résidu inorganique obtenu équivaut à la teneur en cendres. Les résultats sont exprimés en pourcentage de cellulose brute.

Les sucres totaux ont été déterminés selon la méthode de Luff-Schoorl. Ces sucres désignent l'ensemble des glucides libres ou combinés oxydés à chaud par la solution de Luff-Schoorl après hydrolyse acide avec l'acide chlorhydrique pendant trois minutes d'ébullition. L'amidon a été déterminé par les méthodes classiques de dosage chimiques.

Les cendres ont été obtenues après avoir calciné l'échantillon à analyser dans un four à moufles à 525 °C ± 25 °C et ensuite mises en solution acide pour les dosages des éléments minéraux (Ca, P, Mg, Zn, Fe, K, Cu) à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique (SAA). Le potassium a été déterminé par la méthode référencée NF EN 15505 tandis que la référence NF EN 14084 a été utilisée pour l'analyse des autres minéraux.

Les substances cyanogéniques ont été évaluées par la méthode mise au point par Williams et Edwards (1980). Cette méthode permet d'estimer les cyanides par le picrate de sodium en présence du toluène. Cette évaluation a été faite sur les premières feuilles apicales pleines et fraîches et sur des tubercules frais.

4.2.2.4. Analyses statistiques

Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT-Pro version 2013.5.01. Les caractéristiques physicochimiques et biochimiques ont été soumises à des analyses descriptives et des variances. Les moyennes, les écarts types et les coefficients de variation ont été déterminés. Pour les analyses des variances (ANOVA), des tests de Duncan au seuil de 5% ont été effectués. La structuration de la diversité des cultivars a été faite par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

4.2.3. Résultats

4.2.3.1. Analyses descriptives des caractéristiques physicochimiques et biochimiques

L'analyse des farines des tubercules, révèle des teneurs en humidité faible variant de 4,73% à 6,44%. Les variations des teneurs en cendres, glucides, fibres et amidon entre les cultivars, sont également faibles. Par contre, des écarts importants sont observés entre les cultivars pour les teneurs en calcium, fer, magnésium, phosphore et potassium. Les plus élevés sont ceux compris entre 77,15 ppm et 606,37 ppm avec une moyenne de 205,26 ppm pour le fer, et 1533,39 mg/100 g à 3065,35 mg/100g pour le potassium (**Tableau XXXV**).

Tableau XXXV : Analyses descriptives des constituants chimiques des tubercules secs

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV (%)
Humidité (%)	4,73	6,44	5,41	0,44	8
Matière sèche (%)	93,56	95,27	94,59	0,44	0,46
Cendres (g/100g)	4,22	8,44	5,85	1,18	19,77
Glucides totaux (g/100g)	53,20	58,48	55,64	1,43	2,51
Fibres (g/100g)	1,70	1,96	1,84	0,07	3,52
Amidon (g/100g)	28,90	31,10	29,96	0,55	1,8
Ca (mg/100g)	143,1	342	238,6	54,46	22,4
Fer (ppm)	77,15	606,37	205,26	157,66	75,38
Mg (mg/100g)	83,85	165,22	122,39	30,58	24,52
P (mg/100g)	146,92	361,25	238,89	73,33	30,12
K (mg/100g)	1533,39	3065,35	2088,29	485,59	22,82
Zn (mg/100g)	0,73	0,84	0,77	0,03	3,47
Mn (mg/100g)	0,78	0,90	0,83	0,04	4,38

D'importantes variations de teneurs en constituants minéraux ont été mises en évidence au niveau des feuilles des cultivars étudiés (**Tableau XXXVI**). Les coefficients de variation sont compris entre 14,57% et 54,18%. Les écarts observés entre les valeurs minimales et maximales sont très élevés pour le calcium, potassium et cuivre.

Tableau XXXVI: Analyses descriptives des constituants chimiques des feuilles séchées

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV (%)
Protéines (%)	17,56	31,15	25,41	4,14	15,99
Fer (ppm)	279,14	542,71	364,48	75,05	20,20
Mg (mg/100g)	287,78	488,78	346,49	55,69	15,77
Ca (mg/100g)	870,40	2110	1360,60	431,27	31,10
P (mg/100g)	300,64	473,23	405,66	60,25	14,57
K (mg/100g)	763,92	1870,2	1350,56	372,73	27,08
Cu (mg/Kg)	0,0015	0,1475	0,072	0,04	54,18

4.2.3.2. Analyse des variances des constituants physicochimiques et biochimiques

Des différences hautement significatives ont été observées pour 4 des caractères biochimiques analysés sur les tubercules séchés (**Tableau XXXVII**). Ces caractères permettent de distinguer au minimum 3 groupes de cultivars. La teneur en eau et matière sèche ne sont pas significatives au seuil de 5% selon le test de Duncan. Le cultivar DVA2 présente le plus faible taux de cendres (4,23 g/100g) de tous les cultivars étudiés. Par contre, DVL2 a la teneur la plus élevée en cendres (8,32 g/100g) mais la plus faible en glucides (53,63 g/100g). Les cultivars DVL3 et BA0909 ne présentent pas de différences significatives par rapport à leurs teneurs en glucides. C'est aussi le cas de DVL12 et KA0303. Les teneurs les plus faibles en amidon (28,93g/100g) et en fibres (1,74 g/100g) ont été observées au niveau de DVL12.

Tableau XXXVII : Analyses des variances des constituants biochimiques des tubercules secs

Cultivar	Humidité (%)	MS* (%)	Cendres (g/100g)	Glucides (g/100g)	Fibres (g/100g)	Amidon (g/100g)
SB1366	5,32	94,68	6,32 e	54,55 b	1,89 c	31,05 f
DVA2	5,01	94,99	4,23 a	57,88 d	1,91 c	29,83 c
BA0909	5,86	94,14	5,62 d	55,21 bcd	1,83 b	30,13 d
DVL2	5,46	94,54	8,32 f	53,63 a	1,82 b	30,20 de
TL0101	5,03	94,97	6,50 e	55,45 cd	1,90 c	29,89 c
KA0303	5,13	94,87	5,25 c	55,89 e	1,81 b	29,71 b
DVL12	5,50	94,5	4,54 b	57,99 e	1,74 a	28,93 a
DVL22	5,86	94,14	6,38 e	55,05 bc	1,79 b	29,65 b
DVL3	5,50	94,5	5,46 d	55,16 bcd	1,92 c	30,27 e
p-value	0,095	0,095	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

*MS : Matière Sèche ; Les moyennes affectées des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan au seuil de 0,05.

Par ailleurs, des différences hautement significatives ont été observées pour tous les éléments minéraux (**Tableau XXXVIII**). La teneur en zinc a permis d'identifier seulement deux regroupements de cultivars contrairement aux autres constituants où l'on compte au minimum six groupes. Les cultivars SB1366 et DVL12 ont sur le plan statistique, les mêmes teneurs en calcium. Des teneurs élevées en calcium (340,95 mg/100g), magnésium (165,22 mg/100g), potassium (3064,09 mg/100g) et manganèse (0,87 mg/100g) ont été mises en évidence chez le cultivar DVL2. Au contraire de DVA2 où les teneurs en magnésium (83,89 mg/100g), potassium (1534,50 mg/100g) et zinc (0,76 mg/100g) sont les plus faibles. De même, pour DVL12, des teneurs faibles en phosphore (147,34 mg/100g) et zinc (0,77 mg/100g) ont été obtenues. Il n'y a pas de différences significatives par rapport aux teneurs en zinc et en manganèse entre les cultivars DVL22 et DVL3.

Tableau XXXVIII: Analyses des variances des constituants minéraux des tubercules séchés

Cultivar	Ca (mg/100g)	Fer (ppm)	Mg (mg/100g)	P (mg/100g)	K (mg/100g)	Zn (mg/100g)	Mn (mg/100g)
SB1366	273,08 g	88,7 b	142,45 f	253,27 f	2514,46 h	0,80 b	0,78 a
DVA2	207,38 c	606,28 h	83,89 a	182,05 c	1534,50 a	0,76 a	0,84 c
BA0909	250,08 f	77,23 a	110,44 e	260,18 g	1888,48 e	0,75 a	0,85 c
DVL2	340,95 h	174,98 f	165,22 i	346,27 h	3064,09 i	0,77 a	0,87 d
TL0101	233,75 d	132,61 c	144,66 g	244,71 e	2279,17 f	0,77 a	0,80 b
KA0303	145,21 a	160,73 e	88,04 b	192,29 d	1542,05 b	0,82 b	0,89 e
DVL12	273,35 g	161,8 e	95,84 c	147,34 a	1866,81 d	0,77 a	0,81 b
DVL22	184,24 b	138,96 d	107,96 d	360,78 i	2349,69 g	0,75 a	0,80 b
DVL3	239,36 e	306,09 g	163,02 h	163,18 b	1755,36 c	0,75 a	0,81 b
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Les moyennes affectées des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan au seuil de 0,05.

L'analyse des variances des constituants physicochimiques des feuilles séchées a révélé des différences hautement significatives (**Tableau XXXIX**). Les teneurs sont très variées selon les cultivars. De faibles taux de protéines, phosphore, potassium, cuivre ont été observés chez DVA2. Les cultivars SB1366 et TL0101 ont des teneurs en protéines statistiquement identiques. DVL22 a les teneurs les plus élevées en phosphore. Les cultivars DVL2, TL0101 et DVL12 ont des teneurs similaires en magnésium. Les teneurs les plus discriminantes sont le fer, calcium, potassium et cuivre. Les teneurs en calcium varient de 870,58 mg/100g chez DVL12 à 2108,41 mg/100g pour le cultivar SB1366.

Tableau XXXIX: Composition chimique des feuilles séchées des 9 cultivars de manioc

Cultivar	Protéines (%)	Fer (ppm)	Mg (mg/100g)	Ca (mg/100g)	P (mg/100g)	K (mg/100g)	Cu (mg/kg)
SB1366	28,73 f	364,48 f	478,64 g	2108,41 i	414,29 d	1369,16 e	0,0465 b
DVA2	17,66 a	279,67 a	383,41 f	2065,44 h	302,92 a	764,21 a	0,0015 a
BA0909	19,98 b	352,42 e	344,49 d	1254,43 f	334,59 b	1059,12 c	0,0600 e
DVL2	27,19 e	345,48 d	309,50 b	1019,23 b	431,84 e	1019,48 b	0,0501 c
TL0101	28,64 f	409,17 h	310,52 b	1169,96 d	471,87 g	1378,18 f	0,0583 d
KA0303	24,65 d	330,77 c	363,42 e	1514,19 g	343,80 c	1155,58 d	0,1472 i
DVL12	27,19 e	542,61 i	309,58 b	870,58 a	429,78 e	1866,86 i	0,0945 g
DVL22	23,97 c	369,88 g	330,81 c	1038,55 c	451,52 f	1826,05 h	0,0931 f
DVL3	30,74 g	285,85 b	288,07 a	1204,65 e	470,36 g	1716,41 g	0,0998 h
p-value	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Les moyennes affectées des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan au seuil de 0,05.

4.2.3.3. Variation des teneurs en acides cyanhydriques

Ces teneurs en acides cyanhydriques sont variables selon les cultivars (**Tableau XL**). Elles sont comprises entre 10 ppm à plus de 150 ppm dans les tubercules frais. SB1366, TL0101, DVL12 et DVL3 ont les concentrations en acides cyanhydriques les plus élevées. Par contre BA0909, DVL2, KA0303 et DVL22 ont des concentrations moyennes variant entre 25 et 40 ppm. DVA2 est le cultivar le moins toxique. Au niveau des feuilles, les concentrations minimales en acides cyanhydriques se situent entre 40 et 60 ppm pour une moyenne comprise entre 85 et 115 ppm. Excepté le cultivar BA0909, les teneurs en acides cyanhydriques dans les feuilles séchées sont élevées et varient de 85 à plus de 150 ppm.

Tableau XL : Concentrations en acides cyanhydriques des feuilles et tubercules frais

	Tubercules frais	Feuilles fraîches
Cultivar	HCN* (ppm)	HCN (ppm)
SB1366	115-150	115-150
DVA2	10-15	115-150
BA0909	25-40	40-60
DVL2	25-40	> 150
TL0101	85-115	85-115
KA0303	25-40	85-115
DVL12	> 150	115-150
DVL22	25-40	> 150
DVL3	85-115	85-115

*HCN : Acide cyanhydrique.

4.2.3.4. Structuration de la variabilité des cultivars à partir des caractéristiques physicochimiques des feuilles

Sept (7) caractéristiques physicochimiques ont permis d'effectuer l'analyse en composantes principales (ACP) des cultivars. Les trois premiers axes expliquent 83,09% de la variabilité globale. Six des caractéristiques analysées, présentent des contributions significatives aux différents axes. Les teneurs en phosphore et potassium sont fortement représentées au niveau du premier axe factoriel. Le Calcium contribue à la fois aux axes 1 et 2. Les teneurs en protéines et en magnésium contribuent au second axe. Le fer est fortement représenté sur le troisième axe factoriel (**Tableau XLI**).

Tableau XLI : Valeurs propres et contributions des caractéristiques physicochimiques des cultivars aux axes factoriels

Axes factoriels	F1	F2	F3
Valeur propre	3,765	1,206	0,845
Variabilité (%)	53,791	17,222	12,072
% cumulé	53,791	71,013	83,085
Protéines	14,024	25,460	8,936
Ca	18,246	21,888	0,114
Fer	9,155	0,045	72,693
Mg	11,070	37,186	8,162
P	18,923	9,576	5,790
K	19,282	5,096	2,924
Cu	9,300	0,749	1,380

En gras : les contributions significatives des variables aux axes factoriels

Les résultats issus de l'analyse par la classification ascendante hiérarchique (CAH) à partir de 6 caractéristiques physicochimiques pertinents ont permis d'identifier 4 groupes de cultivars. Le premier groupe est constitué de SB1366. Le cultivar DVA2 est dans le quatrième groupe. DVL12, DVL3 et DVL22 ont été identifiés dans le deuxième groupe. KA0303, TL0101, BA0909 et DVL2 font partie du troisième groupe. Des différences significatives sont observées pour le calcium, magnésium et potassium. Par contre, aucune différence significative n'a été observée pour les protéines et les teneurs en fer et phosphore (**Tableau XLII**).

Tableau XLII : Variation des constituants chimiques des feuilles des groupes issus de CAH

Gpe	Protéines (%)	Ca (mg/100g)	Fer (ppm)	Mg (mg/100g)	P (mg/100g)	K (mg/100g)
1	28,7±3,6	2108,4±192,2b	364,4±86,9	478,6±24,6b	414,3±53,6	1369,2±133,8b
2	27,3±2,1	1037,9±111,0a	399,4±50,2	309,5±14,2a	450,6±30,9	1803,1±77,2c
3	25,1±1,8	1239,5±96,1a	359,5±43,5	331,9±12,3a	395,5±26,8	1153,1±66,9b
4	17,7±3,6	2065,4±192,2b	279,7±86,9	383,4±24,6a	302,9±53,6	764,2±133,8a

Les moyennes affectées des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan au seuil de 0,05.

4.2.3.5. Structuration de la variabilité des cultivars à partir des caractéristiques physicochimiques des tubercules

L'analyse en composantes principales des tubercules séchés des cultivars a été effectuée à l'aide de 11 éléments minéraux. Des contributions significatives ont été observées sur les trois axes factoriels pour toutes les teneurs étudiées excepté le calcium. L'examen du biplot (**Figure 16**) a mis en évidence les relations entre les cultivars et les constituants minéraux. DVL3 est très associé aux fibres. La teneur en amidon est fortement associée à SB1366

comme le fer au DVA2 et le manganèse au KA0303. Par contre DVL12 est relativement lié au manganèse. Le cultivar DVL22 est très lié au phosphore. Cette liaison est moindre entre BA0909 et le phosphore. DVL2 est fortement associé au potassium, aux teneurs en cendres mais moyennement au phosphore. Quant à TL0101, il n'est que relativement associé au magnésium. La classification des cultivars issus de la CAH à base de 7 constituants physicochimiques ont permis de répartir les cultivars en 3 groupes. Le groupe 1 est composé de SB1366, KA0303, DVA2, TL0101, BA0909 et DVL2. Les cultivars DVL12 et DVL3 font partie du groupe 2. DVL22 est l'unique cultivar du groupe 3. Excepté pour la teneur en phosphore, des différences significatives n'ont pas été observées entre les différents groupes de cultivars (**Tableau XLIII**).

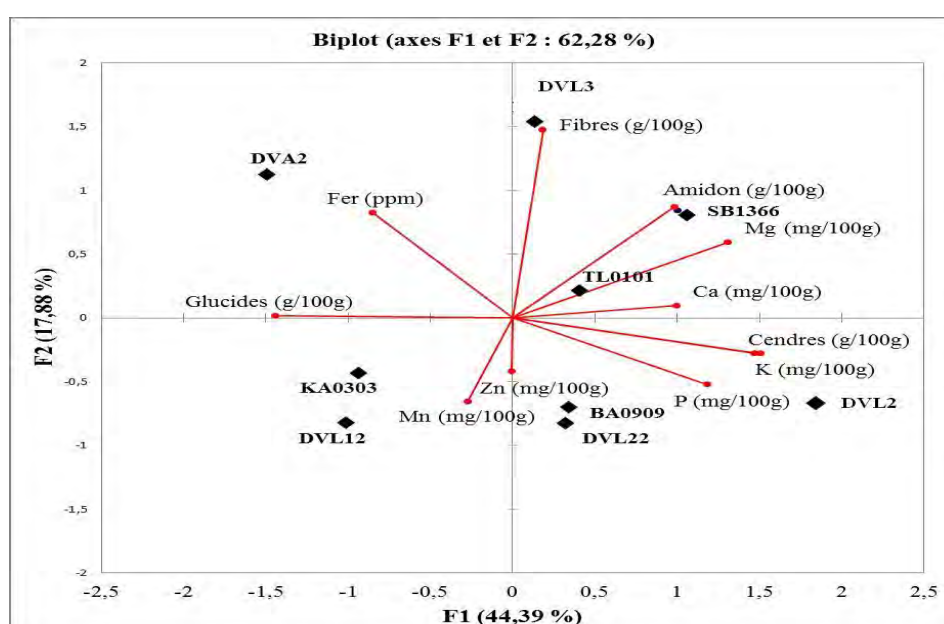


Figure 16 : Biplot des relations entre cultivars et constituants chimiques des tubercules.
Ca : Calcium ; P : Phosphore ; K : Potassium ; Zn : Zinc ; Mn : Manganèse ; Mg : Magnésium.

Tableau XLIII: Caractéristiques chimiques des tubercules des groupes issus de la CAH

*Gpe	Cendres (g/100g)	Mg (mg/100g)	P (mg/100g)	K (mg/100g)	Zn (mg/100g)	Glucides (g/100g)	Fibres (g/100g)
G1	6,0±0,5	122,5±14,7	246,5±21,9 ab	2137,1±224,1	0,78±0,01	55,4±0,6	1,86±0,03
G2	5,0±0,9	129,4±25,5	155,3±38,1 a	1811,1±388,1	0,76±0,02	56,6±1,1	1,83±0,05
G3	6,4±1,3	107,9±36,0	360,8±53,9 b	2349,7±548,8	0,75±0,03	55,1±1,6	1,79±0,07

* Gpe : Groupe. Les moyennes affectées des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Duncan au seuil de 0,05.

4.2.4. Discussion

Une importante variabilité des constituants physicochimiques et biochimiques a été mise en évidence au niveau des feuilles et des tubercules séchés de manioc. Les différences significatives observées entre les cultivars témoignent de leur richesse en éléments nutritifs.

Dans des études similaires, Chaves et al. (2005) ont également montré l'existence d'une variation importante dans la qualité nutritionnelle des tubercules de manioc. Cette variation est aussi liée aux différents types de cultivars. L'étude révèle que les teneurs en humidité des tubercules des cultivars, sont très faibles (4,73% à 6,44%) et similaires aux teneurs en eau des farines de certains cultivars de manioc de la côte d'ivoire (4,21 à 5,85 %) signalées par Koua et al. (2012). Toutefois, elles sont nettement inférieures aux normes recommandées par le codex qui est de 13% (Codex Alimentarius, 1991). De plus, leur poids sec est très élevé (93,56 à 95,27%) témoignant de la bonne qualité des farines des cultivars analysés. Les teneurs en amidon varient de 28,90 g/100g à 31,10 g/100g (en moyenne 29,96 g/100g). Ces valeurs sont proches des résultats de Afoakwa et al. (2011) qui varient de 15,39 à 31,07 g/100g mais nettement inférieures aux teneurs comprises entre 75,36 et 77,70 g/100g rapportées par Koko et al. (2014). Ces résultats sont similaires à ceux de Nuwamanya et al. (2009) qui ont signalé qu'il y a d'importantes variations génétiques dans les propriétés physicochimiques de l'amidon aussi bien chez les génotypes de manioc exotiques que traditionnels. Les teneurs en cendres des cultivars analysés, sont comprises entre 4,22 à 8,44 g/100g et sont supérieures à celles de Koko et al. (2014) qui varient entre 2,29 et 2,67 g/100g. De même, les concentrations en sucres totaux sont plus élevées que celles signalées par certains auteurs (Afoakwa et al., 2011 ; Ladeira et al., 2013 ; Koko et al., 2014). Par contre, leurs teneurs en fibres sont très faibles comparées aux travaux de Gil et Buitrago (2002). L'analyse des tubercules de ces cultivars révèle qu'ils sont constitués d'éléments minéraux variés. Les valeurs moyennes en potassium sont nettement supérieures à celles rapportées par Richardson (2013). Par rapport aux résultats de Chavez et al. (2005), les teneurs en calcium, phosphore, magnésium et potassium sont inférieures. Par contre, les concentrations moyennes en zinc des tubercules de certains cultivars sont similaires à ceux étudiés par Burns et al. (2012). Trois cultivars présentent au moins deux constituants minéraux dont les concentrations sont importantes. SB1366 est riche en potassium et en zinc. De fortes teneurs en zinc et manganèse ont été observées chez le cultivar KA0303. Le cultivar DVL2 contient le plus grand nombre de constituants, le calcium, magnésium, phosphore et potassium avec de fortes concentrations. Des travaux similaires conduits par Baah et al. (2009) sur des tubercules de *Dioscorea alata* ont montré que les teneurs en cendres et glucides totaux sur la base des poids secs sont faibles par rapport aux tubercules de manioc évalués dans la présente étude. Par contre les teneurs en amidon et fibres sont plus élevées. Le phosphore, calcium, magnésium, potassium et manganèse sont plus élevés dans les tubercules alors que la teneur en zinc est faible. Il ressort de l'analyse des feuilles des 9 cultivars que les teneurs en calcium

et cuivre sont faibles mais le phosphore et le potassium sont élevés comparés aux résultats des travaux de Cerada et al. (2001). Environ 55,56% des cultivars présentent des teneurs élevées en protéines. Toutefois, ces teneurs sont inférieures aux teneurs minimales de 32% signalées par Nassar et Ortiz (2010). Les cultivars BA0909 et DVA2 ont des teneurs plus faibles en dessous des valeurs comprises entre 23,90 et 34,70% obtenues par Nhu Phuc et al. (2000) sur des feuilles fraîches. L'analyse des variances des caractéristiques physicochimiques des feuilles ont montré que plusieurs cultivars sont riches en certains constituants. Les cultivars TL0101 et DVL12 présentent des teneurs élevées en fer et en protéines. Toutefois TL0101 est riche en phosphore alors que DVL12 a une teneur importante en potassium. Les teneurs en magnésium, calcium et protéines sont élevées chez SB1366. Des teneurs élevées en protéines, phosphore, potassium et cuivre ont été observées chez DVL3. L'analyse comparative des teneurs en fer, a montré que dans les tubercules, ces teneurs sont inférieures à celles observées dans les feuilles. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Burns et al. (2012). Par rapport aux concentrations en acides cyanhydriques dans les feuilles et les tubercules frais des cultivars, l'étude a révélé qu'elles sont supérieures à 10 ppm, valeur recommandée par la FAO et l'OMS (1989). Cependant, les teneurs en acides cyanhydriques dans les tubercules sont nettement inférieures à celles des feuilles. Ces teneurs varient en fonction des cultivars. La différenciation des manioc doux et amers dépend de la teneur de leurs tubercules en glucosides cyanogéniques (Charrier et Lefèvre, 1988 ; Empereire et al., 2003). L'analyse de ces teneurs dans les tubercules a montré que les cultivars SB1366, TL0101, DVL12 et DVL3 ont des concentrations élevées en acides cyanhydriques. Les cultivars DVA2, BA0909, DVL2, KA0303 et DVL22 qui sont classés comme doux par les paysans, ont excepté le DVA2, des concentrations variant entre 25 et 40 ppm dans les tubercules. De plus, elles sont supérieures aux normes du Codex Alimentarius. En effet, pour des raisons de sécurité sanitaire, les systèmes des nations unies à travers la FAO et l'OMS, ont mis en place des normes standards de la farine de manioc destinée à la consommation humaine (FAO/OMS, 1989; Codex Alimentarius 1991). Par conséquent, la consommation de ces cultivars sous forme fraîche ou non présentent des risques de toxicité. Ces teneurs sont également similaires aux travaux de Diallo et al. (2014), qui ont montré que dans les tubercules, les teneurs en acides cyanhydriques sont importantes ($>49 \text{ mg HCN} \cdot \text{kg}^{-1}$). Les pratiques paysannes de classification de manioc en type doux ou amer est proche de celle suggérée par certains auteurs (Bolhuis et al., 1954 ; Empereire et al., 2003). Selon ces auteurs, sont considérés comme doux, les cultivars ayant moins de 100 ppm de HCN dans les tubercules frais et amers pour des concentrations supérieures à 100 ppm. Quatre groupes de

cultivars ont été identifiés à partir des caractéristiques physicochimiques des feuilles. Le premier groupe contient un seul cultivar, SB1366, très riche en calcium, magnésium et des teneurs moyennes en potassium. Les groupes 2 et 3 sont caractérisés par des cultivars dont les teneurs en calcium et magnésium sont faibles. Toutefois, les cultivars du groupe 2, ont les teneurs en potassium les plus élevées. Le cultivar unique du groupe 4, le DVA2 se caractérise par des teneurs élevées en calcium mais de faibles concentrations en magnésium et potassium. Aucune différence significative n'a été observée entre ces groupes par rapport à leurs teneurs en protéines, fer et phosphore qui sont pourtant importantes. Quant à l'analyse de la variabilité des cultivars à partir des caractéristiques physicochimiques des tubercules, celle-ci a révélé qu'il n'y a pas de différences significatives entre les cultivars pour les teneurs en cendres, magnésium, zinc, glucides et fibres. Toutefois, les cultivars du groupe 1 sont caractérisés par des teneurs intermédiaires en phosphore. Par contre, ces teneurs sont faibles pour le groupe 2 alors que dans le groupe 3, ces teneurs sont très élevées. De manière spécifique, les teneurs en magnésium des groupes sont dans la tranche des valeurs rapportées par Chavez et al. (2005). Cependant, le phosphore des cultivars du groupe 3, est supérieur à celui rapporté par Chavez et al. (2005).

4.2.5. Conclusion partielle

L'étude révèle une importante variabilité des caractéristiques physicochimiques et biochimiques des feuilles et des tubercules. Quatre groupes de cultivars ont été obtenus à partir des caractéristiques physicochimiques des feuilles. Des cultivars riches en calcium et magnésium, des cultivars pauvres en calcium et magnésium, des cultivars riches en potassium et ceux caractérisés par des teneurs élevées en calcium mais de faibles concentrations en magnésium et potassium. Par rapport aux tubercules, le phosphore est le paramètre le plus discriminant qui a permis de classer les cultivars en 3 groupes. Les cultivars SB1366, KA0303, DVA2, TL0101, BA0909 et DVL2 sont caractérisés par des teneurs intermédiaires. DVL12 et DVL3 ont de faibles concentrations contrairement au DVL22 dont les teneurs en phosphore sont les plus élevées de tous les cultivars. En outre, des cultivars riches en amidon, sucres totaux et cendres ont été également identifiés. De fortes teneurs en acides cyanhydriques ont été observées tant au niveau des feuilles que des tubercules frais. Seul le cultivar DVA2 est moins toxique.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

L'étude a révélé des pratiques très variées de gestion de la diversité. En effet, 75 noms locaux ont été inventoriés et 59 cultivars ont été collectés. La diversité nommée et variétale sont significatives. L'attribution des noms aux cultivars est basée sur les origines, le cycle, le goût et les différentes parties de la plante ainsi que sur des faits socioculturels. Les paysans identifient les cultivars à partir des feuilles et tiges. Les critères prioritaires de sélection sont la productivité, le goût et la grosseur des tubercules. Ces stratégies paysannes de maintien des cultivars qui sont basées sur la conservation *in situ*, ont un impact positif sur cette diversité.

L'évaluation des caractères morphologiques et des performances agronomiques des cultivars a révélé l'existence d'une importante variabilité au sein de la collection confirmant le rôle primordial des paysans dans la conservation de ce matériel génétique. Des lignées parentales peuvent ainsi être constituées à partir des cultivars performants suivants : KG0707, DVL18, GA1304, PG1314, DVL12, TL0101, YO1313 et BA1311. Au niveau moléculaire, l'étude de la région intergénique ITS1-5,8S-ITS2 rDNA a révélé une grande diversité haplotypique et une faible diversité nucléotidique. De même des reconstructions phylogénétiques ont permis d'appréhender plus en détail les liens ancestraux entre les cultivars qui sont caractérisés par une stabilité démographique ou une expansion démographique modérée. L'évaluation physicochimique et biochimique des feuilles a permis d'identifier des groupes de cultivars avec des teneurs significatives en calcium, magnésium et potassium. Par rapport aux tubercules, des cultivars riches en amidon, sucres totaux et cendres ont été identifiés. Pour les teneurs en acides cyanhydriques, seul le cultivar DVA2 est moins toxique. Tous ces constituants peuvent être utilisés dans des domaines industriels variés.

En définitive, l'étude a permis de contribuer à une meilleure connaissance des pratiques et des ressources phytogénétiques du manioc. Les informations obtenues permettront une meilleure exploitation et valorisation de ces cultivars dans le programme national d'amélioration variétale tout en limitant leur érosion génétique.

Perspectives

Cette étude permettra de valoriser les savoir-faire paysans de gestion de la diversité des cultivars. De même, les génotypes et les traits pertinents seront conservés et intégrés dans le programme national de sélection du manioc. La région ITS1-5,8S-ITS2 rDNA est appropriée et peut être utilisée dans l'étude de la diversité génétique du germoplasme entier.

Aux termes de ce travail, des pistes de recherche suivantes sont à envisager :

- Les teneurs en amidons obtenues peuvent faire l'objet d'étude afin de déterminer ceux dont les propriétés physicochimiques et fonctionnelles seront applicables dans les domaines agroalimentaire, pharmaceutique ou textile. Par exemple, le pouvoir de gonflement, de solubilité, la viscosité ainsi que la détermination des teneurs en amylose et la taille des grains des amidons ;
- Pour une exploitation rationnelle de ce germoplasme, il serait souhaitable d'étendre les analyses moléculaires et physicochimiques à toute la collection puis de les coupler aux données agromorphologiques obtenues dans la présente étude ;
- La création d'un «core collection» permettra de gérer efficacement cette diversité.

Par ailleurs, l'amélioration des ressources phytogénétiques en manioc sera également possible grâce à l'encadrement des paysans dans l'usage de la reproduction sexuée. La combinaison du système de propagation par voie végétative et sexuée a un impact sur l'amélioration et le maintien de la diversité. Cette initiative devrait faire partie du programme national de recherche et de vulgarisation pour l'amélioration de la production du manioc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abdou R., Malice M., Bakasso Y., Saadou M., Baudoin J.P., 2014.** Taxonomie locale et analyse des critères des paysans pour caractériser les différents écotypes d'oignons (*Allium cepa* L.) du Niger. *Cahiers Agricultures*, 23 (3): 166-176. DOI: 10.1684/agr.2014.0700.
2. **Achidi A.U., 2003.** Nutritional evaluation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves and effect of processing on the nutrient composition and utilization. Ph. D. Thesis, University of Ibadan, Nigeria.
3. **Achidi A.U., Ajayi O.A., Maziya-Dixon B., Bokanga M., 2008.** The effect of processing on the nutrient content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32:486-502.
4. **Acquah W.E., Quain D.M., Twumasi P., 2011.** Genetic relationships between some released and elite Ghanaian cassava cultivars based on distance matrices. *African Journal of Biotechnology*, 10 (6):913-921. DOI: 10.5897/AJB10.1113.
5. **Adeyemo O.S., 2009.** Molecular genetic Characterization of photoperiodic genes in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and attempts to manipulate their expression to promote floral induction. Th. Ibadan, Nigeria, 133 p.
6. **Afoakwa E.O., Budu A.S., Asiedu C., Chiwona-Karlton L., Nyirenda D.B., 2011.** Application of multivariate techniques for characterizing composition of starches and sugars in six high yielding CMD resistant cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 1:111. DOI:10.4172/2155-9600.1000111.
7. **Afrique agriculture, 2014.** Magazine d'information sur l'agriculture, l'élevage, la pêche et la forêt en Afrique. *Bimestriel*, N°398-janvier-février.
8. **Agre A.P., Kouchade S., Odjo T., Dansi M., Nzobadila B., Assogba P., Dansi A., Akoegninou A. et Sanni A., 2015a.** Diversité et évaluation participative des cultivars du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au Centre Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (1): 388-408.
9. **Agre A.P., Dansi A., Rabbi I.Y., Battachargee R., Dansi M., Melaku G., Augusto B., Sanni A., Akouegninou A., Akpagana K., 2015b.** Agromorphological characterization of elite cassava Cultivars Collected in Benin. *International Journal of Current Research Biosciences and Plant Biology*, 2 (2): 1-14.
10. **Agre A.P., Badara G., Adjatin A., Dansi A., Bathacharjee R., Rabbi I.Y., Dansi M., Gedil M., 2016.** Folk taxonomy and traditional management of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) diversity in southern and central Benin. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 20 (2): 500-515.
11. **Akaike H., 1973.** Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In : Petrov B.N., Csáki F., eds., *2nd International Symposium on Information Theory*, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, 1971, Budapest, Akadémiai Kiadó: 267-281.

- 12. Allem A.C., 1985.** Collection of *Manihot* species in Brazil: Third technical report. IBPGR/CENARGEN Program, Brasilia.
- 13. Allem A.C., 1994.** The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). *Genetics Resources and Crop Evolution*, 41:133-150.
- 14. Allem A.C., Hahn S.K., 1991.** Cassava germplasm strategies for Africa. Crop genetic resources of Africa. Proceedings of an international symposium, Ibadan, 17-20 October 1988, 2: 127-149.
- 15. Allem A.C., 2002.** The origins and taxonomy of cassava. In Cassava: Biology, Production and Utilization, Hillocks R.J., Thresh J.M., Bellotti A.C., eds, *CAB International*, 1-16.
- 16. Alvarez I., Wendel J.F., 2003.** Ribosomal ITS sequences and plant phylogenetic inference. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 29: 417-434. DOI: 10.1016/S1055-7903(03)00208-2.
- 17. Alves J., 2000.** Pesquisa revela: mandioca pode ter até 600 derivados. *Genebio, Embrapa*, 2 (5): 5 p.
- 18. Arditi C., 1992.** Paysans Sara et éleveurs arabes dans le sud du Tchad : du conflit à la cohabitation. In *l'homme et l'animal dans le bassin du Lac Tchad*, Baroin C., Boutrais J., Paris, IRD, 555-573.
- 19. Asare P.A., Galyuon I. K.A., Sarfo J.K., Tetteh J.P., 2011.** Morphological and molecular based diversity studies of some cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm in Ghana. *African Journal of Biotechnology*, 10 (63):13900-13908.
- 20. Baah F.D., Maziya-Dixon B., Asiedu R., Oduro I., Ellis W.O., 2009.** Nutritional and biochemical composition of *D. alata* (*Dioscorea* spp.) tubers. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7 (2): 373-378.
- 21. Babasanya B., Oladele O.G., Odidi O.O., Ganiyu L., Apene E., Etim J., Olafemi S.O., Sirajo A., 2013.** Farmers' perception and knowledge need for adoption of new cultivars of cassava in Igabi Local Government Area (LGA), Kaduna State. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3 (2): 45-53.
- 22. Baco M.N., Ahanchédé A., Bello S., Dansi A., Vodouhè R., Biao G., Lescure J.P., 2008.** Evaluation des pratiques de gestion de la diversité du niébé (*Vigna unguiculata*) : une tentative méthodologique expérimentée au Bénin. *Cahiers Agricultures*, 17 (2):183-188. DOI:10.1684/agr.2008.0169.
- 23. Baco M.N., 2014.** Les pratiques de gestion de la diversité variétale de l'igname au Bénin. *Agridape*, 30 (1) p.3.
- 24. Bakayoko S., Kouadio K.K.H., Soro D., Tschannen A., Nindjin C., Dao D., Girardin O., 2012.** Rendements en tubercules frais et teneurs en matière sèche de soixante-dix nouvelles variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 14 (2):1961-1977.

- 25. Baldwin B.G., Sanderson M.J., Porter J.M., Wojciechowski M.F., Campbell C.S., Donoghue M.J., 1995.** The ITS region of nuclear ribosomal DNA: A valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 82:247-277.
- 26. Bandelt H.J., Forster P., Röhl A., 1999.** Median-Joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 16 (1):37-48.
- 27. Barro/Kondombo C.P., 2010.** Diversité agromorphologique et génétique de variétés locales de sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) au Burkina Faso. Eléments pour la valorisation des ressources génétiques locales. Th., Université Ouagadougou, 112 p.
- 28. Beeching J.R., Marmey P., Gavalda M.C., Noirot M., Hayson H.R., Hughes M.A., Charrier, 1993.** An assessment of genetic diversity within a collection of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm using molecular markers. *Annals of Botany*, 72 (6): 515-520.
- 29. Beeching J.R., Yuanhuai H., Gomez-Vazquez R., Day R.C., Cooper R.M., 1998.** Wound and defence responses in cassava as related to post-harvest physiological deterioration. In: *Recent Advances in Phytochemistry*, Romeo J.T., Downum K.R., Verpoorte R., eds. Phytochemical Signals in Plant-Microbe Interactions, Plenum Press, London, 32: 231-248.
- 30. Benesi I.R.M., Labuschagne M.T., Dixon A.G.O., Mahungu N.M., 2004.** Genotype X Environment interaction effects on native cassava starch quality and potential for starch use in the commercial sector. *African Crop Science Journal*, 12 (3): 205-216.
- 31. Beovides Y., Fregene M., Gutiérrez J.P., Milián M.D., Coto O., Buitrago H., Cruz J.A., Ruiz E., Basail M., Rayas A., Rodríguez D., Santos A., López J., Medero V., 2015.** Molecular diversity of Cuban cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars assessed by simple sequence repeats (SSR). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 19 (4): 364-377.
- 32. Bokanga M., Ekanayake I.J., Dixon A.G.O., Porto M.C.M., 1994.** Genotype environment interactions for cyanogenic potential in cassava. *Acta Horticulturae*, 375:131-139.
- 33. Bolhuis G.G., 1954.** The toxicity of cassava roots. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 2:176-185.
- 34. Boster J.S., 1984.** Inferring decision making from preferences and behavior: An analysis of Aguaruna Jivaro manioc selection. *Human Ecology*, 12 (4):343-359.
- 35. Boster J.S., 1985.** Selection for Perceptual Distinctiveness: Evidence from Aguaruna Cultivars of *Manihot esculenta*. *Economic Botany*, 39 (3):310-325.
- 36. Boukary H., Haougui A., Barage M., Adam T., Roumba A., Saadou M., 2012.** Evaluation agro-morphologique des variétés et/ou écotypes locaux d'oignon du Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (6): 3098-3106.

- 37. Bradbury E.J., Duputié A., Delêtre M., Roullier C., Narvaez-Trujillo A., Manu-Aduening J.A., Emshuiller E., McKey D., 2013.** Geographic differences in patterns of genetic differentiation among bitter and sweet manioc (*Manihot esculenta* subsp. *esculenta*; Euphorbiaceae). *American Journal of Botany*, 100 (5): 857-866.
- 38. Brooks S.P., 1998.** Markov Chain Monte Carlo Method and Its Application. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)*. 47 (1): 69-100.
- 39. Brush S.B., 1995.** In situ conservation of landraces in centers of crop diversity. *Crop Science*, 35:346-354.
- 40. Buijtenhuis R., 1995.** La situation dans le sud du Tchad. *Afrique contemporaine*, 175:21-30.
- 41. Burns A., Gleadow R., Cliff J., Zacarias A., Cavagnaro T., 2010.** Cassava: The drought, war and famine crop in a changing world. *Sustainability*, 2: 3572-3607.
- 42. Burns A.E., Gleadow R.M., Zacarias A.M., Cuambe C.E., Miller R.E., Cavagnaro T.R., 2012.** Variations in the chemical composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves and roots as affected by genotypic and environmental variation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 4946-4956. dx.doi.org/10.1021/jf2047288.
- 43. Caillon S., Degeorges V., Lanouguère-Bruneau P., Lebot V., Quero-García J., 2005.** Les taros du Vanuatu : que conserver et comment? *Natures Sciences Sociétés*, EDP Sciences, ed., 13:306-310.
- 44. Camin J.H., Sokal R.R., 1965.** A method for deducing branching sequences in phylogeny. *Evolution*, 19: 311-326.
- 45. Cardoso A.P., Mirione E., Ernesto M., Massaza F., Cliff J., Haque M.R., Bradbury J.H., 2005.** Processing of cassava roots to remove cyanogens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18:451-460.
- 46. Carter S.E., Fresco L.O., Jones P.G., Fairbairn J.N., 1992.** An atlas of cassava in Africa: Historical, agroecological and demographic aspects of crop distribution, Cali, 1 p.
- 47. Carvalho, L.J.C.B., Campos G.B., Schaal B.A. 1998.** Starchless clone of cassava. *Rev. Brasileira de Mandioca*, 17 (supl.): p.61.
- 48. Cereda, M.P., 2001.** “Manejo, Usos e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca”. *Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas*, Vol.4, São Paulo: Fundação Cargill. Available online at:<http://www.abam.com.br/livroscargil/volume4.htm>.
- 49. Champagne A., 2010.** Diversité chimique et biofortification des plantes à racines et tubercules tropicales cultivées:Caractérisation des parents et élaboration de protocoles permettant l’optimisation de la sélection.Th.Université Jean Monnet, Saint Etienne, 181p.
- 50. Chantereau J., Deu M., Pham J.L., Kapran I., Vigouroux Y., Bezançon G., 2010.** Evolution des diversités phénotypique et génétique des sorghos et mils cultivés au Niger de 1976 à 2003. *Le Sélectionneur Français*, 61:33-45.

- 51. Charrier A., Lefèvre F., 1988.** La diversité génétique du manioc : son origine, son évaluation et son utilisation. In C. Fauquet, D. Fargette, eds. *La mosaïque africaine du manioc et son contrôle*, Paris, ORSTOM : 71-81.
- 52. Chávez A.L., Sánchez T., Jaramillo G., Bedoya J.M., Echeverry J., Bolaños E.A., Ceballos H., Iglesias C.A., 2005.** Variation of quality traits in cassava roots evaluated in landraces and improved clones. *Euphytica*, 143:125-133.
- 53. Chen M.X., Zhang L.Q., Wen C.G., Sun J., Gao Q., 2010.** Phylogenetic relationship of species in the genus *Aspidogaster* (Aspidogastrinae) in China as inferred from ITS rDNA sequences. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 34:312-6.
- 54. Chernela J.M., 1986.** Os cultivares de mandioca na área do Uaupês (Tukâno). In B.G. Ribeiro, ed. *Suma Etnológica Brasileira-Etnobiologia*, Petrópolis: Vozes/FINEP, 1:151-158.
- 55. Cock J.H., 1982.** Cassava: A basic energy source in the tropics. *Science*, 218: 755-752.
- 56. Cock J.H., 1985.** Cassava: new potential for a neglected crop. IADS-CIAT-GTZ Series, Westview Press, 191 p.
- 57. Codex Alimentarius, 1991.** Norme régionale africaine pour la farine comestible de manioc. CODEX STAN 176-1991.
- 58. Cours G., Fritz J., 1961.** Le manioc in Bulletin de Madagascar. Publication mensuelle du service général de l'information. Présidence du gouvernement, 11^{ème} Année, 178: 203-224.
- 59. Coursey D.G., 1973.** Cassava as food: toxicity and Technology in chronic cassava Toxities: proceedings of cassava and interdisciplinary workshop, London, 29-30 January, IDRC: 27-36.
- 60. Dansi A., Zoundjihékpou J., Mignouna H.D., Quin F.M., 1997.** Collecte des ignames cultivées du complexe *Dioscorea cayenensis-rotundata* au Bénin. *Plant Genetics Resources Newsletter*, 112:81-85.
- 61. Dansi A., Adoukonou-Sagbadja H., Voduhe R., 2010.** Diversity, conservation and related wild species of Fonio millet (*Digitaria* spp.) in the northwest of Benin. *Genetics Resources and Crop Evolution*, 57:827-839.
- 62. da Silva L.I., Filho P.S.V., da Costa T.R., Moiana L.D., Gonçalves-Vidigal M.C., 2015.** Molecular characterization of traditional sweet cassava accessions from the periurban region, Toledo, Western Parana, Southern Brazil. *Journal of Biosciences*, 4 (1) : 268-1278.
- 63. Darlu P., Tassy P., 1993.** La reconstruction phylogénétique. http://sfs.snv.jussieu.fr/pdf/Darly_Tassy_online.pdf
- 64. de Bruijn G. H., 1973.** The cyanogenic character of cassava (*Manihot esculenta*). In: Nestel B., MacIntyre R., eds. *Chronic Cassava Toxicity*, Monograph IDRC-010, International Development Research Centre (Ottawa), London, U.K, 162 p.

- 65. Delêtre M., 2010.** The ins and outs of manioc diversity in Gabon, Central Africa. A pluridisciplinary approach to the dynamics of genetic diversity of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae).Th. Botany Department School of Natural Sciences, University of Dublin, Trinity College, 364 p.
- 66. Diallo Y., Gueye M.T., Ndiaye C., Sakho M., Kane A., Barthelemy J.P., Lognay G., 2014.** New method for the determination of cyanide ions and their quantification in some Senegalese cassava varieties. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5: 181-187.
- 67. Dickau R., Ranere A.J., Cooke R.G., 2007.** Starch grain evidence for the preceramic dispersals of maize and root crops into tropical dry and humid forests of Panama. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104: 3651-3656.
- 68. Dixon A.G.O., Asiedu R., Hahn S.K., 1991.** Genotypic stability: analytical methods and implications for cassava breeding for low input agriculture. In S.K. Hahn, ed. Tropical Root Crops in Developing Economy. *Proceedings of the 9th Symposium of the International Society for Tropical Root Crops* 20-26 October 1991, Accra, Ghana. 159 p.
- 69. Dixon, A.G.O., Ngeve, J.M., Nukenine E.N., 2002.** Response of cassava genotypes to four biotic constraints in three agro-ecologies of Nigeria. *African Crop Science Journal*, 10:11-21.
- 70. Doue G.G., Megnanou R.M., Bedikou E.M., Niamke L.S., 2014.** Physicochemical characterization of starches from seven improved cassava varieties: Potentiality of industrial utilization. *Journal of Applied Biosciences*, 73:6002-6011.
- 71. Direction des ressources en eau et de la météorologie (DREM), 1998.** Carte climatique et formations végétales du Tchad, 1 p.
- 72. ECOSIT3, 2011.** Troisième Enquête sur la Consommation des Ménages et le Secteur Informel au Tchad. Ministère du Plan et de l'Economie. INSEED, Tchad.
- 73. Efisue A.A., 2013.** Isozyme-based genetic fingerprinting of *Manihot* sp. *Nigerian Journal of Biotechnology*, 26: 1-10.
- 74. Elias M., 2000.** Le manioc chez les Makushi: une richesse à valoriser. In Grenand P., ed. *Les Peuples des Forêts Tropicales Aujourd'hui*, Région Caraïbes Guyanes, Belize Programme APFT, Bruxelles, 4 : 201-221.
- 75. Elias M., Rival L., McKey D., 2000a.** Perception and management of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) diversity among Makushi Amerindians of Guyana (South America). *Journal of Ethnobiology*, 20 (2): 239-265.
- 76. Elias M., Panaud O., Robert T., 2000b.** Assessment of genetic variability in a traditional cassava (*Manihot esculenta* Crantz) farming system using AFLP markers. *Heredity*, 85: 219-230.

- 77. Elias M., Penet L., Vindry P., McKey, D., Panaud O., Robert T., 2001a.** Unmanaged sexual reproduction and the dynamics of genetic diversity of a vegetative propagated crop plant, cassava (*Manihot esculenta* Crantz), in a traditional farming system. *Molecular Ecology*, 10: 1895-1907.
- 78. Elias M., McKey D., Panaud O., Anstett M.C., Robert T., 2001b.** Traditional management of cassava morphological and genetic diversity by the Makushi Amerindians (Guyana, South America): Perspectives for on-farm conservation of crop genetic resources. *Euphytica*, 120:143-157.
- 79. El-Sharkawy M.A., 2004.** Cassava biology and physiology, *Plant Molecular Biology*, 56:481-501.
- 80. Emperaire L., Pinton F., Second G., 1998.** Gestion dynamique de la diversité variétale du manioc en Amazonie du Nord-Ouest. *Natures Sciences Sociétés*, 6 (2) : 27-42.
- 81. Emperaire L., Mühlen G.S., Fleury M., Robert T., McKey D., Pujol B., Elias M., 2003.** Approche comparative de la diversité génétique et de la diversité morphologique des maniocs en Amazonie (Brésil et Guyanes). *Les Actes du BRG*, 4:247-267.
- 82. Emperaire, L., Peroni, N., 2007.** Traditional management of agrobiodiversity in Brazil: a case study of manioc. *Human Ecology*, 35:761-768.
- 83. EVST, 2009.** Enquête de Sécurité Alimentaire et de Vulnérabilité Structurelle. Ministère du Plan et de l'Economie, INSEED, Tchad.
- 84. FAO/OMS, 1989.** Norme du Codex pour la farine comestible de manioc. Commission du Codex Alimentarius. Rome, Italie, 1995. Vol. Codex Standard 176-1989.
- 85. FAO, 2013.** Save and Grow: Cassava. A guide to sustainable production intensification Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 142 p.
- 86. FAOSTAT, 2009.** Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat3.fao.org>).
- 87. FAOSTAT, 2012.** Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat3.fao.org>).
- 88. FAO, 1995.** Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat3.fao.org>).
- 89. FAO, 2000.** Base de données statistiques FAOSTAT (<http://faostat3.fao.org>).
- 90. FAOSTAT, 2013.** Base de données statistiques agricoles. Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO). Rome, Italie. <http://faostat3.fao.org>; Consulté le 22/07/2014.
- 91. FAOSTAT, 2014.** Base de données statistiques agricoles. Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO). Rome, Italie. <http://faostat3.fao.org>; Consulté le 24/12/2015.

- 92. FAOSTAT, 2015.** Base de données statistiques agricoles. Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO). Rome, Italie. <http://faostat3.fao.org>; Consulté le 26/09/2016.
- 93. Fasuyi A.O., Aletor V.A., 2005.** Varietal composition and functional properties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaf meal and leaf protein concentrates. *Pakistan Journal of Nutrition*, 4:43-49.
- 94. Felsenstein J., 1985.** Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39:783-791.
- 95. Fleury M., 2000.** L'agriculture Wayana: une transition viable. In Grenand P., ed. *Les peuples des Forêts Tropicales Aujourd'hui*, Région Caraïbes Guyanes Bélice Programme APFT, Bruxelles, 151-161.
- 96. Fu Y.X., 1997.** Statistical tests of neutrality against population growth, hitchhiking and background selection. *Genetics*, 147:915-925.
- 97. Fukuda W.M.G., Guevara C.L., 1998.** Descritores morfológicos e agronômicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Documentos -78. Embrapa-CNPMP, Cruz das Almas.
- 98. Fukuda W.M.G., Guevara C.L., Kawuki R., Ferguson M.E., 2010.** Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 19 p.
- 99. Gaide M., 1956.** Au Tchad, les transformations subies par l'agriculture traditionnelle sous l'influence de la culture cotonnière. *Agronomie tropicale*, XI, 597-623.
- 100. Gawel N.J., Jarret R.L., 1991.** A modified CTAB DNA extraction procedure for Musa and Ipomoea. *Plant Molecular Biology Reporter*, 9 (3): 262-266. DOI: 10.1007/BF02672076.
- 101. Gbaguidi A.A., Dansi A., Loko L.Y., Dansi M., Sanni A., 2013.** Diversity and agronomic performances of the cowpea (*V. unguiculata* Walp.) landraces in Southern Benin. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 3 (4): 121-133.
- 102. Gbaguidi A.A., Assogba P., Dansi M., Yedomonhan H. et Dansi A., 2015.** Caractérisation agromorphologique des variétés de niébé cultivées au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (2):1050-1066.
- 103. Ghosh S.P., Ramanujam T., Jos S., Moorthy S.N., Nair R.G., 1988.** Tuber Crops. Oxford & IBH Publishing Co., New Dehli, 3-146.
- 104. Gil J.L., Buitrago A.J.A., 2002.** La yuca en la alimentacion animal. In B. Ospina, H. Ceballos, eds. *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producci'on, procesamiento, utilizaci on y comercializaci'on*. Cali, Colombia: CIAT, 527-69.
- 105. Graner E.A., 1942.** Genetica de *Manihot*. *Bragantia* Campinas 2-1: 13-22.

- 106. Grant W.S., Bowen B.W., 1998.** Shallow population histories in deep evolutionary lineages of marine fishes: Insights for sardines and anchovies and lessons for conservation. *The Journal of Heredity*, 89 (5): 415-426.
- 107. Grenand F., 2002.** Stratégies de nomination des plantes cultivées dans une société tupi-guarani, les Wayãpi. *Revue Amerindia*, 26/27:209-247.
- 108. Haeckel E., 1866.** Generelle Morphologie der Organismen. Georg Reimer (Berlin).
- 109. Hall T.A., 1999.** BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41:95-98.
- 110. Harouna Issa A., Bakasso Y., Alzouma Mayaki Z., Doumma A., Boucar I.M., 2014.** Diagnostic participatif de la diversité de morphotypes et des connaissances locales en matière de culture du Voandzou (*Vigna Subterranea* L.) au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 9 (4): 1915-1925.
- 111. Hillis D.M., Bull J.J., 1993.** An empirical test of bootstrapping as a method for assessing confidence in phylogenetic analysis. *Systematic Biology*, 42 (2): 182-192.
- 112. Holder M., Lewis P.O., 2003.** Phylogeny estimation: traditional and Bayesian approaches. *Nature Reviews Genetics*, 4: 275-284.
- 113. Hřibová E., Ćizková J., Christelová P., Taudien S., de Langhe E., Jaroslav D., 2011.** The ITS1-5.8S-ITS2 sequence region in the Musaceae: Structure, diversity and use in molecular phylogeny. *PLoS ONE* 6(3): e17863. DOI:10.1371/journal.pone.0017863.
- 114. Huelsenbeck J.P., Ronquist F., 2001.** MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. *Bioinformatics*, 17 (8) :754-5.
- 115. INSEED, 2012.** Deuxième recensement général de la population et de l'habitat (RGPH2, 2009) -Résultats globaux définitifs. Ministère du plan et de l'Economie, Tchad.
- 116. IPGRI, CIAT, 2003.** Descriptors for cassava (*Manihot esculenta*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, and CIAT, Cali, Colombia.
- 117. Jennings D.L., 1976.** In evolution of crop plants, N.W. SIMMONDS, ed., 81-84.
- 118. Jobs D.V., Thien L.B., 1997.** A Conserved motif in the 5.8S ribosomal RNA (rRNA) gene is a useful diagnostic marker for plant internal transcribed spacer (ITS) sequences. *Plant Molecular Biology Reporter*, 15: 326-344. DOI: 10.1023/A: 1007462330699.
- 119. Jones W., 1959.** Manioc in Africa. Stanford University Press, Stanford, CA. 315 p.
- 120. Kawano K., 2003.** Thirty years of cassava breeding for productivity: biological and social factors for success. *Crop Science*, 43: 1325-1335.

- 121. Kawuki R.S., Herselman L., Labuschagne M.T., Nzuki I., Ralimanana I., Bidiaka M., Kanyange M.C., Gashaka G., Masumba E., Mkamilo G., Gethi J., Wanjala B., Zacarias A., Madabula F., Ferguson M.E., 2013.** Genetic diversity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) landraces and cultivars from southern, eastern and central Africa. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 11 (2): 170–181. DOI: 10.1017/S1479262113000014.
- 122. Kent R., 1969.** Terre malgache, 5:177-183.
- 123. Kim T.W., Kim J.C., Fedak G., Son J.H., Park K.C., Kim N.S., 2014.** « Sequence variation in ITS spacers and 5.8S rDNA and relationship of E, St, P, Ns, Xm, and H genomes in the genera of *Agropyron*, *Elytrigia*, *Leymus*, *Pascopyrum*, *Psathyrostachys*, and *Hordeum*». *Genes and Genomics*, 32 (5):477-485. DOI: 10.1007/s13258-010-0050-5.
- 124. Kimura M., 1980.** A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution*, 16:111-120.
- 125. Koko C.A., Kouame B.K., Anvoh B.Y., Amani G.N., Assidjo E.N., 2014.** Comparative study on physicochemical characteristics of cassava roots from three local cultivars in Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 10 (33): 418-432.
- 126. Kombo G.R., Dansi A., Loko L.Y., Orkwor G.C., Vodouhe R., Assogba P., Magema J.M., 2012.** Diversity of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars and its management in the department of Bouenza in the Republic of Congo. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59 (8):1789-1803.
- 127. Konan K.C., Roy-Macauley H., Gueye M.C., Otto M.C., Rami J.F., Pasquet R.S., 2007.** Diversité génétique des variétés traditionnelles de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] au Sénégal : étude préliminaire. *Plant Genetics Resources*, 152 :33-44.
- 128. Kosh-Komba E., Akpavi S., Woegan Y.A., Atato A., Duval M.F., Dourma M., Zinga I., Yandia P., Longue D., Semballa S., 2014.** Diversité agromorphologique de *Manihot Esculenta* Crantz (Euphorbiaceae) cultivée dans trois zones agroclimatiques en République Centrafricaine (RCA). *European Scientific Journal*, 10 (3) :365-380.
- 129. Koua G.Y.A., Megnanou R.M., Kra K.A.S., N'Zue B., Tian Bi D.R., Akpa E.E., Niamké S.L., 2012.** Biochemical characterization of new varieties of yellow colored pulp cassava flours from Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 53: 3760-3772.
- 130. Kouassi S.K., Mégnanou R.M., Akpa E.E., Djedji C., N'zué B., Niamké L.S., 2010.** Physicochemical and biochemical characteristics evaluation of seven improve cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties of Côte d'Ivoire. *African Journal of Biotechnology*, 9 (41): 6860-6866.
- 131. Kumar S., Stecher G., Tamura K., 2016.** MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 33 (7):1870-1874. DOI:10.1093/molbev/msw054.

- 132. Kunkeaw S., Tangphatsornruang S., Smith D.R., Triwitayakorn K., 2010.** Genetic linkage map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) based on AFLP and SSR markers. *Plant Breeding*, 129: 112-115.
- 133. Labé V., Palm R., 1999.** Méthodes et techniques. Statistique, empirique, formelle : quelle enquête pour la collection d'informations sur les exploitations agricoles ? *Cahiers Agricultures*, 8 (5): 397-404.
- 134. Ladeira T., Souza H., Pena R., 2013.** Characterization of the roots and starches of three cassava cultivars. *International Journal of Agricultural Science Research*, 2 (1):012-020.
- 135. Latham, M.C. 1979.** Human nutrition in the developing world. Food and nutrition. Series-N°29. FAO, Rome.
- 136. Lefèvre F., 1988.** Ressources génétiques et amélioration du manioc, *Manihot esculenta* Crantz, en Afrique. Th., Institut National Agronomique Paris-Grignon, 181p.
- 137. Léotard G., Duputié A., Kjellberg F., Douzery E.J.P., Debain C., de Granville J.J. and McKey D., 2009.** Phylogeography and the origin of cassava: new insights from the northern rim of the Amazonian basin. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53:329-334.
- 138. LeQuesne W.J., 1972.** Further studies based on the uniquely derived character concept. *Syst. Zool.*, 21 (3): 281-288.
- 139. Lozano C., 1985.** Comprehensive breeding approach to pest and disease problems of cassava. In J.H. Cock, J.A. Reyes, eds., Cassava: research, production and utilization. *Centro International de Agricultural Tropical*, 562-574.
- 140. Maggini F., Frediani M., Gelati M.T., 2000.** Nucleotide sequence of the internal transcribed spacers of ribosomal DNA in *Picea abies* Karst. *DNA Seq.*, 11:87-89.
- 141. Manu-Aduening J.A., Lamboll R.I., Dankyi A.A., Gibson R.W., 2005.** Cassava diversity in Ghanaian farming systems. *Euphytica*, 144: 331-340.
- 142. Manu-Aduening J.A., Peprah B., Bolfrey-Arku G., Aubyn A., 2014.** Promoting farmer participation in client-oriented breeding: Lessons from participatory breeding for farmer-preferred cassava varieties in Ghana. *Advanced Journal of Agricultural Research*, 2 (002): 008-017.
- 143. Manusset S., 2006.** Proposition pour une clé d'identification des variétés de manioc chez différents groupes culturels en Guyane française. *Antropo*, 11:61-73. www.didac.chu.es/antropo.
- 144. Magrin G., 2001.** Le sud du Tchad en mutation : des champs de coton aux sirènes de l'or noir. Th., version éditée, CIRAD-PRASAC-SEPIA. Pour Mieux Connaître le Tchad, 427 p.
- 145. Marghali S., Zitouna N., Gharbi M., Fadhlouli I., Ben Rhouma H., Trifi-Farah N., 2014.** Convergence nucléo-cytoplasmique par le biais des régions géniques *rbcL* et intergéniques ITS chez le genre *Lathyrus*. *Revue des Régions Arides - Numéro Spécial*, 35 (3):125-130.

- 146. Marmey P., Beeching J.R., Hamon S., Charrier A., 1994.** Evaluation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm collections using RAPD markers. *Euphytica*, 74: 203-209.
- 147. Maroya N.G., Aïhou K., Okeleye K.A, Dosoo E., Tumanteh A., 1995.** Caractérisation morphologique des clones de manioc cultivés en Afrique de l'Ouest et du Centre (Bénin, Ghana, Nigéria et Cameroun). 6^{ème} Symposium Triennal, Société internationale pour plantes tropicales à racines et tubercules-Direction Africaine, 22-28/10/1995, Lilongwé: 249-254.
- 148. Mbailao K.L., Mbayhoudel K., 1995.** Système traditionnel de transformation et utilisation du manioc en milieu rural au Tchad. *Proceedings of the 6th Symposium ISTRC-AB*, 277-278.
- 149. Mbayhoudel K., Naïtormbaïdé M., 1998.** Situation du manioc dans la zone semi-aride du Tchad. Rapport. Direction de la Recherche et de Technologie Agricole, Ministère de l'Agriculture, 25p.
- 150. McKey D., Empereire L., Elias M., Pinton F., Robert T., Desmoulière S., Rival L., 2001.** Gestions locales et dynamiques régionales de la diversité variétale du manioc en Amazonie. *Genetics Selection Evolution*, 33 (1): 465-490.
- 151. McKey D., Elias M., Pujol B., Duputié A., Delêtre M., Renard D., 2012.** Maintien du potentiel adaptatif chez les plantes domestiquées à propagation clonale. *Revue d'ethnoécologie*. URL: <http://ethnoecologie.revues.org/741>. DOI :10.4000/ethnoecologie.741.
- 152. McMahon J.M., White W.L.B., Sayre R.T., 1995.** Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Experimental Botany*, 46:731-714.
- 153. Médard R., 1973.** Morphogénèse du manioc, *Manihot esculenta* C., (Euphorbiacées-Crotonoidées) : étude descriptive. *Adansonia*, ser.2, 13 (4):483-494.
- 154. Mégnanou R.M., Kouassi S.K., Akpa E.E., Djedji C., N'zué B., Niamké L.S., 2009.** Physico-chemical and biochemical characteristics of improved cassava varieties in Cote d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 5 (2):507-514.
- 155. Mehounou F.M., Dassou A., Sanoussi F., Dansi A., Adjatin A., Dansi M., Assogba P., Ahissou H., 2016.** Physicochemical characterization of cassava (*Manihot esculenta*) elite cultivars of Southern Benin. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3 (3):190-199.
- 156. Missihoun A.A., Agbangla C., Adoukonou-Sagbadja H., Ahanhanzo C. et Vodouhe R., 2012.** Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (3):1003-1018.
- 157. Monelmbaye D. D., 2010.** Contribution à l'étude de l'état phytosanitaire du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans les départements du Barh-koh et de la Grande Sido au sud du Tchad. Mémoire de Master, Université de Bangui, 84 p.

- 158. Montagnac J. A., Davis C.R., Tanumihardjo S.A., 2009.** Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8:181-194.
- 159. Montero-Rojas M., Correa A.M., Siritunga D., 2011.** Molecular differentiation and diversity of cassava (*Manihot esculenta*) taken from 162 locations across Puerto Rico and assessed with microsatellite markers. AoB PLANTS 2011 plr010. DOI:10.1093/aobpla/plr010
- 160. Mpondo G.T., Nkoudou M., 1995.** Processing of cassava and quality of reconstituted Miondo, Bobolo and Mintumba. *Proceedings of the 6th Symposium*, ISTRC-AB : 283-286.
- 161. Mulualem T., Dagne Y., 2014.** Nature of gene action in elite cassava genotypes (*Manihot esculenta* Crantz) in South Ethiopia. *Sky Journal of Agricultural Research*, 3 (4):067-073.
- 162. Murphy D.J., Miller J.T., Bayer R.J., Ladiges P.Y., 2003.** Molecular phylogeny of *Acacia* subgenus *Phyllodineae* (Mimosoideae : Leguminosae) based on DNA sequences of the internal transcribed spaced region. *Australian Systematic Botany*, 16:19-26.
- 163. Mwenye O., Labschagne M.T., Herselman L., Benesi I.R.M., Chipungu F.P., 2010.** Ethno-botanical and morphological characterisation of cocoyams (*Colocasia esculenta* L. Schott and *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) germplasm in Malawi. Second RUFORUM Biennial Meeting 20-24 September 2010, Entebbe, Uganda, 195-199.
- 164. Nadjiam D., Le Diambo B., Naïtormbaïdé M., 2014.** Les cultivars de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans les départements de Lac Wey, Monts de Lam, Nya Pendé et Tandjilé Ouest. Rapport d'enquête, ITRAD, Ministère de l'Agriculture, 17 p.
- 165. Nadjiam D., Doyam A.N., Le Diambo B., 2015.** Etude de la variabilité agromorphologique de quarante-cinq cultivars locaux de niébé (*Vigna unguiculata*, (L.)Walp.) de la zone soudanienne du Tchad. *Afrique Science*, 11 (3):138-151.
- 166. Naïtormbaïdé M., 2004.** Situation de référence des sites pilotes. Intensification de la productivité et de la production des plantes à racines et tubercules. Projet FAO, TCP/CHD/2903 (T), 32 p.
- 167. Naïtormbaïde M., Djondang K., Mbayhoudel K., Nekouam N., 2009.** Sélection et transfert des variétés de manioc tolérantes à la sécheresse et à la mosaïque africaine. ITRAD/PRBC/PSAOP, Rapport final, 35 p.
- 168. Nanema R.K., Traoré E.R., Bationo K.P., Zongo J.D., 2009.** Morphoagronomical characterization of *Solenostemon rotundifolius* (Poir. J. K. Morton) (Lamiaceae) germplasm from Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (5): 1100-1113.
- 169. Nartey F., 1968.** Studies on cassava, *Manihot utilisima* Pohl-I. Cyanogenesis: the biosynthesis of linamarin and lotaustralin in etiolated seedlings. *Phytochemistry*, 7:1307-1312.
- 170. Nassar, N.M.A., 2004.** Cassava: Some ecological and physiological aspects related to plant breeding. *Gene Conserve*, 3: 229-245.

171. Nassar N., Ortiz R., 2010. Breeding cassava to feed the poor. *Food science*, 78-84.
172. Navajas M., Gutierrez J., Bonato O., Bolland H.R., Mapangou-Divassa S., 1994. Intraspecific diversity of the cassava green mite *Mononychellus progresivus* (Acari: Tetranychidae) using comparisons of mitochondrial and nuclear ribosomal DNA sequences and cross-breeding. *Experimental and Applied Acarology*, 18: 351-360.
173. N'Da H.A., Akanvou L., Akanvou R., Zoro Bi A.I., 2014. Evaluation de la diversité agromorphologique des accessions de maïs (*Zea mays* L.) collectées en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 20 (3): 3144-3158.
174. Nei M., 1987. Molecular Evolutionary Genetics. Columbia University Press, NY, 512 p.
175. Nhu Phuc B.H, Ogle B., Lindberg J.E., 2000. Effect of replacing soybean protein with cassava leaf protein in cassava root meal based diets for growing pigs on digestibility and nitrogen retention, *Animal Feed Science and Technology*, 83: 223-235.
176. Nuwamanya E., Baguma Y., Kawuki R.S., Rubaihayo P.R., 2009. Quantification of starch physicochemical characteristics in a cassava segregating population. *African Crop Science Journal*, 16 (3): 191-202.
177. Nweke F.I., Dixon A.G.O., Asiedu R., Olayan S.A., 1994. Cassava varietal needs of farmers and the potential for production growth in Africa. Collaborative Study of Cassava in Africa, Working Paper No.10, Ibadan, Nigeria, 38 p.
178. Nyerhovwo, J.T., 2004. Cassava and future of starch. *Electronic Journal of Biotechnology*, 7: 5-8.
179. N'zue B., Okoma M.P., Kouakou A.M., Dibi K.E.B., Zohouri G.P., Essis B.S., Dansi A.A., 2014. Morphological characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) accessions collected in the Centre-west, South-west and West of Côte d'Ivoire: *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 4 (6): 220-231.
180. Obasi P.C., Henri-Ukoha A., Anosike O.N., Ibekwe U.C., 2015. Net returns to cassava-based crop mixtures in Imo State, Nigeria. *European Journal of Agriculture and Forestry Research*, 3 (1):15-21.
181. Oliveira E.J., Ferreira C.F., Santos V.S., Oliveira G.A.F., 2014. Development of a cassava core collection based on single nucleotide polymorphism markers. *Genetics and Molecular Research* 13 (3): 6472-6485.<http://dx.doi.org/10.4238/2014.August.25.11>
182. Olsen K.M., Schaal B.A., 1999. Evidence on the origin of cassava: phylogeography of *Manihot esculenta*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 96: 5586-5591.
183. Olsen K.M., Schaal B.A., 2001. Microsatellite variation in cassava and its wild relatives: Further evidence for a Southern Amazonian origin of domestication. *American Journal of Botany*, 88 (1):131-142.
184. ONDR, SODELAC, DPAS, 2015. Rapport bilan d'activités de la campagne agricole 2014/15. Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement, 44 p.

- 185. Oyelakin O.O., Gedil M., Kulakow P., Rabbi I., Olufowote O., Amusa N.A., Onasanya A., Opabode J.T., Adetumbi, J.A., Olawale A., Onasanya R.O., Adewale O.B., 2013.** Genetic linkage map of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) based on SSR and SNP markers. *International Journal of Applied Research and Technology*. 2 (5): 105-113.
- 186. Penet L., 1999.** Impact des pratiques paysannes sur la diversité génétique des variétés locales du manioc. Laboratory ESE, Mémoire de DEA, 25 p.
- 187. Pinton, F., Empereire L., 2001.** Le manioc en Amazonie brésilienne: diversité variétale et marché, *Genetics Selection Evolution*, 33 (1) : 491-512.
- 188. PMTRA, 2010.** Plan à Moyen Terme de la Recherche Agronomique au Tchad (2010-2014). Ministère de l'Agriculture, ITRAD, N'Djaména, 62 p.
- 189. PND, 2013.** Plan National de Développement 2013-2015. Ministère de l'Economie, du Plan et de la Coopération Internationale, Tchad, 144 p.
- 190. Plan Quinquennal (PQ), 2013.** Plan Quinquennal de développement de l'agriculture au Tchad. Ministère de l'agriculture et de l'irrigation, 58 p.
- 191. Rabbi I.Y., Kulakow P.A., Manu-Aduening J.A., Dankyi A.A., Asibuo J.Y., Parkes E.Y., Abdoulaye T., Girma G., Gedil M. A., Ramu P., Reyes B., Maredia M.K., 2015.** Tracking crop varieties using genotyping by-sequencing markers: a case study using cassava (*Manihot esculenta* C.). *BMC Genetics*, 16:115.DOI 10.1186/s12863-015-0273-1.
- 192. Rabello A.R., Queiroz P.R., Simões K.C.C, Hiragi C.O., Lima L.H.C., Oliveira M.R.V., Mehta A., 2008.** Diversity analysis of Bemisia tabaci biotypes: RAPD, PCR-RFLP and sequencing of the ITS1 rDNA region. *Genetics and Molecular Biology*, 31 (2):585-590.
- 193. Ramos-Onsins S.E., Rozas J., 2002.** Statistical properties of new neutrality tests against population growth. *Molecular Biology and Evolution*, 19: 2092-2100.
- 194. Rapport du Tchad (RT.), 2015.** Concertation régionale sur la situation alimentaire et nutritionnelle au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Nouackchott, 01 au 03/04/2015, DPAS, SISAAP, CNNTA, 26 p.
- 195. Richardson K.V., 2013.** Quality characteristics, root yield and nutrient composition of six cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties. Gladstone Road Agricultural Centre. Department of Agriculture Nassau, Bahamas. *Crops Research Report*, No.18: 13 p.
- 196. Rimoldi F., Filho P.S.V., Kvitschal M.V., Gonçalves-Vidigal M.C., Prioli A.J., Pinto Prioli S.M.A., Ribeiro da Costa T., 2010.** Genetic divergence in sweet cassava cultivars using morphological agronomic traits and RAPD molecular markers. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53 (6): 1477-1486.
- 197. Risterucci A.M., Grivet L., N'Goran J.A.K., Pieretti I., Flament M.H., Lanaud C., 2000.** A high-density linkage map of *Theobroma cacao* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 101: 948–955.

- 198. Roa A.C., Maya M.M., Duque M.C., Tohme J., Allem A.C., Bonierbale M.W., 1997.** AFLP analysis of relationships among cassava and other *Manihot* species. *Theoretical and Applied Genetics*, 95:741-750.
- 199. Rogers D.J., Appan S.G., 1973.** *Manihot, Manihotoides. Flora Neotrópica*. Hafner Press, New York, USA, Monograph No. 13: 272 p.
- 200. Rogers A.R., Harpending H., 1992.** Population growth makes waves in the distribution of pairwise genetic differences. *Molecular Biology and Evolution*, 9 (3): 552-569.
- 201. Rozas J., Librado P., Sánchez-DelBarrio J.C., Messeguer X., Rozas R., 2010.** Universitat de Barcelona. Current Released Version 5.10.1.
- 202. Sadiki M., Jarvis D.I., Rijal D., Bajracharya I., Hue N.N., Camacho-Villa T.C., Burgos-May L.A., Sawadogo M., Balma D., Lope D., Arias L., Mar I., Karamura D., Williams D., Shavez-Servia J.L., Shatpit B. et Rao V.R., 2012.** Les noms des variétés : Un point d'entrée à la diversité génétique des cultures et à la distribution dans les écosystèmes agricoles. In D.I. Jarvis, C. Padoch, H.D. Cooper, eds. Gestion de la biodiversité dans les écosystèmes agricoles. *Bioversity International*, 37-81.
- 203. Saiki R.K., Scharf S., Faloona F., Mullis K.B., Horn G.T., Erlich H.A., Arnheim N., 1985.** Enzymatic amplification of b-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science*, 230 (4732): 1350-1354.
- 204. Saitou N., Nei M., 1987.** The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4 (4):406-25.
- 205. Sanderson M.J., 1989.** Confidence limits in phylogenies: the bootstrap revisited. *Cladistics*, 5: 113-129.
- 206. Sanger F., Nicklen S., Coulson A.R., 1977.** DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74:5463-5467.
- 207. Sanni A.O., 1995.** Les ressources phytogénétiques sur le manioc en république du Bénin : collecte, conservation et utilisation. In Proc. 6th Symp. ISTRC-AB, 22-28 October 1995. Root Crops and Poverty Alleviation. Lilongwe, Malawi, 228-231.
- 208. Sardos J., McKey D., Duval M.F., Malapa R., Noyer J.L., Lebot V., 2008.** Evolution of cassava (*Manihot esculenta* C.) after recent introduction into a South Pacific Island system: the contribution of sex to the diversification of a clonally propagated crop. *Genome*, 51:912-921 DOI: 10.1139/G08-080.
- 209. Sautter G., 1958.** Le chemin de fer Bangui-Tchad dans son contexte économique régional. Étude géographique de l'économie des transports au Tchad et dans le Nord de l'Oubangui. Bangui, SCECFBT, Université de Strasbourg, 325 p.
- 210. Sawadogo N., Nebie B., Kiebre M., Kando P.B., Nanema R.K., Traore R.E., Naoura G., Sawadogo M., Zongo J.D., 2014.** Caractérisation agromorphologique des sorghos à grains sucrés (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(5): 2183-2197.

- 211. Scott G., Rosegrant J., Mark W., Ringler C., 2000.** Roots and tubers for the 21st century: Trends, projections and policy options. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington D.C., *Food, Agriculture and Environment*, Discussion Paper 31.
- 212. Second G., Allem A.C., Mendes R.A., Carvalho L.J.C.B., Emperaire L., Ingram C., Colombo C., 1997.** Molecular marker (AFLP)-based *Manihot* and cassava numerical taxonomy and genetic structure analysis in progress: implications for their dynamic conservation and genetic mapping. *African Journal of Root and Tuber Crops*, 2: 140-147.
- 213. Sekmani M., Elazreg H., Chtourou-Ghorbel N., Chakroun M., Trifi-Farah N., Ghariani S., 2014.** Utilisation du gène 5.8S de l'ADN ribosomal pour l'étude des relations phylogénétiques chez le complexe Tunisien « *Festuca-Lolium* ». *Revue des Régions Arides. Numéro Spécial* 35 (3):151-157.
- 214. Shannon C.E., 1948.** A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.
- 215. Sharma S., Rustgi S., Balyan H.S., Gupta P.K., 2002.** Internal transcribed spacer (ITS) sequences of ribosomal DNA of wild barley and their comparison with ITS sequences in common wheat. *Barley Genetics Newsletter*, 32:38-45.
- 216. Siqueira V.B.M., Queiroz-Silva J.R., Bressan E.A., Borges A., Pereira K.J.C., Pinto J.G., Veasey E.A., 2009.** Genetic characterization of cassava (*Manihot esculenta*) landraces in Brazil assessed with simple sequence repeats. *Genetics and Molecular Biology*, 32 (1): 104-110. DOI: 10.1590/S1415-47572009005000010.
- 217. Soccol C.R., 1996.** Biotechnological products from cassava roots by solid state fermentation. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 55:358-364.
- 218. Sree Lekha S., da Silva J.A.T., Pillai S.V., 2011.** Genetic variability studies between released varieties of cassava and central Kerala cassava collections using SSR markers. *Journal of stored products and postharvest research*, 2 (4):79-92.
- 219. Sun Y., Skinner D.Z., Liang G.H., Hulbert S.H., 1994.** Phylogenetic analysis of sorghum and related taxa using internal transcribed spacers of nuclear ribosomal DNA. *Theoretical And Applied Genetics*, 89:26-32.
- 220. Tajima F., 1983.** Evolutionary relationship of DNA sequences in finite populations. *Genetics*, 105:437-460.
- 221. Tajima F., 1989.** Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics*, 123:585-595.
- 222. Tamura K., Peterson D., Peterson N., Stecher G., Nei M., Kumar S., 2011.** MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution*, 28: 2731-2739.
- 223. Thompson J.D., Higgins D.G., Gibson T.J., 1994.** Clustal W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22:4673-4680.

- 224. Tisserant C., 1953.** L'agriculture dans les savanes de l'Oubangui. Bulletin de l'Institut des Etudes Centrafricaines (Brazzaville), *Nouvelle Série*, 6 :27 p.
- 225. Turyagyenda L.F., Kizito E.B., Ferguson M.E., Baguma Y., Harvey J.W., Gibson P., Wanjala B.W., Osiru D.S.O., 2012.** Genetic diversity among farmer-preferred cassava landraces in Uganda. *African Crop Science Journal*, 20 (1):15-30.
- 226. Turyagyenda F. L., Kizito E.B., Baguma Y. and Osiru D., 2013.** Evaluation of Ugandan cassava germplasm for drought tolerance. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5 (3): 212-226.
- 227.Vieira E.A., Fialho J.F., Faleiro F.G., Bellon G., Fonseca K.G.,Carvalho L.J.C.B., Silva M.S., Paula-Moraes S.V., Oliveira C.M., Denké M.L., 2011.** Characterization of sweet cassava based on molecular, quantitative and qualitative data. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11:232-240.
- 228. Wagner W.H.Jr., 1984.** Applications of the concepts of groundplan divergence. In T. Duncant, T.F. Stuessy, eds. *Cladistics: perspectives on the reconstruction of evolutionary history*, Columbia University, Press New-York, 95-118.
- 229.Whankaew S., Sraphet S., Thaikert R., Smith D.R., Triwitayakorn K., 2012.** Characterization of microsatellite markers in cassava based on microsatellite-AFLP technique. *Genet. Mol. Res.*, 11 (2): 1319-1326. <http://dx.doi.org/10.4238/May.15.2>.
- 230. Williams H.J., Edwards T.G., 1980.** Estimated of cyanide with alkaline picrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31:15-22.
- 231. Willemen L., Scheldeman X., Cabellos V.S., Salazar S.R., Guarino L., 2007.** Spatial patterns of diversity and genetic erosion of traditional cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the Peruvian Amazon: An evaluation of socio-economic and environmental indicators. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54 (7):1599-1612. DOI 10.1007/s10722-006-9172-7.
- 232. Zacarias A.M., Botha A.M., Labuschagne M.T., Benesi I.R.M., 2004.** Characterization and genetic distance analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm from Mozambique using RAPD fingerprinting. *Euphytica*, 138: 49-53.
- 233. Zaldivar M.E., Rocha O.J., Aguilar G., Castro L., Castro E., Barrantes R., 2004.** Genetic variation of cassava cultivated by Chibchan Amerindians of Costa Rica. *Economic Botany*, 58 (2): 204-213. [http://dx.doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0204: GVOCME\] 2.0.CO.2](http://dx.doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0204: GVOCME] 2.0.CO.2).

ANNEXES

Annexe 1: Répartition des villages par département, région et groupe ethnique

N°	Village	Département	Région	Ethnie majoritaire	Nombre paysans
1	Kamkoutou	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
2	Begolbé	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	13
3	Bengar I	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
4	Békao II	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
5	Bendja II	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
6	Bélama	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
7	Koumao	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
8	Mboura	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
9	Ngaram Ngolé	Monts de Lam	Logone oriental	Lakka/Mboum	15
10	Bira I	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	15
11	Bira II	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	15
12	Tchoua	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	15
13	Daradja	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	15
14	Dogou Yatréo	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	15
15	Bero kouh	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	16
16	Debren	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	15
17	Ngara	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	15
18	Rongondoh	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	15
19	Kaga	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	15
20	Bigui	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	15
21	Bere	Tandjilé Est	Tandjilé	Zimé/lele	15
22	Gari A	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	13
23	Gari B	Lac Wey	Logone occidental	Ngambaye	13
24	Sateignan I	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
25	Doubadéné4	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
26	Doubadène5	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
27	Sanodjo	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
28	Sateignan II	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
29	Kaïnodji	Bahr Kôh	Moyen Chari	Sara/Sarakaba	15
30	Motobo	Bahr Kôh	Moyen Chari	Sara/Sarakaba	15
31	Maïkoum	Bahr Kôh	Moyen Chari	Sara/Sarakaba	15
32	Koudoti	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	14
33	Bekourou	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	16
34	Morkoh	Grande Sido	Moyen Chari	Sara/Ngama	14
35	Balimba	Bahr Kôh	Moyen Chari	Saramadjingaye	15
36	Koumogo	Bahr Kôh	Moyen Chari	Saramadjingaye	15
37	Dakou	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
38	Ndilingala	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
39	Sadama	Bahr Sara	Mandoul	Mbaye	15
40	Mandimba	Grande Sido	Moyen Chari	Saramadjingaye	15
41	Danamadji	Grande Sido	Moyen Chari	Sara/Ngama	15
42	Ndakono	Grande Sido	Moyen Chari	Sara/Ngama	15
43	Kokante	Grande Sido	Moyen Chari	Saramadjingaye	12

Annexe 2 : Noms des cultivars de manioc inventoriés dans la zone d'étude

N°	Noms des cultivars	N°	Noms des cultivars	N°	Noms des cultivars
1	Tessem	26	Ndjabra	51	Gbiyang
2	Tolmbadje	27	Deli 5	52	Gentille
3	Mandrakako	28	Binda	53	Landoh
4	Tinodji	29	Kouradjé	54	Konhogo
5	Mbogueral	30	Maroua	55	Damé
6	Simon	31	Mbaï issigueou	56	Djihoko
7	Renda	32	Moreye	57	Tolmad
8	Poum Poum	33	Ngali baka	58	Madinta
9	Kaba	34	Lizette	59	Batatelé
10	Zambi na mawa	35	Bero kouh	60	Jeremi
11	Mbia	36	Ngali Maguilara	61	Tamman Dodji
12	Tige blanche	37	Ngali daïwa	62	Bandou
13	Afouka	38	Garoua	63	Kamadji ko
14	Yasso	39	Doubedjé	64	Bogon
15	Koula Mbadjé	40	Bayaka	65	Ndaboleub
16	Tessem	41	Godji Ngali	66	Badayengué
17	Verité	42	Kaïra	67	Kebiang
18	Apouka	43	BEBEDJIA	68	Ngari Kobe
19	Ngarinda	44	Guebida	69	Karanga
20	Ngali Ndâ	45	Pangassou	70	Ngaingor
21	Sima	46	Boyo	71	Djirabé
22	Madjiguanim	47	Tamadoz	72	Deli 1
23	Mbaikana	48	Ngouoyo	73	Deli 3
24	Godji ngari	49	Delila	74	Deli 4
25	Kangaba	50	ITRAD	75	Deli 6

Annexe 3 : Noms et codes des cultivars de manioc collectés

Noms	Codes	Noms	Codes	Noms	Codes
Bereokou	BE1333	Deli3	DVL10	Koum Koum	KK1301
Lisette	LI1300	Madjiganem	DVL11	Six mois	SX1302
Six mois	SM1344	Mandrakako	DVL12	Bedobadoang	BE1303
Ngali baka/tolmbadjé	BA1311	Bogo	DVL13	Nyan	NY1304
Tessem	TE1355	Doufour	DVL14	Madjiganem	GA1304
Mbogueral	BG1399	Six mois koul	DVL15	Damain	AM1312
Ndjabra	JA1322	Poum poum koul	DVL16	Biyo	YO1313
Tinodji 2	TI1377	Kingaba	DVL17	Pangassou Doubadené	PG1314
Six mois épluch. rouge	SR1388	Tinodji	DVL18	Ngonokô	GO1315
Six mois épluc. blanche	SB1366	Binda	DVL19	Tamandoche	TCH1316
Cameroun	CM0099	Bindoul	DVL20	Ngalinda	NDA0404
Deli2	DVL1	Nkouoko	DVL21	Gamngor	GAN0606
Six mois binda	DVL2	Binda kasse toxique	DVL22	Mandebor	BOR0808
Pangassou 1	DVL3	94/D23	DVA1	Tolmade	TL0101
Bindoul	DVL4	TME 225	DVA2	Karanga	KA0303
Moureille	DVL5	RB89/509	DVA3	Madjiganim	MG0505
Poum poum ade	DVL6	94/D30	DVA4	Kimbignague	KG0707
Mandrakako	DVL7	97/4112	DVA5	Kangaba	BA0909
Kdeugre	DVL8	I89/02729	DVA6	Delida	DE0202
Kouragié	DVL9	94/D66	DVA7		

Annexe 4 : Origine ethnique et signification des noms locaux de certains cultivars

N°	Noms locaux	Synonymies	Origine ethnique	Signification des noms
1	Tessem	Tessem taboti Essai Ngali ONDR	Ngambaye	Me permet de franchir la période de famine
2	Poum Poum	Koum Koum Kome Kome	Ngambaye/Lakka	Très farineux, quand tu en manges tu ne peux pas ouvrir la bouche
3	Rendah		Ngambaye	Tige blanche
4	Six mois			La maturité est atteinte en 6 mois
5	Mandaraka o		Sangho (RCA)	
6	Tinodji		Ngambaye	Source de mésentente entre les membres d'une même famille
7	Mbogueral	MBeugeurang Mbeuguerel	Ngambaye/Lakka	Le fou ne peut pas l'identifier
8	Kaba		Kaba	Originaire de l'ethnie Kaba
9	Zimbinamaw a		Sangho (RCA)	Me sortir de la pauvreté
10	Mbia		Kaba	Donne une bonne bouillie
11	Ngalindah	Garinda	Gor/Kaba	Manioc blanc
12	Maroua			Ville de l'Extrême Nord du Cameroun
13	Mbindakass		Ngambaye	feuilles (pétiole) rouges
14	Ndjabra		Arabe local	Les racines de rônier
15	Moreye		Zimé	Du village Moreye
16	Mbaï issiguo		Ngambaye	Le Chef est assis d'un air autoritaire
17	Ngalibaka		Zimé	Manioc amer
18	Berokouh		Zimé	Du village Berokouh
19	Lizette			Introduit par Mr Lizette
20	Ngali maguilira		Marba	Manioc amer
21	Garoua			Ville de l'Extrême Nord du Cameroun
22	Sima	Taï sima	Ngambaye	De gros et longs tubercules
23	Madjiganim	Madjeganem	Sara/Ngambaye	Sauver mes enfants
24	Kangaba	Kaguenba	Sangho (RCA)	Tenir bon, résister
25	Pangassou		Baya (RCA)	
26	Mandoz		Mbaye	
27	Ngouôkoh	Djienhoko	Sangho (RCA)	Maturité à 1 an
28	Boyo	Bio	Mbaye	Si tu en manges, tu prends du poids
29	Bebedjia			Ville abritant le Centre de recherche
30	Tamandodji		Mbaye	Un pied remplit un grand récipient

N°	Noms locaux	Synonymies	Origine ethnique	Signification des noms
31	Damain		Mbaye	Les racines sont enfouies profondément dans le sol
32	Ndabodleub		Mbaye	l'idiote est puni et corrigé
33	Karanga		Sarakaba	
34	Madmba		Saramadjingaye	Je donne à l'étranger (l'invité)
35	Delila			De la ferme de la localité de Deli
36	Tolmad		Mbaye/Gor/Sarakaba	Tue le singe
37	Landoh		Saramadjingaye	Attrape la pauvreté
38	Tolmbadjé		Lakka/Ngambaye	Tue les étrangers qui en mangent beaucoup
39	Yasso		Mboum	
40	Tiseim		Lakka	Séparation
41	Mbaïkana		Ngambaye	Chef du village de Kana
42	Kouradjé		Ngambaye	Feuilles ressemblant à celles du Kapokier
43	Kaïra		Ngambaye	Ce qui est dure, solide et difficile à déterrer ou à manger
44	Bayaka			Du village de Bayaka
45	Afouka		Mboum	
46	Bandayengué		Banda (RCA)	Très prisé par l'ethnie Banda
47	Gbiyang	Mbiyang	Mbaye	Petites feuilles
48	Ngarikobé		Ngama	Manioc du pays (local)
49	Kamadji kolo		Mbaye	Sauve tes enfants
50	Kebiang		Mbaye	Petites feuilles sous forme de doigt
51	Bandou		Mbaye	Papa, ça explose

Annexe 5: Taux de perte de cultivars de manioc par village

N°	Village	NTC	NCD	M+S+	M+S-	M-S+	M-S-	TP (%)
1	Kamkoutou	3	7	2	0	0	1	0
2	Begolbé	4	4	1	0	1	2	25
3	Bengar I	6	8	1	0	2	3	16,67
4	Bekao II	6	6	1	0	2	3	33,33
5	Bendja II	4	1	3	0	0	1	0
6	Belama	3	1	3	0	0	0	0
7	Koumao	2	3	0	0	1	1	50
8	Mboura	3	1	1	0	1	1	0
9	Ngaram ngolé	3	0	1	0	1	1	0
10	Bira I	9	6	0	1	1	7	44,44
11	Bira II	9	4	0	0	3	5	11
12	Tchoua	4	0	0	1	2	1	0
13	Daradja	8	4	2	0	2	4	37,5
14	Dogou Yatréo	6	0	0	1	1	4	50
15	Berokouh	6	0	1	1	2	2	16,67
16	Debreng	7	0	1	1	3	2	14,29
17	Ngara	10	3	0	1	6	3	20
18	Rogongoh	9	0	0	0	5	4	33,33
19	Kaga	12	0	0	0	6	6	41,67
20	Bigui	5	3	3	0	0	2	20
21	Bere	3	4	0	1	1	1	0
22	Gari A	5	4	0	2	0	3	20
23	Gari B	7	6	0	1	1	5	28,57
24	Sateignan I	6	13	3	0	1	2	16,67
25	Doubadene IV	10	7	1	0	6	3	0
26	Doubadene V	11	5	3	0	5	3	18,18
27	Sanodjo	8	5	2	0	4	2	12,5
28	Sateignan II	8	11	4	0	2	2	12,5
29	Kainodji	8	1	0	0	8	0	0
30	Motobo	5	3	1	0	2	2	20
31	Maïkoum	4	0	2	0	1	1	25
32	Koudoti	5	14	3	0	0	2	20
33	Bekourou	11	8	0	0	6	5	36,36
34	Morkoh	4	2	0	0	4	0	0
35	Balimba	2	0	2	0	0	0	0
36	Koumogo	4	0	2	0	1	1	25
37	Dakou	6	6	2	0	2	2	16,67
38	Ndilingala	4	6	2	0	1	1	25
39	Sadama	10	6	2	0	5	3	20
40	Madimba	4	2	0	0	4	0	0
41	Danamadji	7	6	0	0	7	0	0
42	Ndakono	9	3	1	0	6	2	22,22
43	Kokante	2	1	1	0	0	1	50
Moyenne		6	3,81	-	-	-	-	18,20

Annexe 6: Distribution et étendue de certains cultivars de manioc du sud du Tchad

N°	Noms locaux	Nombre de villages	Distribution et étendue
1	Tessem	27	Kamkoutou (+, +), Begolbé (+, +), Bengar I (+, +), Békao II (+, +), Bendja II (-, -), Mbouira (+, +), Ngaram Ngolé (+, +), Bira I (+, -), Bira II (-, +), Tchoua (+, -), Daradja (+, +), Dogou Yatreo (-, +), Berokouh (+, +), Debreng (+, +), Ngara (+, -), Kaga (-, +), Bigui (+, +), Bere (+, -), Gari A (+, -), Gari B (+, -), Sateignan I (-, -), Koudoti (+, +), Dakou (-, -), Bekourou (-, -), Doubadene IV (-, -), Doubadene V (-, -), Motobo (-, -).
2	Poum Poum	9	Kamkoutou (+, +), Begolbé (-, +), Bengar I (-, +), Bira I (-, -), Bira II (-, -), Kaga (-, +), Rogondoh (-, +), Gari A (-, -), Gari B (-, -)
3	Rendah	5	Kamkoutou (+, +), Bengar (-, -), Bira I (-, +), Bira II (-, +), Gari B (-, -)
4	Six mois	22	Begolbé (-, +), Bengar I (-, +), Koumogo (-, +), Békao II (-, +), Mbouira (-, -), Rogondoh (-, +), Bendja II (+, +), Sanodjo (-, -), Sateignan II (-, -), Doubadene V (-, -), Daradja (+, +), Gari B (-, -), Debreng (-, +), Gari A (+, -), Kaga (-, -), Kaïnodji (-, +), Motobo (+, +), Sadama (-, -), Ndakono (-, -), Bira II (-, -), Tchoua (+, +), Bira I (-, -).
5	Mandrakako	7	Begolbé (-, -), Bengar I (-, -), Bekao II (-, -), Rogondoh (-, -), Ngara (-, -), Kaga (-, -), Motobo (-, -)
6	Tinodji	10	Bengar I (-, +), Békao II (-, +), Bendja II (+, +), Bira I (-, -), Daradja (-, -), Ngara (-, -), Debreng (-, +), Rogondoh (-, +), Kaga (-, +), Gari B (-, -)
7	Mboguerai	5	Békao II (-, -), Daradja (-, -), Berokouh (-, -), Kaga (-, -), Bigui (-, -)
8	Kaba	2	Bendja II (+, +), Belama (+, +)
9	Zambinamawa	1	Belama (+, +)
10	Mbia	1	Belama (+, +)
11	Ngalindah	3	Ngaram Ngolé (-, +), Kaïnodji (-, +), Ndakono (-, +)
12	Maroua	1	Bira I (-, -)
13	Mbindakass	4	Bira II (-, -), Debreng (-, -), Rogondoh (-, +), Kaga (-, +)
14	Ndjabra	3	Bira I (-, -), Bira II (-, +), Daradja (-, -)
15	Moreye	6	Tchoua (+, -), Daradja (-, +), Dogou Yatreo (+, -), Berokouh (-, +), Debreng (+, -), Bigui (+, +)
16	Mbaïssigueo	1	Tchoua (-, -)
17	Ngalibaka	5	Daradja (-, +), Dogou Yatreo (-, -), Berokouh (+, -), Bigui (+, +), Bere (+, +)
18	Berokouh	2	Daradja (-, -), Dogou Yatreo (-, -)
19	Lizette	3	Dogou Yatreo (-, -), Berokouh (-, -), Bigui (-, -)
20	Ngali maguilira	1	Dogou Yatreo (-, -)
21	Garoua	1	Debreng (-, -)
22	Sima	3	Rogondoh (-, -), Gari A (-, -), Gari B (-, -)
23	Madjingani	6	Kaga (-, +), Kaïnodji (-, +), Koudoti (-, -), Morkoh (-, +), Danamadji (-, +), Kokante (-, -)
24	Kangaba	11	Kaga (-, -), Sanodjo (-, -), Sateignan II (-, -), Sadama (-, +), Kaïnodji (-, +), Motobo (-, +), Maïkoum (-, -), Balimba (+, +), Koumogo (+, +), Doubadene IV (-, +), Doubadene V (-, -)
25	Pangassou	9	Sateignan I (+, +), Doubadene IV (+, +), Doubadene V (+, +), Sanodjo (+, +), Sateignan II (+, +), Koudoti (+, +), Bekourou (-, -), Dakou (-, -), Sadama (+, +)
26	Mandoz	8	Sateignan I (+, +), Doubadene IV (-, -), Sateignan II (+, +), Koudoti (-, -), Dakou (-, +), Bekourou (-, -), Ndilingala (+, +), Sadama (+, +)
27	Ngouôkoh	5	Sateignan I (-, +), Doubadene IV (-, -), Bekourou (-, -), Dakou (+, +), Ndilingala (-, -)
28	Boyo	10	Sateignan I (-, -), Bekourou (-, -), Sanodjo (+, +), Ndilingala (+, +), Doubadene IV (-, +), Koudoti (+, +), Dakou (+, +), Sateignan II (+, +), Doubadene V (+, +), Sadama (-, -).
29	Guebida	5	Doubadene IV (-, +), Bekourou (-, +), Dakou (-, +), Ndilingala (-, +), Sadama (-, -)
30	Bebedjia	4	Doubadene IV (-, +), Sanodjo (-, +), Sateignan II (+, +), Sadama (-, +)
31	Tamandodji	4	Doubadene IV (-, +), Doubadene V (+, +), Sanodjo (-, +), Sadama (-, +)
32	Konhongo	3	Doubadene V (-, +), Bekourou (-, +), Madimba (-, +)
33	Damain	3	Doubadene V (-, +), Sateignan II (-, +), Danamadji (-, +)
34	Bandou	3	Doubadene V (-, +), Sadama (-, +), Danamadji (-, +)
35	Djihoko	3	Sanodjo (-, +), Sateignan II (-, +), Danamadji (-, +)
36	Ndabodleub	3	Sanodjo (-, +), Madimba (-, +), Danamadji (-, +)
37	Karanga	3	Kaïnodji (-, +), Motobo (-, +), Ndakono (-, -)
38	Gentil	3	Maïkoum (-, +), Koumogo (-, +), Ndakono (+, +)
39	Madinta	3	Maïkoum (+, +), Balimba (+, +), Ndakono (-, +)
40	Delila	3	Bekourou (-, +), Morkoh (-, +), Madimba (-, +)
41	Tolmad	4	Maïkoum (+, +), Bekourou (-, +), Madimba (-, +), Danamadji (-, +)
42	Landoh	2	Koumogo (+, +), Kokante (+, +)
43	Yasso	1	Mbouira (-, +)
44	Ngali daïwa	1	Debreng (-, +)
45	Garoua	1	Debreng (-, -)
46	Koulambadjé	1	Ngara (-, +)
47	Godji ngali	1	Rogondoh (-, +)
48	Doubedjé	1	Rogondoh (-, -)

Annexe 6 (suite)			
N°	Noms locaux	Nombre villages	Distribution et étendue
49	Kaïra	1	Kaga (-,-)
50	Mbaïkana	1	Kaga (-,+)
51	Bogon	2	Doubadene V (-,+), Sadama (-,+)
52	Djirabé	1	Doubadene V (-,+)
53	Batatele	2	Kaïnodji (-,+), Ndakono (-,+)
54	Djeremi	2	Kaïnodji (-,+), Ndakono (-,+)
55	Ngaïngor	1	Kaïnodji (-,+)
56	Kebiang	1	Danamadji (-,+)
57	Bandayengué	1	Ndakono (-,+)
58	Ngarikobé	1	Ndakono (-,+)
59	Godjingari	1	Kaga (-,-)

Annexe 7: Fiches techniques d'analyse moléculaire

Fiche technique 1 : Extraction d'ADN à partir des feuilles fraîches de manioc (Protocole MATAB)

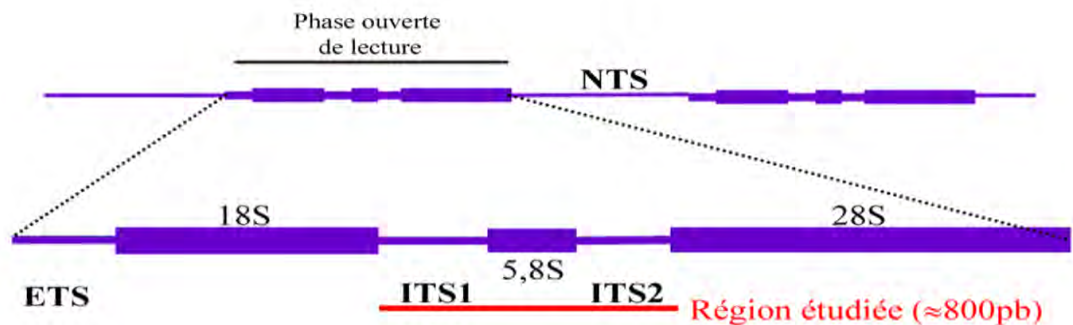
Pour chaque échantillon, 25 mg de feuilles fraîches sont broyées dans 750 µl de tampon d'extraction MATAB (Mixed alkyltriméthylammonium Bromure d'ammonium) préchauffé à 65°C comme suggéré par Gawal & Jarret (1991). Le broyat est transféré dans un tube Eppendorf stérile de 2 ml et mis en incubation dans un bain d'eau à 65°C pendant 20 min avec agitation toutes les 5 min pour permettre au MATAB de bien agir pour la destruction des parois pectocellulosiques et des membranes cellulaires qui va ainsi libérer l'ADN. Les échantillons ont ensuite été refroidis à la température ambiante pendant 5 min. Les débris cellulaires et les protéines en solution sont éliminés par addition au mélange de 750 µl de solution de chloroforme / isoamyle alcool 24:1 (CIAA) qui a été ensuite homogénéisé en effectuant 50 retournements successifs. Une centrifugation de 20 min à 13000 rpm et à 20°C s'en est suivie puis, une aliquote de 600 µl de surnageant est récupéré pour chaque échantillon et transféré dans un nouveau tube Eppendorf stérile de 1,5 ml et un volume égal d'isopropanol refroidi à -20°C y est ajouté pour précipiter les acides nucléiques. Le mélange est agité doucement jusqu'à l'apparition de la pelote d'ADN et les tubes sont placés à -20°C pendant au moins 2 h. Ensuite le mélange est encore centrifugé à 13000 rpm et à 4°C pendant 20 min, déposant ainsi la pelote d'ADN sur le fond des tubes. Le surnageant est vidé et les parois des tubes séchés avec du papier absorbant. Pour le lavage de l'ADN, un volume de 500 µl d'éthanol (70%) est additionné dans chaque tube suivi d'une centrifugation dans les mêmes conditions qu'auparavant. Après centrifugation, le surnageant est vidé et la pelote d'ADN séchée pendant au moins 1 h à la température ambiante. Le culot est ensuite dissout dans 100 µl de tampon TE 1X pendant une nuit. Pour dégrader les ARN, un volume de 6 µl de Rnase est additionné à la suspension d'ADN, et mis en incubation à 37°C pendant une heure. L'ADN extrait est quantifié puis conservé à -20°C ou directement utilisé pour les réactions d'amplification.

Fiche technique 2 : Quantification de l'ADN extrait

Dans chaque tube, 2 µl d'extrait d'ADN, 2 µl de bleu de bromophénol x6 et 6 µl d'eau ultra pure ont été mélangés et l'ensemble déposé dans les puits du gel. L'électrophorèse est réalisée sur un gel horizontal d'agarose à 0,8% additionné à 2,5 µl de bromure d'éthidium et immergé dans un tampon TBE x 1 [89 mM Tris (Sigma), 89 mM d'acide borique (Sigma), 2 mM EDTA, pH 8,3] à 100 volts pendant 30 mn. Les bandes d'ADN colorées au BET sont visualisées aux UV à 320 nm puis photographiées à l'aide du logiciel BioCapt. L'extrait d'ADN est quantifié par une estimation visuelle en comparaison aux bandes d'un marqueur, le Smart Ladder de 200 à 10.000 pb.

Fiche technique 3 : Amplification par réaction de polymérisation en chaîne (PCR)

La position de la région étudiée est la sequence (*ITS-1* et *ITS-2* ; *5,8S ADNr*).



Position de la région étudiée (*ITS-1* et *ITS-2* ; *5,8S ADNr*) dans l'ADN ribosomique nucléaire.

Les unités répétées en tandem d'ADN ribosomique nucléaire sont séparées les unes des autres par des espaceurs intergéniques non transcrits (NTS). Une unité est composée d'un espaceur externe transcrit (*ETS*), de trois régions codant pour chacune des sous-unités ribosomique (18S, 5.8S, 28S), et de deux espaceurs internes transcrits (*ITS-1* et *ITS-2*).

La PCR repose sur la répétition de trois étapes : la dénaturation de l'ADN matrice, l'hybridation des amorces sur la matrice et l'élongation de l'extrémité 3' du brin néosynthétisé par une enzyme thermophile, la Taq polymérase. Ces trois étapes constituent un cycle répété de façon automatique *n* fois. A chaque cycle, le fragment d'intérêt double en quantité. Cette augmentation exponentielle va permettre d'obtenir une quantité suffisante du fragment d'ADN désiré pour en étudier par la suite son polymorphisme via diverses techniques de biologie moléculaire. Pour réaliser une bonne amplification par PCR, il est nécessaire d'ajuster les conditions expérimentales afin d'obtenir un bon appariement des

amorces sur le brin d'ADN matrice ainsi qu'une activité de la Taq polymérase maximale, de manière à optimiser le rendement de la PCR. A chaque couple d'amorces correspond une température d'hybridation (T_m) ; ainsi il est important de bien déterminer cette T_m . Par ailleurs on peut ajuster la concentration en ions Mg^{2+} du mélange PCR, un co-facteur de l'enzyme Taq polymérase pour optimiser la stringence de la réaction.

L'amplification des *ITS-1* et *ITS-2* séparés par la *5,8S ADNr* de l'ADN ribosomique de *Manihot esculenta* a été effectuée en utilisant le couple d'amorces: AB101 fwd. (17SE) (5' ACG AAT TCA TGG TCC CGT GAA GTG TTC G 3') et AB102 rev. (26SE) (5' TAG AAT TCC CCG GTT CGC TCG CCG TTA C 3'), dans un volume réactionnel de 25 μ l contenant 18,3 μ l d'eau ultra pure ; 2,5 μ l de tampon non coloré (10x) ; 1 μ l de $MgCl_2$ supplémentaire (25 mM) ; 0,5 μ l de dNTP (2,5 mM) ; 0,25 μ l de chaque amorce (100 μ M) ; 0,2 μ l de Taq Polymérase (5U/ μ l) et 2 μ l d'extrait d'ADN. La réaction d'amplification est réalisée avec les conditions suivantes : dénaturation initiale à 94°C pendant 3 mn, suivie de 35 cycles de dénaturation à 94°C pendant 1 mn, hybridation à 51°C pendant 1 mn et une élongation du brin d'ADN complémentaire à 72°C pendant 1 mn ; une élongation finale à 72°C pendant 10 mn termine la PCR.

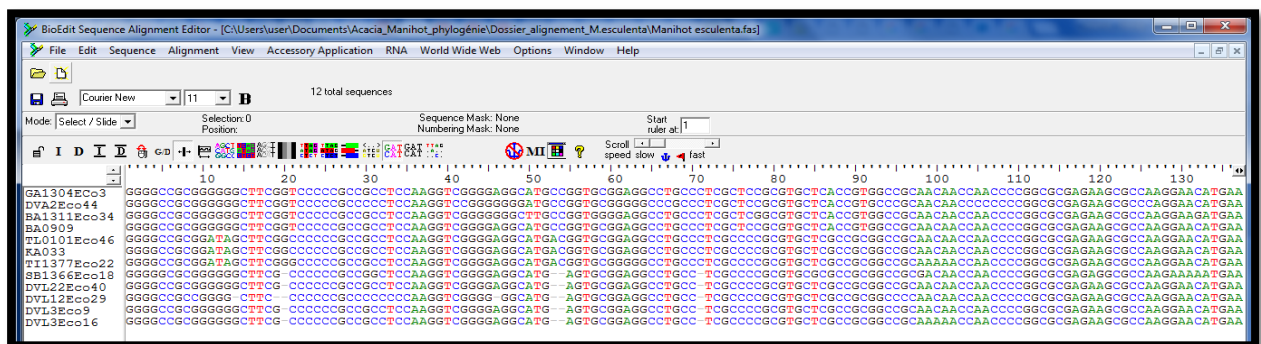
Le rendement et la spécificité de la PCR ainsi que la taille des fragments amplifiés sont ensuite contrôlés en effectuant une électrophorèse sur gel d'agarose à 1,5% dans un tampon Tris Acétate EDTA (TAE 0,5x) et dans lequel est ajouté du bromure d'éthidium. Un volume de 5 μ l d'amplifiat est chargé dans chaque puits du gel avec 5 μ l d'une solution de bleu de bromophénol (0,3% glycérol - 0,125% bleu de bromophénol), substance colorée de densité plus importante que l'ADN l'entraînant ainsi dans le fond du puits et utile pour repérer la progression de la migration. Un puits est consacré au marqueur de poids moléculaire (PM), le Smart Ladder qui est composé de plusieurs fragments d'ADN de taille connue nous permettant de vérifier la taille des amplifiats. Après la migration (100 V pendant 30 mn), le gel est déposé sur une plaque transparente équipée d'une lampe UV : les fragments amplifiés apparaissent alors sous la forme de bandes fluorescentes rosées, la fluorescence émise par le bromure d'éthidium intercalé entre les deux brins des fragments d'ADN amplifiés. Une photographie est prise et l'intensité relative de la bande (luminosité et superficie) nous sert à estimer la concentration du fragment amplifié dans la solution. Ainsi pour le besoin d'une quantité suffisante ADN destiné au séquençage nous avons effectué pour chaque individu, 2 PCR de 25 μ l. les amplifiats ont ensuite été conservés au froid à -20°C dans des tubes eppendorf de 1,5 ml en attendant leur séquençage.

Fiche technique 4 : Séquençage

La technique du séquençage consiste à déterminer la séquence en nucléotides d'un fragment d'ADN. Elle permet, en comparant les séquences d'un même gène chez différents individus de la même espèce ou d'espèces différentes, de mettre en évidence des mutations ponctuelles. Le séquençage est une réaction de PCR particulière utilisant l'amplifiat d'ADN purifié comme matrice de départ, en plus des composés habituels (polymérase, amorces, dNTPs, Mg^{2+}), des nucléotides modifiés : les didéoxynucléotides (ddNTPs). Ces derniers sont dépourvus de terminaison 3'-OH sur le désoxyribose, ce qui bloque ainsi l'élongation du brin d'ADN en cours de synthétisé. Ils ont aussi la particularité d'être couplés à des fluorochromes : ddATP-vert, ddTTP-rouge, ddCTP-bleu et ddGTP-jaune (en noir sur l'électrophorégramme). L'incorporation de ces ddNTPs par la polymérase bloque donc l'élongation de la molécule d'ADN complémentaire en cours de copie ; ce qui génère des fragments de différentes tailles. Les fragments de tailles différentes ainsi synthétisés sont ensuite séparés par électrophorèse sur gel d'acrylamide (des plus petits aux plus grands). La lecture du gel est réalisée par le balayage automatique d'un laser qui permet de détecter les différents fluorochromes couplés aux 4 ddNTPs. Ceci permet d'obtenir un électrophorégramme qui, après traitement informatique, permettra la lecture de la succession des bases de l'ADN séquençé.

Fiche technique 5 : Alignement des séquences

Les séquences nucléotidiques issues du séquençage ont été lues et corrigées puis alignées avec le logiciel BioEdit v.7.1.7 qui utilise l'algorithme Clustal W. Pour distinguer les séquences d'individus distincts nous les avons nommés selon le format : Initiale du site de collecte numéro du pied sélectionné. Dans toutes les analyses qui suivent sur les séquences nucléotidiques, les délétions ont été considérées comme un cinquième état de caractères (Felseintein, 1985 ; Sanderson, 1989).



Alignement avec le logiciel BioEdit v.7.1.7 de 50 séquences nucléotidiques de la région des ITS-1 et ITS-2, 5,8S ADNr de l'ADN ribosomique nucléaire de *Manihot esculenta*.
NB : DVL3Eco9 : DVL3 ; DVL3Eco16 : DVL2.

Annexe 8 : Protocoles d'analyses chimiques

1. Dosage des protéines (Méthode AFNOR NF V03-707)

Matériel

- Broyeur mécanique
- Tamis
- Minéralisateur
- Distillateur Kjeldahl
- Tube à minéraliser (matras)
- Balance analytique

Mode opératoire

L'échantillon est tout d'abord broyé. Pour réaliser la prise d'essai, on pèse une masse de 1 g. La prise d'essai est introduite dans le tube à minéraliser puis on ajoute le catalyseur et l'acide sulfurique concentré à 96%. Les tubes sont placés dans le bloc de minéralisation préchauffé. On règle ensuite le thermostat pour maintenir une ébullition légère et on chauffe jusqu'à obtention d'une solution limpide. Le chauffage est prolongé encore pendant 15 minutes. Le minéralisat est ramené à 230 ml avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée puis homogénéise ; et on prélève 25 ml que l'on met dans une unité de distillation. On ajoute ensuite un excès de NaOH à 32 %. Le distillat est récupéré dans 25 ml d'acide borique contenant 3 gouttes d'indicateur mixte et on place l'erlenmeyer sous le récepteur de distillat. La distillation est faite jusqu'à un volume de 150 à 250ml. On titre avec l'acide sulfurique 0,1 mol/L en fin de distillation sur l'ensemble du distillat (virage du vert au rose).

2. Dosage des teneurs en fibres totaux

Mode opératoire

Après broyage, une masse de 1g d'échantillon est mélangé avec 50 ml de H_2SO_4 0,3 N concentré. Une goutte d'antimousse est ajoutée et le mélange est porté à ébullition douce pendant 30 min. On introduit ensuite 25 ml de NaOH 1,5 N par le haut du réfrigérant et on continue le chauffage pendant 25 min. L'ébullition est prolongée pendant 5 min après ajout d'une pincée d'EDTA (environ 0,5 g). L'échantillon est ensuite filtré dans un creuset de porosité 2. Le filtre est lavé successivement par 25 mL de H_2SO_4 0,3 N, 50 ml d'eau distillée, 25 ml d'éthanol et enfin 25 ml d'acétone. Le creuset est séché dans une étuve à 130 °C pendant 2 h, refroidi dans un dessiccateur puis pesée. Il est ensuite porté à 400 °C dans un four à moufle pendant 2 h, refroidi et sa masse est pesée. Les résultats sont exprimés en % de cellulose brute.

3. Détermination de la teneur en éléments minéraux (Ca, P, Mg, Na, Fe, K.....)

Mode opératoire

Une prise d'essai de 2,5 g de l'échantillon est placée dans une capsule de platine préalablement pesée. La combustion est poursuivie jusqu'à ce que le résidu de combustion devienne blanc conformément à la méthode normalisée française **AFNOR 03-760**. La capsule est ensuite refroidie et le résidu est repris avec 1ml d'acide chlorhydrique puis chauffé jusqu'à évaporation complète. Le produit sec est repris avec 3ml d'acide nitrique et complété à 100ml par de l'eau distillée. Cette solution est filtrée et sert pour l'analyse des éléments minéraux au spectromètre d'absorption atomique. Le sodium et le potassium sont déterminés par la référence **NF EN 15505** tandis que les autres font référence à la norme **NF EN 14084**.

4. Dosage des sucres totaux (Méthode de Luff Schoorl)

Réactifs

- La solution cupro-alcaline ou solution de Luff Schoorl est préparée à partir d'une solution de carbonate de sodium (anhydre ou cristallisé), ajoutée d'acide citrique. Puis 25 g de sulfate de cuivre pentahydrate sont portés au bécher, et l'ensemble ramener à 1 litre avec de l'eau distillée.
- KI 30%
- H₂SO₄ 25%.
- Empois d'amidon
- Thiosulfate de sodium 0,1N

Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 ml, on dépose 25 ml de solution cupro-alcaline et 25 ml de jus de marula. On y ajoute quelques billes de verre, et on porte à l'ébullition pendant 10 mn en présence de réfrigérant. Après refroidissement sous un courant d'eau froide, on verse 10ml de solution d'iodure de potassium et 25ml d'acide sulfurique à 25%. Enfin on titre par la solution 0,1N de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon (employé comme indicateur coloré). Par ailleurs, effectuer un dosage témoin dans lequel 25 ml d'eau distillée remplacent les 25 ml de liqueur sucrée. En référence au tableau de Luff, on détermine la quantité de sucre interverti contenue dans la prise d'essai en fonction du nombre de ml de thiosulfate utilisés. Les résultats sont ensuite ramenés pour 100 g de produit.

5. Détermination de la teneur en eau

Mode opératoire

- Sécher un creuset par passage à l'étuve et refroidissement au dessiccateur jusqu'à la température du laboratoire puis taré ;
- Prélever une 2,5 g de l'échantillon dans le creuset préalablement taré ;
- Introduire le creuset ouvert, contenant la prise d'essai, dans l'étuve pendant 2 heures ;
- En opérant rapidement, retirer le creuset de l'étuve et le placer dans le dessiccateur ;
- Peser dès que le creuset est refroidi, à la température du laboratoire (30 mn après).

6. Dosage de l'amidon

Mode opératoire

Le dosage de l'amidon a été fait par la méthode polarimétrique d'Earle et Milner. Après dispersion de 2 g de poudre dans une solution de CaCl_2 suivie de filtration, le pouvoir rotatoire est déterminé. Un témoin de solution d'amidon est utilisé puis on détermine le pourcentage en amidon contenu dans l'échantillon analysé.

Annexe 9 : Publications scientifiques

Article 1 :

Djirabaye NADJAM, Mariama DIALLO, Mbaïlao MBAÏGUINAM, Aliou GUISSSE, 2016. Pratiques paysannes de gestion des cultivars de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au Sud du Tchad. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (3): 1098-1113.
DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.16>

Article 2:

Djirabaye NADJAM, Papa Saliou SARR, Michel NAÏTORMBAÏDE, Jean Marie Mbaïlao MBAÏGUINAM, Aliou GUISSSE. Agro-Morphological Characterization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Cultivars from Chad, 2016. *Agricultural Sciences*, 7, 479-492.
<http://dx.doi.org/10.4236/as.2016.77049>.

Article 3:

Djirabaye NADJAM, Aliou GUISSSE, Mbacké SEMBENE, Fatimata MBAYE, 2016. Polymorphism and Genetic Diversity among Cassava Cultivars based on ITS1-5.8S-ITS2 Sequences of rDNA. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 6 (6): 220-227.

Résumé

Le manioc est une importante source alimentaire et de revenus pour les communautés rurales du sud du Tchad. Dans les petites exploitations familiales, les paysans détiennent un nombre important de cultivars inexploités par la recherche. L'objectif de cette étude est d'évaluer le niveau de la diversité du manioc et d'en analyser les pratiques locales de gestion. Une enquête suivant une approche participative a été conduite suivie d'une prospection et de collecte des boutures. Les cultivars ont été évalués à l'aide des descripteurs agromorphologiques et des caractéristiques physicochimiques. Les séquences nucléotidiques de la région ITS1-5.8S-ITS2 de l'ADNr de 12 cultivars choisis selon leur importance ont été analysées. La zone d'étude se caractérise par une importante diversité variétale (Indice de Shannon : 3,38). Au total, 75 noms locaux sont inventoriés et 59 cultivars collectés. Leur dénomination est basée sur les origines, le cycle, le goût, les différentes parties de la plante et sur des faits socioculturels. La productivité, le goût et la grosseur des tubercules sont des critères prioritaires de sélection. Les critères d'identification sont les feuilles et tiges. Le nombre de cultivars varie de 2 à 12 par village (6 en moyenne), de 1 à 4 cultivars (2 en moyenne) entre les ménages. La perte de la diversité est en moyenne de 18,20 %. Au niveau phénotypique, 3 groupes de cultivars se différencient par la couleur de leurs feuilles apicales, de la nervure et de la forme des tubercules. Par rapport aux performances agronomiques, 2 groupes de cultivars productifs sont identifiés et qui peuvent servir de lignées parentales. L'évaluation des constituants physicochimiques des feuilles a permis d'identifier des groupes ayant des teneurs significatives en calcium (2018,4 mg/100g), magnésium (478,6 mg/100g) et potassium (1369,2 mg/100g). Concernant les tubercules, certains cultivars sont plus riches en amidon (31,05g/100g), d'autres en sucres totaux (57,99 g/100g) ou cendres (8,32 g/100g). De fortes teneurs en acides cyanhydriques, de 10 à plus de 150 ppm, sont observées tant au niveau des feuilles que des tubercules frais. Les analyses moléculaires révèlent une forte diversité haplotypique (0,954), une faible diversité nucléotidique (0,026) et deux clades solidement soutenus composés de 4 et 5 cultivars. Ces cultivars sont caractérisés par une stabilité démographique ou une expansion démographique modérée. Les cultivars performants et les pratiques de gestion de la diversité seront intégrés dans le programme d'amélioration du manioc.

Contribution to the improvement of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in Chad by the study of the diversity of cultivars

Summary

Cassava is an important source of food and income for rural communities in Southern Chad. In small family fields, farmers have a large number of cultivars untapped by research. The aim of this study is to assess their diversity and to analyze their traditional management practices. A survey using questionnaire and participatory rural appraisal is conducted followed by prospecting and collection of stem cuttings. Cultivars are evaluated using agro-morphological descriptors and physicochemical characteristics. The nucleotide sequences of the ITS1-5.8S-ITS2 region of the rDNA of 12 cultivars selected according to their importance are analyzed. The study zone is characterized by an important level of varietal diversity (Shannon-Weaver diversity index: 3.38). Seventy-five (75) local names are recorded and 59 cultivars are collected. Their name is based on the origins, cycle, taste, different parts of the plant and sociocultural facts. High yield root, taste and large sized rate are the farmer preferred criteria. Identification criteria are leaves and stems. The number of the cultivars ranges from 2 to 12 per village (6 on average), from 1 to 4 cultivars (2 on average) at household level. The average rate of diversity loss is 18.20 %. At phenotypic level, 3 groups of cultivars are different by the color of their apical leaf, vein leaf and roots shape. For agronomic performance, two high potential yield groups of cultivars are identified which can be used as parent lines. Groups with significant concentrations of calcium (2018.4 mg/100g), magnesium (478.6 mg/100g) and potassium (1369.2 mg/100g) are identified by physicochemical analysis of leaves. For roots, some cultivars are richer in starch (31.05 g/100g), others in total sugar (57.99 g/100g) or ash (8.32 g/100g). High levels of hydrocyanic acids, from 10 to more than 150 ppm, are observed both in the fresh leaves and roots. Molecular analysis reveals great haplotype diversity (0.954), low nucleotide diversity (0.026) and two strongly supported clades composed of 4 and 5 cultivars. These cultivars are characterized by demographic stability or moderate population growth. High-performing cultivars and the diversity management practices will be incorporated into the cassava improvement program.

Discipline: Ecologie et Agroforesterie

Mots-clés : Diversité génétique, variabilité agromorphologique, qualité nutritionnelle, savoirs paysans, cultivar, manioc, Tchad.