

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

Année : 2014

N° d'ordre : 097



THÈSE DE DOCTORAT UNIQUE

Spécialité : Botanique Systématique

Présentée par :

Monsieur DJEKOTA Christophe Ngarmari

Titre:

**Etude de la variabilité morphologique et taxonomie des
morphotypes chez le Karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn sous-
espèce *paradoxa*, *Sapotaceae*) dans la région du Mandoul au Tchad.**

Soutenue le 30 janvier 2014 devant le jury composé de :

Président	: M. GUISSSE Aliou	Professeur titulaire	UCAD
Rapporteurs	: M. AKPO Léonard Elie	Professeur titulaire	UCAD
	M. DIOUF Diaga	Professeur titulaire	UCAD
	M. BOUMEDIANA A. Ismael.	Chargé d'Enseignement	ENS/Nouakchott
Examineurs	: M. NOBA Kandoura	Professeur titulaire	UCAD
	M. KANE Aboubacry	Maître Assistant	UCAD
	M. MBAYE Mame Samba	Maître Assistant	UCAD

Directeur de thèse : Monsieur Kandoura NOBA, Professeur titulaire des Universités

SOMMAIRE

SIGLES ET ACRONYMES	iv
DEDICACE	v
REMERCIEMENTS	vi
Résumé.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1. Origine et position systématique	4
2. Répartition géographique	7
3. Biologie et productivité du karité	9
4. Ecologie du karité.....	18
4.1. Contrainte à la production	18
4.2. Influence des facteurs écologiques.....	19
5. Diversité du karité	23
5.1. Diversité phénotypique.....	23
5.2. Diversité génétique.....	24
5.3. Caractéristiques physico chimique du beurre de karité	25
6. Intérêts alimentaire et économique.....	27
7. Commercialisation du beurre de karité et ses dérivés	28
8. Technologie de transformation des amandes de karité.....	29
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	32
1. Zone d'étude.....	32
1.1. Présentation de la zone d'étude	32
1.2. Localisation et présentation des sites.....	33
2. Etude des caractères macro morphologiques.....	34
2.1. Plante adulte	34
2.1.1. Echantillonnage du matériel végétal.....	34
2.2. Variables macro morphologiques.....	35
2.3. Méthode d'analyse des données macro morphologiques	36

2.2. Caractères de la jeune plante	36
3. Etude des caractères micro morphologiques	37
3.1. Matériel végétal	38
3.2. Méthodes	38
CHAPITRE 3 : CARACTERISATION MACRO MORPHOLOGIQUE DES MORPHOTYPES	41
Introduction	41
RESULTATS	42
1. Etude de la pertinence des caractères	42
2. Caractérisation macromorphologique des morphotypes	44
2.1. Plante adulte	44
2.2. Jeune plante	49
3. Corrélations des caractères et affinités taxonomiques entre les morphotypes	52
3.1. Corrélations des caractères dans chaque site	52
3.2. Corrélations des caractères dans l'ensemble des sites	61
3.2. Affinités taxonomiques entre les morphotypes dans chaque site	65
CHAPITRE 4 : CARACTERISATION MICRO MORPHOLOGIQUE DES MORPHOTYPES.....	72
Introduction	72
RESULTATS	73
1. Caractères des poils des bourgeons apicaux	73
2. Types stomatiques	74
3. Proposition d'une clé partielle avec des caractères micro morphologiques	77
CHAPITRE 5 : AFFINITES INTRA SPECIFIQUES	81
Introduction	81
RESULTATS	82
1. Répertoire des caractères étudiés.....	82
2. Interprétation des facteurs	84
3. Contribution des caractères à l'AFC	86
4. Affinités entre les morphotypes.....	90
5. Proposition des clés de détermination	95

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE.....	98
1. Caractérisation macromorphologique	98
2. Caractères des poils apicaux et les types stomatiques.....	99
3. Affinités entre les morphotypes.....	101
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	104
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	107
ANNEXES.....	121

SIGLES ET ACRONYMES

CEPAGE : Cabinet d'Etudes Prospectives en Agronomie et Gestion de l'Environnement.

CIRAD : Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement.

ONDR : Office National pour le Développement Agricole.

AGRHYMET : Centre Régional de formation et d'application en agro météorologie et hydrologie opérationnelle (Niger).

ANOVA : Analyse de la variance.

DPF/INERA : Département des Productions Forestières/Institut de l'Environnement et des Recherche Agricoles (Burkina Faso).

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation.

IPGRI: Institut International des Ressources Phytogénétiques (ex-IBPGR).

BCR : Bureau Central de Recensement.

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

IRD : Institut de Recherche pour le Développement.

COFEMAK : Coopérative des Femmes du Mandoul pour la promotion du Karité

UDL : Unité de Développement Local

JRD : Clubs des Jeunes pour la Recherche et le Développement.

DEDICACE

Ce travail est dédié

à mon père et à mère pour la vie qu'ils m'ont donné

à tous les membres de ma famille pour l'affection constante et les encouragements continus.

Il est à l'honneur de la mémoire de :

Grand père NGARMARI

Oncles paternels NANADOUM, NOUBADOUM, KOUMATOLAL,

Grandes mères NGONDIAN, GAOUAL, KAKA NAIN

qui ont soutenu notre éducation et le début de notre carrière professionnelle.

Epouse Caroline Détabaye REMADJI pour les sacrifices qu'elle a consentis dans les moments difficiles de notre vie de couple. La volonté de Dieu est qu'elle se repose ainsi de ses durs labeurs.

REMERCIEMENTS

Cette thèse a été réalisée grâce au soutien du Dieu tout puissant. Elle est en même temps le fruit d'une collaboration entre l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar/Sénégal et l'Université de N'Djaména/Tchad. Elle a bénéficié de l'appui matériel et financier de plusieurs personnes qu'il est opportun de remercier sincèrement au terme de nos travaux. Nos remerciements vont tout d'abord au Laboratoire de Botanique et de Biodiversité l'Université de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar qui nous a accueillis. Que ce Laboratoire trouve ici l'aboutissement de son espérance, à savoir développer le partenariat inter universitaire.

Aux institutions et partenaires financiers sans lesquels la réalisation de ce document n'aboutirait, nous adressons nos sincères remerciements. Il s'agit respectivement de l'Université de N'Djaména qui nous a facilité toutes les formalités d'usage pour ces travaux de thèse en alternance à l'école doctorale à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et son appui financier (fonds de formation des formateurs) qui a soutenu nos travaux pendant quatre années. De CONFOFOR du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique qui a financé notre dernier séjour pour la finalisation de la thèse et la soutenance. De la Coopérative des Femmes du Mandoul pour promotion du Karité (COFEMAK) pour leurs contributions dans la collecte des données sur le terrain. De World Vision Tchad et de l'INADES-Formation, deux organismes d'appui à la filière karité au Tchad, pour leur cadre institutionnel favorable à nos travaux. Au cabinet des études Biodiversité-conseil (BIOCONS) pour la documentation sur le potentiel karité au Tchad. Que ces institutions trouvent ici l'expression de nos profondes gratitude.

Notre gratitude va à l'endroit du Professeur **Kandioura NOBA**, qui a accepté que la recherche se déroule dans le Laboratoire de Botanique et Biodiversité. Pour la confiance qu'il a placée en notre modeste personne en assurant la direction scientifique de cette thèse, nous lui sommes reconnaissants. Nous lui sommes reconnaissants pour ses conseils et son soutien dans nos différentes démarches, pour sa disponibilité, pour ses suggestions et ses remarques pour la finalisation de ce travail.

Au Professeur **NDIAYE Sérigne**, Doyen de l'UCAD au Professeur **SAMB Abdoulaye**, Directeur de l'Ecole Doctorale, pour avoir donné leurs avis favorables pour la soutenance de cette thèse.

Nos remerciements à Monsieur **GUISSE Aliou** Professeur Titulaire, pour avoir accepté de présider ce travail. Au Professeur **AKPO Léonard Elie** au Professeur **DIOUF Diaga**, au Professeur **SYLLA Samba Ndao**, au Docteur **Mame Samba MBAYE**, au Docteur **Aboubacry KANE** pour avoir accepté de juger et présenter des suggestions pour l'amélioration de la qualité de la version finale du document, nous adressons notre profonde gratitude.

Notre gratitude au corps enseignants de l'École Doctorale "Science de la Vie, de la Santé et de l'Environnement" en particulier à la secrétaire Mme **Fama DIOP** pour les différentes informations relatives aux conditions de cette formation doctorale qui nous ont été mises à notre disposition pour produire ce travail.

Au Docteur **Seyni SANE**, nous témoignons notre grande reconnaissance pour son entière disponibilité à traiter et contribuer à l'analyse statistique de nos données. Qu'il soit honoré par les résultats de ce travail. Au Docteur **Doudou DIOP**, nous témoignons notre grande reconnaissance pour son entière disponibilité à partager avec nous ses expériences en taxonomie numérique son approche méthodologique pour la caractérisation des végétaux. Qu'il soit honoré par les résultats de ce travail. Au Docteur **Ngansoumana BA**, nous témoignons notre grande reconnaissance pour son entière disponibilité à nous assurer la microscopie et photos des micros caractères de karité sont dans le document.

Nos remerciements au responsable de l'herbier de Dakar de la Faculté des Sciences et Techniques **Abdoul Aziz CAMARA** pour l'aide apportée dans le montage de l'herbier des variétés de karité que j'ai apporté du Tchad et **Souleymane SAKHO** pour les manipulations du matériel végétal étudié au Laboratoire de Botanique et Biodiversité. Au Docteur **FAYE Mamecore** Monsieur **Maurice SAGNA** technicien au Laboratoire de Biotechnologie pour l'environnement convivial de travail qu'ils ont su entretenir autour de ma personne.

Nos remerciements à tous nos supérieurs hiérarchiques de la Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de l'Université de N'Djaména en particulier le Docteur **Elisée MBAYNGON**, Chef de Département de Biologie pour la planification de nos enseignements rendant possible cette étude en alternance. Nous adressons aussi mes sincères remerciements aux collègues chercheurs Docteur **Mbaïlaou MBAÏGUINAM**, Docteur **Koumaro MBAYHOUEL**, Mme **Rakié Diakité KABA** avec lesquels nous avons apprécié l'urgence d'améliorer la connaissance de la systématique des variétés de karité au Tchad. A notre constant observateur des paramètres phénologiques du karité dans les sites **Elias NANBATEM**. Ils sont ceux qui m'ont été d'une aide cruciale dans la collecte des données. Qu'ils trouvent ici le fruit de leurs efforts.

Nous sommes reconnaissants aux membres de notre famille pour toute la compréhension manifestée et les sacrifices consentis pendant cette thèse. Nous pensons particulièrement à la famille **KOUMATOLAL** précisément à la veuve **Marthe Digamta KOUMATOLAL**, à notre épouse, la bien aimée **Christine NOUBA**, à tous nos enfants, à nos frères et sœurs, à nos amis pour leur soutien moral et sens d'humanisme. A mon père **Philippe NGARMARI** et ma mère **Odjinta Ra-alta MIRATE**, mes sœurs **Jacqueline NGARMARI** et **MINGUEMADJI** pour leur bénédiction, leur assistance multiforme et surtout pour leur apport dans la caractérisation des aspects ethno variétaux de nos échantillons en tant que producteurs de karité. A Monsieur **Pierre MOUNPOR**, son épouse **Clarisse TARYANOUBA** et leurs enfants pour leur gentillesse et chaleureux accueil pendant nos deux derniers séjours à Dakar. Qu'ils trouvent ici le fruit de leur générosité.

Enfin, que tous ceux qui, de près ou de loin, ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à l'obtention de ces résultats trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Résumé

Vitellaria paradoxa subsp. *paradoxa* (Sapotaceae) communément appelé karité est un arbre à usages multiples dans les communautés africaines et son beurre est commercialisé à l'échelle locale et internationale. Dans la plupart des pays où le karité pousse naturellement, il est noté une relative diversité infra spécifique qui complique l'identification des différents taxons. Ainsi, la présente étude a été réalisée dans 3 sites (Matekaga, Kemkian et Kol) situés dans la région du Mandoul au Sud du Tchad pour contribuer à l'amélioration de la connaissance de cette espèce. Les objectifs spécifiques sont de : i) préciser les caractères macro et micro morphologiques qui permettent de mieux différencier les morphotypes ; ii) ressortir les affinités entre les morphotypes ; iii) proposer une clé de détermination.

Cette étude a utilisé la méthode du *quadrat centré sur un point*. Dans les quadrats installés le long des transects, les caractères des organes végétatifs et reproducteurs sont répertoriés sur 240 arbres à karité choisis de façon aléatoire.

L'étude macro morphologique a montré que les caractères qualitatifs sont pertinents mais sont peu variables entre les 3 sites et que les descripteurs quantitatifs du fruit et de la graine sont plus importants dans la description macro morphologique. L'étude micro morphologique a montré que : 1-les poils épidermiques sont pluricellulaires simples chez tous les morphotypes étudiés, 2-la densité stomatique moyenne est de 362,8 st/mm² chez le karité ; 3- les stomates sont anomocytiques périgènes et ; 4- la densité stomatique par unité de surface varie d'un morphotype. L'ACP et la CHA réalisées sur la matrice des variables qualitatives et quantitatives ont confirmé l'existence des morphotypes déjà signalés par les précédentes études ethno-variétales. En outre, l'étude des affinités entre les morphotypes a mis en évidence 4 sous-groupes qui correspondraient à 4 morphotypes décrits par les populations locales. En effet, le sous-groupe I correspondait à Mbabéte, le sous-groupe II à Ngoitokoro, le sous-groupe III à Kiankos, le sous-groupe IV à Meingré. Ainsi, les morphotypes Bogrombaye et Komane ne semblent appartenir de façon inéquivoque à aucun des 4 sous-groupes. De tels résultats constituent un préalable pour la domestication de cette espèce et dans un objectif de sa gestion durable.

MORPHOLOGICAL VARIABILITY ASSESSMENT AND TAXONOMY OF SHEA BUTTER TREE (*VITELLARIA PARADOXA* C.F. GAERTN) IN THE REGION OF MANDOUL IN CHAD

Abstract

Vitellaria paradoxa subsp. *paradoxa* or Karité is a tree widely used for multiple purposes by African communities particularly for its butter which is commercialized locally and internationally. In most countries where the tree is naturally growing, misunderstanding its botanic constitutes a constraint for domestication. To overcome these constraints, the present study was performed in 3 sites (Matekaga, Kemkian and Kol) which are localized in the region of Mandoul in South of Chad. The objectives of this study were to contribute to enhance our knowledge on *V. paradoxa* variation. The specific objectives achieved were: i) identify the macro and micro morphological characters differentiating the morphotypes described by the farmers in previous studies; ii) identify the micro morphological characters; iii) propose an identification key.

Qualitative, quantitative (macro and micro) characters were measured on 240 individual plants sampled randomly. Data analysis using ACP and CHA revealed the existence of 4 morphotypes instead of 6 ethno-varieties identified by folk classification. 1- Morphological variation studies showed that, qualitative characters were relevant and infra specifically less variables between the 3 sites; 2- the promologic descriptors (fruit and seed length and width) were the best quantitative macro morphological descriptors. Micro morphological studies showed: 1- epidermal hairs simple multicellular short type and long characterized all the morphotypes used in this study; 2- The average stomatal density was 362.8 st/mm² found in *V. paradoxa*; 3- the existence of the stomata anomocytic perigene type; 4- the variability of its density per unit surface in morphotype to another should be an adaptive character. Affinity between morphotype showed 4 sub-groups which can be considered as sub varieties. Therefore, the sub-group I, II, III and IV can be considered as Mbabéte, Ngoitokoro, Kiankos and Meingré respectively while the morphotypes Bogrombaye and Komane cannot be differentiated. Our results were the first step in order to implement the domestication process of *V. paradoxa* for sustainable management.

Discipline : Botanique Systématique.

MOTS CLES : Tchad, *Vitellaria paradoxa* subsp. *Paradoxa* ; Karité, caractère morphologique, affinité, morphotype, stomate, poil.

FER 04 / UER 401 : Connaissance, Conservation et Gestion de la Biodiversité

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Aire de distribution du karité en Afrique.....	9
Figure 2. Cartographie du potentiel karité au Tchad.....	17
Figure 3. Organisation administrative au Tchad.....	32
Figure 4a. Représentation bidimensionnelle des variables et individus à Matekaga.....	53
Figure 4b. Représentation bidimensionnelle des variables et individus à Kemkian.....	55
Figure 4c. Représentation bidimensionnelle des variables et individus à Kol.....	57
Figure 5a. Dendrogramme montrant la similarité entre les arbres à karité dans Matekaga.....	59
Figure 5b. Dendrogramme montrant la similarité entre les arbres à karité dans Kemkian.....	60
Figure 5c. Dendrogramme montrant la similarité entre les arbres à karité dans Kol.....	60
Figure 6. Variables des arbres dans l'ensemble des 3 sites.....	61
Figure 7. Variables des paramètres étudiés dans l'ensemble des 3 sites.....	62
Figure 8. Proximité de 240 arbres à karité des trois (3) sites.....	64
Figure 9. Corrélations sans élimination des variables à écarter.....	87
Figure 10. Corrélations morphotypes superposés aux variables étudiées.....	88
Figure 11. Combinaison de 56 caractères des morphotypes de karité.....	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Noms locaux des morphotypes de <i>V. p. subsp. p.</i> en Bambara au Mali	4
Tableau 2 : Noms locaux des morphotypes de <i>V. p. subsp. p.</i> en Sara au Tchad.....	5
Tableau 3 : Estimation du potentiel karité au Tchad.....	13
Tableau 4 : Caractéristiques des sites d'études.....	33
Tableau 5 : Nombre de karités échantillonnés par transect et par site.	34
Tableau 6 : Descripteurs mesurés et leur symbole.....	35
Tableau 7 : Statistique des descripteurs foliaires par sites.....	42
Tableau 8 : Statistique des descripteurs des fruits par sites.....	43
Tableau 9 : Statistique des descripteurs quantitatifs des noix par sites.....	44
Tableau 10 : Caractéristiques des morphotypes.....	45
Tableau 11 : Caractères des feuilles des jeunes plantes des morphotypes.....	50
Tableau 12 : Matrice des composantes des morphotypes à Matekaga.....	52
Tableau 13 : Matrice des composantes des morphotypes à Kemkian.....	54
Tableau 14 : Matrice des composantes des morphotypes à Kol.....	56
Tableau 15 : Matrice de corrélation entre les variables des 3 sites confondus.....	61
Tableau 16 : ACP : Valeurs propres et inertie (%) sur les axes factoriels.....	63
Tableau 17 : Variation morphologique au sein des sites.....	65
Tableau 18 : Caractéristiques des sous-groupes de morphotypes	67
Tableau 19 : Moyennes des différents paramètres et indices stomatiques.....	76
Tableau 20 : Ecart réduit des indices stomatiques des morphotypes pris 2 à 2.....	77
Tableau 21 : Tableau synoptique des caractères micro morphologiques étudiés	77
Tableau 22 : Tableau synoptique des caractères étudiés.....	82
Tableau 23 : Matrice des composantes.....	84
Tableau 24 : Variables écartées par l'AFC.....	85
Tableau 25 : Valeurs propres et inertie des principaux axes.....	86
Tableau 26 : Taux de contributions des morphotypes à l'AFC.....	87
Tableau 27 : Caractéristiques des fruits des morphotypes étudiés.....	89

LISTE DES PHOTOS

Photo I. Appareil végétatif du karité (<i>Vitellaria paradoxa</i> subsp. <i>paradoxa</i>).....	14
Photo II. Phénologie du karité : stade de floraison.....	15
Photo III. Phénologie du karité : stade de maturation des fruits.....	15
Photo IV. Morphologie des fruits de karité	35
Photo V. Différents types de poils chez (<i>Vitellaria paradoxa</i> subsp. <i>paradoxa</i>).....	74
Photo VI. Anatomie de la face supérieure et de la face inférieure du karité	75

LISTE DES PLANCHES

Planche I. Différents types de poils des bourgeons apicaux.....	74
Planche II. Type stomatique chez <i>Vitellaria paradoxa</i> subsp. <i>paradoxa</i>	75

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn subsp. *paradoxa* (*Sapotaceae*) est une plante à usages multiples. Son importance au niveau micro économique se traduit par son utilisation dans l'alimentation (pulpe du fruit et beurre), la santé (beurre, feuilles, écorce), l'énergie (bois de combustible) et la construction (bois de service). Il est également important sur le plan macro économique dans la mesure où l'exportation des amandes et du beurre constitue une source majeure de devises pour certains pays africains comme le Burkina Faso, le Mali (Nianogo et al., 1997a et b), le Tchad (Djekota, 2008). En outre, les amandes de karité sont transformées par les femmes, ce qui lui confère une importance indéniable sur le plan social.

Cette espèce comporte 2 sous-espèces : *Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica* (Kotschy) Hepper qui pousse en Afrique de l'Est et *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* (C.F. Gaertner) Hepper qui est rencontrée en Afrique Occidentale et qui est l'objet de ce travail.

Cette sous espèce (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*) renferme huit (8) variétés (annexe 5) dont l'identification est encore problématique à cause d'une absence de clés de détermination. En plus, le karité s'est vu attribuer de nombreuses appellations en langues locales dont les significations attestent d'une certaine diversité phénotypique. Ces problèmes d'identification constituent un sérieux frein à la domestication de ces taxa.

Ainsi, il est important d'améliorer la détermination de ces taxons par la caractérisation des ressources génétiques des différents morphotypes de *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. subsp. *paradoxa*. En effet, l'étude des variations macro et micro morphologiques de certains organes devrait permettre de mettre en évidence les affinités entre taxons et de proposer une clé de détermination des différentes variétés pour améliorer la connaissance de *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. subsp. *paradoxa*.

Ce travail est alors entrepris pour contribuer à la meilleure connaissance des morphotypes de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*. Il s'agit de façon spécifique de : i) préciser les caractères macro et micro morphologiques qui permettent de mieux différencier les morphotypes ; ii) ressortir les affinités entre les morphotypes ; iii) proposer une clé de détermination.

La présentation des résultats de nos travaux se fera en six principales parties :

- l'introduction ;
- la synthèse de la bibliographie ;
- les matériels et méthodes ;
- les résultats portant sur :
 - les caractères macro morphologiques ;
 - les caractères micros morphologiques ;
 - les affinités qui existent entre les morphotypes ;
- la discussion générale et enfin ;
- la conclusion et les perspectives pour de futurs travaux.

CHAPITRE 1 :

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Origine et position systématique

✓ Origine

Le karité est une espèce autochtone d'Afrique de l'Ouest, décrite pour la première fois par Mungo Park en 1796 dans la région de Ségou (Mali). Selon Traoré (1978), le terme « karité » est une appellation "Sarakollé" de l'Ouest du Sénégal. Quant à l'appellation anglaise, *Shea butter tree* ou *Shea tree*, elle est originaire du Bambara. Le mot *Shea* découle de *Cié* en Bambara qui signifie arbre.

Le karité a été décrit sous le nom de *Vitellaria paradoxa* pour la première fois par Carl Friedrich Von Gaertner en 1805 (Ruyssen, 1957).

Dans les pays où pousse le karité, de nombreuses appellations en langues locales dont les significations attestent d'une certaine phénotypique ont été attribuées par les indigènes (tableau 1 et 2).

Tableau 1 : Noms locaux des morphotypes de *V. p. subsp. p.* en langue Bambara au Mali.

Appellation locale du morphotype et signification (traduction littérale)	Phénologie	Quelques caractéristiques du morphotype	Goût de la pulpe	Abondance production beurre
« <i>Cié ba</i> » (ba = grande taille)	Floraison : juin, Maturité fruit : sept.	Taille : 15 ± 25 m, Pas touffu, feuille longue	-	Moyenne
« <i>Sasali cié</i> » (sasali = débroussaille)	Floraison : janvier, Maturité fruit : avril	Petite noix	-	Plus d'huile
« <i>Cié intermédiaire</i> »	Floraison : avril, Maturité fruit : août	-	-	-
« <i>Shi boro boro</i> » ou « <i>baranté</i> » (excès ou rassasié sans satisfaction)	Maturité fruit : juil. Cueillette : 3 semaines	-	Pas délicieux, Sans saveur	Excellente
« <i>Shi koudouba</i> » (grande taille)	Maturité fruit : sept.	-	-	Excellente
« <i>Shi kolodjani</i> » (taille moyenne)	Maturité fruit : août	Taille moyenne	Aspect d'un œuf Pulpe charnue et très appréciée	Excellente
« <i>Shi kolo-mesesi</i> » ou « <i>beralaci</i> » (nombreux)	-	Taille moyenne	Délicieux Aspect : presque rond	«Très excellent»

Source : Club JRD de Sogoniko, IRD de Bamako au Mali

Tableau 2 : Noms locaux des morphotypes de *V. p. subsp. p.* en langue Sara au Tchad.

Appellation locale du morphotype et signification (traduction littérale)	Phénologie	Quelques caractéristiques du morphotype	Goût de la pulpe	Abondance production beurre
« <i>Bogrombaye</i> » ‘Je ne suis pas encore mur’ : latex persistant dans la pulpe	- Floraison : décembre à février - Maturité fruit : juin à septembre	- Arbre à houppier en forme pyramidale - Feuille oblongue à bord de limbe ondulé	Dure et sucrée	- Plus ou moins grosse noix, parfois la noix est sans amande - Faible production de beurre
« <i>Kian-kos</i> » ‘Karité concombre’ : fruit mûr dure au toucher	- Floraison : nov à février - Maturité fruit : mai à juillet	- Arbre ayant la forme d’un balai - Feuille oblongue à bord de limbe ondulé	Charnue sucrée	- Grosse noix - Production de beurre moyenne
« <i>Mbabéte</i> » ‘Mamelle de singe’ : base du fruit est comme bout de mamelle	- Floraison : décembre à février - Maturité fruit : mi-juin à septembre	- Arbre ayant la forme d’un balai - Feuille oblongue à bord de limbe ondulé	Très charnue	- Petite noix - Faible production de beurre
« <i>Meingré</i> » ‘Petit fruit’ : karité à petit fruit ayant la taille d’une maille de tamis	- Floraison : décembre à mars - Maturité fruit : juillet à octobre	- Arbre à houppier sphérique - Petite feuille oblongue à bord ondulé	Moins charnue, souvent peu sucrée	- Noix de petite taille - Production de beurre importante
« <i>Komane</i> » ‘Fruit juteux’ : karité à fruit très charnu	- Floraison : décembre à février - Maturité fruit : mi-juin à septembre	- Arbre à houppier sphérique - Feuille oblongue à bord de limbe ondulé	Charnue, enveloppe fragile, très sucrée	- Grosse noix - Production de beurre importante
« <i>Ngoïtokoro</i> » ‘Fruit semblable à un œuf’ : karité à fruit oval	- Floraison : décembre à février - Maturité fruit : mi-juin à septembre	- Arbre à houppier oblongue - Feuille oblongue à bord de limbe ondulé	Dure, charnue, sucrée	- Grosse noix - Production de beurre importante

Source : Djekota (2008).

Les tableaux 1 et 2 résument la description des morphotypes de karité qui existent au Mali et au Tchad. Les noms locaux et leur signification qui y sont mentionnés sont en *Bambara* et *Sara*, deux langues locales parlées respectivement au Mali et au Tchad. Dans ces deux (2) pays, les producteurs semblent articuler la signification de leurs appellations locales sur les caractères organoleptiques, la taille et la forme des fruits, la période de maturation des fruits et le rendement en beurre des amandes.

Il apparait ainsi que dans un même pays, l’appellation du karité diffère d’une ethnie à une autre, mais sa signification reste pratiquement la même. Dans certains groupes ethniques le caractère sacré de cette espèce est occulté par le poids des religions révélées.

✓ Position systématique

Selon Bonkoungou (1987), Mungo Park (Ecossais) fut le premier auteur qui décrivit le karité dans la région de Ségou au Mali en 1796. La classification du karité a été source de controverses chez les botanistes. C'est ainsi, qu'il va passer d'une tribu à l'autre, pour se retrouver actuellement dans la tribu des *Mimusopeae*. Le karité fut rattaché à la famille des *Sapotaceae*, et pris le nom de *Vitellaria paradoxa* en 1805, puis *Bassia parkii* en 1837 en souvenir de Mungo Park. Le genre *Butyrospermum* dont le nom rappelle l'utilisation de la graine, fut créé en 1864 par Kotschy (Guira, 1997). Selon Cronquist (1981) *Vitellaria paradoxa* appartient au règne des *Plantae*, du sous-règne des *Tracheobionta*, de l'embranchement des *Angiospermes*, de la classe des *Magnoliopsida*, de la sous-classe des *Dilleniidae* (*Gamopétale*), de la série des *Hypogynes*, de la sous-série des *Diplosténomes*, de l'ordre des *Ebénales*, de la famille des *Sapotaceae*, de la tribu des *Mimusopeae*, de la sous-tribu des *Mimusopinae*, du genre *Vitellaria*.

Le karité (*Vitellaria paradoxa*) présente plusieurs morphotypes reconnaissables par la taille et de l'architecture des arbres mais aussi par la forme des feuilles et des fruits. Ces différents aspects ont permis à Chevallier (1948) et Ryussen (1957) de décrire les premières variantes du karité. Ainsi, ces auteurs ont d'abord décrit deux sous-espèces qui sont : la sous espèce *paradoxa* et la sous espèce *nilotica*. Ces deux sous-espèces sont endémiques chacune d'une aire géographique. C'est ainsi que la sous espèce *paradoxa* se trouve en Afrique Occidentale et Centrale tandis que la sous-espèce *nilotica* ne se rencontre qu'en Afrique Orientale.

Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn. subsp *paradoxa*, est la plus répandue en Afrique et possède le taux d'exploitation et d'exportation le plus élevé. Ses noix ont une teneur en acide stéarique plus élevée et une teneur en acide oléique plus faible. Il en résulte un beurre de karité plus solide (Mbaïguinam *et al.*, 2007).

Vitellaria paradoxa subsp.*nilotica* (Kotschy) Hepper est rencontrée en Afrique Orientale. Elle se distingue de la première sous-espèce par sa forte pilosité et ses fleurs plus grandes. Ses noix possèdent une teneur en acide stéarique plus faible et une teneur en acide oléique plus élevée. Il en résulte un beurre plus liquide, privilégié par l'industrie cosmétique.

Chevalier entre 1907 et 1948, a décrit 8 variétés de karité (annexe 5). Toutefois, Ruysen (1957) a procédé à la révision de cette nomenclature et a finalement proposé trois variétés et deux sous variétés dans *V. paradoxa* subsp *paradoxa* en relation avec l'aire de distribution de l'espèce :

- ✓ la variété *niloticum* dont les feuilles adultes ont un limbe épais, oblongue à base fréquemment aigue, la pubescence des feuilles ne disparaît pas complètement à l'état adulte, les nervures secondaires sont au nombre de 2 à 35 paires, les fleurs ont un ovaire globuleux comportant 6 à 8 loges et surmonté d'un style hispide à la base, cette variété se rencontre surtout à l'Est de l'aire du karité ;
- ✓ la variété *Poissoni* est à port ordinairement pyramidal, les feuilles adultes très glabres sont ovales-allongées ou elliptiques, arrondies à la base ou au sommet, elles sont aussi larges à la base et à l'extrémité qu'au milieu et mesurent 12 à 16 cm de long et 5,5 à 7,5 cm de large, elle comporte 20 à 25 paires de nervures secondaires, le pétiole est long de 5 à 6,5 cm, cette variété est rencontrée au Bénin et au Ghana ;
- ✓ la variété *Mangifolium* serait la seule de la zone soudanienne notamment au Burkina Faso et au Mali, les feuilles sont oblongues, légèrement ondulées et glabres à l'état adulte et ressemblant à celles du manguier, les feuilles adultes ont un long pétiole de 4 à 11 cm et un limbe long de 14 à 26 cm et large de 3,5 à 6,5 cm entièrement glabre et luisant sur les deux faces, les nervures latérales ou secondaires, comportant 20 à 28 paires, sont à peine saillantes et peu visibles en dessous, les fruits ovoïdes ou sphériques sont de 4 à 6 cm de diamètre, cette variété se subdivise en deux sous-variétés suivant la forme et la couleur des jeunes feuilles, la pilosité et les fruits, ce sont :
 - la sous-variété *viridis* à feuilles petites vertes à l'état jeune, oblongues, au sommet glabre et très ondulées sur les bords ;
 - la sous-variété *rubrifolia* à feuilles plus grandes planes ou légèrement ondulées, à sommet arrondi, rougeâtres à l'état jeune, poils apprîmes sur la face inférieure, les ombelles florales sont moins fournies.

2. Répartition géographique

L'aire de répartition des deux sous-espèces de karité (*nilotica* et *paradoxa*) ne se chevauche pas, bien que la distance qui les sépare soit moins de 175 km. La même source affirme qu'à l'exception du Ghana et du Nigeria où on rencontre le karité à moins de 50 km de la côte, on le trouve à plus de 750 km de la côte partout ailleurs. Elle couvre environ 1 million de km² (Bonkougou, 1987) et elle est entièrement comprise dans la région occupée par les savanes et les forêts sèches soudanienne.

D'après Aubréville (1950), Ruyssen (1957) et Terpend (1982) l'aire naturelle du karité en Afrique (figure 1) s'étend, au Sud du Sahara, du Sénégal Oriental jusqu'au Nord-ouest de

l'Ouganda, soit du 16^{ème} degré de longitude Ouest au 34^{ème} degré de longitude Est. La zone du karité forme une bande longue de 5000 km et large de 400 à 750 km. Situé entre le 5^{ème} et le 15^{ème} parallèle, cette bande est inclinée vers le sud au fur et à mesure qu'elle avance de l'Ouest vers l'Est de l'Afrique. Hall *et al* (1996) estiment que le karité est actuellement présent dans 18 pays. Le Sous espèce *paradoxa* se rencontre au Bénin, au Burkina Faso, au Cameroun, en Côte d'Ivoire, en Guinée Bissau, en Guinée Conakry, au Mali, au Niger, au Nigeria, en République centrafricaine, au Sénégal, au Tchad, au Togo. La sous espèce *nilotica* couvre les pays tels que l'Ethiopie, l'Ouganda, la République Démocratique du Congo, au Soudan. Pour Aubréville (1950), Ruyssen (1957) et Guinko (1984) l'espèce est liée à la présence de l'homme qui en a assuré la protection et la dispersion. La zone soudano sahélienne, malgré ses conditions écologiques contraignantes, abrite les plus importants peuplements dans toute l'aire du karité.

En effet, selon IRHO (1952), les peuplements les plus denses se rencontrent surtout au Mali, au Burkina Faso, dans le Nord de la Côte-d'Ivoire, au Ghana, au Togo, au Bénin et au Nigeria. Toutefois, le Burkina et le Mali sont les deux pays qui se trouvent entièrement à l'intérieur de la zone de prédilection de l'espèce.

C'est en effet une bande d'environ 5 000 Km de longueur qui s'étend du Sénégal oriental (16° de longitude Ouest) jusqu'au Nord-Ouest de l'Ouganda (34° de longitude Est). La largeur de cette bande varie de 400 à 750 km. De ce fait, le karité est une espèce panafricaine présente dans 18 pays d'Afrique (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Ethiopie, Ghana, Guinée, Guinée Bissau, Mali, Niger, Nigeria, Ouganda, République Démocratique du Congo, République centrafricaine, Sénégal, Soudan, Tchad et Togo).

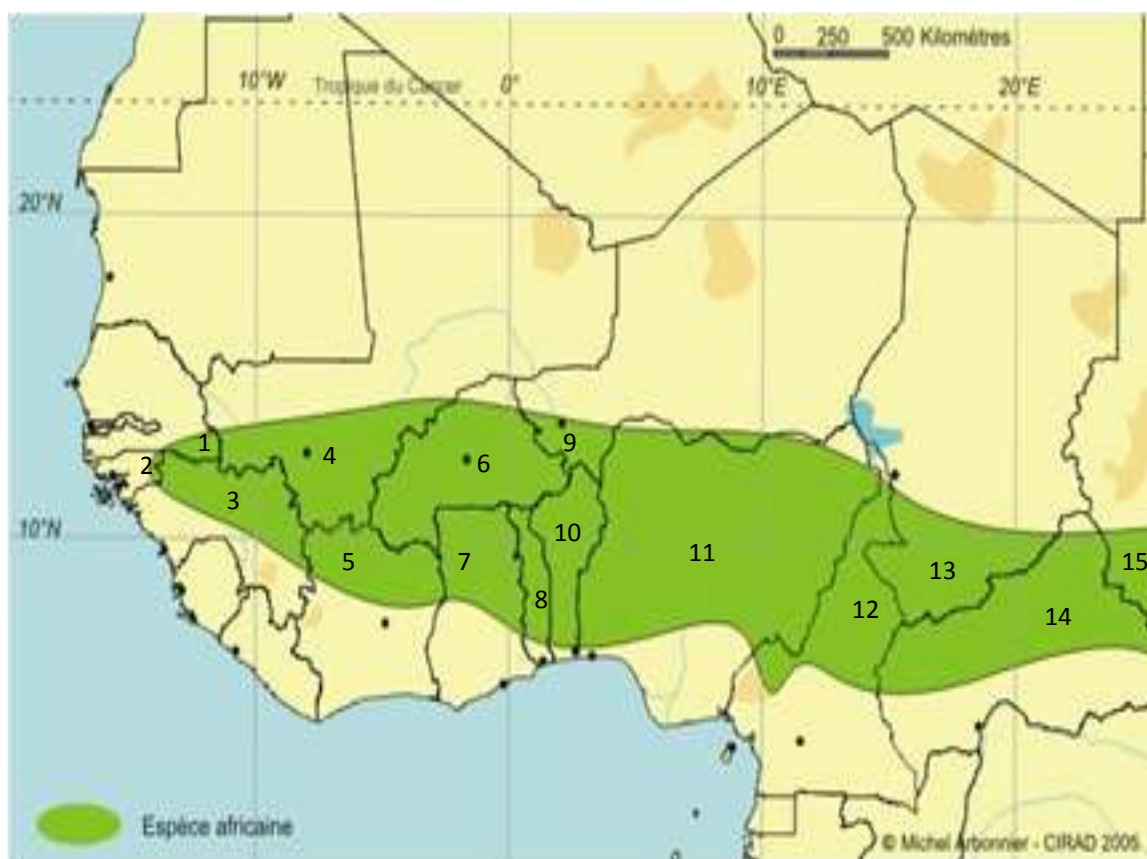


Figure 1 : Aire de distribution du karité en Afrique. Modification : complément des noms des pays producteurs de karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn subsp. *paradoxa*)

Source : *Ligneux du Sahel* ; **Site web** : 1.0/espèces/v/vitpar/vitpar_ca.html.

Légende :

1 = Sénégal ; 2 = Guinée Bissau ; 3 = République de Guinée ; 4 = Mali ; 5 = Côte d'Ivoire ; 6 = Burkina Faso ; 7 = Ghana ; 8 = Togo ; 9 = Niger ; 10 = Bénin ; 11 = Nigeria ; 12 = Cameroun ; 13 = Tchad ; 14 = République centrafricaine ; 15 = Soudan.

3. Biologie et productivité du karité

L'appareil végétatif du karité a été fortement documenté depuis sa première description par Mongo Park en 1796 dans la région de Ségou au Mali. Le karité est un arbre qui pousse à l'état sauvage dans certains pays d'Afrique. La croissance de la jeune plante est plutôt lente, particulièrement celle de la tige qui ne s'allonge que de 10 à 12 cm la première année (Sallé et al., 1991). A maturité, l'arbre atteint une hauteur allant de 10 à 15 mètres, avec un tronc d'une hauteur moyenne de 3 à 4 mètres (Teklehaimanot, 2004). De forme cylindrique, le tronc a une croissance extrêmement lente aussi bien en hauteur qu'en diamètre. Sa hauteur est souvent moins importante que le houppier. Le diamètre du tronc pris à hauteur de 1,30 m du sol, dépasse rarement 1 m (Ryussen, 1957 ; Guira, 1997).

D'après Baumer (1994), le tronc croît de 4 à 5 millimètres de diamètre par an, pour atteindre 3 à 8 mètres de circonférence à maturité. C'est un arbre trapu à cime plus ou moins

sphérique, dense, fortement branchue et ramifiée (Teklehaimanot, 2004). C'est un arbre peut atteindre 10 à 15 m de hauteur avec une cime puissamment branchue et ramifiée. Trois ports ont été décrits au niveau de la couronne des arbres par Lamien (2001): (i) Le port en boule: les branches secondaires s'étalent rapidement pour donner un aspect sphérique à la frondaison; (ii) Le port en balai ou parasol: les branches secondaires s'étalent vers le haut en V donnant un aspect de parasol à la cime; (iii) Le port semi-dressé ou érigé qui est l'intermédiaire entre les deux premiers types.

Le karité est un arbre à feuilles caduques. Les feuilles sont simples, entières, alternes et groupées en rosettes, surtout au sommet des rameaux (Maydell, 1992). Le limbe est obtus, luisant, coriaces, étroitement oblongues, longueur du limbe 12 à 25 et sa largeur 4 à 9 cm, à bord ondulé, à sommet en coin, arrondi ou échancré, à base arrondie ou en coin. Les très jeunes feuilles sont souvent rougeâtres et plus ou moins pubescentes. Le pétiole long de 3,5 à 10 cm est glabre. La nervation est pennée, à 20 à 40 paires de nervures secondaires plus ou moins saillantes selon les arbres. Elle apparaît en clair sur la face supérieure et proéminente sur la face inférieure (Arbonnier, 2000).

L'écorce de l'arbre est gris foncé ou noirâtre. Mais pendant les premières années et jusqu'à l'âge de 15 ans environ, elle est grise claire et presque lisse. C'est généralement dans les formations naturelles que l'écorce du karité présente une couleur noirâtre due aux feux de brousse. Sur les troncs et les branches âgées, l'écorce est ligneuse et profondément crevassée en plaques plus ou moins rectangulaires rappelant la peau du crocodile, à tranche épaisse rouge, exsudant un peu de latex (visible aussi en détachant une feuille) : l'exsudat est du latex blanc Maydell (1990). Ce revêtement constituerait un moyen efficace pour l'arbre dans la résistance à certaines attaques extérieures telles que les feux de brousse (Guira, 1997).

Le système racinaire du karité est fait d'un pivot très court et vigoureux dans le jeune âge qui atteint rapidement une profondeur qu'il ne dépasse plus (Aubréville, 1950). En plus de la racine pivotante, il émet des racines latérales dont la longueur peut atteindre 20 m (Bonkougou, 1987). Selon le même auteur, l'influence des racines sur les cultures sous-jacentes paraît négligeable puisque ces racines commencent à s'étaler à une profondeur de 40 cm environ.

La floraison se fait à des moments variables suivant les régions, de Décembre à début Avril lorsque l'arbre est plus ou moins défeuillé (Aubréville, 1950; Arbonnier, 2002). L'inflorescence du karité est bien caractéristique des *Sapotaceae*. Elle porte plusieurs fleurs groupées à l'aisselle des feuilles terminales ou des cicatrices foliaires sur les rameaux

défeuillés. Le nombre de fleurs par inflorescence est extrêmement variable et peut atteindre jusqu'à 100 fleurs par inflorescence (Oyen et Lemmens, 2002). Les fleurs particulièrement mellifères, de couleur blanc crème, longuement pédicellée (22 à 25 mm de long), à calice pubescent ferrugineux à 8 lobes, à corolle en cloche à 8 lobes imbriqués et odorante (Salle *et al.*, 1991), sont groupées en ombrelles denses de 30 à 40 fleurs, à l'extrémité de rameaux épais. Elles n'apparaissent que vers l'âge de 15 ans. Les premières fleurs sont stériles au cours des 3 premières années de floraison. Traoré *et al.* (1987) note que c'est 3 à 4 ans après la première floraison que le karité porte quelques fruits. Sur un même site, certains arbres peuvent avoir une floraison précoce, d'autres une floraison tardive. Il y a trois mois de décalage entre les deux extrêmes (Arbonnier, 2000).

Le fruit est une baie ovoïde, glabre ou pubescente, de 4-5 cm de long, disposée au bout d'un pédicelle (1,5 à 3 cm de long), portant le reste du style au sommet et les restes du calice à la base, vert jaunâtre à maturité, contenant en général une seule et parfois deux ou trois graines noyées dans une pulpe charnue et sucrée (Guira, 1997). Les fruits non murs contiennent du latex qu'ils perdent à maturité. Le péricarpe très charnu et sucré, est fortement consommé pendant la période de soudure au moment des travaux champêtres par les populations rurales (Aubréville, 1950). Selon Maydell (1992) et Arbonnier (2000), les fruits ovoïdes de couleurs verts sombre à brunes dont la taille est généralement comprise entre 4 et 8 cm de long se présentent sous la forme de grappes au sommet du rameau. La récolte des fruits se fait par cueillettes entre Juin et Septembre. C'est une tâche réservée généralement aux femmes et dans une moindre mesure aux enfants. C'est pourquoi on lui attribue le qualificatif «d'or des femmes» en Afrique sub-saharienne. Le fruit contient une, voire deux noix dures dont la couleur varie du brun clair au brun noirâtre en passant par le marron (Guira, 1997). La noix renferme une amande riche en matière grasse de forme arrondie ou ellipsoïde portant une cicatrice de couleur blanchâtre qui est en fait la graine proprement dite. L'amande contenue dans la noix est généralement de l'ordre de 4 cm de long et 2,5 cm de diamètre. Elle est formée de deux cotylédons soudés entre eux.

La dissémination des graines loin du pied mère est assurée essentiellement par l'homme et les animaux (surtout les chauves-souris) tandis que la pollinisation est faite par les insectes (abeilles, papillons, guêpes, mouches, fourmis, etc.) (Boussim *et al.*, 1993 ; Lamien *et al.*, 2004). Mais dans les zones à faible couvert basal, l'eau d'écoulement emporte certaines noix qui sont maintenues à la base des rejets de souche, des buissons. La graine y trouve alors les conditions d'humidité et d'aération favorables à sa régénération.

Sa croissance est d'une lenteur légendaire : on estime qu'il lui faut plus de 150 ans pour atteindre un diamètre à hauteur de poitrine de 70 cm. Sa durée de vie est estimée à 200 ou 300 ans. Son système racinaire étant très tortueux, le prévient l'érosion et favorise l'association avec d'autres cultures (Arbonnier, 2000).

La régénération de l'arbre à karité se fait naturellement, que ce soit par la germination des graines au sol, rejet de souche ou par drageonnement. Lorsque le fruit tombe au sol, s'ils ne sont pas mangés ou ramassés, la graine germe et la radicule s'enfonce rapidement dans le sol humide.

Le karité est handicapé par la faible dispersion de ses lourdes graines. Ces dernières tombent sous les houppiers de plante mère, où elles germent en forte densité. Dans ce cas, les plants évoluent rarement vers un pied adulte, même dans les jachères. Pire, dans les champs ces jeunes plantes sont éliminées lors des sarclages, comme tout autre adventice du champ.

Le séchage de la graine (noix) longue de 2,5 à 4,5 cm lui fait perdre approximativement 40% de son poids frais. Sèche, elle ne va alors plus peser que 6 g en moyenne, avec une humidité résiduelle de l'amande voisine de 7%. Les deux cotylédons de l'amande remplissent la totalité de la coque (Chevalier, 1943).

La graine du karité comme celle d'autres espèces de savane, a une germination cryptogée. La première étape de cette germination consiste en l'élaboration d'un organe souterrain de réserve favorable à la résistance, à la concurrence au feu et à la saison sèche. Ce genre de germination constitue une stratégie d'adaptation efficace de l'espèce si elle dispose de la durée nécessaire au transfert des réserves de la graine pour l'acquisition d'une indépendance nutritionnelle. Cette période correspondrait à une demande intensive en eau et en éléments nutritifs et à une grande sensibilité de l'espèce à la concurrence des individus voisins. Cette concurrence devient de plus en plus importante au fur et à mesure que l'arbre et son système souterrain grandissent. A ce stade, la jachère constitue une technique d'intégration du karité, et d'une façon générale, de l'arbre dans les champs. C'est actuellement la technique la plus répandue. Il est probable que les jeunes plantes ainsi protégées bénéficient de meilleures conditions nutritives et/ou d'une prolongation de la période.

D'après Aubreville (1950) dans la Flore Soudano-Guinéenne, les facteurs qui limitent la production du karité sont multiformes. Il relève que les fruits de karité sont mûrs de mai à août ; la récolte se fait depuis le début du mois de juin à juillet-août-septembre, selon les arbres. L'abondance de la fructification est très variable suivant les individus et les années.

Elle est diminuée lorsque les feux de brousse sévissent pendant la floraison. Certaines années, il n'y a pratiquement pas de fruits. Selon cette même source, certains arbres peuvent produire jusqu'à 8 000 fruits. Le poids moyen d'un fruit frais (Station expérimentale de Saria en haute Côte d'Ivoire) est de 26,4 grammes (moyennes portant sur 17 900 fruits). Avec une variabilité aussi grande du rendement suivant les individus, il est difficile d'indiquer des chiffres moyens de production par arbre ; cette moyenne est probablement faible dans les conditions ordinaires et comprise entre ¼ et ¾ de kilo d'amandes.

Au Tchad, selon le Ministère de l'Environnement et de l'Eau (1999), le karité se rencontre dans cinq (5) anciennes préfectures de la zone soudanienne à savoir le Moyen Chari, le Logone Oriental, le Mayo Kebbi Ouest, le Logone Occidental et la Tandjilé. Le même Ministère à travers le Bureau d'études CEPAGE a estimé à plus de 82 millions de pieds sur une superficie de 127.000 km² avec un relevé de 1 212 pieds dans 99 carrés de 1 ha échantillonnés dans toute la zone soudanienne du pays. Cette étude a conclu que la forte densité de karité au Tchad se trouve dans la région du Moyen Chari (ancien découpage administratif).

Plus tard en 2009, l'ONG, INADES-Formation Tchad avec l'appui financier de la Coopération Suisse au Tchad à travers le Cabinet BIOCONS a actualisé le potentiel karité au Tchad. Sur la base de la carte du nouveau découpage administratif du Tchad, le karité pousse dans 7 régions sur les 22 que compte le pays. Il s'agit des régions Mayo Kebbi-Est, Mayo Kebbi-Ouest, Tandjilé Est et Ouest, Logone Occidental, Logone Oriental, Mandoul Oriental et Occidental, Moyen Chari. Le tableau 3 présente l'estimation du potentiel karité au Tchad.

Tableau 3 : Estimation du potentiel karité au Tchad.

Régions	Superficie total de Région (ha)	Superficie du peuplement karité (ha)	Densité/ha	Nombre de pieds	Pourcentage
Mayo Kebbi Est	1 822 527	364 505(**)	0 ± 8	2 916 043	9
Mayo Kebbi Ouest	1283533	256 707(**)	0 ± 12	3 080 478	10
Tandjilé	1 753624	584 541(*)	0 ± 16	9 352 661	12
Logone Occidental	884 542	294 847(*)	1 ± 18	5 307 251	10
Logone Oriental	2 364 238	788 079(*)	2 ± 22	17 337 746	18
Mandoul	1 732 664	577 555(*)	2 ± 32	18 481 741	12
Moyen Chari	4 177 754	1 392 585(*)	1 ± 26	36 207 204	29
TOTAL	14 018 882	4 258 819	1 ± 19	92 683 130	100

(*) : 1/3 de la superficie de la région (proportion de la superficie occupée par la brousse, les terrains cultivés et les jachères)

(**) : 1/5 de la superficie de la région.

Source : INADES-Formation Tchad, (2009). Rapport de consultation/BIOCONS.

Le tableau 3 présente les résultats de l'étude du potentiel karité au Tchad ont estimé à 92 683 130 karités sur une superficie de 140 189 km² soit une densité de 655 pieds/km² (Inades-Formation, 2009). Il se dégage de cette étude qu'à raison d'une productivité moyenne de 15 Kg/karité/an de fruits frais fournissant en moyenne 5 kg d'amandes sèches (Lovett. 2004a), ces karités produiraient 1 390 247 tonnes de fruits frais/an ; soit 556 009 tonnes d'amandes sèches/an. Cette étude a confirmé que la forte densité des peuplements du karité se trouve dans l'ex-Moyen Chari précisément dans la région du Mandoul (nouveau découpage administratif).



PHOTO I. Appareil végétatif du karité (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*).
Photo réalisée à Kol dans la région du Mandoul au Sud du Tchad au sud du Tchad.



PHOTO II. Phénologie du karité (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*)
Stade de floraison. Photo réalisée à Kol dans la région du Mandoul au Sud du Tchad.



PHOTO III. Phénologie du karité (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*)
Stade de fructification : rameaux portant des fruits. Photo réalisée à Kol dans la région du Mandoul au sud du Tchad.

En 2003, l'ONG, World Vision Tchad a commandité une étude sur le potentiel karité dans les villages concernés par sa zone d'intervention dans la région du Mandoul (publié par CEFOD en 2008). La zone couverte par cette étude est délimitée au Nord du Mandoul par les villages *Goundi*, *Maïmtoki* et *Dobote*, au Sud par *Bédjondo*, *Yomi* et *Békamba*, à l'Ouest par *Mouroumgoulaye* et à l'Est par *Bédaya*. Environ 6 millions d'arbres à karité y sont potentiellement productifs. Le potentiel karité estimé dans cette zone d'étude est 3 326 tonnes d'amandes de karité/an pour une superficie de 5 986 100 hectares. La densité des peuplements de karité dans cette zone d'étude est de 2 à 25 pieds de karité à l'hectare, soit environ 239 444 pieds de karité adultes dans la région du Mandoul (World Vision Tchad, 2003). Malgré la faible taille de l'échantillon, ce résultat confirme une fois de plus la forte densité des peuplements de karité dans la région du Mandoul.

Cette forte densité de karité dans la région du Mandoul est due au fait qu'outre les peuplements spontanés de cette espèce, il y eut de plantation en 1929 dans les villages de *Bédjondo* et *Péni*. C'est dire que le karité a bénéficié de quelques attentions au niveau de la production, pendant l'aire coloniale (Inades-Formation Tchad ; 2000). Selon la même source, entre 1950 à 1958, la Société Mutuelle de Développement (SMDR) a appuyé la commercialisation du karité ; pour se faire, elle a rendu obligatoire sa plantation dans certaines localités et pistes d'accès aux villages. Au début de l'indépendance, le Fond de Développement Rural (FDAR) a tenté d'organiser la filière karité avant de passer le relais à un projet italien « Projet karité au Tchad » qui a débuté en 1974 pour finir en 1978. Ce projet qui couvrait toute la zone de production avait pour objectif la vulgarisation de nouvelles techniques de séchage dans les fours, des techniques de décorticage et de conditionnement des amandes.

4. Ecologie du karité

4.1. Contrainte à la production

L'écologie d'une espèce, selon la définition, est l'étude des rapports entre cette espèce et le milieu dans lequel elle se trouve. Aubréville (1950) note que le karité est l'unique *Sapotaceae* des sols secs sous climat soudanien. Selon Alexandre (1992), on classe le karité comme une espèce soudanienne «ubiquiste», puisqu'on l'observe tant sur des hauts de pente (100 à 1300 mm/an) que dans des biotopes rupicoles (500 à 1000 mm/an).

D'après Chevalier et Poisson (1901) dans *Flora of West Africa*, les deux sous-espèces de karité (*nilotica* et *paradoxa*) qui se diffèrent par les caractères morphologiques tels que la forme de l'appareil végétatif, la taille de la fleur sont écologiquement différentes. Hall *et al.*, (1996) précisent que les élévations au dessus de 600 m sont rencontrées dans les montagnes du Fouta Djallon, au Nigeria, au Cameroun et en Guinée mais la vaste majorité se présente à une altitude comprise entre 100 et 600 m.

Sur le plan écologique, le karité se présente comme une espèce adaptée à une grande variété de conditions environnementales (annexe 1). Il est rencontré dans les savanes arbustives, les forêts, et les galeries forestières. Le karité est communément associé à des systèmes d'agroforesterie et bénéficie d'attention particulière de la part des indigènes. Les arbres à karité sont multipliés depuis longtemps dans les régions cultivées et habitées à cause de leurs utilités (producteur de pulpe et du beurre), non en plantant les graines, mais en protégeant les jeunes plants qui poussent sur leurs terrains de culture ainsi que les rejets de souche. D'une manière générale, les populations les plus homogènes se rencontrent dans les champs de cultures et dans les jachères récentes ne dépassant pas 5 ans. Pendant les défrichements pour implanter de nouveaux champs, le karité et quelques autres espèces à usage multiple comme le néré (*Parkia biglobusa* (Jacq.) Benth)), le résinier (*Lannea microcarpa* Engl. et Kr), le tamarinier (*Tamarindus indica* L.) et (*Faidherbia albida* Del.) sont épargnés. Ces arbres bénéficient alors de la lumière et de la faible compétition avec d'autres espèces. Ils profitent également du travail du sol pendant les travaux champêtres. Ces conditions favorisent la croissance et la productivité du karité. L'arbre présente alors un aspect plus vigoureux. Par contre, dans les zones non défrichées, où l'arbre n'est pas protégé de la compétition et des feux de brousse, il y présente un aspect moins vigoureux et moins productif (Guira, 1997).

Du point de vue pédologique, le karité peut pousser sur différents types de sols comme les sols argileux, argileux sableux, latérite (annexe 1). Ainsi, d'après Chevalier (1943), Ruysen

(1957) et Terpend (1982), le karité s'adapte à divers types de sols, depuis les sols alluvionnaires jusqu'aux sols latéritiques. Ces sols sont généralement pauvres en éléments fertilisants tels que le phosphore, le potassium et le calcium. Cela montre que l'espèce n'est pas exigeante quant à la qualité des sols. Néanmoins, ces auteurs précisent que le karité est plus abondant sur les sols argilo siliceux ou silico-argileux et sur les latérites détritiques.

Toutefois, selon Sénou (2000), le karité est un arbre qui préfère les sols argileux, sableux avec une bonne couche d'humus, les pentes colluviales moyennement humides, profonds, riches en matière organique. Il évite toutes les stations marécageuses soumises aux inondations prolongées, les sols argileux humides et lourds et le bord des cours d'eau.

Au plan climatique, des échantillons de *Vitellaria paradoxa subsp. paradoxa* C. F. Gaertn sont récoltés dans les zones sèches mais aussi dans des zones côtières. D'après Hall *et al.*, (1996), le karité se rencontre dans les zones où la pluviosité moyenne annuelle est comprise entre 600 et 1400 mm, avec une ETP comprise entre 1400 et 2300 mm. Mais des populations isolées peuvent se retrouver sous des pluviosités inférieures à ces valeurs. Pour Bonkougou (1987), l'intervalle pluviométrique favorable est situé entre 500 mm à 1500 mm.

Sur le plan phytosociologique, le karité est une espèce principalement abondante dans les savanes arbustives, il est faiblement représenté en savanes arborées et boisées. On pourrait dire que le karité est sensible à la compétition interspécifique (Sénou, 2000). Pour ces auteurs, le karité est une espèce qui aime la lumière, les stations dégagées et aérées. Cependant il n'est pas rare de trouver l'espèce en association avec plusieurs autres espèces. Guinko *et al.*, (1985) souligne que dans le district phytogéographique de la Comoé (Burkina Faso) le karité cohabite avec des espèces comme: *Isobemilia doka*, *Isobemilia dalzielii*, *Burkea africana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Terminalia ssp*, *Pterocarpus lucens*, *Azelia Africana*, *Prosopis Africana*, *Bauhinia rufescens*, *Daniellia oliveri*, *Annona senegalensis*, *Tamarindus indica*, *Lannea microcarpa*, *Sclerocarya birrea* et *Parkia biglobosa*. En sommes, nous pouvons retenir avec Sénou (2000) que les savanes arbustives, arborées, et boisées semblent être un cadre idéal pour la régénération du karité.

4.2. Influence des facteurs écologiques

En fonction des conditions écologiques, le karité est représenté par ses sous espèces. Ainsi, la sous-espèce *nilotica* est présente en Afrique de l'Est, dans les zones d'élévation variant

généralement entre 1200 et 1600 mètres. Des populations ont été recensées au Soudan dans des zones d'élévation de 500 mètres (Vermilye, 2004).

La sous-espèce *paradoxa* est présente de l'Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale, du Sénégal jusqu'en République Centrafricaine dans les zones d'élévation variant entre 100 et 600 mètres. Ses noix possèdent une teneur en acide stérique plus élevée et une teneur en acide oléique plus faible que la sous-espèce *nilotica*. Il en résulte un beurre de karité plus solide. La sous-espèce *paradoxa* est la plus répandue en Afrique et possède un taux d'exploitation et d'exportation plus élevé (Vermilye, 2004).

4.2.1. Influence des facteurs biotiques

Les attaques de la pyrale qui provoque chez le karité l'avortement massif des fleurs et des fruits des rameaux infectés ont été mentionnées par Lamien (2007). Il précise que la présence ou le passage d'une larve dans le rameau se manifeste par l'existence d'une toile de soie recouverte de déjections ou d'un orifice béant à la taille de la larve d'insecte au sommet du rameau. Les larves de *Salebria spp.* (Spécimen de papillon, Lépidoptère : *Pyrallidae*) colonisent aussitôt les fruits quand ceux-ci apparaissent ; probablement parce qu'il y a davantage de substances nutritives disponibles et moins d'effort de forage à fournir. En fait, au moment de l'initiation florale, *Salebria spp.* dépose ses œufs sur la partie apicale des rameaux florifères. A l'éclosion de ces œufs, les jeunes larves forent les apex pour s'abriter à l'intérieur du rameau et se nourrir probablement des substances de réserve devant servir à édifier les boutons floraux. Une fois à l'intérieur, la larve continue d'agrandir son refuge au fur et à mesure qu'elle augmente de taille. Cet agrandissement de la galerie de refuge se fait aux dépens de tissus de conduction des nutriments. Une telle destruction des tissus compromet à terme la survie du rameau et des organes de reproduction qu'il porte.

La présence ou le passage de ces larves dans le fruit se manifeste de deux façons selon le stade de développement. Au stade initial, on observe deux fruits accolés. Lorsqu'on les sépare, on constate que l'un des fruits comporte un orifice avec généralement une larve à l'intérieur. A un stade avancé, c'est un fruit en dégénérescence qu'on observe avec également une larve à l'intérieur. Un rameau fructifère peut ainsi perdre la totalité de ses fruits soit parce que les tissus conducteurs ont été totalement détruits, soit parce que tous ses fruits hébergent des larves.

D'autres études avaient montré que des insectes comme *Mussidia nigrivenella* Ragonot, *M. pectinicornella* Hampson, *Nephopteryx orphnanthes* Meyrick et *Ceratitis silvestri* Begzi s'attaquaient aux fruits verts et au noix du karité (Sallé *et al.*, 1991). En Afrique de l'ouest, le genre *Salebria* serait représenté par trois espèces que sont *Salebria interniplagella* Ragonot, *S. mesozonella* Bradley et *S. morosallis* Saalmüller selon G. Georgen (IITA, Bénin) et M. Shaffer (Musée d'Histoire Naturelle de Grande Bretagne, Londres) qui ont déterminé ces spécimens. Concernant le karité, il n'a pas été possible de donner avec précision un nom d'espèce aux spécimens observés dans cette étude parce qu'aucune des espèces mentionnées n'était présente ni dans la collection de l'IITA, ni dans celle du musée de Londres. Ailleurs, dans le monde, le genre *Salebria* a été rapporté comme foreur des fruits de *Achras zapota* L., une autre *Sapotaceae*.

D'autres insectes foreurs de fruits comme *Mussidia nigrivenella* Ragonot (Lépidoptère : Pyralidae) qui s'attaquent aussi aux fruits du karité ont été observés par Setamou *et al.* (2000a). *Salebria mesozonella* a été signalé par Amirault (1995) sur le sorgho (*Sorghum bicolor*) qui est une culture annuelle fréquemment en association avec le karité dans les parcs agroforestiers en Afrique. Le sorgho est généralement récolté entre octobre et décembre au moment où certains morphotypes de karité précoces commencent leur initiation florale. Pendant que le karité achève sa fructification entre la fin août et le début septembre, le sorgho entame l'initiation des panicules. Lamien (2007) déduit qu'il est fort probable qu'il y ait un mouvement de l'insecte entre ces deux plantes hôtes et peut être d'autres se trouvant dans le même espace. Selon la même source, durant la période de reproduction du karité, c'est à la nouaison qu'on observe le plus fort taux d'infestation des rameaux par *Salebria* chez le karité. Cela pourrait être mis en rapport avec l'explosion démographique de l'insecte en réponse à l'abondance de nourriture à cette phase phénologique. Par ailleurs, il relève que *Salebria spp.* boucle son cycle de vie en 35 à 44 jours. De cette étude, *Salebria sp.* pourrait ainsi produire au moins 4 générations d'insectes entre l'initiation florale et la maturation fruitière du karité. Lamien (2007) déduit des résultats des ces travaux que cette incidence notable des attaques sur les rameaux fructifères contribue incontestablement à réduire le potentiel productif du karité en plus des pertes causées par les attaques directes des fruits. D'autres études ont trouvé des symptômes similaires au Ghana pour l'infestation des fruits du karité par *Nephopterix sp.*, une autre Pyralidae qu'on considère parfois proche, voire synonyme de *Salebria*.

Les pressions humaines, notamment l'abattage d'arbres pour le bois de feu, les feux de savane et de brousse et le déboisement des forêts au profit de l'agriculture – ainsi que la sécheresse sont les principales menaces pesant sur l'espèce.

Dans les parcs à karité, les parasites du genre *Tapinanthus* et les scarabées xylophages affaiblissent également les arbres au fil du temps et réduisent la production fruitière.

Agelanthus dodoneifolius (DC.) Polh. & Wiens et *Tapinanthus globiferus* (A. Rich) Van Tieghem sont les espèces de Loranthaceae dont les incidences parasitaires ont été également relevées. Selon Lamien (2006), parmi les deux espèces de Loranthaceae, *T. globiferus*, est celle qui a un diamètre de tige robuste par rapport à *A. dodoneifolius*. Boussim *et al.* (1993) ont rapporté que *A. dodoneifolius* a un comportement héliophile qui l'amène à se développer plus vers la périphérie du houppier pour bénéficier davantage de la lumière solaire. Même *T. globiferus*, qui ne semble pas montrer de préférence pour la lumière, abonde également dans la zone périphérique du houppier. Cette localisation préférentielle des parasites est probablement liée, d'une part, au comportement des oiseaux disséminateurs qui se réfugient en premier lieu dans cette zone et l'y abandonnent.

Maladies et ravageurs du karité

Oyen (2001) a cité 2 maladies cryptogamiques qui sont potentiellement importantes et qui sont causées par (Oyen (2001)) :

- 1- *Pestalotia heterospora* qui provoque des tâches foliaires ;
- 2- *Fusicladium butyrospermi* qui donne des plaques foncées sur les branches.

Au Ghana, le *Botryodiplodia spp.* provoque également des tâches sur les feuilles.

Par ailleurs, il existe un certain nombre d'insectes ravageurs dont les plus importants sont :

- *Curimospherna senegalensis* (synonyme : *Himatismus senegalensis*) qui provoque les jeunes pousses ;
- *Xyloctonus scolytoïdes* qui creuse des galeries dans l'écorce des rameaux empêchant la croissance des feuilles et des boutons floraux ;
- *Cirina butyrospermi* qui provoque la défoliation ;
- *Nephopteryx spp.* et *Mussidia nigrivenella* (foreur des épis de maïs) provoquent des dégâts sur les fruits ;
- *Ceratitis sivestrii* qui se nourrit de la pulpe des fruits en cours de maturation.

En outre, les karités sont souvent hôtes des figuiers étrangleurs (*Ficus spp.*). L'infestation de ces maladies et ravageurs finissent par tuer le karité s'ils ne sont pas supprimés en enlevant et brûlant les branches affectées.

4.2.2. Influence des facteurs abiotiques

La production du karité est limitée par des facteurs abiotiques dont la température, la pluviométrie, la structure du sol, etc. Les agriculteurs ne plantent habituellement pas de karités, il y a donc peu d'expérience locale en matière de production de jeunes plants. La graine est récalcitrante et ne peut donc pas être stockée selon des méthodes classiques. Le taux de germination décroît considérablement au bout de trois semaines de stockage à température ambiante (30 à 35 °C). Le temps de germination varie de sept jours à trois mois. Dans de bonnes conditions, le taux de germination oscille entre 30 et 75 %.

Malgré les énormes potentialités que présente la filière karité au Tchad, de nombreuses contraintes multiformes (écologiques, limitent une exploitation à grande échelle et plus rationnelle du karité par les populations des zones concernées. Il s'agit des facteurs ci-après :

- Le vieillissement des arbres
- Le manque d'entretien des arbres karité
- Les feux de brousse
- Les effets des aléas climatiques
- Les effets combinés et négatifs de la sécheresse ;
- L'insuffisance de la pluviométrie ;
- Les coupes anarchiques de l'arbre karité ;
- La cueillette précoce des fruits de karité ;
- L'appauvrissement des sols ;
- La pression exercée par l'agriculture et l'élevage.

5. Diversité du karité

5.1. Diversité phénotypique

Au sein de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*, la diversité phénotypique a été signalée par plusieurs auteurs. Environ six (6) morphotypes ont été décrits par les ruraux au Tchad à l'aide des caractères macromorphologiques comme la forme des fruits qui se révèle comme étant un des meilleurs descripteurs morphologiques (Djekota, 2008). Mbaïguinam *et al.*, (2007) ont analysé les caractéristiques physico chimiques des beurres extraites respectivement de ces morphotypes.

Au Tchad, les six (6) morphotypes qui ont été identifiés dans le Mandoul par les ruraux (World Vision Tchad ; 2003) selon la forme des fruits par les ruraux ont fait l'objet d'une analyse physico-chimique (Mbaïguinam *et al.*, 2007 ; Mohagir *et al.*, 2011). Cette étude a présenté le poids des fruits de karité de la région du Mandoul variant de 18 à 34 g (Student t-test, $p < 0.05$) similaire à celui des autres provenances étudiées par Ruysen (1957) et Boffa *et al.* (1996). Ils ont trouvé en Afrique de l'Ouest de poids des fruits variant respectivement pour le premier de 10 à 45 g et le second de 10 à 57 g.

Des marqueurs microsatellites et des traits quantitatifs de l'arbre de karité ont été étudiés par certains auteurs. C'est le cas de l'étude de la variation génétique au sein et entre-population sur onze populations qui ont été échantillonnées à travers le Mali et le nord de la Côte d'Ivoire. Les résultats ont montré qu'il y a de faibles niveaux d'hétérozygotie enregistrée. Cependant, les caractères quantitatifs étudiés sur le même échantillon ont montré une forte variation génétique entre populations et entre les morphotypes au sein des populations (Sanou *et al.*, 2005).

Par ailleurs, Gwali *et al.*, (2012) ont utilisé les caractères morphologiques de 176 arbres représentant 44 ethno-variétés de l'Ouganda pour établir la concordance entre la variation morphologique et la classification populaire. Leurs résultats ont montré une bonne concordance avec la classification des précédents auteurs lorsqu'ils ont combiné aux descripteurs foliaires et promologiques les traits qualitatifs tels que perçus par les agriculteurs. Chez *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* C.F. Gaetrn, (*Sapotaceae*), les caractères foliaires notamment la forme, la base, le sommet, la pubescence, la forme de la marge et la nervure sont fréquemment utilisés dans les flores par (Lebrun & Boutique, 1948 ; Hutchinson, 1958 ; Berhaut, 1967 ; Aubreville, 1950, 1959 ; Berg 1985). Cinq phénotypes de karité ont été également enregistrés en Côte d'Ivoire (Nafan *et al.*, 2007 ; Lamien *et al.*, 2007).

5.2. Diversité génétique

Guira (1997) a tenté de mettre en évidence la variabilité de certains caractères génotypiques du karité par les outils moléculaires mais sans succès. Lovett & Haq (2000), ont élargi cette recherche en utilisation d'autres marqueurs moléculaires tels que les isozymes mais sans clairement corréler les génotypes aux morphotypes de karité. Kelly *et al.*, (2004) ; Fontaine *et al.*, (2004) ; Bouvet *et al.* (2004) dans des institutions différentes ont utilisé les microsatellites pour mieux caractériser les populations de karité.

Ainsi, il est à signaler que des résultats considérables ont été obtenus avec les RAPD par Fontaine *et al.* (2004) qui ont montré 67% de variation intra population. C'est sur la base de ces résultats que les sous-espèces de karité qui sont : *nilotica* endémique de l'Afrique de l'Est et la sous-espèce *paradoxa* endémique de l'Afrique de l'Ouest jusqu'en Afrique Centrale ont été distinguées. Aussi, l'utilisation de SSR chloroplastique puis 3SSR (Fontaine *et al.*, 2004) ont donné 10 allèles mais ne différencient pas les deux (2) sous-espèces endémiques de l'Est et de l'Ouest. Par ailleurs, l'utilisation du SSR nucléaire par Allal (2007) sur des populations malienne a détecté 4 à 26 allèles. Ces auteurs précisent que ces résultats présentent une concordance relativement faible avec la diversité perceptible dans les populations naturelles de karité, ainsi que dans les parcs entretenus par les communautés villageoises. Ils relèvent qu'il y aurait probablement une forte influence de l'environnement sur les descripteurs utilisés par ces auteurs. Toutefois, le problème de l'existence de descripteurs fiables chez le karité demeure.

Chez le karité, la diversité génétique est plus faible que chez les autres arbres tropicaux. Cependant, leur degré de différenciation d'une population à l'autre est plus important que celui des marqueurs moléculaires, ce qui atteste l'influence de la sélection sur les valeurs génotypiques : la variation des caractères n'est pas seulement liée aux variables environnementales. Par conséquent, aucun élément ne prouve clairement l'adaptation à différents niveaux de précipitations, par exemple.

5.3. Caractéristiques physico chimique du beurre de karité

La composition d'une amande de karité se fait en général selon les proportions moyennes, susceptibles de varier selon l'origine du produit et surtout la manière dont il est traité (annexe 3). Selon le Secrétariat de la CNUCED, cette composition est partiellement estimée à : Triglycérides 50 % ; Acides gras libres 5 % dont : Acides palmitiques : 3 to 7 % ; Acides stéariques : 35 to 45 % ; Acides oléiques : 40 to 55 % ; Acides linoléiques : 3 to 8 % ; Esther de cire 7 % ; Protéines 0,7 à 1,3 g (pour 100 gr) ; Densité de 0,92 à 40°C ; Point de fusion 22°C ; Insaponifiables entre 8% et 10% :

- ✓ Alcools tri terpéniques (environ 75 %) ;
- ✓ Hydrocarbures dont Karitène (environ 20 %) ;
- ✓ Stérols (environ 3 %) ;
- ✓ Tocophérols (0,1 %).

Kapseu et *al.*, (2002) ont montré que les propriétés physico-chimiques variaient en fonction des origines de la variété et du procédé d'extraction. Il en ressort que la teneur en insaponifiables est particulièrement élevée pour l'échantillon en provenance du Cameroun (pays voisin du Tchad).

Par ailleurs, Mbaiguinam et *al.*, (2007) dans l'étude physico chimique des amandes de six (6) variétés de karité en provenance de la région du Mandoul ont révélé que la teneur en humidité des pulpes (79% en moyenne) chez les six (6) variétés n'est pas significativement différent. Cependant la pulpe des variétés appelées localement *Mbabete*, *Komane* et *Ngoïtokoto* contiennent plus de glucides (9.35 à 8.96%) que les 3 autres. Leur pulpe très douce et bien sucrée explique sans doute cette préférence des indigènes qui la consomment. Cette étude conclut que la teneur en protéines de la pulpe sèche du karité Mandoul est la plus proche de l'Ouganda. Le *Ngoïtokoro* contient plus de matières grasses extraites par le solvant comparativement aux 5 autres morphotypes. Les sucres totaux contenus dans la pulpe, les protéines ainsi que les minéraux analysés ont varié d'un morphotype à un autre.

La teneur totale en graisses des grains et les profils d'acides gras dans le beurre de karité extrait des six (6) morphotypes de karité du Mandoul comparée à ceux des autres provenances étudiés successivement par Marchand (1988); Schreckenberg (1996); Wiesman et Maranz (2001) n'est pas significativement différent. Cependant, il y a une dominante proportion d'acide oléique dans ces beurres. En outre, dans ces beurres, le point de fusion de l'acide oléique est moins de 9 °C et celui de l'acide stéarique est de 69,6 °C. C'est ce qui explique leur aspect d'huile à température ambiante du beurre extrait des amandes de *V. paradoxa* subsp *paradoxa* en provenance de l'Afrique Centrale. Cette variabilité constatée au niveau des caractéristiques physico-chimiques serait liée probablement à la diversité des méthodes utilisées. Ces résultats montrent que le profil des beurres des six (6) morphotypes de karité du Mandoul se situe entre celui du Cameroun et de l'Ouganda.

En résumé, les résultats de ces différents travaux ont permis mettre en évidence la variabilité physico-chimique infra spécifique de la sous-espèce *paradoxa* qui est pourtant la même qui pousse au Tchad. En revanche, l'expression de ces caractéristiques physico-chimiques qui aurait probablement des indices phénotypes n'a pas été clairement repérée ou illustrée et décrite dans le domaine de la description botanique de l'espèce.

6. Intérêts alimentaire et économique

Le karité est une espèce dont le rôle économique est considérable dans certaines régions, en raison du beurre extrait des amandes fermentées (beurre de karité). Ce beurre est souvent commercialisé en boule ou en pain dans les marchés. Pour cette raison, l'arbre est généralement protégé. La pulpe du fruit, épaisse de 4 à 8 mm, au goût sucré et très parfumé, est comestible, mais d'un goût inégalement agréable selon les arbres. Le beurre de karité émollient et cicatrisant est fréquemment utilisé dans la fabrication des pommades et les cuisines traditionnelles. Les racines sont utilisées pour les soins de la gastrite, le cancer du foie, la stérilité féminine. L'écorce soigne la dysenterie, l'hémorroïde, la bilharziose, la toux. Les feuilles soignent l'ictère, les nausées, la diarrhée, la constipation, la céphalée, la fièvre, la conjonctivite et trachome, la convulsion. Les graines sont des antivenimeux. Elles soignent la diarrhée et sont employées également dans la magie (Arbonnier, 2000).

Le beurre de mauvaise qualité est utilisé pour l'éclairage (lampe à huile) et le savon artisanal. A durée égale, une lampe à beurre est environ deux fois plus économique qu'une lampe à pétrole ou le savon artisanal est bon marché (Arbonnier, 2000).

Le karité possède de réelles vertus pour la peau: il hydrate, adoucit, protège et embellit grâce à sa composition exceptionnellement riche en insaponifiables, en vitamines (A, D, E, F) et en latex. Il est utilisé dans les pays africains par les mères qui enduisent leurs bébés de beurre de karité pour prévenir ou guérir les endroits irrités. L'usage quotidien du beurre de karité permet de bénéficier de ces trois vertus : i) une meilleure élasticité de la peau ; ii) l'hydratation des couches supérieures de l'épiderme ; iii) la protection contre le vent, le froid et le soleil. L'utilisation du karité est particulièrement recommandée en hiver pour lutter contre le dessèchement et le vieillissement accéléré de la peau (Arbonnier, 2000).

Dans le reste du monde et plus précisément en Europe, aux Etats-Unis et en Asie, le beurre de karité est presque exclusivement réservé à l'industrie agroalimentaire, seuls 5% sont réservés à la cosmétologie et à l'industrie pharmaceutique. Il est utilisé en margarinerie après transformation, ainsi qu'en pâtisserie pour la confection des pâtes légères telles que la pâte feuilletée. Il y est très apprécié car la présence du latex dans l'insaponifiable permet un excellent mélange de la farine et de la matière grasse. Cela permet aussi à la pâte de ne pas adhérer aux parois des machines et aux doigts des pétrisseurs. Notons cependant que la plus grande partie du beurre de karité importé est utilisé en chocolaterie et en confiserie. Il se révèle un bon substitut au beurre de cacao car leurs structures physique et chimique sont très

proches. Pourtant la plage de fusion du beurre de karité, plus haute que celle du beurre de cacao, lui confère un avantage certain, surtout pour l'enrobage. Le seul inconvénient du beurre de karité est sa saveur, moins agréable que celle du cacao, bien que la différence soit indécélable s'il est raisonnablement dosé et convenablement raffiné. La fabrication du savon, les crèmes pour les cheveux et la peau, le shampoing, le remplacement du beurre de cacao dans la fabrication de chocolat sont entre autres les intérêts économiques du beurre de karité (Arbonnier, 2000).

7. Commercialisation du beurre de karité et ses dérivés

Kima (2007), dans un rapport de synthèse a mentionné que l'absence d'une étude de marché en aval dans les pays consommateurs du beurre de karité tels que l'Europe, l'Amérique du Nord, le Japon etc., ne permet pas de déterminer avec précision les prix d'achat souhaité par rapport à la quantité achetée.

En Afrique dans les pays producteurs tels que Burkina Faso, Guinée, Mali, Niger les consommateurs ont des besoins et des exigences pratiquement communs. Ainsi, pour la qualité de beurre de karité, ils souhaitent disposer un beurre inodore, d'un bon goût, naturel et pur, de couleur blanchâtre en général excepté le Mali où la majorité de clients exigent la couleur jaunâtre (Arbonnier, 2000).

Les grandes marques internationales telles que UNILERVER, PROCTER et GAMBLE arrivent pratiquement dans la sous région de l'Afrique de l'Ouest à fournir aux marchés internationaux le beurre de karité malgré les difficultés de contrôle de la qualité auprès des distributeurs.

Au niveau national, les contraintes majeures à la commercialisation du beurre de karité et de ses dérivés sont relatives à l'insuffisance des facteurs de production, aux aspects commerciaux, financiers, organisationnels, socio-économiques et culturels, etc. (Kima (2007).

Au niveau international, les contraintes de la commercialisation du beurre de karité et de ses dérivés sont liées aux exigences des consommateurs étrangers, aux difficultés d'accès aux marchés internationaux, à la certification des produits, etc. (Kima (2007).

Ces contraintes agissent négativement sur la filière karité dans les pays producteurs. Cependant, de véritables opportunités pour la filière karité sont toutes évidentes pour les pays où pousse l'arbre à karité. Il suffit de réorganiser la filière karité en vue de se repositionner

sur le marché international comme les autres principales exportations. Cette filière est aujourd'hui animée par des acteurs de plus en plus avertis et outillés.

Pour arriver à ce niveau de production et de commercialisation, il est important de prendre en compte les points suivants : la protection des parcs forestiers, l'augmentation des taux de ramassage, la mécanisation croissante de la production du beurre. Cela nécessitera l'implication de tous les acteurs de la filière à savoir :

- l'Etat dans la protection du parc forestier et dans la recherche des énergies de substitution au bois de chauffage ;
- les opérateurs par la constitution de réseaux pour accroître leur pouvoir de négociation vis-à-vis des acheteurs du beurre ;
- les partenaires techniques et financiers pour un appui plus conséquent aux opérateurs dans la recherche de la qualité de production du beurre de karité à moindre coût.

Au Tchad, l'huile, le savon et autres sous produits issus du fruit de karité suivent une filière informelle sans aucun contrôle de prix et d'hygiène. Cette filière est intéressante grâce aux revenus qu'elle génère pour les producteurs, les intermédiaires et les détaillants. La fluctuation des prix est sujette (comme chez tous les produits) à la loi de l'offre et de la demande et varie dans ce cas précis en fonction des saisons.

8. Technologie de transformation des amandes de karité

La majorité de la production du karité consommée est transformée de manière artisanale, voire semi-industrielle. Seule la part exportée et souvent destinée à l'industrie chocolatière est extraite de manière industrielle. Différentes méthodes de traitement et de transformation des amandes en beurre de karité existent et sont utilisées par des acteurs de la filière (Adoum (1996) ; Mohagir *et al.*, (2011) ; Mbayhoudel, (2002)). Il s'agit entre autres de :

- *Méthode industrielle*

Cette méthode de type industriel vise à mélanger aux amandes de karité préalablement broyées un solvant de type organique comme l'hexane. Grâce à cette opération, les lipides contenus dans les amandes se dissolvent dans l'hexane. Le mélange est chauffé à une forte température pour évaporer l'hexane et ne laisser que le beurre de karité extrait. C'est une technique utilisée dans la filière chocolatière ou le beurre de karité est employé comme substitut du beurre de cacao (Kapseu *et al.*, (2002)).

- ***Méthode semi-industrielle***

Elle consiste à l'extraction par solvant afin de faciliter l'extraction de l'huile des amandes, et d'améliorer le taux de recouvrement en graisse. Une fois les fruits récoltés, ils vont être triés, nettoyés et débarrassés de leur pulpe et coquilles qui les protègent. Ils sont ensuite broyés afin de former une pâte qui pourra être pressée par une machine (Kapseu *et al.*, (2002)).

- ***Méthode artisanale d'obtention du beurre de karité***

Quand il est produit en Afrique, le beurre de karité est souvent extrait par le biais d'un processus traditionnel de fabrication. Les fruits sont d'abord séchés au soleil, puis débarrassés de la pulpe qu'ils contiennent par des opérations de fermentation et de nettoyage. L'amande contenant le corps gras permettant d'obtenir le beurre est retirée, puis concassée, torréfiée, amalgamée (barattage) afin d'obtenir une pâte qui, immergée dans l'eau bouillante va donner du beurre de karité (Kapseu *et al.*, (2002)).

CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

1. Zone d'étude

1.1. Présentation de la zone d'étude

La région du Mandoul où le matériel végétal a été collecté est l'une des 7 régions du Tchad dans lesquelles poussent naturellement le karité sur les 22 que compte le pays. L'ensemble de ces 7 régions constituent la portion du Tchad qui a une forte densité démographique : 33,8 habitants/Km² contre 8,7 habitants/Km² à l'échelle nationale (BCR, 2009). La région du Mandoul est soumise à un climat tropical de type soudanien caractérisé par l'alternance d'une saison de pluie et d'une saison sèche de durée plus ou moins égale. Les sols de types sablonneux latéritiques ou ferralitiques et argilo-limoneux sont en général peu compacts en surface. Ils sont exondés et par endroits inondables. Ils sont relativement perméables. Les pluies annuelles sont comprises entre 900 et 1200 mm.

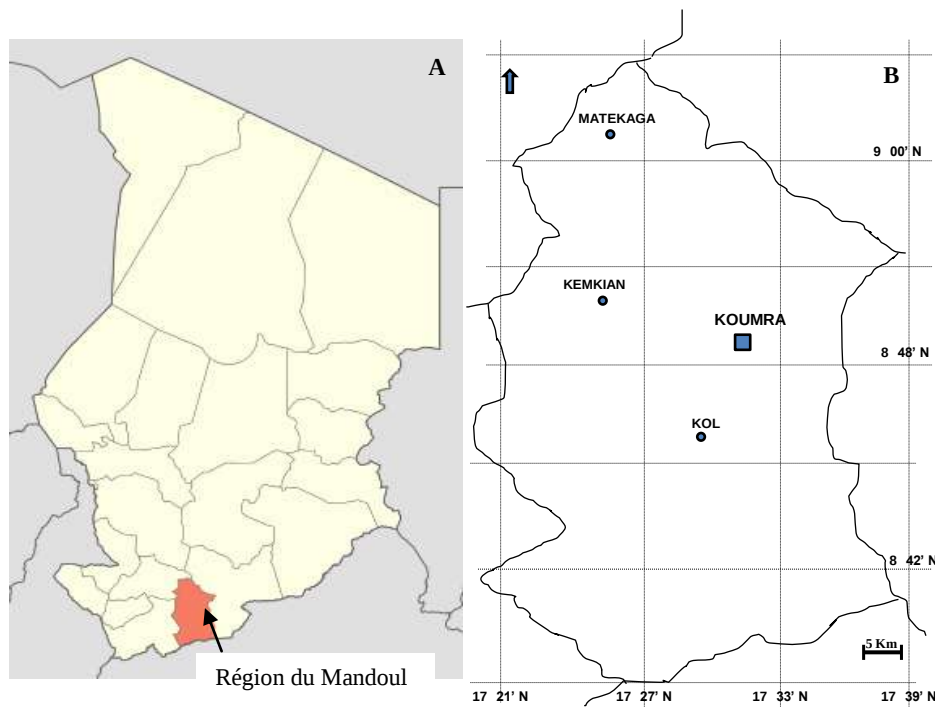


Figure 3. A : Organisation administrative au Tchad ; B : Carte de la région du Mandoul, localisation des trois (3) sites.

Source : CNAR Ministère de l'intérieur

Trois (3) sites dans la zone d'étude (région du Mandoul) ont été choisis comme sites pour nos travaux. Il s'agit des villages Matekaga, Kemkian et Kol. Dans ces villages, l'ONG "World

Vision Tchad'' a mis respectivement en place une structure organisée appelée UDL (Unité de Développement Local) sous la supervision de la COFEMAK (Coopérative des Femmes du Mandoul pour la promotion du Karité) pour la transformation et la commercialisation des amandes et beurre de karité. Les trois (3) sites choisis pour cette étude sont localisés dans la sous-préfecture de Koumra chef lieu de la région du Mandoul qui est située entre le 9°//35' et 8°//30'.

1.2. Localisation et présentation des sites

Tableau 4 : Caractéristiques des sites d'études

Sites	Latitude Longitude	Localisation	Surface terroir	Population (en 2009)	Type de sol	Formation végétale	Activités principales	Pluviométrie (mm)
Matekaga	9°09'N 17°30'E	25 km au Nord de Koumra	625 ha	20640 habitants	Sablonneux, latéritique au ferralitique, peu compact en surface	Savane boisée. Galerie forestière le long de la rivière Kabra	Agriculture et chasse	1250
Kemkian	9°00'N 17°21'E	17 km à l'Ouest de Koumra	225 ha	1031 habitants	Argilo-limoneux ou sablonneux, latéritique	Savane arbustive. Maraîchage long de la rivière Kemkada	Agriculture, pêche, apiculture et chasse	1200
Kol	8°54'N 17°33'E	8 km au Sud-ouest de Koumra	256 ha	2245 habitants	Sablonneux, latéritique au ferralitique, phénomène d'érosion par endroit	Savane arbustive. Maraîchage le long de la rivière Mbodiyéi	Agriculture et chasse	1200

En résumé, dans les trois (3) sites (Matékaga, Kemkian et Kol) localisés dans la région du Mandoul la pluviométrie moyenne est de 1 200 mm. La saison des pluies (mai à octobre) a une température moyenne de 22°C. La saison sèche (novembre à avril) a une température moyenne de 32°C. Dans cette zone d'étude, les types de sol cultivable varient d'un type sablonneux, latéritique au ferralitique. Le choix de ces 3 sites (villages) a été fait sur la base des résultats des précédentes études sur le karité qui ont présenté dans la région du Mandoul :

- i) une densité de karité élevée par rapport aux autres régions du Tchad ;
- ii) un embryon d'une structure organisée dans le domaine de la transformation des amandes du karité en beurre et sa commercialisation.

2. Etude des caractères macro morphologiques

2.1. Plante adulte

2.1.1. Echantillonnage du matériel végétal

Les caractères macro morphologiques de 240 arbres à karité échantillonnés dans 3 sites (terroirs des villages : Matekaga, Kemkian et Kol) ont été étudiés au stade de pleine fructification à partir de 10 feuilles adultes et 10 fruits mûrs.

Tableau 5 : Nombre de karités échantillonnés par transect et par site.

	Matekaga	Kemkian	Kol	Total
Transect 1	24	16	16	56
Transect 2	32	16	24	72
Transect 3	24	16	16	56
Transect 4	24	16	16	56
Total	104	64	72	240

Selon la *méthode des quadrats centrés sur un point* (Krebs, 1999), le terroir de chaque site a été parcouru (orientation par GPS) par 4 transects le long desquels tous les 100 mètres des quadrats ont été installés.

En juillet 2010, les organes (feuilles adultes et fruits mûrs) sont prélevés de manière randomisée sur 4 arbres à karité par quadrat. A partir du centre de chaque quadrat, les échantillons ont été collectés sur 4 individus karité en pleine fructification qui sont plus proche de ce centre. Au total 60 quadrats (tableau 5) installés dans les 3 sites soit 104 à Matekaga, 64 à Kemkian, 72 à Kol. Sur chaque pied de karité échantillonné, au moins 10 feuilles adultes fraîches et 10 fruits matures ont récoltés.

La disposition des quadrats installés au moment de cette collecte des organes a été irrégulière c'est-à-dire qu'il y avait pratiquement des distances très variables réalisées entre les karités échantillonnés parce que le parc à karité de la zone d'étude est un peuplement naturel. Le nombre des karités échantillonnés par sites a varié de 64 à 104 parce que les superficies des terroirs des 3 villages n'ont pas la même taille.

Au laboratoire, les organes prélevés sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse. Une lame tranchante a été utilisée pour la coupe longitudinale des fruits pour extraire les graines.

2.2. Variables macro morphologiques

Les caractères morphologiques utilisés sont consignés dans le Tableau 6. Ces caractères sont les plus utilisés pour l'identification des espèces (Couderc, 1979 ; Tomlinson, 1984 ; Shukla et Misra, 1994).

Tableau 6. Descripteurs mesurés et leur symbole.

Descripteurs	Paramètres mesurés	Symboles
Foliaires	Longueur du limbe (cm)	LLM
	Longueur du pétiole (cm)	LPET
	Largeur du limbe (cm)	LALM
	Longueur du fruit (cm)	LFRU
	Longueur de la noix (cm)	LNOI
Promologiques (fruit et noix)	Longueur du petit axe du fruit (cm)	LAFRU
	Longueur du pédoncule (cm)	LPED
	Longueur du petit axe de la noix (cm)	LANOI

Les paramètres des descripteurs foliaires et promologiques (tableau 6) ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse. Selon Barner (1974) et Palmberg (1985), un échantillon de 10 à 20 arbres peut être considéré comme un minimum suffisant pour les essences poussant en peuplement naturel. En effet, le choix de cet effectif élevé permet de collecter le maximum d'informations et de compenser la variabilité individuelle élevée (Grouzis, 1993).

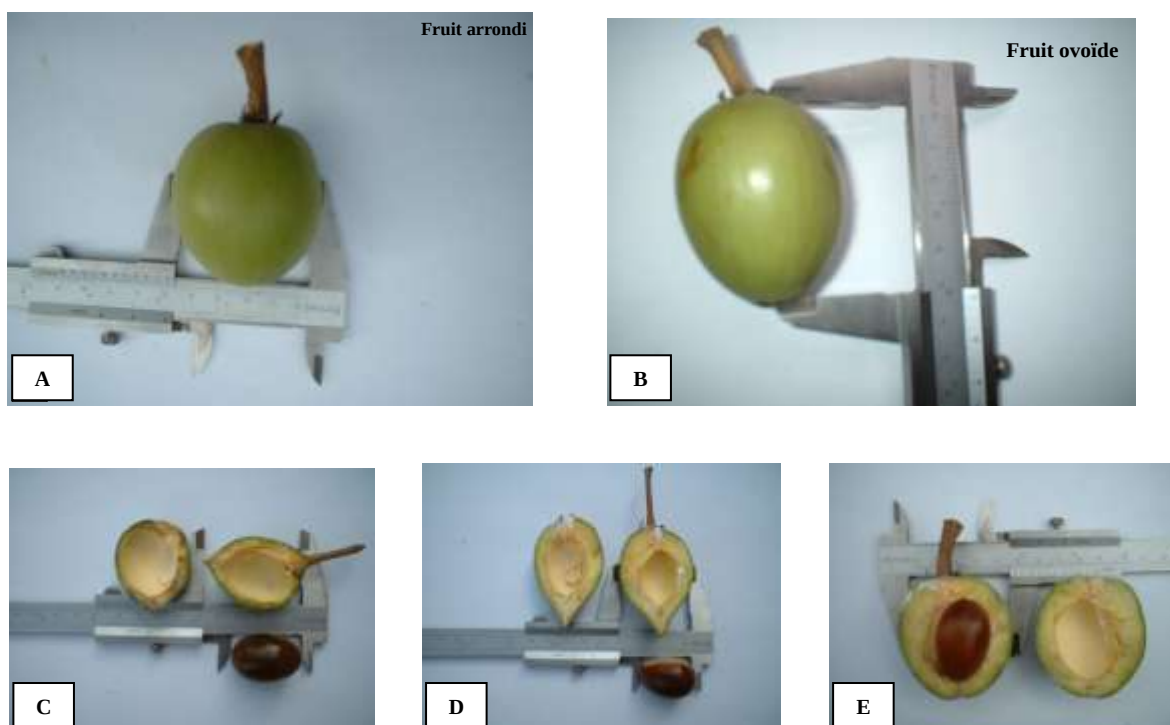


PHOTO IV. Morphologie des fruits. **A.** Fruit rond ; **B.** Fruit ovale ; **C.** Fruit ellipsoïde légèrement acuminé, noix à coque marron foncé ; **D.** Fruit ellipsoïde nettement acuminé, noix à coque marron foncé ; **E.** Fruit arrondi, noix à coque marron clair.

2.3. Méthode d'analyse des données macro morphologiques

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) normalisé en utilisant le progiciel statistique ADE-4 couplé à une analyse de classification hiérarchique a été effectuée pour regrouper les individus en fonction de leurs similitudes. Les feuilles, les fruits et les noix ont été considérées comme des variables, et les 240 individus ont été projetés dans un plan factoriel. Pour la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) des individus échantillonnés, les coordonnées sur les axes factoriels comme matrice de similarité a été effectuée. Selon la méthode de Ward, le carré de la distance euclidienne a été calculé. Un dendrogramme a été généré par le logiciel R (version R- 2.9.0, paquet ADE4) (R Development Core Team, 2011).

2.2. Caractères de la jeune plante

Au cours du recensement des variables quantitatives et qualitatives des fruits, il a été possible de regrouper nos échantillons de fruits en cinq (5) tas. A partir de la forme des fruits, nous avons ainsi obtenu 5 de morphotypes sur les 6 mentionnés dans les précédentes études. Les descriptions des ruraux ont permis d'attribuer à ces 5 tas les noms locaux Bogrombaye, Mbabéte, Kiankos, Meingré. Dans l'impossibilité de distinguer dans le 5^e tas les caractères discriminants des 2 morphotypes que les ruraux appelaient Komane et Ngoïtokoro à cause de leur ressemblance, nous les avons maintenus dans un seul tas. Ces appellations locales sont des synonymes qui signifient pour Komane : morphotype à gros fruit juteux, très charnu ; pour Ngoïtokoro : morphotype ayant de gros fruits semblables à un œuf, juteux et très charnu. En effet, les principales caractéristiques des fruits de ce groupement Komane_Ngoïtokoro sont : fruit rond à ovale avec une base arrondie, longueur fruit comprise entre 3,3 à 5,4 cm, largeur fruit comprise entre 3,0 à 4,2 cm. Ainsi, nous avons finalement cinq (tas) de fruits de Karité.

L'étude des caractères des jeunes plantes au stade 2 à 3 premières feuilles a nécessité la mise en germination cinq (5) graines prises dans chaque tas. Cette germination a été réalisée dans cinq (5) pots en plastique de dimensions 20 x 35 cm portant des étiquettes numérotées de 1 à 5 correspondant à chaque morphotype. Les types de poils épidermiques sur les bourgeons apicaux et les stomates sur les feuilles constituent l'ensemble des caractères micro morphologiques à observer sur les jeunes plantes.

3. Etude des caractères micro morphologiques

Nous avons observé les types stomatiques en utilisant la classification de Metcalfe & Chalk qui ont identifié selon la disposition des ‘cellules annexes’ quatre (4) principaux types stomatiques rencontrés généralement chez les Dictylédones. Il s’agit de :

- le type anomocytique ou type *Renonculacée* où les stomates sont entourés de plusieurs cellules annexes qui ressemblent aux cellules épidermiques banales (on peut admettre qu’il n’y a pas de cellules annexes typiques ici) ;
- le type anisocytique ou type *Brassicée* où les stomates sont entourés de 3 cellules annexes distinctes dont l’une est nettement plus petite que les deux autres ;
- le type paracytique ou type *Rubiaceae* où les stomates sont flanqués de cellules annexes disposées parallèlement au grand axe de l’ostiole ;
- le type diacytique ou type *Caryophyllacée* où les stomates sont entourés d’une paire de cellules annexes dont la paroi commune est perpendiculaire au grand axe de l’ostiole.

3.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé a été prélevé sur les individus issus de la germination des graines des cinq (5) morphotypes.

3.2. Méthodes

3.2.1. Méthode d'étude des poils

L'étude des bourgeons apicaux a permis de déterminer les types de poils à partir des jeunes plantes issues de semis de cinq (5) graines extraites des fruits mûrs de chacun des cinq (5) morphotypes de karité. Des prélèvements d'épidermes au niveau apical de la jeune plante ont été effectués et observés au microscope type Motic.

3.2.2. Méthode d'étude des stomates

L'étude d'épidermes prélevés sur les 2 faces des feuilles (supérieure et inférieure) dans des régions à peu près identiques sur le limbe a permis de déterminer les types de stomates et d'estimer l'indice stomatique de chaque morphotype. Les stomates ont été dénombrés sur les épidermes inférieurs de chaque morphotype de karité à l'aide d'une lame micrométrique de 1 mm². Nous avons préparé nos échantillons d'épidermes selon la méthode de Barfod (1988). En fait, nous avons bouilli nos échantillons de feuilles dans de l'eau distillée pendant 10 minutes puis ils sont trempés dans l'acide nitrique à 40% pendant 16 à 20 heures. Cette opération permet de ramollir le mésophyle et facilite la desquamation de la cuticule. A l'aide d'une lame de rasoir, les fibres et autres tissus inutiles sont enlevés. Les épidermes foliaires ainsi obtenus sont placés dans du Lugol pendant 10 minutes puis montés après rinçage entre lame et lamelle dans la gélatine glycinée et observés au microscope optique de type Motic. Cette technique utilisée par plusieurs biologistes a permis de compter les stomates sans difficulté (Turquet, 1910 ; Guyot, 1966 ; Couderc, 1979 ; Saadoun & Decamps, 1991 ; Decamps *et al.*, 1993 ; Noba, 1990 ; Diop, 2006).

3.2.3. Méthode d'analyse statistique des données

Au total 30 dénombrements ont été effectués sur les deux faces soit en moyenne 6 mesures par morphotype.

Ces dénombrements ont permis de calculer la densité stomatique (D_s) et l'indice stomatique (I_s) des différentes variétés. La densité stomatique (D_s) est égale à la moyenne des 6 dénombrements par unité de surface (mm²).

L'indice stomatique (I_s) est égal à : $(a/a+b)*100$; où a est le nombre de stomates par unité de surface et b le nombre des cellules épidermiques pour la même unité de surface.

La comparaison des indices stomatiques des cinq (5) morphotypes par le test de comparaison des proportions a suivi le calcul d'indice stomatique (Schwart, 1969).

Au seuil de signification $\alpha=0.05$ a été déterminé t (à lire dans la table de fonction de répartition de loi normale réduite) :

- si $\varepsilon \geq 1,96$: l'hypothèse d'égalité des 2 proportions a été rejetée ;
- si $\varepsilon \leq 1,96$: l'hypothèse d'égalité des 2 proportions a été acceptée avec un risque d'erreur de 5%.

4. Etude des affinités inter-spécifiques

Tous les caractères macro et micro morphologiques mesurés lors de cette étude ont été traités par les méthodes d'analyse multivariée en particulier par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) afin de préciser les caractères ou associations de caractères qui définissent le mieux un morphotype ou un groupe de morphotypes de karité. Il s'agit d'une combinaison de 56 caractères dont 47 caractères macromorphologiques et 9 caractères micro morphologiques. L'ensemble des caractères étudiés (tableau 8) a été décrit avec des variables binaires, selon le mode suivant :

1 (+) = présence de la caractéristique ;

0 (-) = absence

L'Analyse factorielle des correspondances (AFC) couplée à une analyse de classification hiérarchique ascendante (CHA) a été normalisée en utilisant le logiciel statistique R (version R- 2.9.0, paquet ADE4) (R Development Core Team, 2011). Vu le nombre élevé des caractères et la modalité (présence ou absence) de nos paramètres la méthode de Jaccard a été privilégiée parce qu'elle permettait d'intégrer sans exclusion tous les paramètres étudiés dans le traitement des données.

CHAPITRE 3 :
CARACTERISATION MACRO MORPHOLOGIQUE
DES MORPHOTYPES

CHAPITRE 3 : CARACTERISATION MACRO MORPHOLOGIQUE DES MORPHOTYPES

Introduction

L'étude de la variabilité intra spécifique du karité a longtemps attiré l'attention des chercheurs. Ainsi, durant la période coloniale, en Afrique de l'Ouest, certains auteurs comme Vuillet (1911), Delolme (1947) et Chevalier (1948) ont tenté de faire une typologie spécifique et variétale au sein du genre *Vitellaria*. Toutefois, les résultats n'ont pas été concluant voire même contradictoires. En outre, en l'absence d'une clé de détermination pour les trois variétés (*mangifolium*, *poissoni*, *niloticum*) et leurs deux sous-variétés (*viridis*, *rubrifolia*) répertoriées par Cronquist (1981), les problèmes d'identification de ces taxons ont persisté. En plus, récemment, la variabilité de certains caractères morphologiques du karité a été mise en évidence dans la zone sahélienne (Guira 1997 ; Lovett & Haq 2000a) et l'existence de plusieurs morphotypes ont même pu être notés dans la région du Mandoul au sud du Tchad (Djekota, 2008 ; Djekota *et al.* 2014).

Les études menées sur cette espèce n'ont pas permis de structurer correctement les populations étudiées, probablement à cause de la forte influence de l'environnement sur les descripteurs utilisés par les différents auteurs. C'est ainsi que d'autres auteurs ont utilisé des marqueurs moléculaires tels que les isozymes (Lovett & Haq, 2000b), les microsatellites (Kelly *et al.*, 2004 ; Fontaine *et al.*, 2004) et les RAPD (Bouvet *et al.*, 2004 ; Fontaine *et al.*, 2004) pour mieux caractériser les populations de karité. Ces études menées avec ces outils moléculaires ont mise en évidence cette variabilité génétique au sein des populations de karité. Elles confirment la diversité morphologique perceptible sur les fruits de karité dans les parcs naturels ainsi que ceux entretenus par les communautés villageoises. De ces résultats, le problème de l'existence de descripteurs fiables chez le karité demeure.

Il est donc important que les investigations soient poursuivies pour une meilleure utilisation des caractères macro morphologiques (feuille, fruit ou graine) dans la caractérisation des taxa infra spécifiques de *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*. En effet, la pertinence de leur utilisation dans la description des phénotypes de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* a été établie par plusieurs auteurs (Nafan *et al.*, 2000 ; Djekota, 2008 ; Lamien *et al.*, 2007 ; Sanou *et al.*, 2006 ; Gwali *et al.*, 2011 ; Sandwidi, 2012 ; Nyarko *et al.*, 2012).

Ce travail a été entrepris pour contribuer à l'amélioration des connaissances de ces différents morphotypes. Il s'agira alors de : i) tester la pertinence des descripteurs de la feuille, fruit et graine ; ii) utiliser les meilleurs descripteurs pour la caractérisation des morphotypes étudiés ; iii) analyser les affinités entre les morphotypes.

RESULTATS

1. Etude de la pertinence des caractères

Dans cette étude, seule la pertinence des caractères quantitatifs a été évaluée. En effet, les travaux antérieurs ont montré que les descripteurs qualitatifs sont d'une utilité indéniable en taxonomie.

✓ Feuilles

Les caractères quantitatifs foliaires sont répertoriés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Statistique des descripteurs foliaires par sites.

		MATEKAGA	KEMKIAN	KOL
LPET	Min (cm)	5,8	5,7	5,07
	Max (cm)	11,9	11,2	10,02
	Moyenne	7,7 ^a	7,7 ^a	7,9 ^a
	Ecart Type	1,7	1,33	1,26
	CV %	22,23	17,47	16,06
LLM	Min (cm)	16,5	15,8	15,5
	Max (cm)	26,3	23,6	24,2
	Moyenne	20,8 ^b	20,7 ^c	21,0 ^a
	Ecart Type	2,9	2,33	0,53
	CV %	13,97	11,23	11,09
LALM	Min (cm)	3,2	3,0	3,0
	Max (cm)	5,0	5,0	5,4
	Moyenne	4,3 ^a	4,3 ^a	4,3 ^a
	Ecart Type	1,26	2,32	0,54
	CV %	11,77	12,57	12,59

Les chiffres suivis par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents.

Légende : LPET = longueur du pétiole ; LLM = longueur du limbe; LALM = largeur du limbe

Pour tous les paramètres mesurés (tableau 7), la comparaison des valeurs minimales d'une part et d'autre part les valeurs maximales entre les sites montre une faible variation. Le pourcentage de feuilles dont la longueur était de plus de 20 cm est de 81% à Kemkian, 76% à Kol et 69% à Matekaga.

La variation de la moyenne est également faible dans les 3 sites même si en valeur absolue, les longueurs des pétioles à Kol sont supérieures à celles de Matekaga et de Kemkian tandis que la moyenne des longueurs des limbes à Kol est légèrement supérieure à celle de Matekaga et de Kemkian.

Il apparaît que les caractères des feuilles pris isolément ne sont pas pertinents pour la distinction morphotypes.

✓ Fruits

Les caractères quantitatifs des fruits sont répertoriés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Statistique des descripteurs des fruits par sites.

		MATEKAGA	KEMKIAN	KOL
LPED	Min (cm)	1,0	1,0	1,0
	Max (cm)	2,7	3,3	3,1
	Moyenne	2,0 ^a	2,1 ^b	2,0 ^a
	Ecart Type	0,42	0,55	0,44
	CV %	20,75	25,78	21,40
LFRU	Min (cm)	2,5	2,6	2,6
	Max (cm)	5,5	5,0	5,5
	Moyenne	4,2 ^a	3,4 ^c	4,0 ^b
	Ecart Type	0,9	0,62	0,74
	CV %	21,43	18,08	18,55
LAFRU	Min (cm)	2,3	2,4	2,4
	Max (cm)	4,3	4,4	4,3
	Moyenne	3,4 ^a	3,2 ^b	3,4 ^a
	Ecart Type	0,47	0,45	0,46
	CV %	13,97	14,12	13,42

Les chiffres suivis par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents.

Légende : LPED = longueur du pédoncule ; LFRU = longueur du fruit; LAFRU = largeur du fruit.

Pour tous les paramètres mesurés sur les fruits (tableau 8), ont montré des valeurs proches pour les valeurs minimales des longueurs des pétioles dans les 3 sites alors que pour les valeurs maximales, les pédoncules des fruits récoltés à Kemkian sont plus longs. Elles sont suivies de celles de Kol puis Matekaga.

Les résultats montrent que les fruits récoltés à Matekaga sont plus gros que ceux récoltés à Kemkian et à Kol.

La comparaison des coefficients de variation de ces paramètres présente respectivement les longueurs des pédoncules (LPED), longueurs des fruits (LFRU), largeurs des fruits (LAFRU) comme les meilleurs descripteurs des fruits. Il apparaît que les paramètres mesurés sur les fruits sont relativement pertinents.

✓ Noix

Les caractères quantitatifs des noix sont répertoriés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Statistique des descripteurs quantitatifs des noix par sites.

		MATEKAGA	KEMKIAN	KOL
LNOI	Min (cm)	1,9	1,9	1,9
	Max (cm)	3,6	3,3	3,8
	Moyenne	2,8 ^b	2,6 ^c	2,9 ^a
	Ecart Type	0,47	0,42	0,41
	CV %	16,60	16,06	13,94
LANOI	Min (cm)	1,5	1,04	1,5
	Max (cm)	2,8	2,04	2,6
	Moyenne	2,2 ^a	2,0 ^b	2,2 ^a
	Ecart Type	0,3	0,26	0,24
	CV %	14,23	13,38	11,07

Les chiffres suivis par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents.

Légende : LNOI = longueur de la noix ; LANOI = largeur de la noix.

Pour tous les paramètres mesurés sur les noix (tableau 9), ont montré des valeurs identiques pour les valeurs minimales des longueurs des noix dans les 3 sites alors que pour les valeurs maximales, les noix de Kol sont plus longues que celles de Matekaga et de Kemkian. Les petites noix sont trouvées à Kemkian.

Il apparaît que les paramètres mesurés sur les noix sont également pertinents. La comparaison des coefficients de variation de ces paramètres présente respectivement les longueurs des noix (LNOI) et les largeurs des noix (LANOI) comme les meilleurs descripteurs.

En conclusion, ce travail montre que les caractères qualitatifs sont pertinents car ils sont peu variables sous l'effet des conditions écologiques et environnementales.

Ainsi, à la suite de cette partie, les caractères morphologiques jugés pertinents sont utilisés pour caractériser les différents morphotypes rencontrés.

2. Caractérisation macromorphologique des morphotypes

2.1. Plante adulte

Les caractéristiques des plantes adultes sont répertoriées sur le tableau 10.

Tableau 10 : Caractéristiques des morphotypes

ORGANES		Bogrombaye	kiankos	Mbabéte	Meingré	Komane_Ngoïtokoro
Caractéristiques Foliaires	Forme de la feuille	Oblongue	Oblongue	Oblongue	Oblongue	Oblongue
	Sommet de la feuille	Arrondi	Arrondi	Obtus en coin	Arrondi	Arrondi
	Base de la feuille	En coin	En coin	En coin	En coin	En coin
	Pétiole (cm)	[5,8 cm – 11,7 cm [	[6,1 cm – 10,8 cm [	[6,0 cm – 11,9 cm [	[6,5 cm – 9,1 cm [	[5,9 cm – 11,9 cm [
	Longueur limbe (cm)	[16,5 cm – 25,9 cm [	[17,5 cm – 25,1 cm [	[16,7 cm – 26,1 cm [	[17,0 cm – 23,3 cm [	[16,6 cm – 26,3 cm [
	Largeur limbe (cm)	[3,3 cm – 5,0 cm [	[3,8 cm – 4,9 cm [	[3,2 cm – 4,9 cm [	[3,3 cm – 4,9 cm [	[3,2 cm – 4,9 cm [
	Longueur totale de la feuille	[23,3 cm – 37,6 cm [	[23,6 cm – 35,9 cm [	[22,7 cm – 38,0 cm [	[23,5 cm – 32,4 cm [	[22,5 cm – 38,2 cm [
	Type de nervure	Penné	Penné	Penné	Penné	Penné
	Paire nervures secondaires	[20 – 46 [	[27 – 48 [	[23 – 45 [	[26 – 47 [	[26 – 47 [
Caractéristiques des fruits	Bord du limbe	ondulé	ondulé	ondulé	Ondulé	Ondulé
	Pilosité	Glabre	Glabre	Glabre	Glabre	Glabre
	Forme	Ronde	Ellipsoïde	Ellipsoïde	Ronde	Ovale
	Base du fruit	Arrondie	Légèrement acuminé	Nettement acuminé	Arrondie	Arrondie
	Pédoncule	[1,7 cm – 2,7 cm [	[2,0 cm – 2,7 cm [	[2,1 cm – 2,7 cm [	[1,0 cm – 2,1 cm [	[2,0 cm – 2,7 cm [
	longueur fruit (cm)	[3,4 cm – 3,9 cm [	[4,4 cm – 5,3 cm [	[4,7 cm – 5,2 cm [	[2,5 cm – 3,4 cm [	[4,6 cm – 5,5 cm [
	Largeur fruit (cm)	[2,9 cm – 3,4 cm [	[3,3 cm – 4,1 cm [	[3,5 cm – 4,1 cm [	[2,3 cm – 3,2 cm [	[3,3 cm – 4,2 cm [
	Longueur totale du fruit	[5,1 cm – 6,6 cm [	[6,4 cm – 8,0 cm [	[6,8 cm – 7,9 cm [	[3,5 cm – 5,5 cm [	[4,6 cm – 5,5 cm [
	Sensation au toucher	Lisse	Rugueux	Rugueux	Lisse	Lisse
Caractéristiques des noix	Latex dans fruit mûr	Présent	Absent	Absent	Absent	Absent
	Reste de calice	Présent	Présent	Présent	Absent	Présent
	Forme	Ronde	Ellipsoïde	Ellipsoïde	Ronde	Ellipsoïde
	Couleur coque	Marron clair	Marron foncé	Marron foncé	Marron clair	Marron clair
	Longueur (cm)	[2,1 cm – 3,1 cm [	[2,3 cm – 3,4 cm [	[2,6 cm – 3,4 cm [	[1,9 cm – 2,7 cm [	[2,2 cm – 3,6 cm [
	Largeur (cm)	[1,6 cm – 2,4 cm [	[1,9 cm – 2,7 cm [	[2,3 cm – 2,5 cm [	[1,5 cm – 2,2 cm [	[1,8 cm – 2,7 cm [
	Cicatrice/coque	Circulaire	Elliptique	Elliptique	Circulaire	Elliptique

✓ Feuilles

Les feuilles des morphotypes étudiés ont des caractères communs qui justifient leur appartenance à *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* (tableau 10). En effet, ces morphotypes présentent des feuilles simples, étroitement oblongues, coriaces, luisantes, vert foncé, alternes rassemblées à l'extrémité des branches, à bord du limbe ondulé, à base du limbe en coin, à nervation pennée, à pilosité glabre. Les longueurs des feuilles varient de 23,3 cm à 38,2 cm. Les plus petites feuilles sont trouvées chez Meingré et les plus grandes chez Komane_Ngoïtokoro.

Parmi ces caractères foliaires, seul le sommet du limbe permet de distinguer le morphotype Mbabéte des autres.

A l'échelle infra spécifique, ces résultats montrent que les caractères qualitatifs foliaires ne permettent pas de distinguer quatre (4) des cinq (5) morphotypes étudiés. A partir de cette analyse la clé de détermination suivante est proposée.

Clé 1

Les principaux caractères qualitatifs les plus discriminants au niveau de la feuille des morphotypes sont résumés dans la clé de détermination partielle (Clé 1).

1. Plante à feuille oblongue, à sommet en coin, base en coin, glabre, nervation pennée
.....Morphotype **Mbabéte**

1'. Plante à feuille oblongue, à sommet arrondi, base en coin, glabre, nervation pennée
....Morphotypes **Bogrombaye, Kiankos, Meingré, Komane_Ngoïtokoro.**

De cette clé partielle, le sommet du limbe en coin ou arrondi apparaît comme le caractère foliaire important qui permet de distinguer de façon précise 2 groupes de morphotypes :

- Sommet du limbe en coin (Mbabéte) ;
- Sommet du limbe arrondi (Bogrombaye, Kiankos, Meingré, Komane_Ngoïtokoro).

✓ Fruits

Les fruits des morphotypes présentent des caractères différentiels (tableau 10). Du point de vue :

- de la forme de fruits, les morphotypes étudiés peuvent être scindés en trois (3) groupes :
 - les morphotypes à fruits ronds à ovales sont Bogrombaye, Meingré et

Komane_Ngoïtokoro;

- les morphotypes à fruits ellipsoïdes sont Kiankos et Mbabéte ;
- le morphotype à fruits ovales est Komane_Ngoïtokoro.
- de la base de fruits, les morphotypes présentent des fruits à base arrondie à l'exception de Kiankos et Mbabéte dont la base est respectivement obconique et acuminée.
- de la sensation au toucher de fruit, les morphotypes peuvent être scindés en deux (2) groupes :
 - les morphotypes à fruits lisses sont les Bogrombaye, Meingré et Komane_Ngoïtokoro.
 - les morphotypes à fruits rugueux sont Kiankos, Meingé et Komane_Ngoïtokoro.
- de la persistance du calice à la base du fruit ; en dehors Meingé et Komane_Ngoïtokoro où le calice est absent à la base des fruits, les autres morphotypes présentent un calice persistant à la base de leurs fruits.

En conclusion, les caractères qualitatifs du fruit permettent d'identifier les différents morphotypes de *Vitallaria paradoxa* subsp. *paradoxa* de la façon suivante :

- le morphotype «Komane_Ngoïtokoro» se distingue des autres par son fruit ovale ;
- parmi les morphotypes à fruits ellipsoïdes (Kiankos et Mbabéte), le morphotype «Kiankos» se distingue par la base obconique (base légèrement acuminée) de son fruit alors que le «Mbabéte» a un fruit à base nettement acuminée ;
- dans le groupe des morphotypes à fruit rond à ovale (Bogrombaye, Meingré et Komane_Ngoïtokoro), le morphotype Bogrombaye se distingue des autres par le reste de calice qui persiste à la base du fruit tandis que le morphotype Meingré à fruit lisse se distingue du morphotype Komane_Ngoïtokoro à fruit rugueux. Les longueurs des fruits varient de 2,5 cm à 5,5 cm. Les plus petits fruits sont trouvés chez Meingré et les plus gros chez Komane_Ngoïtokoro.

A partir de cette analyse la clé de détermination suivante est proposée.

Clé 2

Les principaux caractères qualitatifs les plus discriminants au niveau des fruits des morphotypes sont résumés dans la clé de détermination partielle (Clé 2).

1. Plante à fruit ellipsoïde

2. Plante à fruit ellipsoïde à base du fruit nettement acuminée..... **Mbabéte**

2'. Plante à fruit ellipsoïde à base du fruit légèrement acuminée..... **Kiankos**

1'. Plante à fruit ovale ou rond

3. Plante à fruit ovaleKomane_Ngoïtokoro

3'. Plante à fruit rond

4. Plante à fruit rond avec reste de calice à la base du fruit.....Bogrombaye

4'. Plante à fruit rond sans reste de calice à la base du fruit.....Meingré

De cette clé partielle, la forme du fruit ainsi que la forme de la base des fruits apparaissent comme des caractères importants qui permettent de distinguer de façon précise 3 groupes de morphotypes :

- Fruit ellipsoïde (Mbabéte, Kiankos) ;
- Fruit rond (Bogrombaye, Meingré) ;
- Fruit ovale (Komane_Ngoïtokoro).

✓ Noix

Les noix des morphotypes présentent des caractères différentiels (tableau 10). Du point de vue :

- de la forme de la graine, les morphotypes peuvent être scindés en deux (2) groupes :
 - o les morphotypes à graines rondes : Bogrombaye et Meingré ;
 - o les morphotypes à graines ellipsoïdes : Kiankos, Mbabéte et Komane_Ngoïtokoro ;
- de la forme de la cicatrice de la graine, les morphotypes peuvent être scindés en deux (2) groupes :
 - o les morphotypes dont la forme de la cicatrice est circulaire : Bogrombaye et Meingré.
 - o les morphotypes dont la forme de la cicatrice est elliptique : Kiankos, Mbabéte et Komane_Ngoïtokoro.
- de la couleur de la coquille de la graine, les morphotypes étudiés peuvent être scindés en deux (2) groupes :
 - o les morphotypes dont la couleur de la coquille de la graine est 'marron clair' : Bogrombaye, Meingré et Komane_Ngoïtokoro.
 - o les morphotypes dont la couleur de la coquille de la graine est 'marron foncé' : Kiankos, Mbabéte et Komane_Ngoïtokoro.

Ces résultats montrent que les graines des morphotypes Bogrombaye et Meingré à graines rondes ne pourraient pas être distingué des autres morphotypes par leurs seuls caractères

séminaux ; il en ait de même pour les morphotypes Kiankos, Meingre et Komane_Ngoïtokoro à graines ellipsoïdes. Les longueurs des noix varient de 1,9 cm à 3,6 cm. Les plus petites noix sont trouvées chez Meingré et les plus grosses chez Komane_Ngoïtokoro.

A partir de cette analyse la clé de détermination suivante est proposée.

Clé 3

Les principaux caractères qualitatifs les plus discriminants au niveau des noix des morphotypes sont résumés dans la clé de détermination partielle (Clé 3).

1. Plante à noix ronde **Bogrombaye, Meingré**

1'. Plante à noix ellipsoïde

2. Plante à noix ellipsoïde à coquille de couleur marron claire..... **Komane_Ngoïtokoro**

2'. Plante à noix ellipsoïde à coquille de couleur marron foncée..... **Kiankos, Mbabéte**

De cette clé partielle, la forme de la noix ainsi que la couleur de la coquille de la noix apparaissent comme des caractères importants qui permettent de distinguer de façon précise 3 groupes de morphotypes :

- Noix ronde à coquille marron claire (Bogrombaye, Meingré) ;
- Noix ellipsoïde à coquille marron claire (Komane_Ngoïtokoro)
- Noix ellipsoïde à coquille marron foncée (Kiankos, Mbabéte).

En conclusion, ces résultats montrent que les descripteurs promologiques (fruit et graine) entre sites sont significativement différents contrairement aux descripteurs foliaires. Ainsi, ces descripteurs promologiques sont plus pertinents pour la discrimination entre les taxons comparativement aux descripteurs foliaires.

2.2. Jeune plante

Chez *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* 45 jours après la mise en germination des graines, les jeunes plantes au stade 2 à 3 feuilles ont été disponibles. Les caractères observés sur les jeunes plantes sont répertoriés sur le tableau 11.

Tableau 11 : Caractères des feuilles des jeunes plantes des morphotypes.

ORGANES	Bogrombaye	kiankos	Mbabéte	Meingré	Ngoïtokoro_Komane
Caractéristiques des feuilles juvéniles au 45^{ème} jour après germination de la graine	Forme de la feuille	Oblongue	Oblongue	Oblongue	Oblongue
	Sommet de la feuille	Arrondi	Arrondi	Obtus en coin	Arrondi
	Base de la feuille	En coin	En coin	En coin	En coin
	Pétiole (cm)	[1,9 cm – 3,9 cm [	[2,0 cm – 3,6 cm [	[2,0 cm – 4,0 cm [	[2,2 cm – 3,0 cm [
	Longueur limbe (cm)	[5,5 cm – 8,3 cm [	[5,8 cm – 8,4 cm [	[5,6 cm – 8,7 cm [	[5,7 cm – 7,8 cm [
	Largeur limbe (cm)	[1,1 cm – 1,7 cm [	[1,3 cm – 1,6 cm [	[1,1 cm – 1,6 cm [	[1,1 cm – 1,6 cm [
	Longueur totale feuille	[7,4 cm – 12,2 cm [	[7,9 cm – 12,0 cm [	[7,6 cm – 12,7 cm [	[7,8 cm – 10,8 cm [
	Type de nervure	Penné	Penné	Penné	Penné
	Bord du limbe	ondulé	ondulé	ondulé	ondulé
	Etat de la jeune feuille	Rougeâtre	Verdâtre	Verdâtre	Rougeâtre
	Poils apprimés	Présent	Absent	Absent	Présent

Les jeunes plantes au stade 2 à 3 feuilles ont montré plusieurs caractères macro morphologiques communs semblables à ceux des plantes adultes : feuilles simples, étroitement oblongues, luisantes, bord du limbe ondulé, base en coin, alternes, nervation pennée.

Les caractères différentiels sont observés au niveau de la couleur de la jeune feuille qui est rougeâtre avec une présence des poils apprîmés sur la face inférieure chez les morphotypes Bogrombaye, Meingré, Komane_Ngoïtokoro. Le sommet du limbe est en coin chez Mbabéte. Les autres morphotypes ont un sommet de limbe arrondi.

Ces caractéristiques macromorphologiques des feuilles juvéniles comparées à celles des arbres adultes n'ont pas montré d'autres différences significatives. En résumé, l'observation des feuilles à l'état jeune permet de distinguer quatre (4) groupes. Il s'agit de jeunes plantes de karité au stade 2 à 3 feuilles ayant :

- un sommet de feuille obtus en coin (Mbabéte) ;
- un sommet de feuille arrondi (Bogrombaye, Kiankos, Meingré, et Komane_Ngoïtokoro) ;
- une couleur de feuille verdâtre et absence de poils apprîmés sur la face inférieure (Kiankos et Mbabéte) ;
- une couleur de feuille rougeâtre avec présence des poils apprîmés sur la face inférieure (Bogrombaye, Meingré, et Komane_Ngoïtokoro).

3. Corrélations des caractères et affinités taxonomiques entre les morphotypes

3.1. Corrélations des caractères dans chaque site

✓ A Matekaga

Les contributions individuelles des variables qui ont participé à la construction des axes F1 et F2 pour les 104 arbres à karité à Matekaga sont répertoriées sur le tableau 12.

Tableau 12 : Taux des contributions des variables à Matekaga

	Composante 1	Composante 2
LPET	-0.01	0.84
LLM	-0.04	0.94
LALM	-0.20	0.24
LPED	0.68	0.01
LFRU	0.73	0.04
LAFRU	0.79	0.02
LNOI	0.80	0.01
LANOI	0.77	0.00

A Matekaga, les variables « LNOI », « LAFRU » et « LANOI » sont fortement et positivement corrélées à la première composante principale et concourent ainsi le plus à la construction de l'axe 1.

Les variables « LALM » et « LLM » sont, quant à elles, négativement corrélées à la première composante, mais permettent de comprendre la nature du premier facteur pratiquement à la même hauteur. Il est à noter que la variable « LNOI » concoure de façon excessive à la construction de l'axe 1 (Corrélation avec composante principale 1 proche de 1).

Les variables « LLM » et « LPET » sont fortement corrélées à la deuxième composante principale. Elles sont privilégiées pour l'interprétation du facteur 2.

Diagramme de composantes à Matekaga

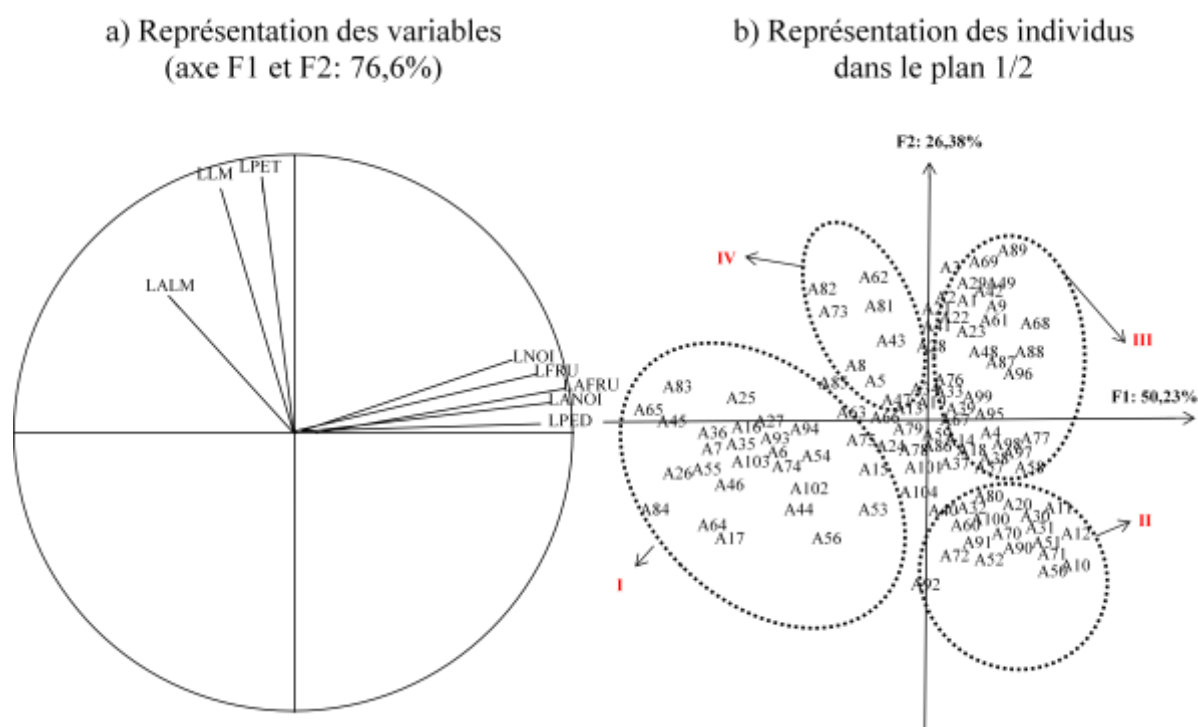


Figure 4a : Représentation bidimensionnelle (axe F1 et F2) des variables et individus à Matekaga.

Dans le site de Matekaga, les deux principaux axes F1 (50,2%) et F2 (26,4%) de l'analyse en composante principale (ACP) considérés explication au total 76,6% des différents paramètres étudiés. Les variables qui ont contribué à la création de F1 sont : LNOI (19,79%), LAFRU (19,55%), LANOI (19,26%), LFRU (18,18%), et LPED (16,86%). Cet axe est celui caractérisant les paramètres promologiques (fruit et noix) des arbres. Les variables ayant permis la création de F2 sont : LLM (44,43%), LPET (40,01%) et LALM (11,50%). Cet axe est celui caractérisant les variables mesurées sur les feuilles.

La figure 4a comporte deux représentations : la représentation des variables et la représentation des sous-groupes d'individus sur les axes F1 et F2.

- ✓ La représentation des variables sur les axes F1 et F2 qui montre toutes les variables étudiées au dessus de l'axe des abscisses (F1). Sur cet axe, les variables foliaires se trouvent du côté négatif et y sont faiblement expliquées contrairement aux variables promologiques qui y sont fortement expliquées du côté positif de l'axe des abscisses. Sur l'axe F2, ce sont les variables foliaires qui sont fortement expliquées.

- ✓ La représentation des sous-groupes d'individus a été superposée aux variables dans le plan 1/2. Elle permet de distinguer quatre (4) sous-groupes d'arbres :
 - le sous-groupe I d'individus situé du côté négatif de l'axe F1 qui sont expliqués par de très faibles valeurs des variables promologiques et par de valeurs des variables foliaires relativement élevées ;
 - le sous-groupe II est situé du côté négatif de l'axe F2 est également un sous-groupe d'individus qui sont expliqués par de très faibles valeurs des variables foliaires et par de valeurs des variables promologiques relativement élevées ;
 - le sous-groupe III situé du côté positif de l'axe F1 est caractérisé par de fortes valeurs des variables promologiques ;
 - le sous-groupe IV situé du côté positif de l'axe F2 est caractérisé par de fortes valeurs des variables foliaires.

✓ A Kemkian

Les contributions individuelles des variables qui ont participé à la construction des axes F1 et F2 pour les 64 arbres à karité à Kemkian sont répertoriées sur le tableau 13.

Tableau 13 : Taux des contributions des variables à Kemkian.

	Composante 1	Composante 2
LPET	-0.01	0.7861
LLM	-0.01	0.9533
LALM	-0.01	0.2962
LPED	-0.26	-0.0419
LFRU	-0.90	-0.0031
LAFRU	-0.91	-0.0082
LNOI	-0.93	-0.0037
LANOI	-0.78	0.0028

A Kemkian, toutes les variables sont corrélées négativement à la première composante principale. Ainsi, les variables LNOI, LAFRU et LFRU sont fortement et négativement corrélées à la première composante principale et concourent ainsi le plus à la construction de l'axe 1.

Les variables LLM et LPET sont fortement et positivement corrélées à la deuxième composante principale et concourent ainsi le plus à la construction de l'axe 2. Les variables

LPED et LAFRU sont, quant à elles, négativement corrélées à la deuxième composante, mais permettent de comprendre la nature du deuxième facteur pratiquement à la même hauteur.

Diagramme de composantes à kemkian

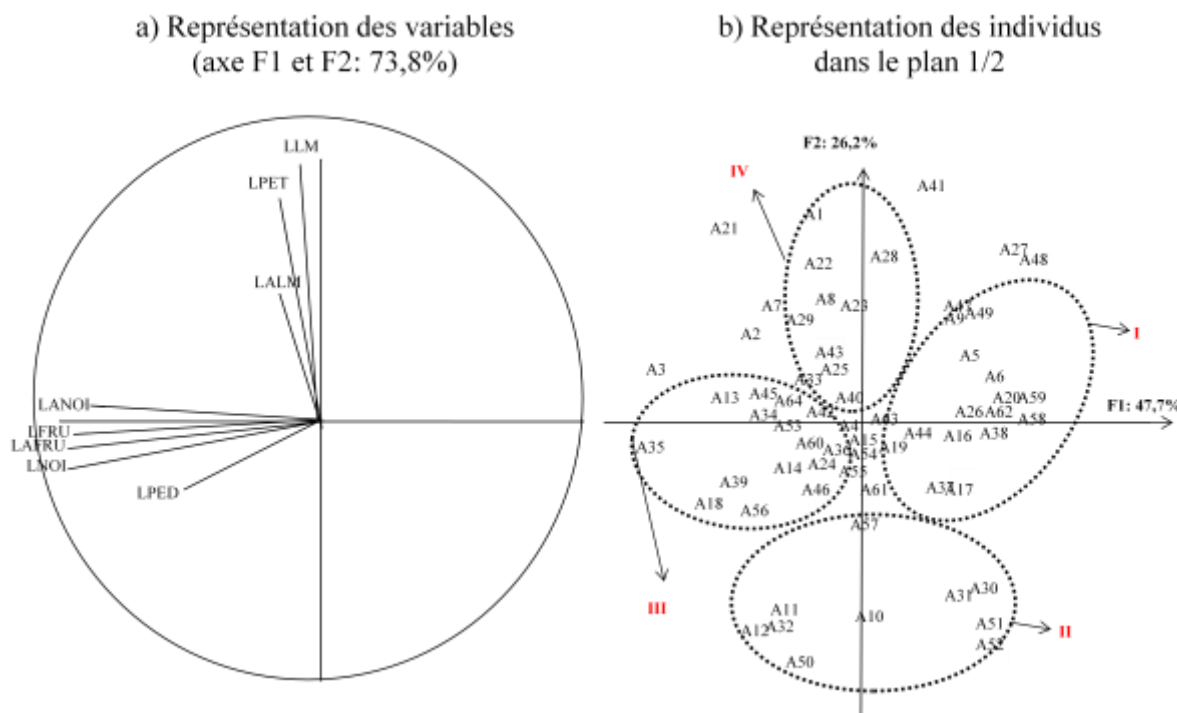


Figure 4b : Représentation bidimensionnelle (axe F1 et F2) des variables et individus à Kemkian.

Dans le site de Kemkian, les deux principaux axes F1 (47,6%) et F2 (26,2%) de l'analyse en composante principale (ACP) considérés explication au total 73,8% des différents paramètres étudiés. Les variables qui ont contribué à la création de F1 sont : LNOI (24,43%), LAFRU (23,95%), LFRU (23,52%), LNOI (20,35%) et LPED (6,90%). Cet axe est celui caractérisant les paramètres promologiques (fruit et noix) des arbres. Les variables ayant permis la création de F2 sont : LLM (45,50%), LPET (37,52%) et LALM (14,13%). Cet axe est celui caractérisant les variables mesurées sur les feuilles.

La figure 4b comporte deux représentations : la représentation des variables et la représentation des sous-groupes d'individus sur les axes F1 et F2.

- ✓ La représentation des variables sur les axes F1 et F2 qui montre sur l'axe F1, du côté négatif toutes les variables promologiques étudiées qui sont fortement expliquées. Sur l'axe F2, du côté positif, ce sont les variables foliaires qui sont fortement expliquées.
- ✓ La représentation des sous-groupes d'individus a été superposée aux variables dans le plan 1/2. Elle permet de distinguer quatre (4) sous-groupes d'arbres :

- le sous-groupe I d'individus situé du côté positif de l'axe F1 qui sont expliqués par de très faibles valeurs des variables promologiques et par de valeurs des variables foliaires relativement élevées ;
- le sous-groupe II est situé du côté négatif de l'axe F2 est également un sous-groupe d'individus qui sont expliqués par de très faibles valeurs des variables foliaires et par de valeurs des variables promologiques relativement élevées ;
- le sous-groupe III situé du côté négatif de l'axe F1 est caractérisé par de fortes valeurs des variables promologiques ;
- le sous-groupe IV situé du côté positif de l'axe F2 est caractérisé par de fortes valeurs des variables foliaires.

✓ A Kol

Les contributions des variables qui ont participé à la construction des axes F1 et F2 pour les 64 arbres à karité à Kol sont répertoriées sur le tableau 14.

Tableau 14 : Taux des contributions des variables à Kol.

	Composante 1	Composante 2
LPET	-0,05	-0,79
LLM	-0,07	-0,90
LALM	-0,02	-0,22
LPED	-0,52	0,00
LFRU	-0,76	0,01
LAFRU	-0,80	0,02
LNOI	-0,91	0,02
LANOI	-0,79	0,02

A Kol, toutes les variables sont corrélées négativement à la première composante principale. Ainsi, les variables « LNOI », « LAFRU » et « LANOI » sont fortement et négativement corrélées à la première composante principale et concourent ainsi le plus à la construction de l'axe 1.

Les variables « LLM » et « LPET » sont fortement et négativement corrélées à la deuxième composante principale. Les variables « LAFRU », « LNOI » et « LANOI » sont positivement corrélées à la deuxième composante principale. Elles sont à privilégier pour l'interprétation du facteur 2.

Diagramme de composantes à Kol

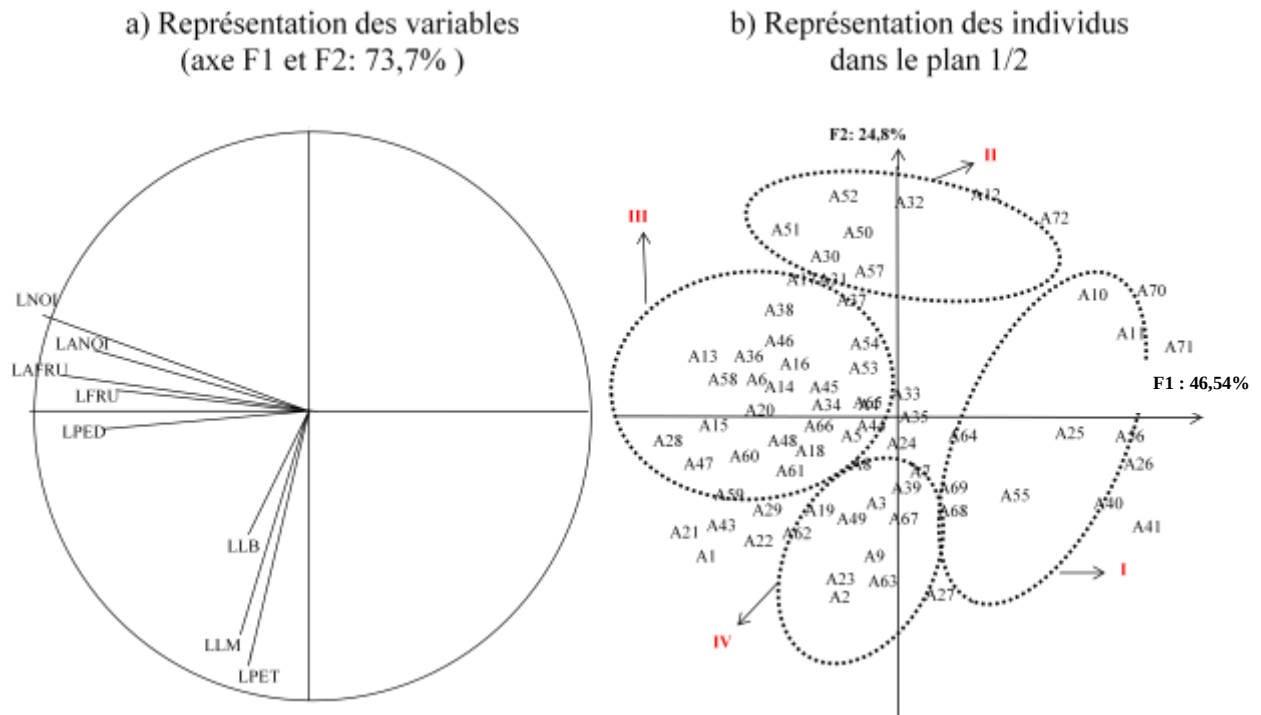


Figure 4c : Représentation bidimensionnelle (axe F1 et F2) des variables et individus à Kol.

Dans le site de Kol, les deux principaux axes F1 (49,0%) et F2 (24,8%) de l'analyse en composante principale (ACP) considérés explication au total 73,7% des différents paramètres étudiés. Les variables qui ont contribué à la création de F1 sont : LNOI (23,31%), LAFRU (20,41%), LANOI (20,12%), LFRU (19,42%) et LPED (13,17%). Cet axe est celui caractérisant les paramètres promologiques (fruit et noix) des arbres. Les variables ayant permis la création de F2 sont : LLM (45,67%), LPET (39,71%) et LALM (10,88%). Cet axe est celui caractérisant les variables mesurées sur les feuilles.

La figure 4c comporte deux représentations : la représentation des variables et la représentation des sous-groupes d'individus sur les axes F1 et F2.

- ✓ La représentation des variables sur les axes F1 et F2 qui montre sur l'axe F1, du côté négatif toutes les variables promologiques étudiées qui sont fortement expliquées. Sur l'axe F2, du côté négatif, ce sont les variables foliaires qui sont fortement expliquées.
- ✓ La représentation des sous-groupes d'individus superposée aux variables dans le plan ½ permet de distinguer quatre (4) sous-groupes d'arbres :

- le sous-groupe I d'individus situé du côté positif de l'axe F1 qui sont expliqués par de très faibles valeurs des variables promologiques et par de valeurs des variables foliaires relativement élevées ;
- le sous-groupe II est situé du côté positif de l'axe F2 est également un sous-groupe d'individus qui sont expliqués par de très faibles valeurs des variables foliaires et par de valeurs des variables promologiques relativement élevées ;
- le sous-groupe III situé du côté négatif de l'axe F1 est caractérisé par de fortes valeurs des variables promologiques ;
- le sous-groupe IV situé du côté négatif de l'axe F2 est caractérisé par de fortes valeurs des variables foliaires.

Les dendrogrammes des figures 5a, 5b, 5c résument les relations entre les individus au sein de chaque site : c'est une combinaison des variables quantitatives mesurées respectivement dans les trois (3) sites. Il s'agit des caractères foliaires, fruits et les paramètres de la noix de chaque fruit pris séparément.

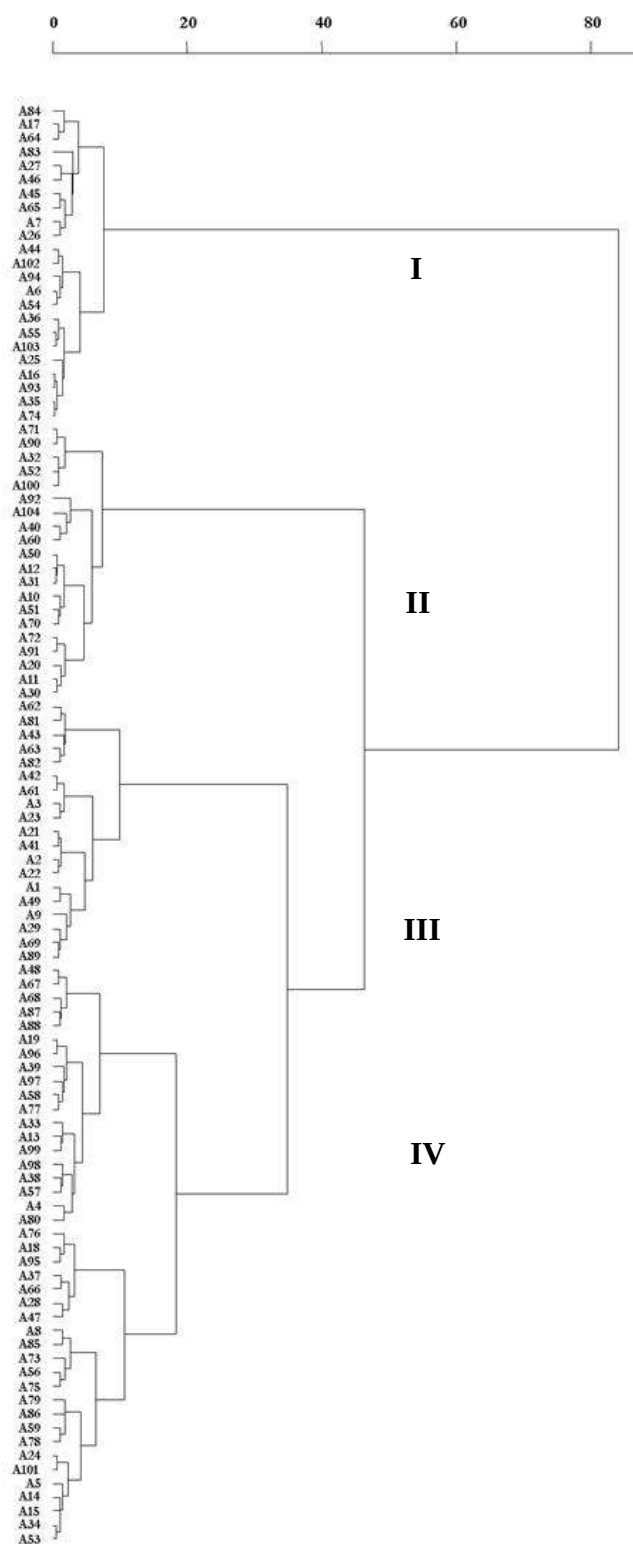


Figure 5a: Dendrogramme montrant les degrés de similarité entre les arbres à karité dans Matekaga.

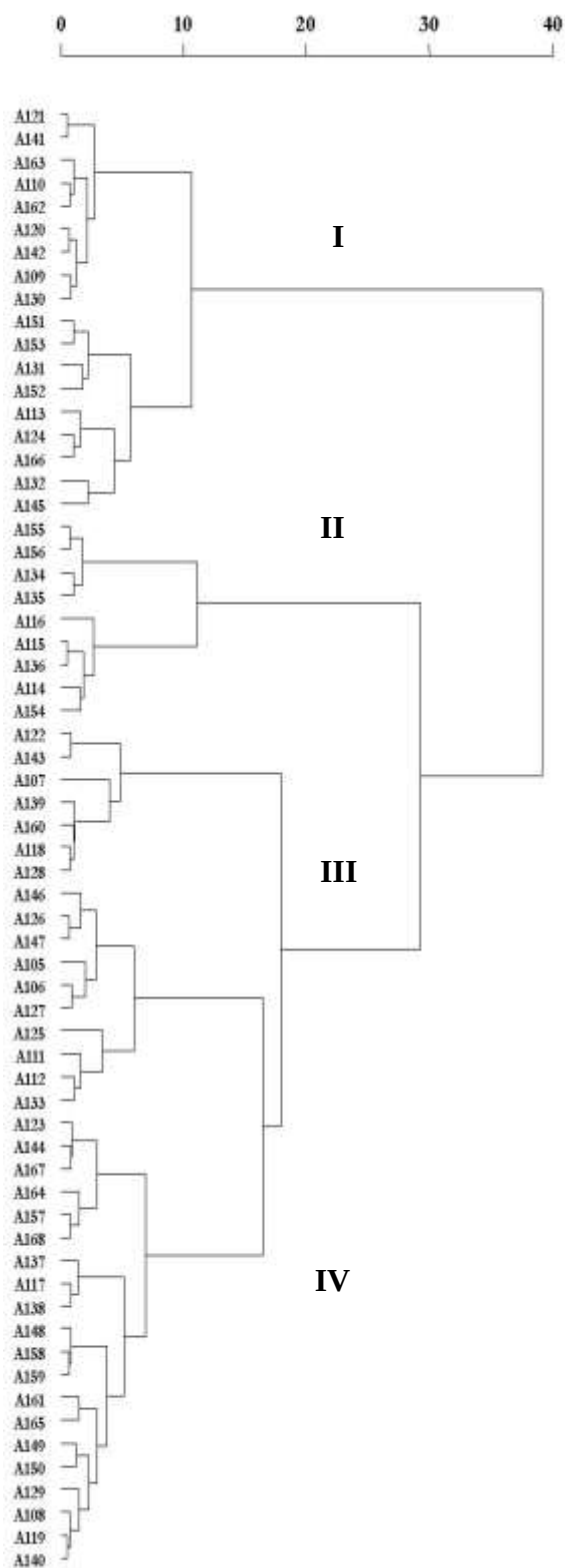


Figure 5b. Dendrogramme montrant les degrés de similarité entre les arbres à karité dans Kemkian.

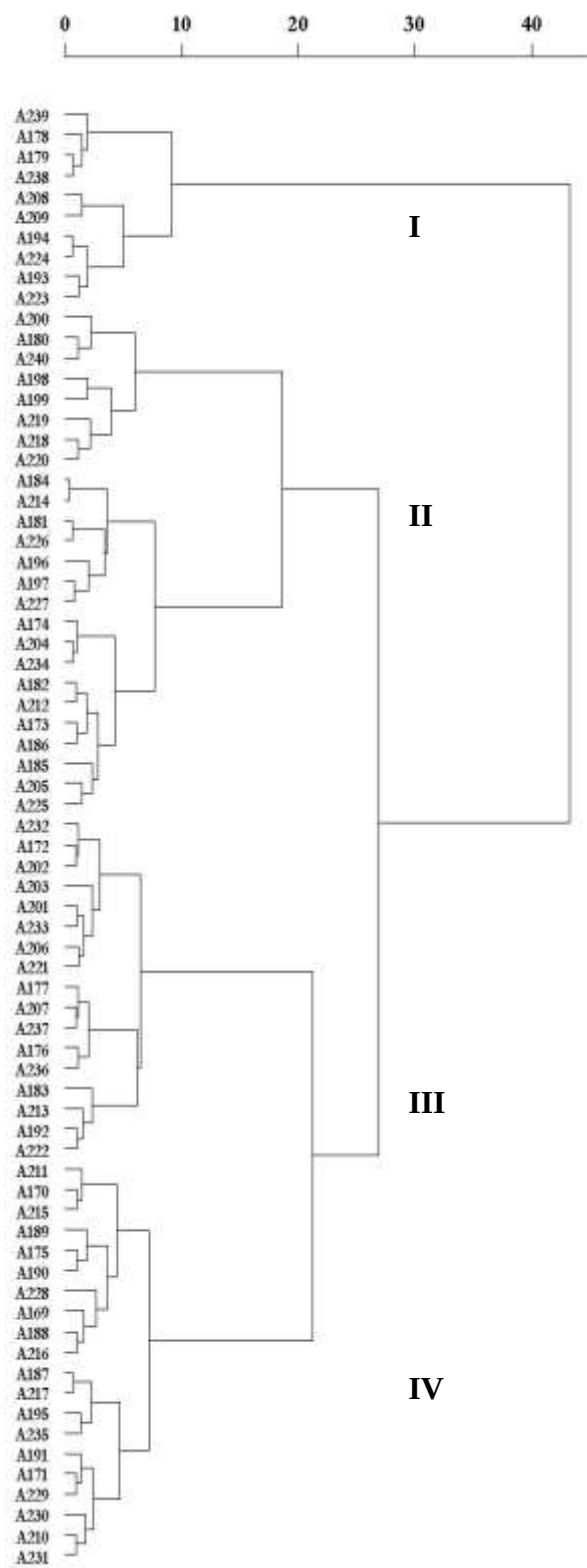


Figure 5c. Dendrogramme montrant les degrés de similarité entre les arbres à karité dans Kol.

3.2. Corrélations des caractères dans l'ensemble des sites

✓ Contribution des caractères

Diagramme des composantes de l'ensemble des 3 sites.

a) Représentation des variables (axe F1 et F2 : 72,95%)

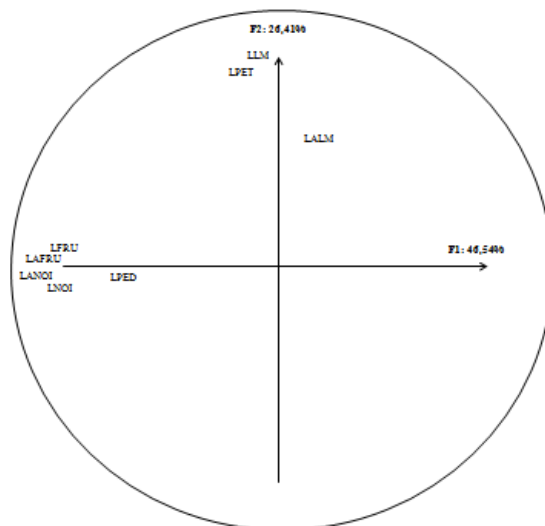


Figure 6. Représentation bidimensionnelle (axe F1 et F2) des variables de l'ensemble des 3 sites.

Le tableau 15 présente les corrélations entre les différentes variables mesurées.

Tableau 15 : Matrice de corrélation entre les variables des 3 sites confondus

	LPET	LLM	LALM	LPED	LFRU	LAFRU	LNOI
LLM	0,92*						
LALM	0,18	0,46					
LPED	0,00	-0,02	-0,11				
LFRU	0,05	0,05	-0,06	0,48			
LAFRU	0,03	0,00	-0,10	0,52*	0,83*		
LNOI	0,06	0,02	-0,12	0,55*	0,78*	0,77*	
LANOI	0,01	-0,01	-0,07	0,42	0,68*	0,78*	0,87*

* les valeurs significatives sont en gras.

On note sur le tableau 15, des corrélations positives et des corrélations négatives :

- Les variables corrélées positivement sont : LPET, LPED, LFRU, LAFRU, LNOI ;
- Les variables corrélées négativement sont : LLM, LALM, LANOI.

La matrice de corrélation (tableau 15) a montré que :

- la longueur du pétiole (LPET) est dépendante de la longueur du limbe (LLM) ;
- la longueur du pédoncule (LPED) et la largeur du fruit (LAFRU) d'une part et d'autre part la longueur du fruit (LFRU) et la longueur de la noix (LNOI) sont corrélées positivement mais corrélées négativement à la largeur du limbe (LALM).

L'observation des catégories de variables permet de trier au sein de chaque catégorie celles qui sont les plus pertinentes. Ce sont :

- les dimensions de la feuille (LPET et LLM) ;
- les dimensions du fruit et de la noix (LAFRU et LNOI).

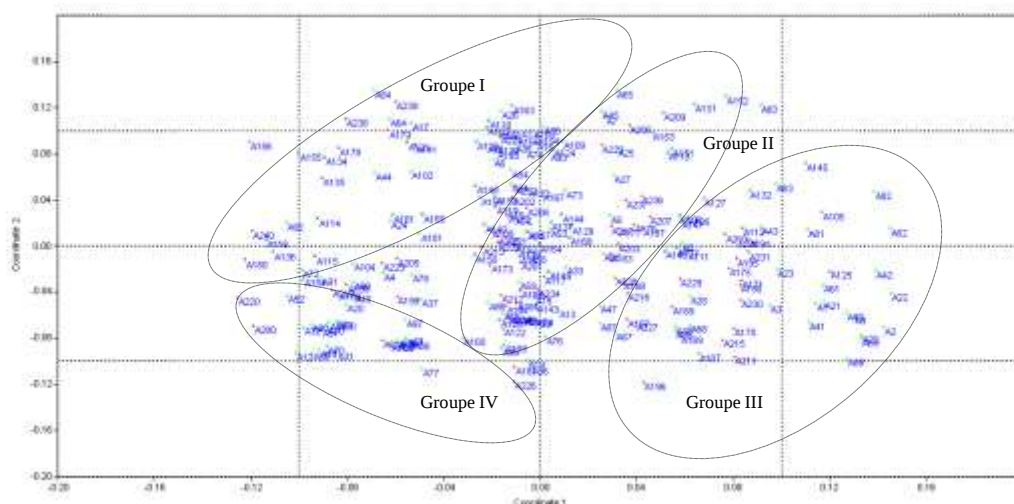


Figure 7. Représentation bidimensionnelle (axe F1 et F2) des variables de l'ensemble des 3 sites.

L'analyse en composante principale (ACP) réalisée sur les variables phénotypiques des feuilles, fruits et leur noix a permis de rassembler les différents individus de l'ensemble des trois (3) sites en des sous-groupes par rapport à toutes les variables prises simultanément. Ainsi, les axes 1, 2 et 3 notés respectivement F1, F2, et F3 expliquent au totale 83,61% de la variabilité observée soit une contribution individuelle de 46,54% de l'axe F1, 26,41% de l'axe F2 et 10,66% de l'axe F3.

Tableau 16 : ACP : Valeurs propres et inertie (%) sur les axes factoriels.

	F1	F2	F3
Variance	3,72	2,11	0,85
Cumul variance	3,72	5,84	6,69
% variance	46,54	26,41	10,68
% cumul variance	46,54	72,96	83,61

Dans le tableau 16, l'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les variables phénotypiques des feuilles, fruits et leur noix a montré que les deux (2) axes expliquent 72,95% de la variabilité observée.

L'axe 1 exprime 46,54% de la variance totale. Les variables de longueur des noix (LNOI), la largeur de fruits (LAFRU), largeur de noix (LANOI) et de la longueur de fruits (LFRU) ont respectivement contribué à 86,96% ; 83,59% ; 78,53% et 77,97% respectivement.

L'axe 2 exprime 26,41% de la variance totale. La longueur du limbe (LLM), la longueur du pétiole (LPET) représente chacun 97,4% et 82,87% de cette variabilité.

L'axe 3 explique 10,66% de la variance totale où la largeur du limbe (LALM) explique 65,71% de la variabilité.

La CAH, réalisée sur les individus des différentes populations prises ensembles et les moyennes pondérées des distances euclidiennes, donne le dendrogramme représenté à la figure 8.

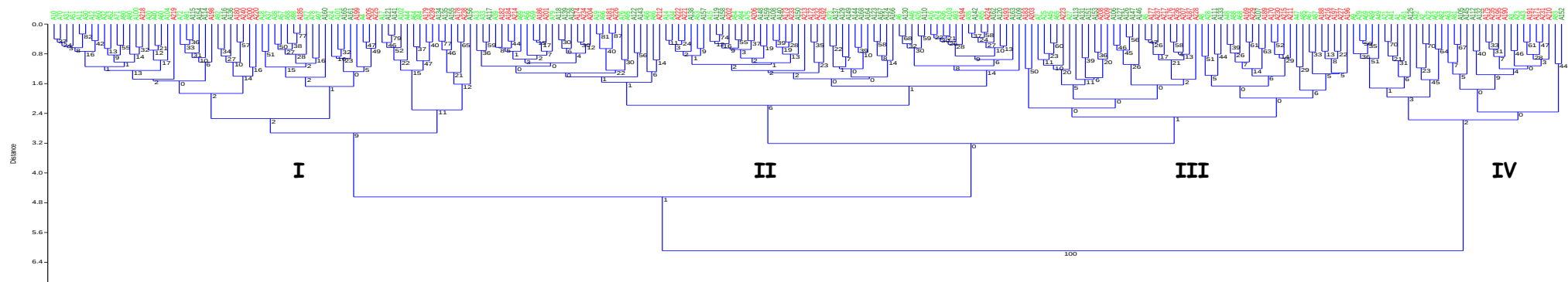


Figure 8. Dendrogramme issu de CAH. Regroupement 240 individus des trois (3) sites avec les variables quantitatives étudiées dans le peuplement naturel de karité dans la région du Mandoul.

Vert claire=individus de karité de Matekaga ; Vert foncé=individus de karité de Kemkian ; Rouge=individus de karité de Kol

L'observation de ce dendrogramme (figure 8) obtenu en procédant à Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) met en exergue le processus de regroupement des morphotypes chez la variété *mangifolium* au sein de *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* en fonction de leur proximité. Il consolide de ce fait les informations obtenues de l'ACP. Il s'agit de 4 morphotypes qui sont assimilables à 4 sous-variétés au sein de la variété *mangifolium* A. CHEV.

3.2. Affinités taxonomiques entre les morphotypes dans chaque site

Dans les trois (3) sites, la comparaison entre les sous-groupes identifiés par site et morphotype a été résumée sur le tableau 17.

Tableau 17 : Variation morphologique au sein des sites

Sites	Ensemble individus semblables	Nombre individus par ss- groupe	Codage des individus (CHA)	Morphotypes : appellation locale					Total
				Bogrombaye	Kiankos	Mbabéte	Meingré	Komane_ Ngoïtokoro	
Matekaga	ss-groupe I	23 arbres	A84_A74	8	1	0	10	4	23
	ss-groupe II	39 arbres	A71_A89	8	5	8	5	13	39
	ss-groupe III	19 arbres	A48_A80	2	7	3	1	6	19
	ss-groupe IV	23 arbres	A76_A53	7	3	2	2	9	23
	S/total 1			25	16	13	18	32	104
Kemkian	ss-groupe I	18 arbres	A121_A145	9	0	0	9	0	18
	ss-groupe II	9 arbres	A156_A154	4	1	0	3	1	9
	ss-groupe III	17 arbres	A122_A133	5	0	3	4	5	17
	ss-groupe IV	20 arbres	A123_A140	9	4	1	6	0	20
	S/total 2			29	6	4	19	6	64
Kol	ss-groupe I	10 arbres	A239_A223	4	0	0	6	0	10
	ss-groupe II	25 arbres	A200_A225	7	2	8	0	8	25
	ss-groupe III	17 arbres	A232_A222	10	1	0	5	1	17
	ss-groupe IV	20 arbres	A211_A231	6	4	6	3	1	20
	S/total 3			27	7	14	14	10	72
TOTAL			81	29	31	51	48	240	
%			34	12	13	21	20		

Le tableau 17 montre que la plupart des morphotypes caractérisés par les précédentes études ethnobotaniques sont retrouvés dans les (3) sites. Dans ce tableau, Kemkian est le site qui est constitué de plus de Bogrombaye (29 arbres) et de Meingré (19 arbres). Matekaga est le site qui a montré sa particularité par la présence de Komane_Ngoïtokoro (32 arbres). Kemkian se singularise de Matekaga et de Kol par la rareté de Mbabéte (4 arbres) dans son aire par contre Meingré (19 arbres) s'y trouve en aussi grand nombre dans les deux (2) autres sites.

Le dendrogramme (figure 8) fait ressortir une variabilité entre les arbres des différentes populations étudiées. Le niveau de dissimilarité à hauteur de coupure à 32% de la troncature de ce dendrogramme permet de distinguer des regroupements d'individus qui sont indépendants des sites. Les caractéristiques des morphotypes par sous-groupe ont été répertoriées dans le tableau 18.

Tableau 18 : Caractéristiques des sous-groupes de morphotypes

ORGANES		Sous-groupe I	Sous-groupe II	Sous-groupe III	Sous-groupe IV
		Mbabéte	Komane_Ngoitokoro	Kiankos	Borgombaye_Meingré
Caractéristiques Foliaires	Forme de la feuille	Oblongue	Oblongue	Oblongue	Oblongue
	Sommet de la feuille	Obtus en coin	Arrondi	Arrondi	Arrondi
	Base de la feuille	En coin	En coin	En coin	En coin
	Pétiole (cm)	[6,1 cm – 11,9 cm [	[6,2 cm – 11,9 cm [	[5,8 cm – 11,9 cm [	[6,2 cm – 9,1 cm [
	Longueur limbe (cm)	[17,6 cm – 26,3 cm [	[18,7 cm – 26,1 cm [	[16,5 cm – 26,1 cm [	[17,1 cm – 23,3 cm [
	Largeur limbe (cm)	[3,9 cm – 5,0 cm [	[4,1 cm – 5,0 cm [	[3,2 cm – 4,5 cm [	[3,4 cm – 5,0 cm [
	Longueur totale de la feuille	[23,7 cm – 38,2 cm [	[24,7 cm – 38,0 cm [	[22,3 cm – 38,0 cm [	[23,3 cm – 32,4 cm [
	Type de nervure	Penné	Penné	Penné	Penné
	Paire nervures second.	[20 – 46 [	[26 – 47 [	[27 – 48 [	[23 – 45 [
	Bord du limbe	Très ondulé	Légèrement ondulé	Légèrement ondulé	Légèrement ondulé
	Etat de la jeune feuille	Verdâtre	Rougeâtre	Rougeâtre	Rougeâtre
	Pilosité	Glabre	Glabre	Glabre	Glabre
Caractéristiques des fruits	Forme	Ellipsoïde	Ronde ou ovale	Ellipsoïde	Ronde
	Base du fruit	Nettement acuminé	Arrondie	Légèrement acuminé	Arrondie
	Pédoncule	[1,7 cm – 2,7 cm [	[1,8 cm – 2,5 cm [	[2,0 cm – 2,7 cm [	[1,0 cm – 2,5 cm [
	longueur fruit (cm)	[3,2 cm – 5,5 cm [	[3,3 cm – 5,4 cm [	[3,4 cm – 5,2 cm [	[2,5 cm – 4,4 cm [
	Largeur fruit (cm)	[2,9 cm – 4,1 cm [	[3,0 cm – 4,2 cm [	[3,2 cm – 4,3 cm [	[2,3 cm – 3,7 cm [
	Sensation au toucher	Rugueux	Lisse ou rugueux	Rugueux	Lisse
	Latex dans fruit mûr	Absent	Absent	Absent	Présent
	Reste de calice	Présent	Absent	Présent	Présent
Caractéristiques des noix	Forme	Ellipsoïde	Ronde à ellipsoïde	Ellipsoïde	Ronde
	Couleur coque	Marron foncé	Marron claire	Marron foncé	Marron clair
	Longueur (cm)	[2,5 cm – 3,6 cm [	[2,1 cm – 3,1 cm [	[2,3 cm – 3,4 cm [	[1,9 cm – 3,3 cm [
	Largeur (cm)	[1,9 cm – 2,7 cm [	[1,6 cm – 2,4 cm [	[1,9 cm – 2,8 cm [	[1,5 cm – 2,7 cm [
	Cicatrice/coque	Elliptique	Circulaire à elliptique	Elliptique	Circulaire

Le tableau 18 montre quatre (4) sous-groupes d'arbres comme obtenus dans chaque site :

- Le sous-groupe I comprend 66 arbres soit 28% de l'effectif total (A10 à A156) et peut être divisé en 4 regroupements :
 - le 1^{er} regroupement comprend 18 arbres (17,3%) des individus de Matekaga et seulement 2 arbres de Kol ;
 - le 2^{ème} regroupement comprend l'individu A100 de Matekaga et l'individu A218 de Kol ;
 - le 3^{ème} regroupement comprend en majorité des individus de Kol ;
 - le 4^{ème} regroupement comprend en majorité des individus Matekaga.

Nos résultats ont montré dans ce sous-groupe I que le A98 de Matekaga et A185 de Kemkian sont proches. A121/A141 et A134/A135 appartenant au même site de Kemkian ont une faible dissemblance.

- Le sous-groupe II comprend 87 arbres soit 37% de l'effectif total (A13 à A109) qui sont répartis dans plusieurs regroupements. Les regroupements formés par A39 de Matekaga/A182 de Kol, A19/A96 de Matekaga et A181/A226 de Kol ont une faible dissemblance ;
- Le sous-groupe III comprend 53 arbres soit 22% de l'effectif total (A183 à A9) dont 28 individus de Kol, 12 de Matekaga et 13 de Kemkian. La plupart des échantillons se rassemblaient par site, sauf A153 de Kemkian et A208 de Kol, A5 de Matekaga et A177 de Kol. L'arbre A107 de Kemkian est imbriqué à A189 de Kol ;
- Le groupe IV comprend 34 arbres soit 14% de l'effectif total (A69 à A152) dont 20 sont de Matekaga, 6 de Kemkian et 8 de Kol. A81 de Matekaga et A105 de Kemkian sont regroupés de même que A83 de Matekaga et A152 de Kemkian d'une part et d'autre part A43 de Matekaga et A191 de Kol.

Le regroupement des arbres à karité ainsi obtenu par l'ACP permet de faire la comparaison entre les sous-groupes qui ont les caractéristiques répertoriées sur le tableau 18.

- ✓ Dans le sous-groupe I, Matekaga et de Kemkian possèdent la majorité des morphotypes Meingré et Bogrombaye ;
- ✓ Dans les sous-groupes II, parmi les trois (3) sites, c'est à Matekaga que Komane_Ngoïtokoro est mieux représenté ;

- ✓ Dans le sous- groupe III, Matekaga est le seul site qui montre le quasi absence du Morphotype Bogrombaye qui est pourtant le morphotype dominant dans les trois (3) sites ;
- ✓ Dans le sous-groupe IV présente successivement des valeurs nulles pour les morphotypes Mbabéte à Ngoïtokoro à Kemkian.

Les tableaux 17 et 18 montrent deux (2) catégories de morphotypes :

- la catégorie des morphotypes à fruits ronds à ovales constituée de Bogrombaye, Meingré, Komane_Ngoïtokoro sont plus représentés (75%). Dans cette catégorie, Bogrombaye (34%) est majoritaire. Il est suivi de Meingré (21%) et Komane_Ngoïtokoro (20%) ;
- la catégorie des morphotypes à fruits ellipsoïdes représentent 25%. Cette catégorie est constituée Mbabéte (13%) et Kiankos (12%) ;

L'analyse des caractéristiques des fruits/morphotype (tableau 10) nous permet de remarquer que le caractère foliaire "sommet du limbe" semble avoir une correspondance avec la base des fruits des morphotypes de sorte que les morphotypes ayant le sommet du limbe acuminé aient des fruits à base acuminée et ceux qui ont le sommet du limbe arrondi ont des fruits dont la base est arrondie.

En outre, chez les morphotypes étudiés, l'utilisation du descripteur longueur des fruits permet d'identifier les grosses drupes dans la catégorie des morphotypes à fruits ronds à ovales. Néanmoins, Meingré bien qu'ayant de petites drupes figure dans cette catégorie.

En général, à l'exception de Meingré qui a des organes de petites dimensions, la variation des longueurs et largeurs des organes des autres morphotypes sont relativement faibles.

Conclusion partielle

L'étude de la variabilité et du caractère discriminatoire des descripteurs est un préalable nécessaire pour la domestication des morphotypes performants chez *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* pour les actions de plantation à grande échelle. Ainsi, une corrélation significative à $P < 0,001$ a également été trouvée entre la largeur de fruits (LFRU) à Kol et Kemkian puis à Matekaga et Kemkian. Des résultats similaires ont été obtenus avec la longueur de fruits, et la longueur de la noix.

L'utilisation des caractères macro morphologiques a montré une forte variation chez *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* dans les sites et entre les sites. La résolution de notre étude de la variation était plus importante lorsque plusieurs caractères macro morphologiques à savoir la longueur et la largeur du fruit couplées à la longueur et largeur de la noix étaient utilisés pour distinguer les morphotypes. Nos résultats présentent néanmoins, un manque de congruence avec la classification traditionnelle qui estimait le nombre de morphotypes de karité dans la zone d'étude à 6 alors que nos résultats ont remarqué à partir du dendrogramme seulement quatre (4) principaux morphotypes de karité dans la zone d'étude à la coupure au point de dissimilarité correspondant à environ 35%.

Compte tenue de la similitude des caractères morphologiques qu'ils comportent, deux (2) morphotypes appelés localement Komane et Ngoïtokoro n'ont pas montré sur le dendrogramme des caractères suffisamment distincts pour leur discrimination comme l'ont présenté les études ethnobotaniques dans la région du Mandoul au Tchad.

La présente étude peut être étendue à la zone endémique de *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* pour comparer les connaissances locales et pour une meilleure identification des morphotypes au Tchad. D'autres études par approche moléculaire sont envisageables pour tester à l'aide des amorces spécifiques si la variation morphologique résulterait du polymorphisme de l'ADN de chacune de ces morphotypes.

Le chapitre suivant portant sur quelques micros caractères du karité par le biais des poils épidermiques des bourgeons apicaux et le complexe stomatiques de ces morphotypes fournira probablement des informations complémentaires pour mieux les caractériser.

CHAPITRE 4 :
CARACTERISATION MICRO MORPHOLOGIQUE
DES MORPHOTYPES

CHAPITRE 4 : CARACTERISATION MICRO MORPHOLOGIQUE DES MORPHOTYPES

Introduction

Les caractères morphologiques de l'appareil végétatif sont les plus utilisés pour l'identification des espèces (Couderc, 1979 ; Tomlinson, 1984 ; Stuessy, 1990 ; Shukla et Misra, 1994).

Dans son aire de répartition, il existe une certaine hétérogénéité au sein de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* C.F. Gaetrn avec six (6) morphotypes. Ces taxons sont reconnaissables par leurs caractères végétatifs notamment la longueur du pétiole, la longueur du limbe, la largeur du limbe mais aussi par leurs caractères reproducteurs (longueur du pédoncule, longueur du fruit, largeur du fruit, longueur de la noix et largeur de la noix). Ces deux types de caractères sont utilisés par plusieurs auteurs (Arbonnier, (2000) ; Aubreville, (1959) ; Berhaut, (1967); Bonkoungou *et al.*,1987; Byakagaba *et al.*, 2011; Chevalier *et al.*,1948; Guira, 1997; Gwali *et al.*,2011; Hall *et al.*,1996; Lamien *et al.*, 2007; Nafan *et al.*,2007; Nyarko *et al.*, 2012 ; Sanou *et al.*, 2006; Ugees *et al.*, 2010).

La grande variabilité phénotypique des caractères du karité probablement liée à l'action des facteurs écologiques, rendent leur utilisation délicate pour la discrimination claire et précise des morphotypes de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*. En outre, les caractères micro morphologiques et en particulier les poils épidermiques et les caractéristiques des stomates ont été très peu utilisés jusqu'ici dans la systématique du karité (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* C.F. Gaetrn, *Sapotaceae*). Cependant, dans la distinction des espèces, certains caractères micro morphologiques facilement accessibles ont une importance systématique reconnue par plusieurs auteurs (Guyot, (1966) ; Noba, 1990 ; Dione, 1996 ; Mbaye *et al.*, 2001 ; Diop, 2008). Ainsi, ces caractères morphologiques peuvent compléter utilement les observations au plan macro morphologique (Matcalfe, 1954) et permettre de surmonter de nombreuses difficultés d'identification des espèces (Turquet, 1910).

Cette étude est entreprise pour contribuer à l'amélioration des connaissances de ces différents morphotypes. Il s'agira spécifiquement de : i) rechercher les caractères micro morphologiques discriminants susceptibles d'améliorer l'identification des morphotypes ; ii) proposer une clé de détermination des morphotypes basée sur les caractères micro morphologiques.

RESULTATS

Chez *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* 45 jours après la mise en germination des noix, les jeunes plantes au stade 3 à 4 feuilles ont été disponibles.

1. Caractères des poils des bourgeons apicaux

Les poils observés sur les bourgeons apicaux des six (6) morphotypes étudiés ont une structure semblable (planche 1). Ce sont des poils simples pluricellulaires de différentes tailles :

- de 100 à 150 μ (photos 1a et 2a) ;
- de 1 à 1,5 mm (photo 4a) ;
- de plus de 2 mm (photo 3a).

Planche I.

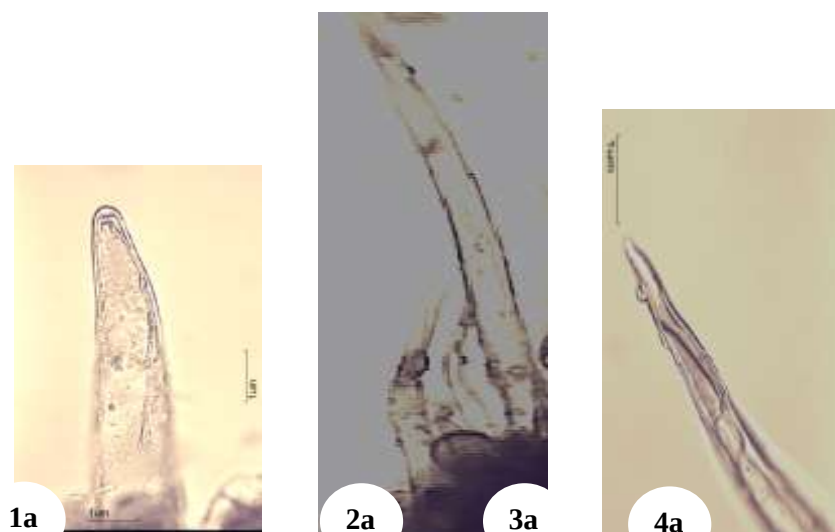


PHOTO V. Différents types de poils des bourgeons apicaux rencontrés chez les morphotypes de karité étudiés.

1a et 2a : Poils simples pluricellulaires courts de 100 à 150 μ dominant chez le morphotype Mbabéte;

3a : Poils simples pluricellulaires longs de plus de 2 mm dominant chez Kiankos, Meingré, Komane et Ngoïtokoro ;

4a : Poils simples pluricellulaires moyens de 1 à 1,5 mm dominant chez le morphotype Bogrombaye.

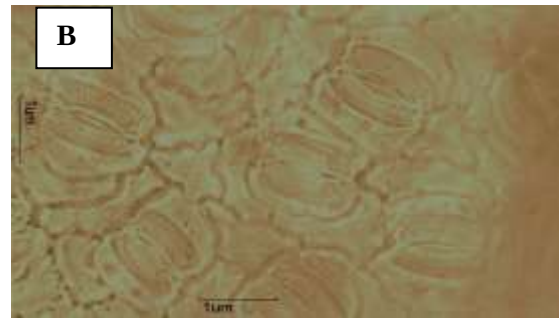
Remarque : les morphotypes de karité ont une structure hétérogène de poils. Par exemple, la photo des poils 2a et 3a qui sont ainsi de tailles différentes sont rencontrés chez le même morphotype.

2. Types stomatiques

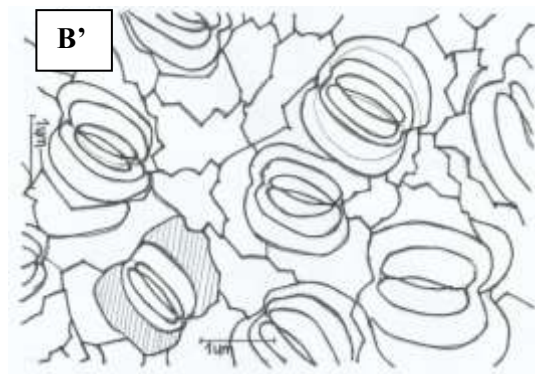
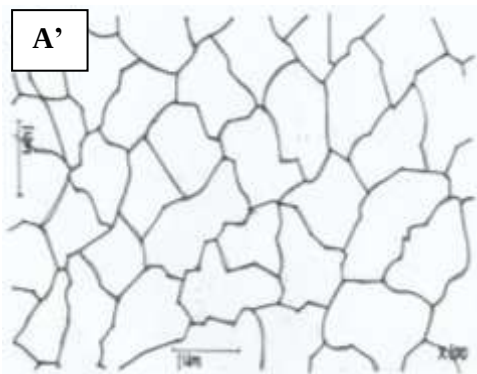
Sur les échantillons que nous avons étudiés les feuilles n'ont pas de stomates sur la face supérieure. Les stomates se rencontrent chez le karité exclusivement sur la face inférieure de la feuille. Ils sont accompagnés de plusieurs cellules épidermiques banales polymorphes dont la densité y est faible comparativement à celles qui sont observées sur la face supérieure. Ce sont donc des feuilles hypostomatées.

Chez *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*, tous les cinq (5) morphotypes étudiés montre sur les épidermes foliaires de la face inférieure des stomates de type anomocytique ou type *Renonculacée* périgène à subsidiaire dicyclique. En effet, les stomates sont entourés de plusieurs cellules annexes qui ressemblent aux cellules épidermiques banales.

Planche II.



Photos. A : Face supérieure de la feuille du karité ; absence de stomate, cellules épidermiques polymorphes
 B : Face inférieure de la feuille du karité ; présence de stomate, type stomatique anomocytique périgène subsidiaire dicyclique.



Dessins. A' : Face supérieure de la feuille du karité ; absence de stomate, cellules épidermiques polymorphes.
 B' : Face inférieure de la feuille du karité ; présence de stomate, type stomatique anomocytique périgène à subsidiaire dicyclique.

✓ Indices stomatiques

Les stomates jouent un rôle important dans la transpiration, leur fréquence ou I_s est un caractère systématique et écologique très variable (Timmerman, 1927). Il peut dépendre des conditions du milieu (Salisbury, 1927). La comparaison des indices stomatiques des cinq (5) morphotypes pourrait donner des indications sur leur phénologie, leur répartition géographique et leur écologie. Les moyennes et I_s ont des résultats qui sont consignés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Moyennes des différents paramètres et indices stomatiques.

Moyennes et Indices	Morphotypes Face	Bogrombaye	Kiankos	Mbabéte	Meingré	Komane_Ngoïtokoro
Nombre des cellules épidermiques	Face sup.	305	303	315	317	313
	Face inf.	122	121	126	128	125
Nombres de stomates	Face sup.	0	0	0	0	0
	Face inf.	362	356	365	358	367
Moyenne (a) des stomates observés		181	178	183	179	183
Moyenne (b) des cellules épidermiques banales		214	212	221	220	219
n= a + b		395	390	404	404	402
Is= $a/(a + b)*100$		45,8	45,6	45,3	45,1	45,5

L'analyse du tableau 19 montre que le nombre des cellules épidermiques banales sur la face supérieure des feuilles chez tous les morphotypes étudiés est supérieur à celui de la face inférieure. Il varie de 303/mm² à 317/mm². Les faibles valeurs sont trouvées chez Kiankos et les plus élevées sont chez Meingré. Les autres morphotypes ont des valeurs intermédiaires.

Par ailleurs, le nombre de stomates trouvé exclusivement sur la face inférieure des feuilles chez tous les morphotypes étudiés varie de 356/mm² à 367/mm². Les faibles valeurs sont trouvées chez Kiankos et les plus élevées sont chez Komane_Ngoïtokoro. Les autres morphotypes ont des valeurs intermédiaires.

Ces résultats présentés dans le tableau 19 montrent que l'indice stomatique varie très faiblement chez les différents morphotypes. Il est compris entre 45,1 et 45,8%. Les indices les plus élevés sont notés chez le morphotype Bogrombaye ($Is = 45,8\%$) et les plus faibles chez le morphotype Meingré ($Is = 45,1\%$). Les morphotypes Kiankos, Mbabéte et Komane_Ngoïtokoro présentent des indices intermédiaires. La comparaison des Is par l'écart réduit (des proportions a donné les résultats qui sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Ecart réduit des indices stomatiques des morphotypes pris 2 à 2.

MORPHOTYPES	Bogrombaye	Kiankos	Mbabéte	Meingré	Komane_ Ngoïtokoro
Bogrombaye	-				
Kiankos	1,5	-			
Mbabéte	1	2,5	-		
Meingré	0,5	2	0,5	-	
Komane_ Ngoïtokoro	1	0,5	2	1,5	-

Il se dégage du tableau 20 des valeurs qui sont lues sur la table t au seuil de signification de $\alpha=0,05$. Le tableau montre que les taxa les plus proches sont Bogrombaye et Meingré, Komane_Ngoïtokoro et Kiankos mais aussi Meingré et Mbabéte sont proches même si leur distance est relativement plus grande que dans le premier cas. Les taxa les plus éloignés du point de vue indice stomatique sont Mbabéte et Kiankos. Alors, chez tous les cinq (5) morphotypes l'hypothèse d'égalité des 2 proportions est acceptée : c'est-à-dire qu'il n'y a pas une différence significative entre les morphotypes au point de vue indice stomatique.

3. Proposition d'une clé partielle avec des caractères micro morphologiques

Les principaux caractères micro morphologiques étudiés sont résumés sur le tableau 21.

Tableau 21 : Tableau synoptique des caractères micro morphologiques étudiés

	MORPHOTYPES	Bogrombaye	Kiankos	Mbabéte	Meingré	Komane_ Ngoïtokoro
Type de poils	Poils simples courts de $<150\ \mu$	-	-	+	-	-
	Poils moyen de 1 à 1,5 mm	-	-	-	+	-
	Poils simples longs de $>150\ \mu$	+	+	-	-	+
	Pluricellulaire	+	+	+	+	+
Type stomatique	Anomocytique périgène à subsidiaire dicyclique	+	+	+	+	+
Indice stomatique	Indice stomatique $\leq 45,5\%$	-	-	+	-	-
	Indice stomatique $\geq 45,5\%$	+	+	-	+	+

Clé 4

Sur la base des caractères liés aux différents types de poils des bougeons apicaux (tableau 21), la clé de détermination ci-après est proposée pour améliorer la connaissance et l'identification des morphotypes étudiés.

1. Poils simples courts de $<150\ \mu$ Mbabéte
- 1'. Poils simples longs $>150\ \mu$
 2. Poils simples moyens de 1 à 1,5 mmMeingré
 - 2'. Poils simples longs de plus de 2 mm
 3. Indice stomatique $\leq 45,5\%$ Komane_Ngoïtokoro
 - 3'. Indice stomatique $\geq 45,5\%$ Bogrombaye, Kiankos

De cette clé partielle, la taille des poils dominants ainsi que l'indice stomatique apparaissent comme des caractères importants qui permettent de distinguer de façon précise 4 groupes de morphotypes :

- Poils simples courts dominants (Mbabéte) ;
- Poils simples moyens dominants (Meingré) ;
- Poils simples longs dominants avec indice stomatique faible (Komane_Ngoïtokoro) ;
- Poils simples longs dominants avec indice stomatique élevé (Bogrombaye, Kiankos).

Cette clé montre l'importance de l'apport des caractères micro morphologiques liés aux poils apicaux dans la détermination des différents morphotypes.

Ce travail montre que les caractères des poils apicaux, l'indice stomatique et le type stomatique semblent être de bons descripteurs des différents morphotypes chez *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*. Ainsi, l'étude des affinités qui existent entre les morphotypes complétera utilement leur caractérisation.

Conclusion partielle

L'étude des caractères micro morphologiques chez les cinq (5) morphotypes du genre *V. paradoxa* Gartn subsp. *Paradoxa* montre l'absence de stomates sur la face supérieure des feuilles. Les stomates observés exclusivement sur la face inférieure des feuilles sont de type anomocytique périgène à subsidiaire dicyclique.

Les résultats de ce travail montrent également que les poils observés sont pluricellulaires et peuvent être simples courts, moyens et longs avec une nette dominance des poils courts. L'indice stomatique qui est en moyenne de 45,5% et un nombre de stomates en général supérieur à 350 stomates/mm² chez tous les morphotypes atteste de caractères adaptatifs des morphotypes aux milieux secs.

Le chapitre suivant portant sur la combinaison des caractères macro et micro morphologiques permettra probablement de préciser les caractères ou associations de caractères qui définissent le mieux un morphotype ou un groupe de morphotype chez *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*.

CHAPITRE 5

AFFINITES INTRA SPECIFIQUES

CHAPITRE 5 : AFFINITES INTRA SPECIFIQUES

Introduction

Dans la définition des unités taxonomiques, les caractères de l'appareil végétatif de la plante furent souvent considérés comme mineurs comparés à ceux de l'appareil reproducteur (Raynal-Roques, 1994) en raison de leur variabilité. Chez *Vitellaria paradoxa* subsp. *Paradoxa*, des auteurs tels que Bokary *et al.* (2004) ; fontaine *et al.* (2004) ; Bouvet *et al.* (2004) et Lovett & Haq (2000b), qui ont utilisé respectivement les marqueurs moléculaires, les RAPD et les microsatellites, ont montré que le polymorphisme chez cette sous espèce est dû à l'influence de l'environnement sur les caractères macro morphologiques. Pourtant, après avoir identifié deux sous-espèces Chevalier (1943) et Ryussen (1957) ont décrit trois (3) variétés et deux (2) sous-variétés en relation avec l'aire de distribution de l'espèce (Sandwidi, 2012). Il s'agit des variétés *niloticum*, *Poissoni*, *Mangifolium* et des sous-variétés *viridis* et *rubrifolia*

Les résultats sur les caractères micro et macro morphologiques qui ont été étudiés au cours de nos travaux pris isolément aboutissent à plusieurs classifications différentes les unes des autres. A cet effet, nous envisageons dans ce chapitre de combiner ces 2 types de caractères en utilisant les outils de la taxonomie numérique pour affiner la connaissance des morphotypes étudiés. Cette approche a été expérimentée par plusieurs auteurs dont Adanson (1763), Sokal & Sneath (1963).

Ce travail a été entrepris pour contribuer à l'amélioration des connaissances de ces différents morphotypes en précisant spécifiquement les caractères ou associations de caractères qui définissent le mieux un morphotype ou un groupe de morphotypes chez *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*.

RESULTATS

1. Répertoire des caractères étudiés.

Au total 56 caractères morphologiques ont été retenus dans le tableau 22. Parmi ces caractères, 47 sont des caractères macro morphologiques dont 16 sont en rapport avec la feuille, 19 en rapport avec les fruits, 12 en rapport avec la noix. Il y a 9 caractères micro morphologiques dont 6 en rapport avec les types de poils et 3 en rapport avec les types stomatiques.

Tableau 22 : Tableau synoptique des caractères étudiés

CARACTERES DES ORGANES	MORPHOTYPES				
	Bogrombay	Kiankos	Mbabéte	Meingré	Komane- Ngoïtokoro
1 Morphotype à sommet de feuille arrondi	+	+	-	+	+
2 Morphotype à sommet de feuille obtus en coin	-	-	+	-	-
3 Morphotype à base de feuille en coin	+	+	+	+	+
4 Morphotype à jeune feuille verdâtre	-	-	+	-	+
5 Morphotype à jeune feuille rougeâtre	+	+	-	+	-
6 Morphotype à pétiole court [5,7 cm – 6,3 cm [	-	-	-	+	-
7 Morphotype à pétiole moyen [6,4 cm – 7,9 cm [	+	-	-	-	-
8 Morphotype à pétiole long [8,0 cm – 11,9 cm [	-	+	+	-	+
9 Morphotype feuille à limbe court [15,5 cm – 18,5 cm [	-	-	-	+	-
10 Morph feuille à limbe moyen [18,6 cm – 21,9 cm [	+	+	-	-	-
11 Morphotype feuille à limbe long [22,0 cm – 26,3 cm [	-	-	+	-	+
12 Morph f. à limbe de petite largeur [3,0 cm – 3,9 cm [	-	-	-	+	-
13 Morph à f. à limbe de larg. moyen. [4,0 cm – 4,6 cm [	+	+	-	-	-
14 Morphotype f. à limbe plus large [4,7 cm – 5,4 cm [	-	-	+	-	+
15 Morph f. à limbe légèrement ondulé sur les bords	-	-	+	-	-
16 Morphotype f. à limbe très ondulé sur les bords	+	+	-	+	+
17 Morphotype à fruit arrondi	+	-	-	+	+
18 Morphotype à fruit elliptique	-	+	+	-	-
19 Morphotype à fruit ovale	+	-	-	-	-
20 Morphotype à sommet de fruit acuminé	-	+	+	-	-
21 Morphotype à sommet de fruit arrondi	+	-	-	+	-
22 Morphotype à sommet de fruit obtus	-	+	-	-	-
23 Morphotype à fruit mûr avec trace de latex	+	-	-	-	-
24 Morphotype à fruit mûr sans trace de latex	-	+	+	+	+
25 Morphotype à fruit mûr avec reste de calice à la base	+	+	+	-	-
26 Morphotype à fruit mûr sans reste de calice à la base	-	-	-	+	+
27 Morphotype à pédoncule court [1,0 cm – 2,0 cm [	-	-	-	+	+
28 Morphotype à pédoncule moyen [2,1 cm – 2,7 cm [	+	-	+	-	-
29 Morphotype à pédoncule long [2,8 cm – 3,3 cm [	-	+	-	-	-
30 Morphotype fruit court [2,5 cm – 3,6 cm [	-	-	-	+	-
31 Morphotype fruit moyen [3,7 cm – 4,9 cm [	+	-	-	-	+

32	Morphotype fruit long [5,0 cm – 5,5 cm [	-	+	+	-	-
33	Morph à fruit de petite largeur [2,3 cm – 3,2 cm [	-	-	-	+	-
34	Morph à fruit de largeur moyenne [3,3 cm – 3,6 cm [	+	-	-	-	-
35	Morphotype à fruit large [3,7 cm – 4,4 cm [	-	+	+	-	+
36	Morphotype à graine arrondie	+	-	-	+	-
37	Morphotype à graine ellipsoïde	-	+	+	-	+
38	Morphotype à graine de cicatrice circulaire	+	-	-	+	-
39	Morphotype à graine de cicatrice elliptique	-	+	+	-	+
40	Morphotype à coque de graine marron clair	+	-	-	+	+
41	Morphotype à coque de graine marron foncé	-	+	+	-	-
42	Morphotype à noix courte [1,9 cm – 2,9 cm [	-	-	-	+	-
43	Morphotype à noix moyenne [3,0 cm – 3,1 cm [	+	+	-	-	-
44	Morphotype à noix longue [3,2 cm – 3,3 cm [	-	-	+	-	+
45	Morph à noix de petite largeur [1,4 cm – 2,1 cm [	-	-	-	+	-
46	Morph à noix de largeur moyenne [2,2 cm – 2,3 cm [	+	+	-	-	-
47	Morphotype à noix large [2,4 cm – 2,8 cm [	-	-	+	-	+
48	Morphotype à poils apprîmes sur la face inférieure	-	-	+	-	-
49	Morphotype à poils apprîmes sur la face inférieure	+	+	-	+	+
50	Morphotype à poils simples courts de 100 à 150 µ	-	-	+	-	-
51	Morphotype à poils simples moyens de 1 à 1,5 mm	-	-	-	+	-
52	Morphotype à poils simples longs de plus de 2 mm	+	+	-	-	+
53	Morphotype à structure de poils pluricellulaires	+	+	+	+	+
54	Morphotype à indice stomatique inférieur à 45,5%	-	+	+	+	-
55	Morphotype à indice stomatique supérieur à 45,5%	+	-	-	-	+
56	Morphotype à type stomatique anomocytique périgène	+	+	+	+	+

2. Interprétation des facteurs

Les caractères macro et micro morphologiques répertoriés sur le tableau 22 ont été analysés et la contribution correspondant à chaque caractère est recensée sur le tableau 23.

Tableau 23 : Matrice des composantes

N°	Variables étudiées	Codes	Composantes	
			F1	F2
1	Morphotype à sommet de feuille arrondi	Sfear	-0.46	0
2	Morphotype à sommet de feuille obtus en coin	Sfeob	0.5	-0.19
3	Morphotype à base de feuille en coin	Bfec	-0.1	0
4	Morphotype à pétiole moyen [6,4 cm – 7,9 cm [	Pétm	-0.79	-0.05
5	Morphotype à pétiole long [8,0 cm – 11,9 cm [	Pétl	0.81	0.05
6	Morphotype à feuille à limbe moyen [18,6 cm – 21,9 cm [	Lim	-0.56	-0.37
7	Morphotype à feuille à limbe long [22,0 cm – 26,3 cm [	LIg	0.53	0.37
8	Morphotype f. à limbe de larg. moyen. [4,0 cm – 4,6 cm [	Lilam	-0.56	-0.37
9	Morphotype f. à limbe plus large [4,7 cm – 5,4 cm [	Lilarg	0.53	0.37
10	Morphotype f. à limbe légèrement ondulé sur les bords	Ondm	0.19	-0.78
11	Morphotype f. à limbe très ondulé sur les bords	Ondp	-0.21	0.78
12	Morphotype f. verdâtre à l'état jeune	Vert	0	0.04
13	Morphotype f. rougeâtre à l'état jeune	Rouge	0	-0.04
14	Morphotype à fruit arrondi	Frar	-0.21	0.78
15	Morphotype à fruit elliptique	Frelp	0.5	-0.19
16	Morphotype à fruit ovale	Frov	-0.09	-0.29
17	Morphotype à sommet de fruit légèrement acuminé	Sfrlac	0.04	-0.24
18	Morphotype à sommet de fruit nettement acuminé	Sfrnac	0.43	0
19	Morphotype à sommet de fruit arrondi	Sfrar	-0.21	0.78
20	Morphotype à fruit mûr avec trace de latex	Texp	-0.63	0.08
21	Morphotype à fruit mûr sans trace de latex	Texa	0.59	-0.08
22	Morphotype à fruit mûr avec reste de calice à la base	Calp	-0.79	-0.05
23	Morphotype à fruit mûr sans reste de calice à la base	Cala	0.81	0.05
24	Morphotype à pédoncule court [1,0 cm – 2,0 cm [	Pédc	0.06	0.63
25	Morphotype à pédoncule moyen [2,1 cm – 2,7 cm [	Pédm	-0.01	0.04
26	Morphotype à pédoncule long [2,8 cm – 3,3 cm [	Pédl	-0.01	-0.71
27	Morphotype à fruit moyen [3,7 cm – 4,9 cm [	Frum	-0.21	0.78
28	Morphotype à fruit long [5,0 cm – 5,5 cm [	Frul	0.19	-0.78
29	Morphotype à fruit de largeur moyenne [3,3 cm – 3,6 cm [	Frlam	-0.79	-0.05
30	Morphotype à fruit large [3,7 cm – 4,4 cm [	Frla	0.81	0.05
31	Morphotype à graine arrondie	Gar	-0.63	0.08
32	Morphotype à graine ellipsoïde	Gelp	0.59	-0.08
33	Morphotype à graine de cicatrice circulaire	Ccir	-0.63	0.08
34	Morphotype à graine de cicatrice elliptique	Cciel	0.59	-0.08
35	Morphotype à coque de graine marron clair	Gmac	-0.21	0.78
36	Morphotype à coque de graine marron foncé	Gmaf	0.19	-0.78
37	Morphotype à noix moyenne [3,0 cm – 3,1 cm [	Nmo	-0.56	-0.37
38	Morphotype à noix longue [3,2 cm – 3,3 cm [	Nlo	0.53	0.37
39	Morphotype à noix de largeur moyenne [2,2 cm – 2,3 cm [	Nlam	-0.56	-0.37
40	Morphotype à noix large [2,4 cm – 2,8 cm [	Nla	0.53	0.37
41	Morphotype à poils apprîmes absents sur la face inférieure	Pab	0.19	-0.78
42	Morphotype à poils apprîmes présents sur la face inférieure	Papr	-0.21	0.78
43	Morphotype à poils simples courts de 100 à 150 µ	Psc	0.43	0
44	Morphotype à poils simples moyens de 1 à 1,5 mm	Psm	0.06	0.63
45	Morphotype à poils simples longs de plus 2 mm	PSl	-0.56	-0.37
46	Morphotype à structure de poils pluricellulaire	Spu	-0.1	0
47	Morphotype à indice stomatique inférieur à 45,5%	Isti	0.81	0.05
48	Morphotype à indice stomatique supérieur à 45,5%	Ists	-0.79	-0.05
49	Morphotype à stomate paracytique périgène	Spara	-0.1	0

Tableau 24 : Variables écartées par l'AFC.

N°	Variables étudiées	Codes
1	Morphotype à pétiole court [5,7 cm – 6,3 cm [	Pétic
2	Morphotype à feuille à limbe court [15,5 cm – 18,5 cm [	LIp
3	Morphotype f. à limbe étroit [3,0 cm – 3,9 cm [	Lilac
4	Morphotype à fruit court [2,5 cm – 3,6 cm [	Fruc
5	Morphotype à fruit de petite largeur [2,3 cm – 3,2 cm [	Frlac
6	Morphotype à noix courte [1,9 cm – 2,9 cm [	Nco
7	Morphotype à noix de petite largeur [1,4 cm – 2,1 cm [	Nlap

Le tableau 24 présente 7 variables que l'AFC (tableau 20) a proposé d'exclure de l'analyse à cause de leur très faible coefficient de corrélation afin d'obtenir une meilleure représentation du reste des variables. Dans cet état, elles seront mal représentées par les 2 dimensions extraites. L'observation du diagramme des composantes ces 7 variables situerait probablement plus au centre du plan c'est pourquoi pour la suite de l'analyse, nous ferons le choix de les écarter.

Les variables « Longueur du pétiole variant de 8,0 cm à 11,9 cm (Pétl) », « Absence reste de calice à la base (Cala) », « Largeur du fruit variant de 3,7 cm à 4,4 cm (Frla) », « Indice stomatique inférieur à 45,5% (Isti) » sont fortement et positivement corrélées à la première composante principale et concourent ainsi le plus à la construction de l'axe 1.

Les variables « Pétiole qui varie de 6,4 cm à 7,9 cm (Pétm) », « Présence du reste de calice à la base (Calp) », « Fruit de largeur qui varie de 3,3 cm à 3,6 cm (Frlam) », « Indice stomatique supérieur à 45,5% (Ists) » sont, quant à elles, négativement corrélées à la première composante, mais permettent de comprendre la nature du premier facteur pratiquement à la même hauteur.

Les variables « Fruit arrondi (Frar) », « Sommet du fruit arrondi (Sfrar) », « Fruit dont la longueur varie de 3,7 cm à 4,9 cm (Frum) », « Coque de graine marron clair (Gmac) », « Présence de poils apprimés sur la face inférieure de la feuille (Papri) » sont fortement et positivement corrélées à la deuxième composante principale. Elles sont à privilégier pour l'interprétation du facteur 2.

Les variables « Pédoncule de longueur variant de 2,8 cm à 3,3 cm (Pédl) », « Fruit de longueur variant de 5,0 cm à 5,5 cm (Frul) » « Coque de graine marron foncé (Gmaf) », « Absents poils apprimés sur la face inférieure de la feuille (Pab) » sont fortement et négativement corrélées à la deuxième composante principale. Il faut souligner que, malgré le

fait que les variables « Limbe légèrement ondulé sur les bords (Ondm) », « Coque de graine marron foncé (Gmaf) », soient fortement et négativement corrélée à la deuxième composante principale, elle constitue un biais évident à l'interprétation. En effet, nous avons retenu une typologie binaire lors de la constitution du tableau des données ((-) = Absence de caractéristique, (+) = Présence). Lorsqu'il s'agit d'évaluer les corrélations sous-jacentes entre les individus et les variables sur des caractéristiques non « diamétralement opposées » (exemple : Limbe légèrement ondulé sur les bords, Limbe très ondulé sur les bords), il est logique que ces variables soient représentées quasiment de manière opposées. On retiendra donc que les variables qui concourent de manière la plus significative à la construction de l'axe 2 sont les variables « Pédoncule de longueur variant de 2,8 cm à 3,3 cm (Pédl) », « Fruit de longueur variant de 5,0 cm à 5,5 cm (Frul) ». De façon plus secondaire, les variables « Limbe légèrement ondulé sur les bords », « Coque de graine marron foncé (Gmaf) » et « Absents poils apprîmés sur la face inférieure de la feuille (Pab) » sont négativement corrélées à la seconde composante principale, alors même que, parallèlement, la variable « Coque de graine marron clair (Gmac) » est positivement corrélée à la même composante. L'opposition est ici significative et pertinente pour l'analyse, on décide donc de privilégier plus particulièrement cette variable pour la suite de l'interprétation.

3. Contribution des caractères à l'AFC

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée sur les caractères macro et micro morphologiques a permis de quantifier la part d'informations phénotypiques en des sous-groupes par rapport à toutes les variables prises simultanément (tableau 25).

Tableau 25 : Valeurs propres et inertie des principaux axes.

AXES	F1	F2	F3
Valeurs propres	0,4	0,3	0,2
Inertie (%)	40,4	33,1	15,9
Cumul Inertie(%)	40,4	73,5	89,4

Le tableau 25 montre que les deux premiers axes (F1 et F2) expliquent 73,5% de la variation dans la répartition des morphotypes étudiés dans le plan factoriel. Vu le taux important d'inertie fourni par les axes F1 (40,4%) et F2 (33,1%), nous y avons établi l'essentiel de l'analyse.

Diagramme de composantes

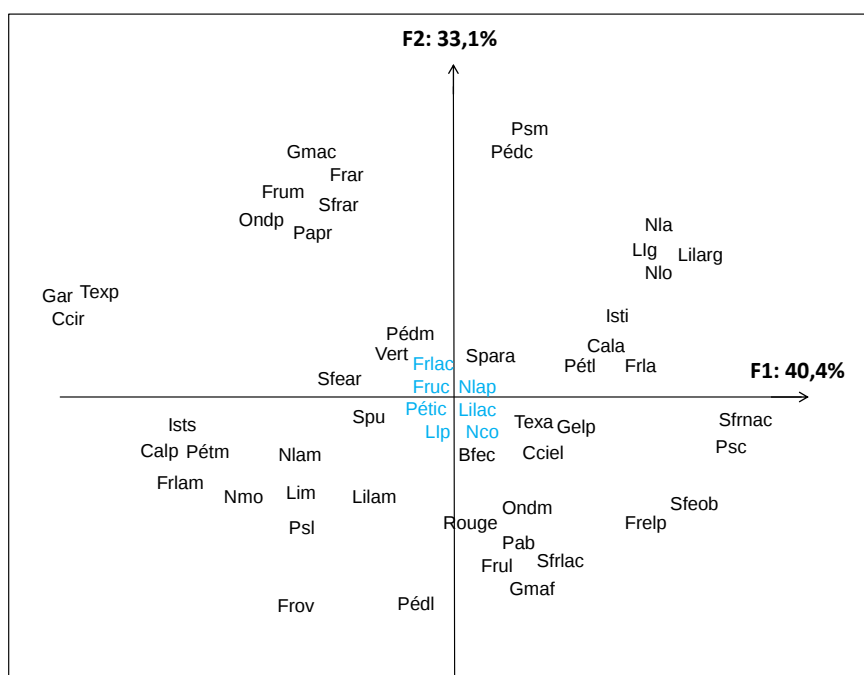


Figure 9. Corrélations sans élimination des variables à écarter

L'observation du diagramme des composantes (Figure 9) permet de renforcer les tendances :

- **Variables à retenir pour la composante principale 1**
 - Longueur du pétiole (Pétl) (Corrélation ++)
 - Large du fruit (Frla) (Corrélation ++)
 - Présence de trace de latex dans le fruit mûr (Texp) (Corrélation +)
 - Graine ellipsoïde (Gelp) (Corrélation +)
 - Indice stomatique supérieur à 45,5% (Ists) (Corrélation -).
- **Variables à retenir pour la composante principale 2**
 - Fruit arrondi (Frar) (Corrélation ++)
 - Sommet du fruit arrondi (Sfrar) (Corrélation ++)
 - Longueur du pédoncule (Pédl) (Corrélation -)
 - Longueur du fruit (Frul) (Corrélation -).

Tableau 26 : Taux de contributions des morphotypes à l'AFC

	F1	F2	F3
Mbabéte	34,38	0,2	26,61
Komane_Ngoïtokoro	7,56	23,32	26,55
Kiankos	3,12	19,34	0
Bogrombaye	4,52	50,69	23,91
Meingré	50,42	6,45	22,93

Sur le plan factoriel F1 et F2 on peut distinguer quatre (4) sous-groupes :

- le sous-groupe A constitué par les morphotypes suivantes : Mbabéte (34,38%), Kiankos (3,12%) et Bogrombaye (4,52%) liées à l'axe F1 en abscisses positives (figure 10) ;
- le sous-groupe B constitué par les morphotypes suivantes : Komane_Ngoïtokoro (7,56%) et Meingré (50,42%) liées à l'axe F1 en abscisses positives (figure 10).

Représentation simultanée morphotypes/variables

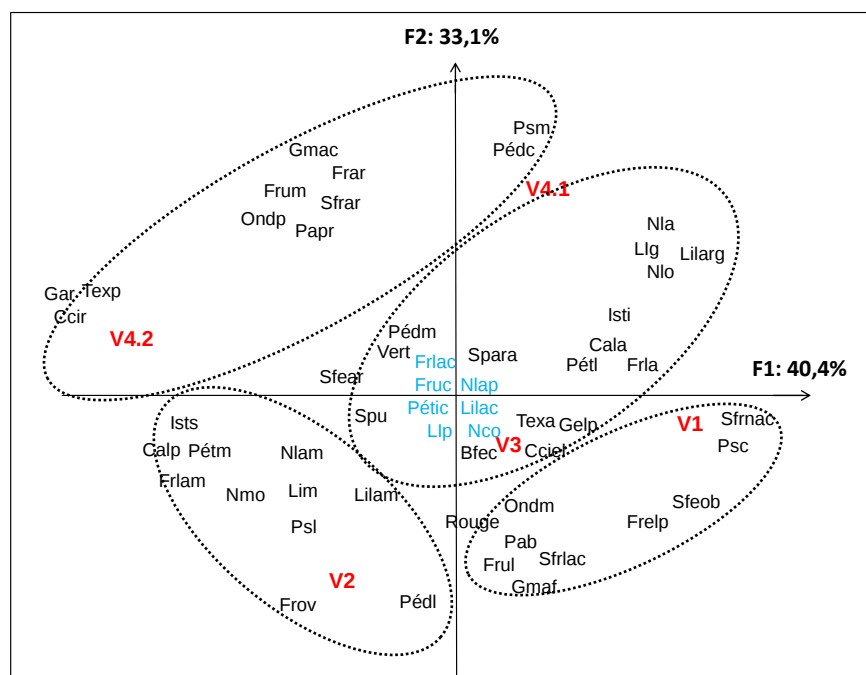


Figure 10. Corrélation morphotypes superposés aux variables étudiées

Tableau 27 : Caractéristiques des fruits de karité et leurs graines semées.

	Caractéristiques des fruits et leur graine	
V1	Description	Illustration
Mbabéte	Forme de la feuille oblongue, à sommet obtus en coin. Fruit ellipsoïde nettement acuminé longueur fruit varie de 3,2 cm à 5,5 cm, largeur fruit varie de 2,9 cm à 4,1 cm). Graine ellipsoïde de taille (longueur 2,5 à 3,6 cm ; largeur 1,9 à 2,7 cm), couleur de la coque marron clair.	  

	Caractéristiques des fruits et leur graine	
V2	Description	Illustration
Komane :	Forme de la feuille oblongue à sommet arrondi. Fruit arrondi, lisse au toucher, gros et charnu (longueur 3,2 à 4,8 cm ; largeur 3,0 à 4,1 cm). Graine ellipsoïde de taille (longueur 2,1 à 3,1 cm ; largeur 1,6 à 2,3 cm), couleur de la coque marron foncé.	  
Ngoïtokoro	Forme de la feuille oblongue à sommet arrondi. Fruit ovoïde, rugueux au toucher, gros et charnu (longueur 3,3 à 5,4 cm ; largeur 3,0 à 4,2 cm). Graine ellipsoïde de taille (longueur 2,2 à 3,2 cm ; largeur 1,5 à 2,4 cm), couleur de la coque marron clair.	  

	Caractéristiques des fruits et leur graine	
V3	Description	Illustration
Kiankos	Forme de la feuille oblongue à sommet arrondi. Fruit ellipsoïde (longueur 3,4 à 5,2 cm ; largeur 3,2 à 4,3 cm) base obconique (légèrement acuminé). Graine ellipsoïde de taille (longueur 2,3 à 3,4 cm ; largeur 1,9 à 2,8 cm), couleur de la coque marron clair.	  

	Caractéristiques des fruits et leur graine	
V4.1	Description	Illustration
Bogrombaye	Grosse drupe ronde avec une base arrondie, lisse au toucher, charnu (longueur 2,5 à 4,4 cm ; largeur 2,3 à 3,7 cm). Graine ronde, marron clair de taille (longueur 1,9 à 3,3 cm ; largeur 1,5 à 2,7 cm)	  
V4.2	Description	Illustration
Meingé	Fruit arrondi et lisse au toucher, peu charnu (longueur 2,3 à 3,4 cm ; largeur 1,9 à 3,1 cm). Graine ronde de petite taille (longueur 1,9 à 2,8 cm ; largeur 1,5 à 2,5 cm), couleur de la coque marron clair.	  

4. Affinités entre les morphotypes

L'axe F1 montre les morphotypes à FRUITS ELLIPSOÏDES sur les abscisses positives et les morphotypes à FRUITS OVOÏDES et/ou ARRONDIS sur les abscisses négatives. Cette représentation simultanée des morphotypes/variables précise ces résultats en faisant ressortir nettement les affinités entre les différents morphotypes étudiés. Ainsi, nous avons dans le groupe A les morphotypes Mbabéte et Kiankos ensuite le groupe B les morphotypes Komane_Ngoïtokoro, Bogrombaye, Meingré (tableau 26).

Les morphotypes du groupe A (Mbabéte et Kiankos) ont en commun des fruits ellipsoïdes. Ainsi, chez le morphotype Mbabéte les fruits ellipsoïdes sont à sommet nettement acuminé alors que chez le morphotype Kiankos les fruits ellipsoïdes sont à sommet légèrement acuminé.

Cette analyse montre que les quatre (4) sous-groupes ainsi caractérisés sont les quatre (4) morphotypes : Mbabéte, Kiankos, Meingré et Ngoïtokoro. Les caractères de ces quatre (4) morphotypes ainsi mis en évidence permettent de les ranger dans les sous-variétés qui appartiennent à la variété *mangifolium* de *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* (annexe 2).

L'axe F3 sur le tableau 25 a mis en évidence la proximité entre Mbabéte et Kiankos. Il montre également que Komane_Ngoïtokoro est relativement plus proche de Meingré.

En outre la figure 11 montre que dans le groupe A, les morphotypes (Mbabéte et Kiankos) ont des feuilles plus grandes à sommet du limbe arrondi, verdâtre à l'état jeune alors que dans le groupe B les les morphotypes (Komane_Ngoïtokoro et Meingré) ont des feuilles moyennes à petites, rougeâtres à l'état jeune. La taille des feuilles (grande ou petite) et leur couleur à l'état jeune (rougeâtre ou verdâtre) sont des caractères discriminants. Aussi, la structuration du groupe B indique que Meingré se singularise par la petite taille de ses organes et présente en commun avec Kiankos plusieurs caractères morphologiques liés à la taille de feuille qui est soit petite ou moyenne puis à la forme de la graine qui est arrondie.

Les résultats portant sur les degrés d'affinités entre les différentes morphotypes étudiés seront plus lisibles lorsqu'ils seront représentés sous forme de dendrogramme.

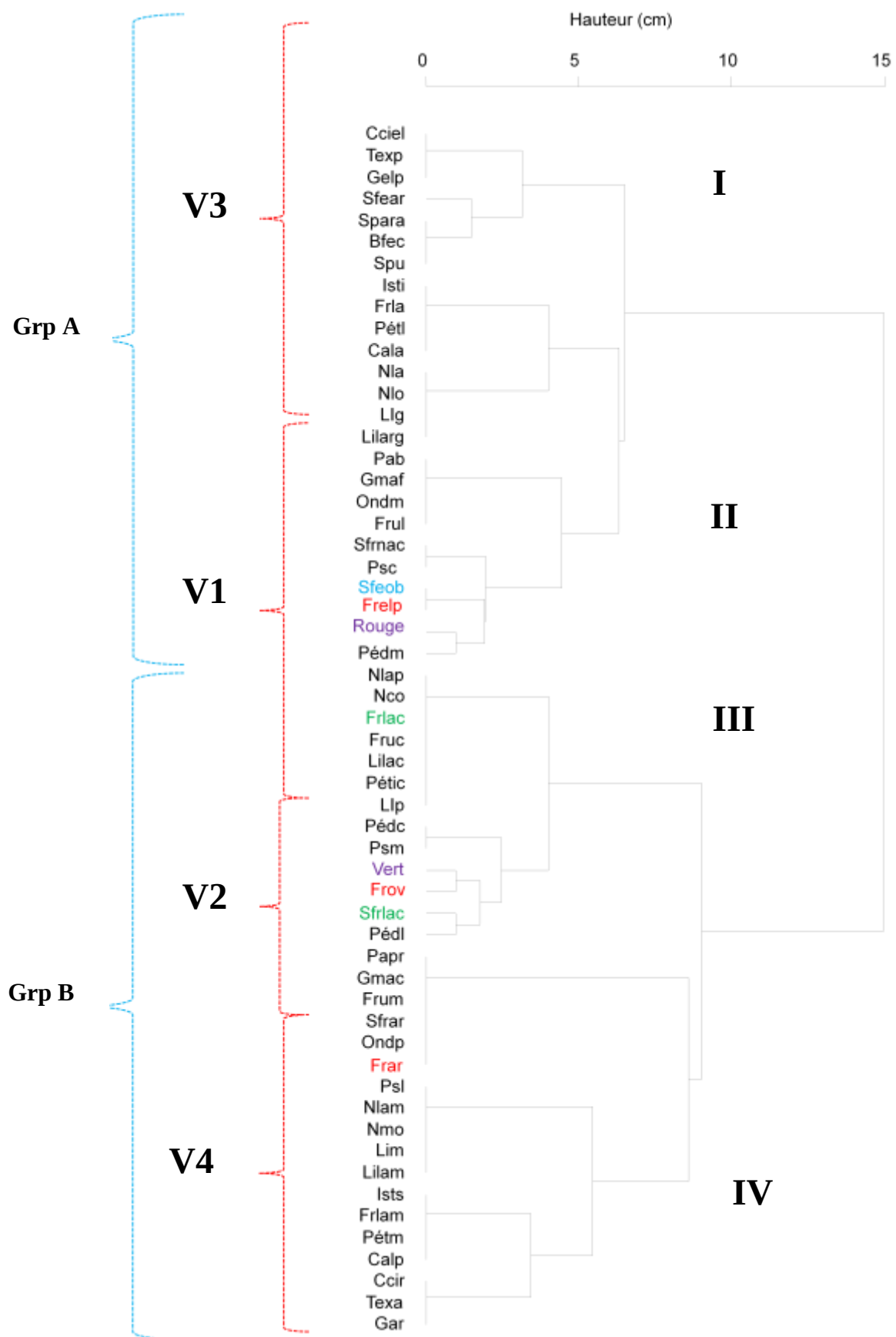


Figure 11. Dendrogramme de relation d'affinité entre les morphotypes selon la méthode de Ward. CHA d'une combinaison de 56 caractères des morphotypes de karité.

La coupure au point 4,1 divise le dendrogramme en deux groupes et permet de dissocier clairement le groupe A formé des morphotypes à fruits ellipsoïdes du groupe B constitué des morphotypes à fruits ovoïdes ou arrondis. Cette dissociation correspond globalement au positionnement des morphotypes sur le premier axe factoriel F1 (tableau 25).

La coupure au point 3,1 permet de séparer 4 sous-groupes dont 2 dans le groupe A et 2 dans le groupe B. Les quatre (4) sous-groupes s'opposent principalement par le caractère morphologique lié à la forme des fruits. Cette coupure correspond au positionnement de ces sous-groupes sur le deuxième axe factoriel F2 en fonction du taux de contributions de chaque morphotype (tableau 25).

✓ **Caractérisation des sous-groupes des morphotypes étudiés.**

Au niveau du dendrogramme global de morphotypes/variables (figure 11), en se limitant aux variables fortement corrélées aux deux premières composantes principales, les résultats observés permettent de préciser les caractères les plus discriminants des morphotypes étudiés :

- Pour le sous-groupe I
 - La forme du sommet de feuille est obtuse en coin ;
 - La forme du fruit est ellipsoïde ;
 - La présence de poils apprîmés sur la face inférieure.

Les morphotypes du sous-groupe I ressemblent aux morphotypes appelés par les ruraux « Mbabéte ». Nom local qui signifie “mamelle de singe”.

- Pour le sous-groupe II
 - Le pétiole est relativement plus long comparativement aux pétioles des tous les autres morphotypes ;
 - La forme du fruit est ronde à ovoïde ;
 - Les dimensions du fruit (longueur et largeur) sont relativement plus grandes comparativement aux fruits des tous les autres morphotypes.

Les morphotypes du sous-groupe II ressemblent aux morphotypes appelés par les ruraux « Komane_Ngoïtokoro ». Noms locaux qui signifient respectivement “fruit juteux” ou “fruit semblable à un œuf” à cause de son péricarpe très charnu. Sa pulpe est très appréciée par les consommateurs du fruit. Les caractères discriminants du sous-groupe II semblent proches de ceux de la sous-variété *rubrifolia* A. CHEV. D'après Ruyssen (1957), cette sous-variété est celle qui a des feuilles plus grandes planes ou légèrement ondulées, à sommet arrondi,

rougeâtres à l'état jeune, poils apprîmes sur la face inférieure, les ombelles florales sont moins fournies.

- Pour le sous-groupe III

- L'état de la jeune feuille est verdâtre ;
- La forme du fruit est ovale ;
- La forme de la base du fruit est nettement acuminée.

Les morphotypes du sous-groupe III ressemblent aux morphotypes appelés par les ruraux « Kiankos ». Nom local qui signifie ‘’fruit semblable au concombre’’ à cause de son péricarpe dur au toucher même quand le fruit mûr.

- Pour le sous-groupe IV

- Les organes (feuille et fruit) ont pour la plupart des dimensions moyennes ou petites ;
- La forme du fruit est arrondie ;
- La forme de la base du fruit est arrondie ;
- La présence relative du latex blanc dans la pulpe du fruit mûr ;
- La persistance du reste de calice sur le fruit mûr.

Les morphotypes du sous-groupe IV ressemblent aux morphotypes appelés par les ruraux « Bogrombaye_Meingré ». Noms locaux qui signifient respectivement ‘’Je ne suis pas encore totalement mur’’ et ‘’petit fruit’’ à cause de la présence relative du latex dans la pulpe du fruit mûr pour le premier nom et pour le second à cause de la petitesse de la taille de son fruit comparable aux dimensions d'une maille d'un filet de pêche. Les caractères discriminants du sous-groupe II semblent proches ceux de la sous-variété *viridis* A. CHEV. D'après Ruyssen (1957), cette sous-variété est celle qui a de petites feuilles vertes à l'état jeune, oblongues, au sommet glabre et très ondulées sur les bords.

Ce travail a révélé que la signification des noms locaux de certains morphotypes axée exclusivement sur des caractères organoleptiques et taille des fruits semble expliquer la confusion dans les appellations ethnobotaniques entre les morphotypes Komane_Ngoïtokoro et Bogrombaye_ Meingré. Cependant, les caractères organoleptiques et taille des fruits sont très variables en fonction des conditions écologiques et environnementales.

Les caractéristiques des quatre (4) variétés sont répertoriées et illustrées dans le tableau 26.

5. Proposition des clés de détermination

A la suite de ce travail, une clé de détermination a été proposée :

1. Plante à feuille oblongue, sommet de feuille obtus en coin, pétiole variant de 6,1 cm à 11,9 cm, longueur du limbe variant de 17,6 cm à 26,3 cm, largeur du limbe variant de 3,9 cm à 5,0 cm, limbe légèrement ondulé sur les bords, l'état de jeune feuille rougeâtre, fruit elliptique, sommet du fruit nettement acuminé, pédoncule variant de 1,7 cm à 2,7 cm, longueur du fruit 3,2 cm à 5,5 cm, largeur du fruit 2,9 cm à 4,1 cm, coque de graine marron foncé, longueur de la noix 2,5 cm à 3,6 cm, largeur de la noix 1,9 cm à 2,7 cm, poils apprîmés sur la face inférieure des feuilles juvéniles, poils pluricellulaires simples de longueur variant de 100 à 150 µ.....**Mbabéte**

1'. Plante à feuille oblongue avec sommet arrondi

2. Fruit arrondi

Feuille oblongue de longueur du limbe variant de 22,3 cm à 38,0 cm, à pétiole variant de 5,8 cm à 11,9 cm, longueur du limbe variant de 16,5 cm à 26,1 cm, largeur du limbe variant de 3,2 cm à 4,5 cm, l'état jeune verdâtre, fruit ellipsoïde, sommet de fruit légèrement acuminé, pédoncule variant de 2,0 cm à 3,3 ; longueur du fruit variant de 3,4 cm à 5,2 cm, largeur du fruit variant de 3,2 cm à 4,3 cm , coque de graine marron clair, poils apprîmés sur la face inférieure des feuilles juvéniles, poils pluricellulaires simples de longueur variant de 1 à 1,5 mm.....**Kiankos**

2'. Fruit elliptique ou ovale

3. Feuille oblongue de longueur du limbe variant de 24,7 cm à 38,0 cm, à pétiole variant de 6,2 cm – 11,9 cm, longueur du limbe variant de 18,7 cm à 26,1 cm, largeur du limbe variant de 4,1 cm à 5,0 cm, ondulé sur les bords, à sommet du limbe arrondi, base du limbe en coin, fruit ellipsoïde, fruit mûr sans trace de latex, longueur du fruit variant de 3,3 cm à 5,4 cm, largeur du fruit variant de 3,0 cm à 4,2 cm, graine ronde à ellipsoïde, graine de cicatrice circulaire à elliptique, longueur de la noix variant de 2,1 cm à 3,1 cm, noix large [1,6 cm à 2,4 cm , structure de poils pluricellulaire , indice stomatique inférieur à 45,5%**Komane_Ngoïtokoro**

3'. Feuille oblongue de longueur du limbe variant de 23,3 cm à 32,4 cm, à pétiole variant de 6,2 à 9,1 cm, longueur du limbe variant de 17,1 cm à 23,3 cm, largeur du limbe variant de 3,4 cm à 5,0 cm et très ondulé sur les bords, fruit arrondi, sommet de fruit arrondi, fruit mûr avec trace de latex, fruit mûr avec reste de calice à la base, longueur du fruit variant de 2,5 cm à 5,4 cm, largeur du fruit variant de 2,3 cm à 4,2 cm, graine arrondie, graine de cicatrice circulaire, longueur de la noix variant de 1,9 cm – 3,3 cm, largeur de la noix variant de 1,5 cm à 2,7 cm, poils pluricellulaires simples de longueur variant de 1 à 1,5 cm, indice stomatique inférieur à 45,5%**Bogrombaye_Meingré**

La valeur de cette clé réside dans le nombre de caractères utilisés. En effet, elle est une combinaison de caractères macro morphologiques et micro morphologiques des organes étudiés. Elle permet une caractérisation plus rapide des morphotypes étudiés sur le terrain.

Conclusion partielle

Les caractères macro et micro morphologiques traités par les méthodes multidimensionnelles en particulier par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) ont permis de préciser les caractères ou associations de caractères qui définissent le mieux un morphotype ou un groupe de morphotypes. Ainsi, la taxonomie numérique permet de s'affranchir du poids accordé à certains caractères par rapport à d'autres.

Au total, l'étude a permis de distinguer 4 principaux regroupements de morphotypes qui se sont précisés grâce à l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Le degré de similarité important a été mis en exergue entre les différents morphotypes : i) le groupe A avec les morphotypes (Mbabéte et Kiankos) et le groupe B avec les binômes (Bogrombaye_Meingré) et (Komane_Ngoïtokoro).

Le degré de similarité entre ces morphotypes nous permet de déduire qu'il y a inter fécondité. Ces affinités s'expliquent par le fait que *Vitellaria paradoxa* soit effectivement une plante allogame et les 4 morphotypes découleraient de cette inter-hybridation.

CHAPITRE 6

DISCUSSION GENERALE

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE

1. Caractérisation macromorphologique

L'étude de la relation phylogénique par la structuration phénotypique de la population de karité dans la zone d'étude est pertinente pour la gestion des ressources phytogénétiques, car elle est la première étape dans la mise en œuvre d'un processus de sélection. Cette approche a été appliquée à un large éventail de plantes économiquement importantes telles que le karité. *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*, dans son aire de répartition en particulier dans sa zone endémique de l'Afrique de l'Ouest jusqu'en Afrique centrale, la gestion des ressources de l'arbre à karité a été principalement basée sur la classification des indigènes pour la conservation, la domestication et la sélection d'individus performants au cours des temps (Lovett & Haq 2000b). En revanche, au Tchad, peu d'études ont été signalées visant à améliorer la compréhension de la variation génétique du karité (Mbaïguinam *et al.*, 2007).

Les paramètres morphologiques recueillis à partir des feuilles, des fruits et des noix ont montré des variations au sein des sites, mais des différences significatives n'ont pas été observées entre les sites. Les variations décrites dans cette étude étaient proches de celles estimées à partir des arbres de karité par Gwali *et al.*, (2012) ; Sanou *et al.*, (2006) au Mali, Nafan *et al.*, (2008) en Côte d'Ivoire, Guira (1997) et Sandwidi (2012) au Burkina Faso.

Les variations chez les arbres fruitiers ont également été signalées dans les régions tropicales pour le genre *Balanites aegyptiaca* (Abasse, 2011) et le genre *Tamarindus indica* (Soloviev *et al.*, 2004) . Selon certains de ces auteurs ces variations peuvent s'expliquer par la sélection naturelle et/ou humaine, le flux de gènes, la dérive génétique (Irwin, 2000; Tremblay *et al.*, 2010; Darwin, 1869; Vaughan *et al.*, 2007; Abasse *et al.*, 2011). En outre, les régimes de précipitations et les caractéristiques du sol pourraient être impliqués dans les variations morphologiques comme ont été signalé en Afrique de l'Ouest (Sanou *et al.*, 2006).

Les résultats de ce travail ont confirmé la pertinence des caractères qualitatifs des feuilles de *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*. Parmi ces caractères qualitatifs de la feuille, seul le sommet en coin du limbe permet de distinguer le morphotype Mbabéte des autres morphotypes. Ce caractère lié au sommet du limbe a été également utilisé dans les clés de d'identification des espèces par certains auteurs (Hutchinson *et al.* (1958), Aubreville (1959)). A l'échelle intra variété, nos résultats ont montré que les caractères qualitatifs de la feuille ne permettent pas de distinguer quatre (4) des cinq (5) morphotypes étudiés.

L'étude morphologique des graines ont montré que les morphotypes Meingré et Bogrombaye à graines rondes ne peuvent pas être distingués des autres morphotypes par leurs seuls caractères séminaux ; il en est de même pour les morphotypes Mbabéte et Kiankos à graines ellipsoïdes. Toutefois le groupe Komane_Ngoïtokoro peut être distingué des autres morphotypes à graines ellipsoïdes par la couleur 'marron foncée' de la coque de ses noix. Des résultats similaires portant sur *Parkia biglobosa* au Burkina Faso, ont permis de distinguer le Néré noir et le Néré blanc (Ouedraogo, 1995). De même la caractérisation morphologique chez *Detarium microcarpum* a permis de mettre en évidence une importante variabilité intra-population à partir de la mesure de la dimension des fruits, des arbres et des graines (Kouyaté & Damme, 2002).

Au stade jeune plante, l'étude des caractères macro morphologiques ont permis de montrer que le morphotype Mbabéte soit reconnaissable dès le stade plante juvénile au niveau macroscopique par ses feuilles à sommet brusquement acuminé. Les caractères des feuilles juvéniles ainsi observés sont conformes à la description de la plante à karité juvénile présenté par Jackson, (1968) et Bokdam, (1977) ; Frimpong *et al.*, (1993c) cités par Hall *et al.*, (1996).

2. Caractères des poils apicaux et les types stomatiques

Les caractères systématiques accessibles comme les poils apicaux de l'espèce *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* qui sont de type simple et pluricellulaire avec une variabilité au niveau de leur taille (poils longs et courts) montré dans ce travail semblent être de bons descripteurs des différents morphotypes. L'ensemble de ces observations mériterait d'être confirmé au plan biochimique par une étude comparative du métabolisme dans les poils car des études récentes ont montré que le métabolisme de certaines plantes en particulier celui de *Solanum spp.* est variable en fonction du métabolisme de ses poils et de leur position géographique (Werker *et al.*, 1993). Les auteurs tels que Salisbury, (1927) et Saadoun, (2005) ont également étudié les poils des végétaux pour la détermination des espèces. Cette approche pourrait permettre d'expliquer la variabilité qui existe entre le point de fusion du beurre de karité et la proportion d'acide oléique qui ne sont pas identiques au sein des variétés de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* dans sa zone endémique (Gunstone *et al.*, 1986 ; Renard 1990 ; Pontillon 1992 ; Kapseu *et al.*, 2000 ; Mbaïguinam *et al.*, 2007 ; Mohagir *et al.*, 2011).

Dans l'identification des différents types de stomates dont l'importance taxonomique est maintenant bien établie (Guyot, 1966 ; Saadoun *et al.*, 1991), nous avons utilisé la classification de Metcalfe & Chalk (1950) qui distingue quatre (4) principaux types

stomatiques chez les Dicotylédones. Selon ces auteurs, les stomates sont des ouvertures ménagées dans l'assise épidermique, par lesquelles s'effectuent les échanges de gaz et de vapeur d'eau avec l'atmosphère (stomates aérifères) ou au niveau desquelles exudent.

Les résultats de cette étude ont montré que l'ensemble des morphotypes étudiés n'ont pas de stomates sur la face supérieure des feuilles. Ils sont observés exclusivement sur la face inférieure des feuilles. Ces résultats confirment la position horizontale de la feuille sur les rameaux des morphotypes.

L'indice stomatique qui est en moyenne de 45,5% et un nombre de stomates en général supérieur à 350 stomates/mm² chez tous les morphotypes informent sur leur aptitude adaptative. Les feuilles hypostomatées qui ont un type stomatique anomocytique périgène à subsidiaire dicyclique informe également sur la caractéristique de résistance à la sécheresse du karité. Les liens entre les aptitudes adaptatives des végétaux et leur densité stomatique ont été établis par plusieurs auteurs dont Metcalfe & Chalk (1950), Aussenac (1973), Saadoun *et al.* (1991), Hall *et al.* (1996), Prabhakar (2003). En effet, comme pour la plupart des plantes des milieux extra forestiers à découverts, les feuilles hypostomatées avec une densité élevée de stomates (moyenne de 350 st/mm² chez le karité) est pour le karité une stratégie de protection contre les influences extérieures extrêmes (vents chauds et/ou secs, agités, chargés d'aérosols minéraux, ensoleillés) et de leurs variations brusques et plus ou moins durables. Ils sont ainsi épargnés de la transpiration excessive et des mouvements stomatiques intempestifs qui entraveraient la photosynthèse (Raynal, 1994).

En outre, ces résultats ont fourni des informations qui pourraient aider à comprendre, en partie, le comportement des morphotypes étudiés vis-à-vis des facteurs écologiques (l'eau, le climat, les vents, le soleil). D'après nos observations de terrain, le morphotype Komane_Ngoïtokoro à indice stomatique moyen par rapport aux autres morphotypes étudiés est l'un des morphotypes dont les fruits arrivent à maturité précocement. Aussi, il perd presque la totalité de ses feuilles avant d'entamer sa floraison comme si son indice stomatique élevé accélérât la chute de ses feuilles. Selon ce point de vue phénologique et de degré d'adaptation Meingré ayant un indice stomatique inférieur à la moyenne est un morphotype tardif. Les morphotypes Kiankos, Mbabéte sont ceux dont la maturation des fruits est intermédiaire.

Le stade de floraison (décembre-janvier) chez le karité coïncide avec la période de l'harmattan qui est un vent sec qui favorise la transpiration chez les végétaux. On assiste aussi

parfois à la chute des feuilles en réponse à un assèchement du milieu. Le principal facteur qui peut limiter cette transpiration est cependant la fermeture des stomates. Elle intervient dès que le déficit hydrique est trop important cause la chute des feuilles chez le karité.

Par ailleurs, le cycle irrégulier de la production des fruits chez le karité en général et en particulier chez les morphotypes étudiés probablement à cause des facteurs environnementaux, attaques des insectes nuisibles ou de repos végétatif (alternance d'année de bonne cueillette et de mauvaise) invite à pousser plus loin l'étude des caractères micro morphologiques.

D'après Guira (1997), il y a une variabilité phénologique considérable entre les plantes de la même espèce lorsqu'elles sont dans les champs en culture comparativement à celles qui sont en brousses. D'après certains auteurs parmi lesquels Aussenac (1973), Calamassi (1986) et Scuiller (1990), ce nombre élevé de stomates est considéré comme une adaptation xéromorphique.

3. Affinités entre les morphotypes

La combinaison des caractères macro et micro morphologiques de la population de karité dans la zone d'étude est pertinente pour la gestion de cette ressource, car elle est la première étape dans la mise en œuvre d'un processus de sélection. Cette approche a été appliquée à un large éventail de plantes économiquement importantes telles que le karité. En effet, dans la plupart des pays où pousse le karité, sa gestion a été principalement basée sur la classification des indigènes pour la conservation, la domestication et la sélection d'individus performants au cours des temps (Lovett & Haq 2000b).

En fonction de leur proximité, le calcul des distances euclidiennes construit sur un dendrogramme selon la méthode de Ward nous a permis de mettre en exergue deux (2) groupes. A un niveau de la coupe du dendrogramme à 35%, nous avons obtenu quatre (4) sous-groupes. Ainsi, selon les appellations et la description des ruraux, le sous-groupe I correspondait à Mbabéte, le sous-groupe II à Ngoïtokoro, le sous-groupe III à Kiankos, le sous-groupe IV à Meingré. Bogrombaye et Komane sont les deux (2) morphotypes qui s'entre mêlaient.

La liste de quatre (4) sous-variétés de karité au sein de la variété *mangifolium* que nous avons identifié à l'issue de ce travail n'est pas en accord avec le nombre de sous-variétés de karité qui ont été échantillonné dans la même zone d'étude par Mbaiguinam et *al.*, (2007).

Nos résultats sont également différents de celui de Ruyssen (1957) qui ayant révisé la nomenclature de Chevalier (1948) selon laquelle la sous-espèce *paradoxa* possédait huit (8) variétés et deux (2) sous-variétés. En effet, la révision de Ruyssen (1957) a décrit trois (3) variétés et deux (2) sous-variétés au sein de *Vitellaria paradoxa*.

Les deux (2) sous-variétés qui découlent de la révision de Ruyssen (1957) sont proches de deux (2) morphotypes sur les quatre (4) que ce travail a identifiés. Il s'agit des sous-variétés *viridis* A. CHEV. et *rubrifolia* A. CHEV. De ce fait, les résultats de ce travail ont permis de proposer une clé de détermination pour les deux (2) autres sous-variétés.

Ces résultats nous permettent de retenir qu'il n'y a pas quatre (4) sous-variétés chez la variété *mangifolium* au sein de la sous espèce *paradoxa*.

L'existence d'une diversité de sous-variétés au sein de la variété *mangifolium* qui est endémique de la zone soudano-sahélienne a été signalée par Gwali *et al.*, (2012) ; Sanou *et al.*, (2006) au Mali, Nafan *et al.*, (2008) en Côte d'Ivoire, Guira (1997) et Sandwidi (2012) au Burkina Faso.

CONCLUSION GENERALE
ET
PERSPECTIVES

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce travail a été réalisé dans la région du Mandoul au Tchad. Il avait pour objectif de contribuer à l'amélioration des connaissances des morphotypes de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*. Il a abouti à des résultats importants.

L'étude macro morphologique a montré que les caractères qualitatifs sont pertinents mais sont peu variables entre les 3 sites. C'est ainsi que les caractères foliaires ont montré une variation faible dans les 3 sites même si en valeur absolue, les longueurs des pétioles à Kol est supérieure à celle de Matekaga et de Kemkian tandis que la moyenne des longueurs des limbes à Matekaga est légèrement supérieure à celle de Kemkian et de Kol. Parmi ces caractères foliaires, seul le sommet du limbe permet de distinguer le morphotype Mbabéte des autres. En comparaison, les feuilles de Matekaga sont légèrement plus grandes que celles de Kemkian et de kol.

Les descripteurs quantitatifs du fruit et de la graine sont plus importants dans la description macro morphologique. A cet effet, les fruits récoltés à Matekaga sont plus gros que ceux récoltés à Kemkian et à Kol. Les plus petits fruits sont trouvés chez Meingré et les plus gros dans le groupe Komane_Ngoïtokoro. La comparaison des coefficients de variation de ces paramètres présente respectivement les longueurs des pédoncules, longueurs des fruits, largeurs des fruits comme les meilleurs descripteurs des fruits. Pour la noix de karité, les longueurs des noix et les largeurs des noix sont les meilleurs descripteurs. Comme pour les fruits, le morphotype Meingré présente les plus petites noix alors que les plus grosses noix sont notées dans le groupe Komane_Ngoïtokoro.

L'étude micro morphologique a montré que les poils épidermiques sont pluricellulaires simples chez tous les morphotypes étudiés. Les stomates sont absents sur la face supérieure des feuilles. Ainsi, ils sont observés exclusivement sur la face inférieure des feuilles. Les stomates sont de type anomocytique périgène à subsidiaire dicyclique. La densité stomatique est supérieure à 350 stomates/mm² et varie d'un morphotype à l'autre.

Cette étude a montré que les caractères des stomates ne peuvent pas être pris comme des caractères discriminants. En effet,, ces résultats montrent la faible variabilité de ces caractères sous l'effet des conditions écologiques et environnementales.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) réalisées sur la matrice des variables qualitatives et quantitatives ont confirmé l'existence des morphotypes déjà signalés par les précédentes études ethno-variétales.

En outre, l'étude des affinités entre les morphotypes a mis en évidence 4 sous-groupes qui correspondraient à 4 morphotypes décrits par les populations locales. En effet, le sous-groupe I correspondait à Mbabéte, le sous-groupe II à Ngoïtokoro, le sous-groupe III à Kiankos, le sous-groupe IV à Meingré. Ainsi, les morphotypes Bogrombaye et Komane ne semblent appartenir de façon inéquivoque à aucun des 4 sous-groupes.

De tels résultats constituent un préalable dans le schéma de la domestication de cette espèce surtout dans un objectif de sa gestion durable.

En perspectives, les résultats obtenus dans le cadre de ce travail doivent être vérifiés dans toute l'étendue de la zone endémique de *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*. En effet, cette étude devrait être poursuivie pour approfondir et comparer les connaissances locales mais aussi pour une meilleure identification des taxons intra spécifiques du karité au Tchad. Ainsi, à la suite de ce travail, d'autres études devraient être menées. Il pourrait s'agir entre autres de :

- l'étude des impacts des facteurs climatiques sur les morphotypes ;
- L'étude de la variabilité moléculaire des morphotypes à l'aide des amorces spécifiques permettra de définir de façon précise leur statut.
- l'état des connaissances locales dans les autres pays de la zone endémique du karité ;
- l'étude des paramètres phénologiques à partir du métabolisme des poils des morphotypes en vue d'expliquer la différence intra spécifique par rapport à leur période de fructification (variété tardive et précoce) ;
- les connaissances biologiques de karité pour améliorer techniquement sa production et répondre favorablement à la sollicitation des consommateurs ;
- la nomenclature des taxa intra spécifiques de *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* dans le cas où les travaux confirmeraient leur réalité systématique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abasse T., Weber J., Katkore B., Boureima M., Larwanou M., Kalinganire A. (2011).** Morphological variation in *Balanites aegyptiaca* fruits and seeds within and among parkland.
- Abbiw D.K. (1990).** Useful plants of Ghana: West African uses of wild and cultivated plants. Intermediate Technology Publications, London.
- Adoum D. (1996).** Technique artisanale d'extraction du beurre de karité au Moyen Chari, Sud du Tchad. Proceedings of the actes. Séminaire_Atelier Olignagineux et Petites Technologies II, ENSAI, Sept. 23-27, Université de Ngaoundéré, Cameroun, APICA, pp : 92-96.
- Alexandre D. Y. (1992).** Observations sur la physiologie des semences et des plantules forestières de la zone du Nazinon. Symposium international sur les semences forestières, tenu du 23 novembre au 08 décembre 1992, Ouagadougou, Burkina Faso. 72-75p.
- Aline L. M., Charles E. L., Moussa M. Y. C., Roland N.T.M., Kiendrebeogo M., Boukare Z., Millogo J. F. & Nacoulma O. G. (2008).** Polyphenol Content and Antioxidant Activity of Fourteen Wild Edible Fruits from Burkina Faso. *Molécules*, 13, 581-594: ISSN 1420-3049.
- Allal F., Sanou H., Millet L., Vaillant A., Camus-kulandaivelu L., Logossa Z., Lefèvre F. & Bouvet J-M. (2011).** Past climate changes explain the phylo geography of *Vitellaria paradoxa* over Africa. *Heredity* 107, 174–186.
- Allal F., Vaillant A., Sanou H., Kelly B., Bouvet J.M. (2008).** Isolation and characterization of new microsatellite markers in shea tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn). *Mol. Ecole. Resource*. 8: 822-824.
- Amadou M.K., Patrik V.D. (2002).** Caractères morphologiques de *Detarium microcarpum* Guill. Et Perr. au Sud du Mali. *Fruits* 57: 231-238
- Amirault J. P. (1995).** Annotated bibliography of the available articles on the enemies of sorghum, millet and cowpea, and on the integrated control methods in the Sahelian zone. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Andrews F. W. (1952).** The flowering plants of the Anglo-Egyptian Sudan, vol. II (*Sterculiaceae-Dipsacaceae*). Buncle, Arbroath.
- Arbonnier M. (2000).** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Cirad. MNHN. UICN. Montpellier. France. 541 p.
- Aubreville A. (1950).** Flore forestière soudano guinéenne. AOF. Cameroun.AEF. 244 p.
- Aubreville A. (1959).** La Flore Forestier de la Côte d'Ivoire. 2e éd. Tome I. Publication n° 15 du Centre Technique Forestier Tropical. 47-98 p.
- Aussenac G. (1973).** Effet des conditions microclimatiques différents sur la morphologie et la structure anatomique des aiguilles de quelques résineux. *Ann. Sci. Forest.*, 30(4): 375-392.
- Baehni C. (1965b).** Mémoire sur les Sapotaceae. Inventaire des genres. *Boissiera*, 11 : 1-262.

- Baillon M. (1882).** Anatomie et physiologie végétales. Hachettes, Paris, 292 p.
- Baniaameur F. & Ferradous A. (2001).** Fruit and stone variability in three Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) populations. *For Genet* 8(1):39–45.
- Barfod A. (1988).** Leaf anatomy and its taxonomic significance in phytelephantoïd palms (*Araceae*). *Nord. J. Bot.* 8: 341-348. Copenhagen.
- Barner (1974).** Classification of Source for Procurement of Forest Reproductive Materiel. In Report on the FAO/DANIDA. Training course on Forest Tree Improvement, Limur Kenya September-October 1973 : FAO/Den-RF.112.Rome.
- Berg C., Hijman M. E. E. & Weerdenberg J. C. A. (1985).** Flore du Cameroun. Edit. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Yaoundé. Vol. 28, 297 p.
- Berhaut J. (1967).** Flore du Sénégal. Clairafrique, 2^e éd. *Dakar*, Sénégal. 485 p.
- Berhaut J. (1979).** Flore illustrée du Sénégal. Tome VI. Ed. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique, Direction des Eaux et Forêts. Clairafrique, Dakar. Pp. 403-496.
- Boffa J. M., Yamogo G., Nkima P. & Taonda J. B. (1996).** Quel avenir pour l'arbre de karité. *Agroforestrie Aujourd'hui*, 8: 5-9. Lien direct.
- Bokary A. K., Olivier J. H. and Bouvet Jean-Marc (2004).** Temporal and spatial genetic structure in *Vitellaria paradoxa* (shea tree) in an agroforestry system in southern Mali. *Molecular Ecology*, 13, 1231-1240.
- Bourlet G. (1950).** Le problème du karité. *Oléagineux* 5 : 364-367.
- Bokdam J. (1977).** Seedling morphology of some African Sapotaceae. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 77-20 1-84.
- Bonkougou E. G. (1987).** Monographie du karité *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn C.F.) Hepper, espèce agroforestière à usages multiples. Institut de Recherche en Biologie et Ecologie Tropicale, Centre National de Recherche Scientifique et Technologique, Ouagadougou 69 pp.
- Boussim I. J., Sallé G. & Guinko S. (1993).** *Tapinanthus* parasite du karité au Burkina Faso. Première partie : Identification et distribution. *Bois et Forêts des Tropiques*. 238: 45-56.
- Bouvet J-M., Fontaine C., Sanou H., Céline C. (2004).** An analysis of the pattern of the genetic variation in *Vitellaria paradoxa* using RADP markers. *Agroforestry Systems* 60 : 61-69.
- Byakagaba P., Eilu G., Okullo J. B. L., Tumwebaze S.B., Mwavu E. N. (2011).** Population structure and regeneration status of *Vitellaria paradoxa* (C.F.Gaertn.) under different land management regimes in Uganda. *Agric. J.* 6 (1): 14-22.

- Calamassi R. (1986).** Caractérisation de quelques provenances de *Pinus halepensis* Mill. Sur la base de la structure anatomique et morphologique des aiguilles. *Ann. Sci. Forest.*, 43(3): 281-298.
- Campbell C. (2002).** Saskatoon company could revolutionize chocolate industry, The Canadian Connection. IDRC 9 p. En ligne <http://www.idrc.ca/ev.php?> Consulté le 11 août 2010.
- CEFOD (2008).** Revue N°270/TCHAD & CULTURE. Dossier : Le Karité, une filière d'avenir. Interview de DJEKOTA C. sur l'exécution du Projet Karité dans le Mandoul/Tchad.
- Chevalier A. (1907).** Les végétaux utiles de l'Afrique tropicale française, Fac. 2. Challamel, Paris 194 pp.
- Chevalier A. (1908).** L'Afrique Centrale Française. Mission Chari Lac Tchad, 1902-04. Challamel, Paris 776 pp.
- Chevalier A. (1943).** Le karité ou arbre à beurre. Essai monographique. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale* 23:100–120.
- Chevalier A. (1946).** L'arbre à beurre d'Afrique et l'avenir de sa culture. *Oléagineux*, 1 : 7-11.
- Chevalier A. (1948).** Nouvelles recherches sur l'arbre a beurre du Soudan, *Butyrospermum parkii*. *Rev Int Bot Appl Agric Trop* 28:241–256.
- Cidell J.L., Alberts H.C. (2006).** Constructing quality: the multinational histories of chocolate.
- Cotton C. M. (1996).** Ethnobotany. Principles and Applications. John Wiley& Sons. 424 p.
- Couderc H. (1979).** Etudes des stades de jeunesse chez plusieurs espèces du genre *Anthyllis*. *Bull. soc. Bot. Fr.*, 126. N° 3 : p 93-98.
- Cronquist A. (1981).** The Evolution and classification of flowering plants. Allen Press. Lawrence, Kansas. 555 p.
- Darwin C. (1869).** On the origin of species by means of natural selection: or, the preservation of favoured races in the struggle for life, 5th edn. John Murray, London.
- Decamps O. & Saadoun N. (1993).** L'ontogénie stomatique en Biosystématique. *Gaussenia*, 8 :38-42.
- Delolme N. (1947).** Etude du karité à la station agricole de Ferkessedougou en Côte d'Ivoire. *Oléagineux* 4 : 186-200.
- Desmarest J. (1958).** Observations sur la population de karités de Niangoloko de 1953 à 1957. *Oléagineux* 5 : 449-455.
- Deysson (1979).** Cours de Botanique générale : organisation et classification des plantes vasculaires. Tome II, 2e partie : Systématique. Société d'Edition d'Enseignement Supérieur (SEDES), Paris, 537 p.

Dione D (1996). Etude biosystématique et chimio taxonomique de sept espèces affines du genre *Combretum* au Sénégal. Thèse de doctorat de 3ème cycle. Faculté des sciences et techniques, UCAD. Dakar.

Diop D., Noba K., Sambou B., Mbaye M. S., Kane A., Ba A. T. (2008). Caractères micro-morphologiques du limbe de la feuille de 23 espèces du genre *Ficus* L (Moraceae). *Webbia* 63(2) : 175-186.

Diop D. (2006). Contribution à l'étude biosystématique des espèces du genre *Ficus* L. (Moraceae) au Sénégal. Thèse de doctorat de 3e cycle de biologie végétale. Université Cheikh Anta Diop. 112 pp.

Djekota C. (2008). Caractérisation macromorphologique du *Butyrospermum parkii* (*Vitellaria paradoxa* C.F Gaertn, subsp. *paradoxa*) dans la région de Mandoul au Tchad. Mémoire de DEA ; Université Cheikh Anta Diop, Dakar/Sénégal.

Djekota C., Diouf D., Sané S., Mbaye M. S., Noba K. (2014). Morphological characterization of shea tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*) populations in the region of Mandoul in Chad. *Academic Journals*. 2014, Vol. 6 (2). pp. 184-193.

Doligez A (1996). Evolution de la diversité génétique intra population et de sa structure. Etude d'un modèle de simulation spatialisée de la gestion des ressources génétiques forestières tropicales. Institut National Agronomique Paris-Grignon. CIRAD-Forêt. 273 p.

Dubief (1953). Les vents de sable dans le Sahara français. In : Actions éoliennes, phénomènes d'évaporation et hydrologie superficielle dans les régions arides. Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Paris, Colloques Internationaux 35, pp. 45-70.

Eromosele I. C., Eromosele C. O. & Kuzhhuzha D. M. (1991). Evaluation of mineral elements and ascorbic acid contents in fruits of some wild plants. *Plant Foods Hum Nutr.* 1991, **41**, 151–154.

Escofier B. & Pages J. (1998). Analyses factorielles, simples et multiples (Objectifs, méthodes et Interprétation) 3ème édition. 2ème cycle Ecole Ingénieurs. P. 284.

Eyog M. O., Gande G. O. & Dossou B. (2000). Programme de ressources génétiques forestières en Afrique au sud du Sahara. Compte rendu de la 1^{ère} réunion « Réseau Espèces Ligneuses Alimentaires », CNSF Ouagadougou. Ed. IPGRI. 231 p.

Ferris R. S. B., Collinson C., Wanda K., Jagwe J., Wright P. (2004). Evaluating the marketing opportunities for Shea nut and Shea nut processed products in Uganda. ASARECA/IITA Monograph 5, Ibadan.

Fleury J. M. (1981). The butter tree. International Development Research Centre Reports, 10: 6–9.

Fontaine C., Lovett P. N., Sanou H., Maley J. & Bouvet J-M. (2004). Genetic diversity of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.), detected by RAPD and chloroplast microsatellite markers in Mali. *Genet Resour Crop Evol* 53(1):145–161. *Heredity*. 93, 639–648.

Frimpong E. B. et Adomako D. (1987). Shea nuts germination and mineral nutrition studies. Cocoa Research Institut, Ghana, Annual Report 1985/6: 98-100.

Grouzis M. (1980). Une méthode d'étude phénologique de population d'espèces ligneuses sahéliennes. Influence de quelques facteurs écologiques « Symposium sur les fourrages ligneux Afrique »Addis-Abeba, avri1 1980.11 p.

Grouzis M. (1993). Phénologie de deux espèces ligneuses sahéliennes: aspects méthodologiques et influence sur le milieu des facteurs du milieu (séminaire Paris- Nancy, France du 20 mars au 6 avril 1990. Ed.A. Riedacker et al., p.145-154

Guinko S. (1984). Végétation de la Haute Volta. Thèse doctorat es Sciences Naturelles. Tome1, 318p. Université de Bordeaux III.

Guinko S., Guenda W., Millogo R. J., Tamini R Z & Wungrana I. (1985). Etude des plantes mellifères dans l'ouest du B.F. Rapport final projet FAO, Ouagadougou 85p.

Guira (1997). Etude de la phénologie et de la variabilité de quelques caractères chez le karité : *Butyrospermum paradoxum* Subsp *parkii* (G. Don) Hepper (*Sapotaceae*) dans les champs et les jeunes jachères dans la moitié Ouest du Burkina Faso. Doctorat de Thèse 3^e cycle à la Faculté des Sciences à l'Université de Ouagadougou. 177p.

Gunstone F. D., Harwood J. L. & Padley F. B. (1986). The lipid handbook. Chapman and Hall, London.

Guyot M. R. (1966). Les stomates des Ombelles. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 113 : 244-272.

Gwali S., Nakabonge G., Okullo J. B. L., Eilu G., Nyeko P., Vuzi P. (2012). Morphological variation among shea tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica*) 'ethno varieties' in Uganda. *Genet Resources Crop Evol* 59:1883–1898 : 10.1007/s10722-012-9905-8.

Gwali S., Okullo J. B. L., Eilu G., Nakabonge G., Nyeko P., Vuzi P. (2011). Folk classification of Shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica*) ethno-varieties in Uganda. *Ethnobot. Res. Appl.* 9: 243-256.

Gwali S., Okullo J. B. L., Eilu G., Nakabonge G., Nyeko P., Vuzi P. (2012). Traditional management and conservation of shea trees (*Vitellaria paradoxa* subspecies *nilotica*) in Uganda. *Environ Dev Sustain* 14(3):347–363.

Hall J. B., Aebischer D. P., Tomlison H. F., Osei-Amaning E., Hindle J. R. (1995). Epitypification of *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn (*Sapotaceae*) *Taxon* 44: 409-410.

Hall J. B., Aebischer D. P., Tomlison H. F., Osei-Amaning E., Hindle J. R. (1996). *Vitellaria paradoxa*: A monograph. School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor.

Hemsley J. H. (1961). Notes on African Sapotaceae: III. *Kew Bull.* 15: 277-291.

Hemsley J. H. (1968). *Sapotaceae*. In: Milne E, Polhill RM (eds) *Flora of tropical East Africa*. Crown Agents for Overseas Governments and Administrations, London, pp 47–50.

Holtzman J. (2004). La chaîne de valeur du beurre du karité. Synthèse d'étude et recommandations pour WATH (Centre pour le commerce en Afrique de l'Ouest) Rapport Technique WATH n°.1. 36 p.

Hutchinson J. & Daziel J. M. (1958). Flora West Tropical Africa. 2nd edit, Vol I, Part. 2. Published on behalf of the Government of Nigeria, Gold Coast, Sierra Leone and the Gambia by the Crown Agents for Oversea Government and Administrations. Millbank, London, 276 p.

INADES-Formation Tchad (2000). Collecte de données sur la filière karité au Tchad. Rapport consultation/Madjastan T R 15 p.

INADES-Formation Tchad (2009). Etude potentiel karité au Tchad. Rapport de consultation/BIOCONS. 72 p.

INRZFH (1983). Etude sur la mortalité du karité phase de prolongation au Mali. Rapport consultation/Maïga A.Y. 83 p.

IPGRI INIA (2006). Descriptors for Shea tree (*Vitellaria paradoxa*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid, Spain.

Irwin R. E. (2000). Morphological variation and female reproductive success in two sympatric *Trillium* species: evidence for phenotypic selection in *Trillium erectum* and *Trillium*.

Jackson G. (1968). Notes on West Africa Vegetation. 3. The seedling morphology of *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn F) Hepper. Journal of the West Africa Science Association, 13: 215-222.

Kapseu C., Avouampo E. & Djeumako B. (2002). Oil Extraction from *Dacryodes Edulis* (G. Don) H. J. Lam Fruit, Forest, Trees and Livelihoods. Vol. 12, A. B. Academic Publishers, Great Britain, pp: 97-104.

Kapseu C., Dirand M., Jiokap N. Y., Parmentier M. & Dellacherie J. (2001). Absorption de l'eau : Influence de condition de traitement des amandes de karité et de la pulpe de l'Aiélé. Communication présentée à la 9e conférence du comité camerounais de Biosciences. Limbé.

Kapseu C., Dirand M., Jiokap Y., Paramentier M., & Dellacherie J. (2000). Acide gras et triglycérides du beurre du karité du Cameroun, Séminaire international sur le séchage et sur la valorisation du karité et de l'Aiélé, à l'ENSAI (Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro Industrielles), Ngaoundéré (Cameroun), pp. 135-143.

Kelly B. A., Bouvet J-M., Picard N. (2004). Size class distribution and spatial pattern of *Vitellaria paradoxa* in relation to farmers' practices in Mali. Agrofor Systems 60:3–11.

Kelly B. A., Gourlet-Fleury S. & Bouvet J-M. (2007). Impact of agroforestry practices on the flowering phenology of *Vitellaria paradoxa* in parklands in southern Mali. Agroforestry Systems 71: 67–75.

Kelly B A., Hardy O. J. & Bouvet J-M. (2004). Temporal and spatial genetic structure in *Vitellaria paradoxa* (Shea tree) in agroforestry system in southern Mali. Molecular Ecology 13 : 1231-1240.

Kima B. (2007). Etude du marché du beurre de karité et de ses produits dérivés dans les pays du Burkina Faso, du Mali, du Niger, de la Sierra Léone et de la Guinée. Rapport de synthèse. Programme UNITERRA, CECI/EUMC. BURKINA FASO.

Kotschy (1865). De plantis nilotico-aethiopicus knoblechterianis. Sitzungsberichte der koenige. Akademie der wissenschaften inwien, mathematisch-naturwissenschaftliche klasse abteilung 1:357–359.

Kouyaté A. M. & Damme P. V. (2002). Caractères morphologiques de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. au sud du Mali. Fruits 57. 231-238 p.

Kouyaté A. M. (2005). Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali. Thèse de Doctorat, Faculté Bio-ingénieurs wetenschappen, Richting Landbouwkunde. 190 p.

Krebs C. J. (1999). Ecological Methodology. 3rd Ed., Addison Welsey Educational Publishers, Inc., Menlo Parc, CA.

Kremer A., Zanetto A., Ducouso A. (1997). Multilocus and multitrait measures of differentiation for gene markers and phenotypic traits. *Genetics*, 145, 1229–1241.

Krist S., Stefanie B., Heidrun U., Martin B., Ngassoum, Mohagir A. M., Buchbauer G. (2006). Volatile compounds of original African black and white shea butter from Chad and Cameroon. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 108 (2006) 583–588 DOI 10.1002/ejlt.200500340.

Laffray D. & Louguet P. (1991). *Physiologie des arbres et des arbustes en zones arides et semiarides : L'appareil stomatique et la résistance à la sécheresse chez les végétaux ligneux.* Groupe d'étude de l'arbre, Paris, pp. 21-46.

Lamien N., Ouedraogo S. J., Diallo O. B. & Guinko S. (2004). Productivité fruitière du karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn, *Sapotaceae*) dans les parcs agroforestiers traditionnels au Burkina Faso. Fruits 59: 423–429.

Lamien N., Tigabu M., Guinko S., Oden P. C. (2007). Variations in dendrometric and fruiting characters of *Vitellaria paradoxa* populations and multivariate models for estimation of fruit yield. *Agrofor Syst* 69:1–11.

Lamien N., Tigabu M., Oden P. C. & Guinko S. (2006). Effets de l'incision annulaire sur la reproduction du karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) à Bondoukuy, Burkina Faso. Fruits 61: 303–312.

Larrue S. (2005). Contribution au débat sur l'absence relative de karité au Sénégal oriental : fondements naturels, raisons sociales. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 229 [En ligne], mis en ligne le 13 février 2008. URL : <http://com.revues.org/index477.html>. Consulté le 11 août 2010.

Lovett P. N. & Haq N. (2000a). Diversity of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Ghana. *Genet Resour Crop Evol* 47(3):293–304.

Lovett P. N. (2004). Opening bottle necks in the African shea butter industry. Report prepared for the United States Agency for International Development. Cooperation agreement USAID HFM-G-00-02-00021-00. Enterprise Works Worldwide, Washington

Lovett P. N. (2004). Supply chain analysis: Bottle necks in the shea industry. Presentation à l'atelier de ASNAPP « Market Access and Competitiveness of African Natural Plant Products».

Lovett P. N. (2004). WATH shea butter supply chain analysis: Component one. West Africa Trade Hub, Accra, Ghana.

Lovett P. N., Haq N. (2000b). Evidence for anthropic selection of the sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agrofor Syst.* 48: 273-288.

Maïga A. (1996). « Influence du karité, du néré et de *Acacia albida* sur le sorgho et le mil: cas de la Province du Bazega au Burkina Faso. » In: E.G. Bonkounou, E. T. Ayuk & I. Issaka, *Les parcs agro forestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest, Actes du séminaire international*, ICRAF/IRBET/CILSS/ LTC, Ouagadougou, Burkina Faso, pp. 95-103.

Marantz S. & Wiesmann Z. (2003). Evidence for indigenous selection and distribution of the shea tree, *Vitellaria paradoxa*, and its potential significance to prevailing parkland savanna tree patterns in sub-Saharan Africa north of the equator. *Journal of Biogeography* 30: 1505–1516.

Marantz S., Kpikpi W., Wiesman Z., De St Sauveur A. & Chapagain B. (2004). Nutritional values and indigenous preferences for shea fruits *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn in African agroforestry parklands. *Economic Botany* 58 (4): 588–600.

Marantz S., Wiesman Z., & Garti N. (2004). Phenolic constituents of shea (*Vitellaria paradoxa*) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 6268–6273.

Marantz S., Wiesman Z., Bisgaard J. & Bianchi G. (2003). Germplasm resources of *Vitellaria paradoxa* based on variations in fat composition across the species distribution range. *Agroforestry Systems* 60: 71–76.

Marchand D. (1988). Extracting profits with a shea butter press. International Development Research Centre reports, 17 : 14-15.

Mariott F. H. C. (1990). A dictionary of statistical terms. Fifth edition. Longman. 223 p.

Martin G. J. (1995). Ethnobotany. A methods manual. Royal Botanic Gardens, Kew, UK. Chapman & Hall. 268 p.

Mbaïguinam M., Mbayhoudel M. & Djekota C. (2007). Physical and Chemical Characteristics of Fruits, Pulps, Kernels and Butter of Shea *Butyrospermum parkii* (Sapotaceae) from Mandoul, Southern Chad. *Asian Journal of Biochemistry* 2 (2): 101-110. ISSN 1815-9923.

Mbaye M. S., Noba K., Sarr R. S., Kane A., Sambou J. M. & Ba A. T. (2001). Eléments de précision sur la systématique d'espèces adventices du genre *Corchorus* L. (*Tiliaceae*) au Sénégal. *African Journal of Science and Technology* 2(1): 51-61.

Mbayhoudel K. (2002). Situation sur la filière karité au Tchad. Actes de l'atelier sur le karité Dakar, Sénégal, mars 2002 10pp

Maydell J. V., (1992). Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. Verlag Joseph Margraf, Weikersheim, Allemagne. 536p.

Metcalf C. R. et Chalk L. (1950). Anatomie of Dicotyledons. Clarendon Press. Oxford.

Ministère l'agriculture au Tchad (1999). Etude de la filière Karité au Tchad. Rapport de consultation/CEPAGE. 68 p.

Mohagir A. M., Kamga R., & Kapseu C. (2011). Influence of Operating Conditions on the Extraction of Shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertner F.) Butter. World Academy of Science, Engineering and Technology 79 2011.

Mohagir A. M., Kamga R., Kapseu C., & Abi C. F. (2009). “Optimization of Some Pretreatments involved in the Press Extraction of Shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn F. C.) Butter”. Asian Journal of Applied Sciences, vol. 2, no. 4, pp. 372- 384.

Mohagir A. M., Kapseu C., Kamga R., Tchiegang C., Kayem J. & Abi F. (2005). Effects of Some Parameters on the yield, Acid and Peroxide Values of Aqueous Extracted Shea Butter. International Journal of Applied Chemistry ISSN 0973-1792 Vol.1 No.1 (2005), pp. 49-56.

Moore S. (2008). The role of *Vitellaria paradoxa* in poverty reduction and food security in the Upper East region of Ghana. Earth Environ 3:209–245.

Nafan D. (2000). Caractérisation agromorphologique de la population spontanée de karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) du parc agroforestier à karité de Tengrela, en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, UFR Biosciences, Université de Cocody; Côte d'Ivoire.

Nafan D., Bup N.D., Kapseu C., Kouame C., Sangare A. (2007). Phenotypic Diversity of Shea (*Vitellaria Paradoxa* C. F. Gaertn.) Populations across Four Agro-Ecological Zones of Cameroon. J. Crop Sci. Biotech. 10 (4) : 211-218.

Nafan D., N'guessan A., Koffi E. & Sangaré A. (2007). Evaluation des performances de quelques descripteurs quantitatifs et leur utilisation dans la structuration de la population d'un parc naturel de karité en Côte d'Ivoire. Plants Genetic Resources Newsletter 152 : 65-72. ISSN 1020-3362.

Nafan D., Koffi K. E., N'guessan K. A., Damme P. V., Sangaré A. (2008). Connaissances locales et leur utilisation dans la gestion des parcs à karité en Côte d'Ivoire. Afrika focus. Volume 21, Nr.1, 77-96 p.

Nafan D., Fofana I. J., Issali A. E., Bup N. D. & Sangaré A. (2009). Typology of shea trees (*Vitellaria paradoxa*) using qualitative morphological traits in Côte d'Ivoire. Laboratoire Central de Biotechnologie 01 Bp. 1740 Abidjan 01 Côte d'Ivoire.

Nafan D. (2011). Analyse des facteurs influençant la qualité des amandes et le beurre de karité. Communication. Promotion des sous produits amandes et beurre de karité dans la sous région ouest africaine.

Nianogo A. J., Bougouma B. & Tapsoba B. (1997a). Les presses manuelles à karité au Burkina Faso. Rapport d'étude. Centre de Recherche pour la Développement International, 39p.

Nianogo A. J., Bougouma B. & Tapsoba B. (1997b). Les presses motorisées à karité au Burkina Faso. Rapport final. CECI/Projet Filière Karité, 15 p.

Noba K. (1990). Contribution à l'étude biosystématique de 3 espèces du genre *Boerhavia* L. : *B. diffusa* L., *B. erecta* L., *B. repens* L. Thèse de Doctorat de Spécialité (3^e Cycle) de Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Sénégal. 178 pp.

Nyarko G., Mahunu G. K., Chimsah, F. A., Yidana J. A., Abubakari A-H., Abagale F. K., Quainoo A. & Poudyal M. (2012). Leaf and fruit characteristics of Shea (*Vitellaria paradoxa*) in Northern Ghana. *Research in Plant Biology*, 2(3): 38-45, 2012 ISSN: 2231-5101.

Okiror P., Agea J. G., Okia C. A. & Okullo J. B. L. (2012). On-Farm Management of *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. In Amuria District, Eastern Uganda. *International Journal of Forestry Research*. 2012, Article ID 768946, 8 pages.doi:10.1155/2012/768946.

Okullo J. B. L., Hall J. B. & Obua J. (2004). "Leafing, flowering and fruiting of *Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica* in savanna parklands in Uganda," *Agroforestry Systems*, vol. 60, no. 1, pp. 77–91, 2004.

Ouedraogo A. S. (1995). *Parkia biglobosa* (Fabaceae) en Afrique de l'Ouest. Bio systématique et amélioration. Thèse. Univ. agron. Wagening. Inst. For. Nat. Res. IBN-DLO. Netherlands. 205 p.

Oumar I., Sawsen A. O. & Raies A. (2003). Evaluation morphologique de cultivars de mil (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.) collectés en Tunisie et en Afrique de l'Ouest. *Plants Genetic Resources Newsletter* 133 : 35-40.

Oyen L. P. A. & Lemmens R. H. M. J. (2001). Ressources végétales de l'Afrique tropicale. *Précurseurs*: 107-172.

Palmbeg G. (1985). L'échantillonnage dans la récolte des semences forestières. Amélioration génétique des arbres forestiers. Cours de formation FAOIDANIDA. Mérida, Venezuela. Janv.-Fév.1980, Etude FAO Forêts20, ROME1985 :44-45.

Pennington T. D. (1991). The Genera of *Sapotaceae*. Royal Botanic Gardens. Kew/ New York. 295 p.

Pontillon J. (1992). Cacao, illipède bornéo, karité. In: *Manuel des corps Gras*. Lavoisier, pp 203-208.

Pullan R. A. (1974). Farmed parkland in West Africa. *Savanna*, 3: 119-152.

R. Development Core Team (2011). A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available at [<http://www.R-project.org>]. Accessed December 22.

Rao K. P. C., Verchot L. V. & Laarman J. (2007). "Adaptation to climate change through sustainable management and development of agroforestry systems," *SAT eJournal*, vol. 4(1): 1-30, 2007. *Res Appl* 9:243–256.

Raynal-Roques A. (1994). La botanique redécouverte. Paris, Belin. 511 p.

Renard F. (1990). Le beurre de karité. Thèse de Doctorat en Pharmacie, UFR des Sciences pharmaceutiques. Université de Bordeaux II, 100p.

Ruyssen B. (1957). Le karité au Soudan. *Agron Trop* 1:143–178.

Saadoun N. (2005). Réponse adaptative de l'anatomie des Chénopodiacées du Sahara algérien à des conditions de vie d'aridité extrême. *Sécheresse* 16(2): 121-124.

Saadoun N. & Decamps O. (1991). A new stomatal type in Chenopodiaceae. *Plant Syst. Evol.* 177 :11-16.

Sandwidi A. (2012). Analyse comparative des caractères morpho-adaptatifs des variétés de karité (*Vitel/aria paradoxa* Gaertn.F. (Sapotaceae)) par la biostatistique. Mémoire de fin de cycle. Université de Bobodioulasso/Burkina Faso. 65 p.

Salisbury E. (1927). On the causes and ecological signification of stomatal frequency with special reference to be woodland flora. *Phil. Trans.Royal. Soc. (London)* B 241 : p. 1-65.

Sallé G., Boussim J., Raynal-Roques A., Brunck F. (1991). Potential wealth of the Shea nut tree. Research perspectives for improving yield. *Bois-et-Forets-des-Tropiques* 228:11–23.

Sanou H., Kambou S., Dembélé M., Yossi H., Sina S., Djingdia L., Teklehaimanot Z. & Bouvet J-M. (2003). Vegetative propagation of *Vitellaria paradoxa* by grafting. *AgroforestrySystems* 60: 93–99.

Sanou H., Lovett P. N., Bouvet J-M. (2005). Comparison of quantitative and molecular variation in agroforestry populations of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Mali. *Mol Ecol* 14(8):2601–2610.

Sanou H., Niéyidouba L. (2011). Conservation and Sustainable Use of Genetic Resources, *Vitellaria paradoxa* (Shea bitter tree). SAFORGEN, Bioversity International, ISBN : 978-84-694-3166-5.

Sanou H., Picard N., Lovett P. N., Dembélé M., Korbo A., Diarisso D., Bouvet J-M. (2006). Phenotypic variation of agromorphological traits of the shea tree, *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn, in Mali. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53:145-161.

Schreckenberg K. (1996). Forest, field and markets : a study of indigeneous tree products in the woody savannahs of Bassila region, Benin. Ph.D. thesis. University of London 326 pp

Schwartz D. (1969). Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 3e édit. Edition médicales, Flammarion, Paris, France.

Scuiller I. (1990). *Exploration de la variabilité des comportements écophysiologiques de semis de chênes blancs européens soumis à la sécheresse.* Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy, 109 pp.

Servant M., Desmarest J., & Poliakoff J. (1956). L'amélioration du karité au stade de la production paysanne. *Oléagineux* 11 : 89-93.

Sénou O. (2000). Les peuplements de karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn), dans le cercle de Koutiala au sud du Mali : répartition, structure et parasitisme par les *Tapinanthus*. Mémoire de DEA, 85 p.

Sétamou M., Schulthess F., Poehling H-M. & Borgemeister C. (2000a). Host plants and population dynamics of the cob borer *Mussidia nigrivenella* Ragonot (Lepidoptera: Pyralidae) in Bénin. *Environmental Entomology* 29, 516–524.

Shukla P. & Misra S. P. (1994). An Introduction to taxonomy of Angiosperms. Vikas Publishing House PVT LTD p. 304-307.

Sidibé M., Ndiaye I. & Sidibé M. M. (2002). Le greffage du karité, projet de publication d'environ 5 pages.

Soloviev P., Daouda Niang T., Gaye A. & Totte A. (2004). Variabilité des caractères physico-chimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette récoltés au Sénégal: *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptica* et *Tamarindus indica*, zones of Cameroon. *J. Crpo Sci. Biotechnology* 10 (4): 223-230, *Fruits* 59 (2) : 109-119.

Terpend M. N. (1982). La filière du karité. Produit de cueillette, Produit de luxe. Les dossiers Faim - Développement, 91 p.

Teklehaimanot Z. (2004). Exploiting the potential of indigenous agroforestry trees: *Parkia*

Timmerman H. A. (1927). Stomatal numbers: their value for distinguishing species. *Pharm J* 118: 241-243.

Tomassone R. (1988). Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle discriminante ? Mathématique-Biométrie-Informatique. ITCF-Paris 56 p.

Tomlinson P. B. (1984). Vegetative morphology – some enigmas in relation to plant systematics. In Heywood V.H. and Moore, D.M., eds., *Current concepts in plant taxonomy*, London, Academic Press. p 49-66.

Traoré B. (1978). Observations sur la phénologie de quelques espèces herbacées et ligneuses sahéliennes, ACC Lutte contre l'aridité dans l'Oudalam au B.F. 29 p.

Traoré D. & Da K. (1997). Lutte contre les plantes vasculaires parasites du Karité et du Néré dans le nord de la Côte d'Ivoire; cas des départements de Korhogo, Boundiali, Ferkessédougou et Tengréla. Rapport du projet PEP de l'AISA, 13 p.

Tremblay R. L., Ackerman J. D. & Pe´rez M-E. (2010). Riding across the selection landscape: fitness consequences of annual variation in reproductive characteristics. *Philos Trans R. Soc B Biol Sci* 365(1539):491–498.

Turquet J. (1910). Recherches anatomiques sur les *Combretum* africains. Thèse série A, Paris, 645 p.

Ugese F. D., Baiyeri P. K. & Mbah B. N. (2010). Agro ecological variation in the fruits and nuts of shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) in Nigeria. *Agrofor Syst* 79(2):201–211.

Vaughan D., Balázs E. & Heslop-Harrison J. S. (2007). From crop domestication to super-domestication. *Ann Bot* 100(5): 893–901.

Vivien J. (1990). Fruitiers sauvages du Cameroun. *Fruits*, 45 : 291-307 p.

Von Gaertn C. F. (1807). De fructibus et seminibus plantarum, supplementum carpologicae. C.F.E. Richter, Leipzig.

Von Maydel H. J. (1993). Arbres et arbustes du sahel, leurs caractéristiques et leurs utilisations. Edition Eschom, 531 p.

Vuillet J. (1911). Le karité et ses produits. Service de l'agriculture du haut Sénégal Niger. Editeur : Emile Larrose, Librairie- Editeur, 11 Rue Victor-Cousin, 11 151.

Wiesman Z. & Maranz S. (2001). Amélioration de la performance des *Vittelaria paradoxa*. Teklehaimanot Z. troisième rapport annuel de la gestion améliorée des systèmes de parcs agroforestiers en Afrique sub-Saharain.

World Vision Tchad (2003). Contribution à la connaissance du potentiel productif du karité dans la région du Mandoul. Rapport de consultation/Kaba R & Djekota C.

Yé S. F. L., Wathelet J. P., Leemans V. & Destain M. F. (2007). Etude des paramètres opératoires de pressage mécanique des amandes de *Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F. (Karité). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11 :267-273.

Zerbo V. (1987). Inventaire et cartographie des peuplements naturels d'espèces forestières au nord du B F. Mémoire de fin d'étude IDR option Eau:" et Forêts Université de Ouaga.69p.

Zitan L. (1995). Analyse des caractères morphologiques pour l'évaluation de la variabilité génétique du chêne-liège (*Quercus suber* L.) Mem. 3e cycle Agron. Inst. Agron. Vét. Hassan II. Maroc. 39 p.

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Synthèse des caractères écologiques du karité sur les herbiers étudiés.

N° échantillo	Nom du karité sur l'échantillon	Région/localisation	Caractères écologiques	Référence
6677	<i>Butyrospermum</i>	Entre la Guinée française et la Guinée portugaise	-	Chevalier, Eugène Poisson (1901)
6678	<i>Butyrospermum parkii</i>	-	-	Maclaud (/1904)
6676	<i>Butyrospermum parkii</i> G. Don	Dahomey	-	Rudier (1905)
6682	<i>Butyrospermum parkii</i> G. Don	Soudan français, Office du Niger/ Sounikoura	-	M. Guy Roberty (1936)
6680	<i>Butyrospermum parkii</i> G. Don	Soudan français, Office du Niger/ Sebougou	-	M. Guy Roberty (1936)
6681	<i>Butyrospermum parkii</i> G. Don	Soudan français, Office du Niger/ Ségou	-	M. Guy Roberty (1936)
6672	<i>Butyrospermum parkii</i>	Delta Niger	-	Duong (1944)
6675	<i>Butyrospermum parkii</i> G. Don	Soudan français	-	Duong (1944)
6673	''Arbuste à feuille pérenne''	Guinée française/ Route de Youkounkoun	-	A. Pitot (1949)
6674	-	-	Savane arbustive	Musée de Paris (1949)
4167	<i>Butyrospermum parkii</i> Kotschy	Guinée française	-	R.P. Berhaut (1953)
4590	<i>Butyrospermum parkii</i> Kotschy	Tambacounda/ Parc National du Niokolokoba, Mont Assirik	-	R.P. Berhaut (1954)
6679	<i>Butyrospermum parkii</i> G. Don	Sénégal/ Miokolo Koba	-	J. G. Adam (1963)
6671	<i>Butyrospermum paradoxum</i> (G.F.) Hepper var. <i>parkii</i> (D. Don) Hepper	Ivory Coast, Bouna National Park/ Téhhini	-	R. A. A. Oldman (1964)
1482	<i>Butyrospermum parkii</i> Kotschy	Tambacounda/ Parc National du Niokolokoba, Mont Assirik	Forêt	B. Sambou, D. Dione, A. Goudiaby, H. Balslev (1993)

Suite **Annexe 1** : Synthèse des caractères écologiques du karité sur les herbiers étudiés.

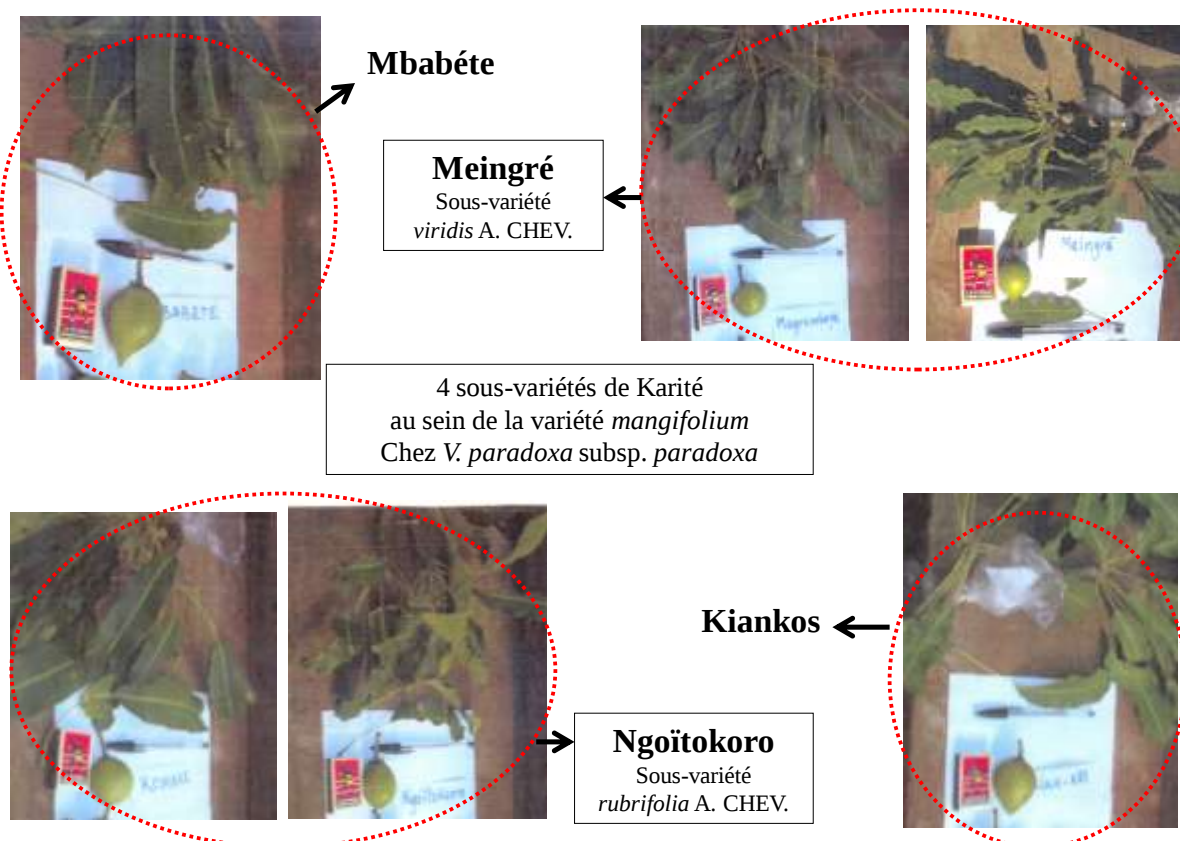
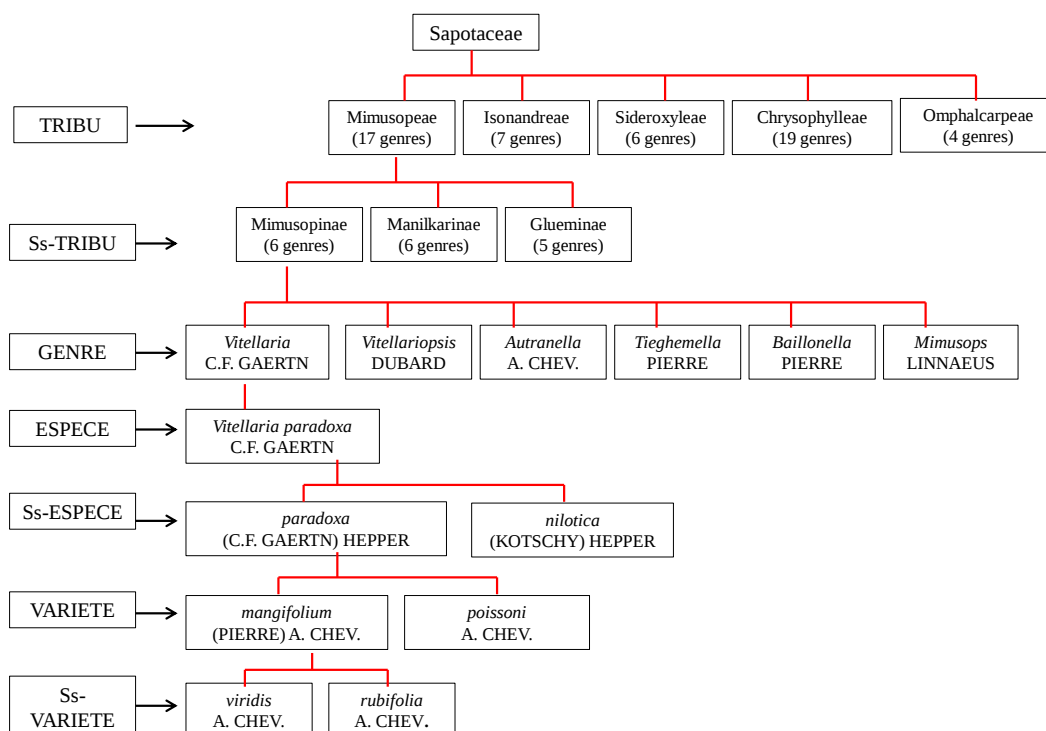
N° échantillon	Nom du karité sur l'échantillon	Région/localisation	Caractères écologiques	Référence
1504	<i>Butyrospermum parkii</i> <i>Kotschy</i>	Tambacounda/ Parc National du Niokolokoba, Mont Assirik	Galerie forestière	S. Traoré (1993)
1637	<i>Butyrospermum parkii</i> <i>Kotschy</i>	Tambacounda/ Parc National du Niokolokoba, Mont Assirik	Galerie forestière	B. Sambou, A. Goudiaby, S. Traoré (1993)
1960	<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertn	North of West Africa	-	C.M.J. Nieuwenhuis (1994)
57558	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn	-	-	Gueye Guirane Mathieu (2005)
57624	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn	Dakar/ Bassa		Mahamadou (2008)
56752	<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn		Soil: Rocky with large boulders	W. Hawthorne, M. Gueye, P. Ekpé, I. Bandurek, H. Greene, A. Mumford, A.A. Camara, S. Koma, M.S. Mbaye, S. Sangaré, S. Ndanikou, C. Ababacar (2009)
56753	<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn	Sénégal oriental/ Kédougou	Below Hardpan area shaded with several large trees	W. Hawthorne, M. Gueye, P. Ekpé, I. Bandurek, H. Greene, A. Mumford, A.A. Camara, S. Koma, M.S. Mbaye, S. Sangaré, S. Ndanikou, C. Ababacar (2009)
56754	<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn	Sénégal oriental/ Kédougou	Soil: yellow clayey a long a dry river bed and each side	W. Hawthorne, M. Gueye, P. Ekpé, I. Bandurek, H. Greene, A. Mumford, A.A. Camara, S. Koma, M.S. Mbaye, S. Sangaré, S. Ndanikou, C. Ababacar (2009)

Annexe 2 : Vitellaria paradoxa, espèces, sous-espèces et ses synonymes

Noms scientifiques du karité	Références
Vitellaria paradoxa et ses synonymes	
<i>Bassia parkii</i> G. DON	Don (1838)
<i>Lucuma paradoxa</i> (C.F. GAERTNER) A. DC.	Candolle (1844)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY	Kotschy (1865)
<i>Butyrospermum niloticum</i> KOTSCHY	Kotschy (1865)
<i>Mimusops capitata</i> BAKER	Baker (1895)
<i>Mimusops pachyclada</i> BAKER	Baker (1895)
<i>Butyrospermum paradoxum</i> (C.F. GAERTNER) HEPPER	Hepper (1962)
Vitellaria paradoxa sous-espèce <i>paradoxa</i> et ses synonymes	
<i>Lucuma paradoxa</i> (C.F. GAERTNER) A. DC.	Candolle (1844)
<i>Butyrospermum paradoxum</i> (C.F. GAERTNER) HEPPER subsp. <i>paradoxum</i>	Hepper (1962)
Vitellaria paradoxa sous-espèce <i>nilotica</i> et ses synonymes	
<i>Butyrospermum niloticum</i> KOTSCHY	Kotschy (1865)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>niloticum</i> (KOTSCHY) PIERRE ex ENGL.	Engler (1904)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY subsp. <i>niloticum</i> (KOTSCHY) J. HEMSLEY	Hemsley (1961)
<i>Butyrospermum paradoxum</i> (G. DON) HEPPER subsp. <i>niloticum</i> (KOTSCHY) HEPPER	Hepper (1962)
Vitellaria paradoxa sous-espèce <i>parkii</i> et ses synonymes	
<i>Bassia parkii</i> G. DON	Don (1838)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY	Kotschy (1865)
<i>Butyrospermum mangifolium</i> PIERRE - non valider pour la publication	Pierre (1884)
<i>Mimusops capitata</i> BAKER	Baker (1895)
<i>Mimusops pachyclada</i> BAKER	Baker (1895)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>poissoni</i> A. CHEV.	Chevalier (1907)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>mangifolium</i> (PIERRE) A. CHEV.	Chevalier (1907)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>cuneata</i> A. CHEV.	Chevalier (1943)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>ferruginea</i> A. CHEV.	Chevalier (1943)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>floccosa</i> A. CHEV.	Chevalier (1943)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>parvifolia</i> A. CHEV.	Chevalier (1943)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>serotina</i> A. CHEV.	Chevalier (1943)
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>mangifolium</i> (PIERRE) A. CHEV.	Chevalier (1948)
sous-variété <i>rubrifolia</i> A. CHEV.	
<i>Butyrospermum parkii</i> (G. DON) KOTSCHY var. <i>mangifolium</i> (PIERRE) A. CHEV.	Chevalier (1948)
sous-variété <i>viridis</i> A. CHEV.	
<i>Butyrospermum paradoxum</i> (C.F. GAERTNER) HEPPER subsp. <i>parkii</i> (G. DON) HEPPER	Hepper (1962)

Source : *Vitellaria paradoxa*. A monograph. HALL & al., (1996). School of Agricultural and Forest Sciences publication N° 8. University of Wales, Bangor.

Annexe 3 : Position systématique de *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn subsp. *paradoxa*



Annexe 4 : Domaines d’usages des parties de la plante ou produit du karité.

Partie de la plante ou produit de l’arbre	Usages
Pulpe	Crue ou sous forme de boissons et de confiture
Beurre	Huile de cuisson
Fleurs	Nectar transformé en miel
Beurre	Fabrication de savon
Beurre	Crème pour les cheveux et la peau, shampoing
Beurre	Remplacement du beurre de cacao dans la fabrication de chocolat
Feuilles	Fourrage
Feuilles, écorce	Maux d’estomac, maux de tête, problèmes oculaires, névralgie dentaire
Beurre	Maux de gorge, traitement des plaies, rhumatismes
Racine	Diarrhée, problèmes d’estomac, nettoyage des dents
Amande	Paludisme
Latex	Problèmes gynécologiques
Ecorce	Facilitation de l’accouchement, favorisation de la lactation
Tronc et branches	Bois de feu
Beurre	Cosmétique : crème pour les cheveux et la peau, shampoing
Écorce, sève	Artisanat : instruments de musique (utilisée comme colle)
Latex et sève	Chasse : colle servant à capturer de petits animaux
Résidus des graines après transformation en beurre	Pesticide
Feuilles	Conservation du sol
Feuilles	Culture (protection des nouveau-nés)

Source : AGROFEN

Annexe 5 : Référence des composants de beurre de karité à l'exportation

Composants	Proportion
Triglycérides	50 %
Acides gras libres	5 %
<i>Acides palmitiques :</i>	<i>3 à 7 %</i>
<i>Acides stéariques</i>	<i>35 à 45 %</i>
<i>Acides oléiques</i>	<i>40 à 55 %</i>
<i>Acides linoléiques</i>	<i>3 à 8 %</i>
Esther de cire	7 %
Insaponifiables entre	8% et 10%
<i>Alcools tri terpéniques</i>	<i>75 %</i>
<i>Hydrocarbures dont Karitène</i>	<i>20 %</i>
<i>Stérols</i>	<i>3 %</i>
<i>Tocophérols</i>	<i>0,1 %</i>
Protéines	0,7 à 1,3g (pour 100gr)
Densité	0,92 à 40°C
Point de fusion	22°C

Source : Secrétariat de la CNUCED

Annexe 6 :_Caractéristiques physico-chimiques du beurre de karité.

Paramètres	Renard (1990)	Kapseu et <i>al.</i> , (2000)	Pontillon (1992)	Gunstone et <i>al.</i> , (1986)
Densité à 20 °C	0,91 – 0,98	0,900*	0,900 – 0,902*	
Point de fusion	35 – 40 °C	40 °C		
Indice de réfraction	1,4620			
Point de solidification	23 – 25 °C			
pH	6,9			
Indice de saponification	170 – 190	180	178 - 193	178 – 190
Acidité libre	Maxi 3% en acide oléique			
Déviati on polarimétrique	+ 2° 34			
Indice d'iode	50 – 80	55	52 - 66	53 -60
Indice de peroxyde	Maxi 10 méq O2/kg			
Indice d'acidité	12 – 14			
Teneur en Insaponifiables (%)	3,5 – 8			
	parfois peut atteindre 17%	5,9	7 – 11	2 – 11
Ester cireux	7%			

*densité à 40 °C

Full Length Research Paper

Morphological characterization of shea tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa*) populations in the region of Mandoul in Chad

Christophe DJEKOTA¹, Diaga DIOUF^{2*}, Seyni SANE³, Mame Samba MBAYE³ and Kandioura NOBA³

¹Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Département de Biologie, Université de N'Djaména, B.P 1027, Tchad.

²Laboratoire de Biotechnologies Végétales, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, BP 5005 Dakar-Fann, Dakar, Sénégal.

³Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, BP 5005 Dakar-Fann, Dakar, Sénégal.

Accepted 6 January, 2014

Quantitative characteristics of leaf, fruit and nut collected from *Vitellaria paradoxa* subsp. *paradoxa* growing in Kol, Kemkian and Matekaga located in the region of Mandoul of Southern Chad were analyzed. Our results reveal variation of the measured morphological parameters. The smallest lamina length (15.5 cm) was found in Kol and the longest (26.3 cm) in Matekaga. The biggest lamina width (5.4 cm) and nut length (3.8 cm) were found in Kol. Using the correlation matrix data, our investigations revealed that lamina length and peduncle length were correlated with 92%. Fruit width was correlated with peduncle length and fruit length with 52 and 83%, respectively. Nut length was correlated with peduncle length, fruit length and fruit width with 55, 78 and 77%, respectively. In contrast, nut length was correlated with fruit length, fruit width and nut length with 68, 78 and 87%, respectively. The dendrograms analyses revealed the existence of four groups within and between sites instead of the six ethno-varieties described by folk classification. These findings raise the need to use molecular markers to unravel the underlying variation for use in selection and genetic improvement of shea tree.

Key words: *Vitellaria paradoxa*, shea butter tree, morphological characters, folk classification, ethno-varieties, Chad.

INTRODUCTION

The semi-domesticated shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* (C.F. Gaertner) syn. *Butyrospermum parkii* (Kotschy), *Butyrospermum paradoxum* (C.F. Gaertner) Hepper, Family Sapotaceae) is widely distributed in the Sudano-Sahelian region from Senegal to Uganda (Hall et al., 1996; Hemsley, 1968; Salle et al., 1991). Presently two subspecies have been identified. *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* is found in West and Central Africa (Hall et al., 1996; Salle et al., 1991; Sanou et al., 2005; Fontaine et al., 2004; Allal et al., 2008; Nyarko et al., 2012; Kelly et

al., 2004), while *V. paradoxa* subsp. *nilotica* is common in East Africa (Soudan, Ethiopia, Uganda and Republic Democratic of Congo) (Gwali et al., 2012; Okullo et al., 2004; Byakagaba et al., 2011; Okiror et al., 2012). The tree shape is influenced by various environmental factors and they are well identified by farmers according to the folk classification. During the wet season, the tree produces fruits edible by both human and animals. The fruits contain 1 to 3 large solitary seeds, rich in fat and oil used in a variety of purposes such as cooking (Abbiw, 1990),

*Corresponding author. E-mail: diaga.diouf@ucad.edu.sn

medicinal, hair and skin ointments and as a base for industrial manufacture of confectioneries (Cidell and Alberts, 2006). The oil is also used in traditional and social rituals such as marriages, funerals, coronations and rainmaking (Ferris et al., 2004; Gwali et al., 2012; Hall et al., 1996; Moore, 2008). The wood of the shea butter tree is used for charcoal, furniture and construction, and the latex for glue making (Lovett and Haq, 2000a). In addition, the trees are used in agroforestry systems that play an important role in the adaptation to climate change such as contribution to soil fertility (Rao et al., 2007). For these reasons, shea butter tree generates significant incomes for households.

Because of its economic importance, genotype studies were performed based on morphological characters leading to the identification of several phenotypes including the domesticated *V. paradoxa* (Chevalier, 1943, 1948; Nafan et al., 2007; Ruyssen, 1957; Sanou et al., 2005, 2006; Ugese et al., 2010). In 1943, Chevalier identified eight varieties based on fruit and leaf variation (*cuneata*, *ferruginea*, *floccosa*, *mangifolia*, *nilotica*, *parvifolia*, *poissoni* and *serotina*). In 1957, the taxonomy was revisited by Ruyssen using tree shapes and sizes, fruits, nuts and leaves leading to the description of *V. mangifolia* as a subspecies containing two varieties (*viridis* and *rubifolia*). Further, using fruit morphology, nut color, crown shape and habitat types, phenotype variation was noticed for the shea tree in Cameroon (Nafan et al., 2007; Lamien et al., 2007). This variation was in agreement with the folk classification distinguishing ethno-varieties which was used by West African farmers to select and preserve shea tree (Gwali et al., 2011; Lovett and Haq, 2000b). Gwali et al. (2012) used morphological characters of 176 trees representing 44 ethno-varieties in Uganda to establish the congruence between the morphological variation and folk classification. Their results showed a good congruence with folk classification when they combined the qualitative traits as perceived by farmers. Recently, Mbaiguinam et al. (2007) performed studies in the population of shea tree from Mandoul region using chemical characteristics and concluded that there was no significant difference of fatty acids content within varieties. In addition, they reported that the shea butter profile was between those from Cameroon and Uganda. Nevertheless, substantial darkness points have to be addressed particularly in Chad where the level of the morphological diversity of the tree is still understood.

The objectives of this study were to discriminate the morphotypes of the shea trees growing in the region of Mandoul located in Southern Chad using leaf, fruit and nut characteristics.

MATERIALS AND METHODS

Study area and experimental design

The present study was conducted in three sites (Matekaga,

Kemkian and Kol) located in the region of Mandoul in southern Chad, where the mean annual precipitation was 1,200 mm (Figure 1a, b). The rainy season lasts from May to October with mean temperatures of 22°C. The dry season lasts from November to April with average temperature of 32°C. In the area of our experiment, the soil was sandy, lateritic or ferrallitic. Each site was swept by 4 or 8 transects crossing in its center using a GPS (Garmin, city and country). Along each transect, the quadrants were separated by 100 m. These sites were chosen because of the high density of their shea tree. It should be noted that Kemkian means the village of shea tree in the local language.

Plant material

Two hundred and forty (240) shea trees distributed in six ethno-varieties according to folk classification were investigated. The folk classification of the accessions was consistent because in the area where the materials were collected, people spoke the same language. The sampling method consisted of selecting 104 trees in Matekaga, 64 in Kemkian and 72 in Kol.

Data collection

Ten adult fresh leafy twigs and mature fruits without parasites were collected randomly from each tree. The length and the width of the leaves were measured using a vernier caliper (Shanghai, China). The total length of the leaf consisted of the length of petiole and that of lamina. The length and the width of fruit and the diameter of the nuts collected from fruits were measured for each accession (Figure 2). For accurate measurement, a mean value was calculated from ten organs. In addition, the mean value of length and width of each organ within site were calculated. The mature fruits were collected in May and September 2007. These data were used as raw material, subjected to principal component analysis (PCA) and analysis of molecular variance (AMOVA).

Multivariate analysis

PCA was performed using statistical package ADE-4 coupled with a hierarchical cluster ascendant (HCA) to group the accessions based on their similarities. Leaves, fruits and nuts were considered as variable but the 240 accessions were projected in a plane including the two first axes. To perform an ascending hierarchical clustering of the accessions, the coordinates of the individuals on the factorial axes as similarity matrix, the squared Euclidean distance and the Ward's method were used. The dendrogram was generated using the R (version R-2.9.0, ADE4 package) software (R Development Core Team, 2011).

RESULTS

Morphological character analyses

The mean values of leaf, fruit and nut parameters of the samples collected from each site allowed to estimate their variation. The parameters measured from the leaves showed that the lamina length ranged from 15.8 to 23.6 cm for the trees growing in Kemkian, 15.5 to 24.2 cm in Kol, 16.5 to 26.3 cm in Matekaga. The percentage of leaves for which the length was more than 20 cm was 81% in Kemkian, 76% in Kol and 69% in Matekaga. The width of the lamina ranged from 3.2 to 5 cm in Matekaga,

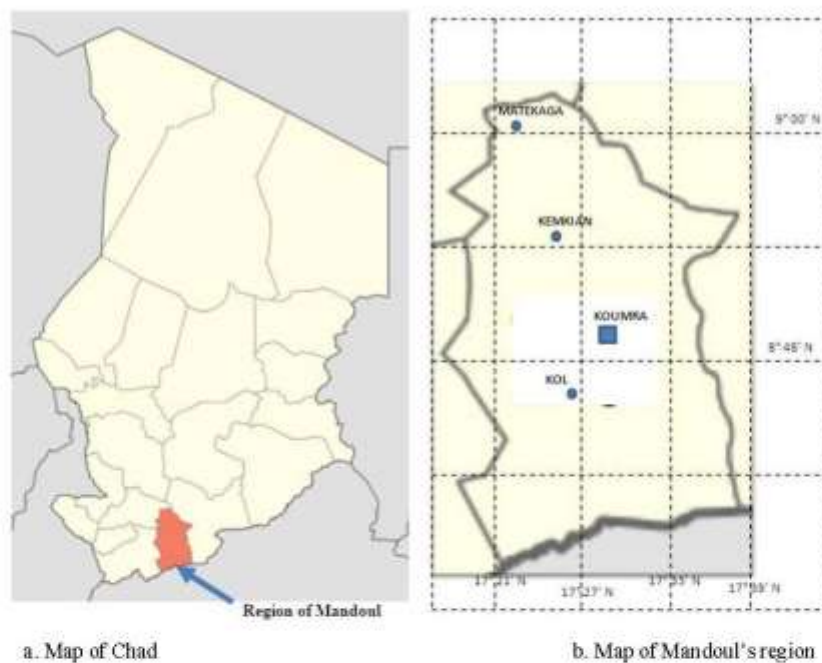


Figure 1. Map of Chad and region of Mandoul showing the localization of the sites where the samples were collected (Ministry of Interior, 2009).

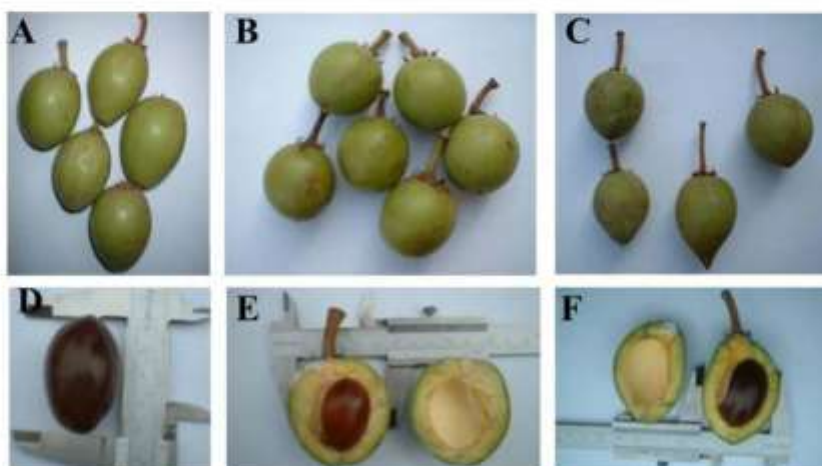


Figure 2. Morphological characteristics of fruits and nuts. (A) Ovoid fruit; (B) Spherical fruit; (C) Elliptical fruit; (D) Ovoid nut; (E) Spherical fruit; (F) Elliptical fruit.

Table 1. Correlations between morphological characters.

	PET	LL	LW	PL	FL	FW	NL
LL	0.92*						
LW	0.18	0.46					
PL	0.00	-0.02	-0.11				
FL	0.05	0.05	-0.06	0.48			
FW	0.03	0.00	-0.10	0.52*	0.83*		
NL	0.06	0.02	-0.12	0.55*	0.78*	0.77*	
NW	0.01	-0.01	-0.07	0.42	0.68*	0.78*	0.87*

PET, Petiole length; LL, lamina length; LW, lamina width; PL, peduncle length; FL, fruit length; FW, Fruit width; NL, Nut length; NW, Nut width. *The significant values are in bold.

3 to 5 cm in Kemkian, 3 to 5.4 cm in Kol. The length of the petiole ranged from 5.8 to 11.9 cm for the leaves collected in Matekaga, from 5.7 to 11.2 cm in Kemkian and 5.7 to 10.2 cm in Kol.

Fruit peduncle length variability was also reported in this study. It ranged from 1 to 3.1 cm in Kol, 1 to 3.3 cm in Kemkian and 1 to 2.7 cm in Matekaga. The fruit length varied from 2.5 to 5.5 cm in Matekaga, 2.6 to 5 cm in Kemkian and from 2.6 to 5.5 cm in Kol. Assessing the fruit width, our study founded that it varied from 2.3 to 4.3 cm in Matekaga, 2.4 to 4.4 cm in Kemkian and 2.4 to 4.3 cm in Kol. The nut length varied from 1.9 to 3.6 cm in Matekaga, 1.9 to 3.3 cm in Kemkian and 1.9 to 3.8 cm in Kol. Finally, the measure performed on the nut width showed that their values ranged from 1.5 to 2.8 cm in Matekaga, 1.4 to 2.4 cm in Kemkian and 1.5 to 2.6 cm in Kol.

Statistical analysis of morphological data

PCA showed that the two principal axes explained 72.95% of the variance observed. The first axis expressed 46.54% of the total variance (data not shown). The variables, nut length, fruit width, nut width and fruit length, contributed to 86.96, 83.59, 78.53 and 77.97%, respectively. The second axis expressed 26.41% of the total variance. The lamina length and petiole length represented 97.4 and 82.87% of the variance, respectively. The third axis explained 10.66% of the total variance where lamina width explained 65.71% of this value. Finally, the fourth axis expressed 8.11% of the variance where the peduncle length explained 54.84% of this value and is associated with the nut width which contributed to 5.34% of the variance.

The correlation matrix showed that lamina length and petiole length were correlated with 92%. Fruit width was correlated with peduncle length and fruit length with 52 and 83%, respectively. Nut length was correlated with peduncle length, fruit length and fruit width with 55, 78 and 77%, respectively. In contrast, nut width was correlated

with fruit length, fruit width and nut length with 68, 78 and 87%, respectively (Table 1). In addition, there was significant variation of the mean of the peduncle length between the samples collected in Matekaga, Kemkian and Kol. The mean of the fruit length was similar between Kol and Matekaga but it was significantly different with the ones found in Kol (Figure 3A). Figure 3B showed that nut characteristics (means of length and width) were not different between Matekaga and Kol. These characteristics were significantly different with the ones collected on the nuts from Kol. No significant difference was observed between the mean of the peduncle length in Matekaga, Kemkian and Kol. Similar results were observed for the means of the lamina length and lamina width taken individually (Figure 3C).

Morphological variation within sites

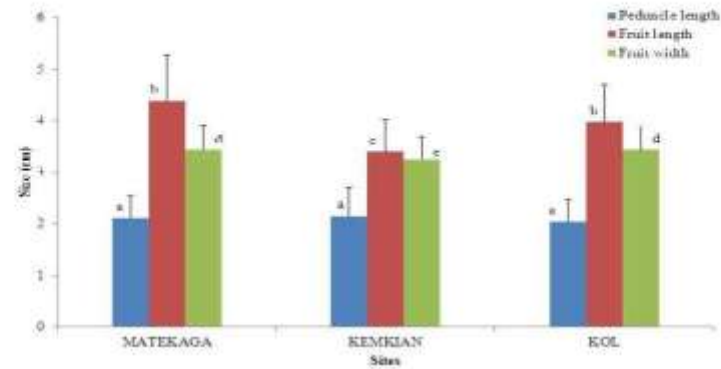
Dendrograms performed using leaf, fruit or nut parameters separately or in pair combinations failed to discriminate accurately the samples collected from each site (data not shown). In contrast, a combination of leaf, fruit and nut parameters allowed a good resolution between individual samples within each site. In Figure 4A, samples collected in Kemkian were divided into four main groups. In the group I, two sub-groups were observed. The first sub-group encompassed A121 and A141 which were clustering together while A110 and A162 were sister of A163. In the same sub-group, A120 and A142 were clustering together as A109 and A130 did. The genetic relationship among the individuals forming the second sub-group is also well resolved. The group II was also sub-divided into two sub-groups which are well resolved. In group III, the clustering was very clear except for A139 and A160 which were linked with a short branch. The group IV was sub-divided into several numbers of sub-groups.

The material collected in Kol was divided into four groups (Figure 4B). The first group showed a high coefficient of similarity among accessions and two main sub-groups as the second group did. The third group encompassed two main sub-groups including several subdivisions each, while the fourth group was also well structured.

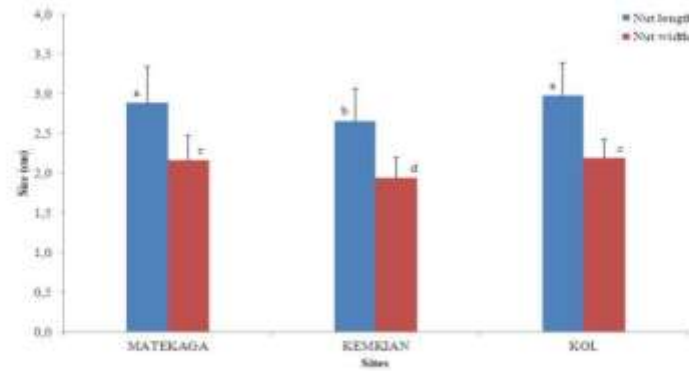
In Matekaga, based on the dendrogram, the biological material was divided into four groups (Figure 4C). The first group was divided in two main sub-groups which were well resolved. The second group encompassed several sub-groups as the third but the fourth was more diversified.

Trait variation between sites

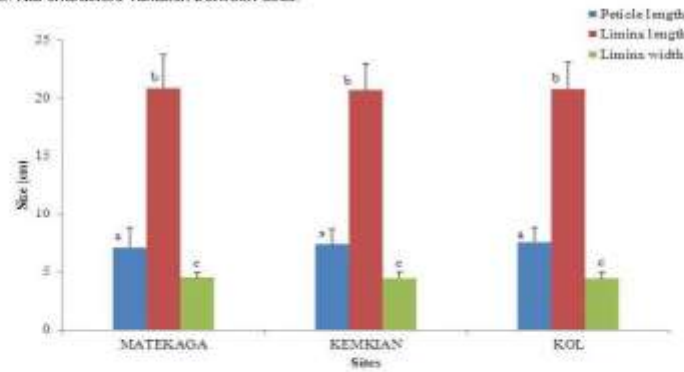
The dendrogram in Figure 5 contained the 240 individuals growing in the three sites (Kemkian, Kol and



A: Peduncle and fruit characters variation between sites.



B: Nut characters variation between sites.



C: Leaf characters variation between sites.

Figure 3. Variation of morphological characters of shea butter tree between sites. The characters affected by the same letter are not statistically different.

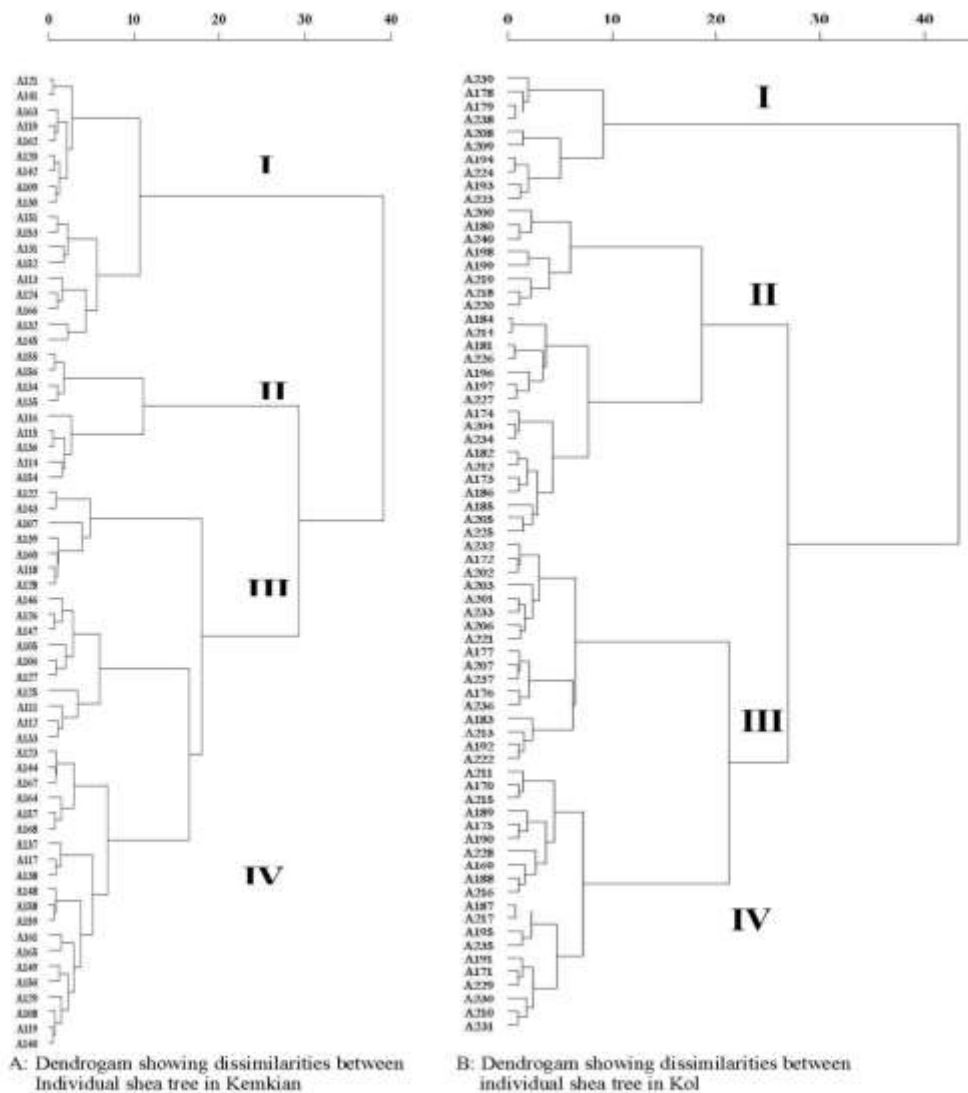
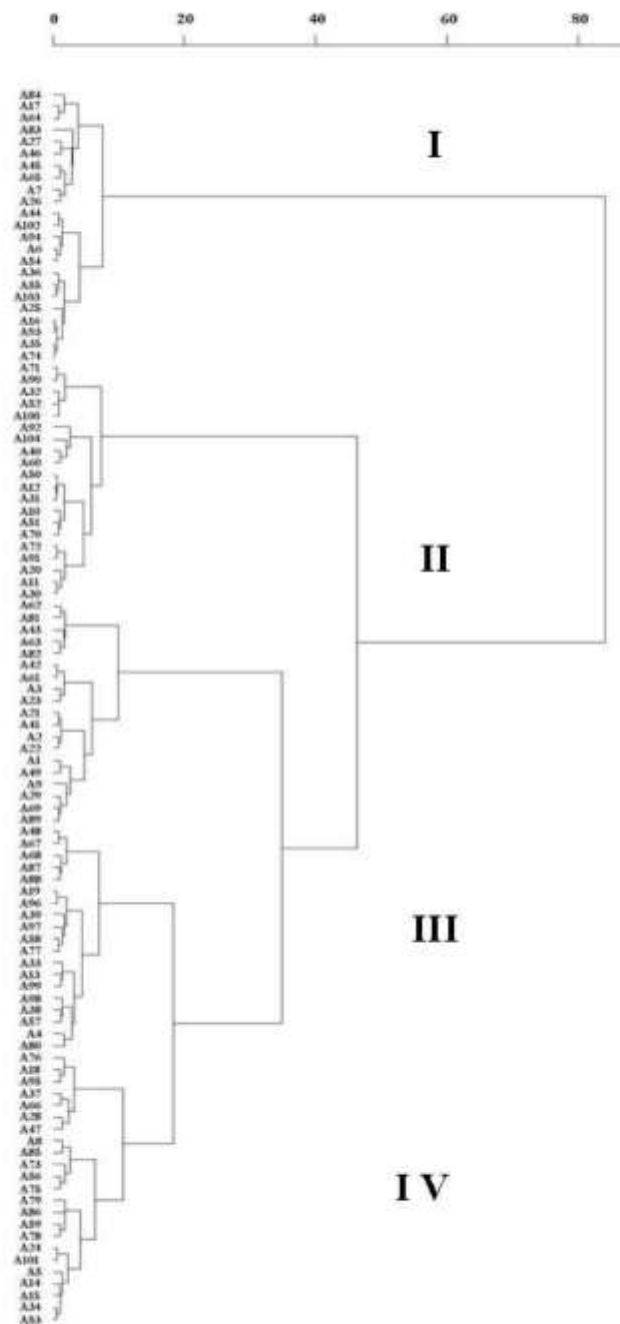


Figure 4. Dendrograms showing dissimilarities within sites



C: Dendrogram showing dissimilarities between individual shea tree in Matekaga

Figure 4. Contd.

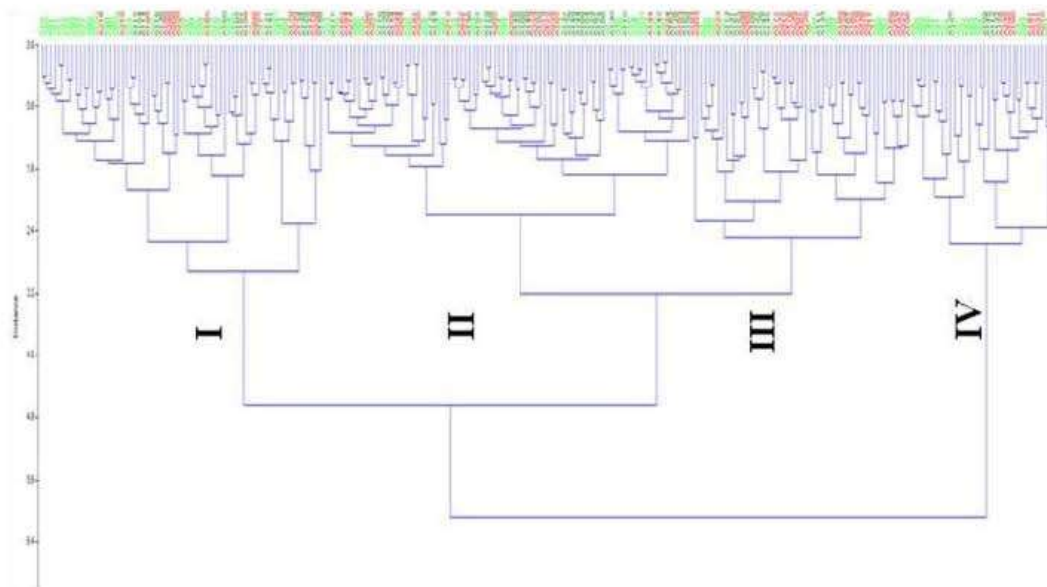


Figure 5. Dendrogram showing dissimilarities between individual shea tree among different sites (Kemkian, Kol and Matekaga)

Matekaga) and showed four groups. Group I included 36.5% of individuals from Matekaga and was divided into four sub-groups. The first sub-group included 18 (17.3%) individuals from Matekaga and only 2 from Kol. A100 from Matekaga was clustered with A218 from Kol. In the third sub-group, the majority of the individuals were from Kol while the fourth sub-group includes most of the individuals from Matekaga. The cluster A98 from Matekaga and A185 from Kemkian, A121/A141 from Kemkian and A134/A135 from Kemkian showed low dissimilarity. The group II included 69% of the individuals from Kol which were distributed in several sub-groups. The clusters formed by A39 from Matekaga /A182 from Kol, A19/A96 from Matekaga and A181/A226 from Kol showed low dissimilarity. The group III included 26 individuals (36.1%) from Kol, 11 (10.5%) from Matekaga and 12 (17.8%) from Kemkian. Most of the samples were gathered by site except the clusters A153 from Kemkian and A208 from Kol and A5 from Matekaga and A177 from Kol. The sample A107 from Kemkian which were grouped with A189 from Kol were nested inside the Kol provenances. The group IV encompassed 34 individuals among which, 20 were from Matekaga, 6 from Kemkian and 8 from Kol. A81 from Matekaga and A105 from Kemkian were grouped together, as A83 from Matekaga and A152 from Kemkian and A43 from Matekaga and A191 from Kol.

DISCUSSION

Understanding population genetic structure is relevant to phylogenetic resources management because it is the first step before implementing any selection process. Phylogenetic resources management was applied to a wide range of economically important plants including shea tree. In its area of distribution particularly in West Africa, shea tree resource management has been mainly based on folk classification for centuries aiming at conservation, domestication and selection of superior individuals (Lovett and Haq, 2000b). On the other hand, in Chad, few studies were reported aiming to enhance our understanding of shea tree genetic variation (Mbaiguinam et al., 2007).

Morphological variations of the shea tree

In this study, a variation in lamina length was observed within and between sites. The smallest lamina length (15.5 cm) was found in Kol, while the longest (26.3 cm) in Matekaga. In addition, the biggest lamina width was found in Kol with 5.4 cm. This morphological variation suggested that a single morphotype was not growing in these areas. Variation of the length of petiole was also observed within site and between sites. The longest petiole

was reported in the population from Matekaga while the smallest was observed in Kol. These findings are agreement with the results of Nyarko et al. (2012) who reported petiole length variation in shea tree from Ghana. In the same manner, as the variation of the peduncle length within sites and between sites, the longest peduncle length (3.3 cm) was observed in Kemkian while the longest fruit was found in Matekaga and Kol. The morphological parameters collected from fruits and nuts showed variation within sites but significant differences were not observed between sites. The variations of the parameters from Chad observed in this study were close to those estimated from shea trees in Mali, Ghana, Guinea, Sudano-Sahelain and Uganda. These findings suggested the same amplitude of morphological variation between Central Africa, East and West accessions (Gwali et al., 2012; Sanou et al., 2006; Nyarko et al., 2012). Variation of fruit morphological characters has been reported for the tropical species such as *Balanites aegyptiaca* and *Tamarindus indica* (Soloviev et al., 2004). These variations can be explained by natural and/or human selection, gene flow mediated from genetic drift (Irwin, 2000; Tremblay et al., 2010; Darwin, 1869; Vaughan et al., 2007; Abasse et al., 2011). In addition, rainfall regimes and soil characteristics might be involved in the morphological variations as it was reported in West African provenances (Sanou et al., 2006).

Statistical analysis

Statistical analysis using morphological characters showed high variability of *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* growing in the region of Mandoul located in the South of Chad. Individually, these morphological characters were allowed classifying the samples in different morphotypes. Similar results are reported by several authors (Lovett and Haq, 2000a; Nafan et al., 2007). In this study, significant correlations between lamina length and petiole length or between fruit and nut characteristics were observed and it is in agreement with results obtained in provenances from Mali, Côte d'Ivoire and Ghana (Sanou et al., 2006; Lovett and Haq, 2000a; Nafan et al., 2007). Therefore, four main characters as fruit length, fruit width, nut length and nut width were useful to discriminate morphotypes. This assertion confirms the work of Chevalier (1943) who used morphological characters (leave and fruit) to identify eight varieties (*cuneata*, *ferruginea*, *flaccosa*, *Mangifolia*, *nitida*, *parvifolia*, *poissonetserotina*) within *V. paradoxa* subsp. *paradoxa*.

Genetic relationship between shea trees

HCA showed that the use of a single morphological character was not efficient to differentiate the accessions but combining leaf, fruit and nut parameters allowed a good resolution. In this study, each site showed four

groups as the dendrogram including all the sites did. These findings were not congruent with the folk classification which identified 6 varieties in the same sites as that of the present study (Mbaiguinam et al., 2007). This incongruence might result from allogamous nature of shea tree which induces phenotypic variation. Phenotypic variation can be influenced by environmental factors or result from genetic variation (Tremblay et al., 2010). Therefore, it is difficult to identify shea tree based on morphological characters alone. The grouping of A11/A30 both from Matekaga and A98 (Matekaga)/A185 (Kol) for example suggested a hybridization by insects pollination or diverse forms of gene flow within or between sites. Hybrids can be problematic for butter quality production because previous studies showed that the morphotypes growing in this area do not produce the same amount of chemical compound (Mbaiguinam et al., 2007). On the other hand, hybridization can be beneficial because high genetic variation induces variability in the population.

Conclusion

Using morphological characters, our study pointed out a high variation of *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* populations within and between sites in the region of Mandoul in Southern Chad. A high resolution of the variation was obtained when several morphological characters were combined but a lack of congruence with the folk classification was noticed. The present study can be extended to others Chadian regions where the shea trees are endemic for comparing the local knowledge and for better identification of the morphotypes growing in Chad. Molecular approach can also be used to test if the morphological variation resulted from the DNA polymorphism.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the University of N'Djaména in Chad for the financial support and the Coopérative des Femmes du Mandoul pour la promotion du Karité (COFEMAK) agents for their help in collecting materials in the different sites. Finally, we would like to thank the anonymous reviewers for their constructive and valuable comments.

REFERENCES

- Abasse T, Weber J, Katkore B, Boureima M, Larwanou M, Kalinganire A (2011). Morphological variation in *Balanites aegyptiaca* fruits and seeds within and among parkland agroforests in eastern Niger. *Agrofor. Syst.* 81(1):57-66.
- Abbiu DK (1990). Useful plants of Ghana: West African uses of wild and cultivated plants. Intermediate Technology Publications, London.
- Allal F, Vaillant A, Sanou H, Kelly B, Bouvet JM (2008). Isolation and

- characterization of new microsatellite markers in shea tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.). *Mol. Ecol. Resour.* 8:822-824.
- Byakagaba P, Eilu G, Okullo JBL, Tumwebaze SB, Mwaru EN (2011). Population structure and regeneration status of *Vitellaria paradoxa* (C.F.Gaertn.) under different land management regimes in Uganda. *Agric. J.* 6 (1):14-22.
- Chevalier A (1943). Le karité ou arbre à beurre. Essai monographique. *Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop.* 23:100-120.
- Chevalier A (1948). Nouvelles recherches sur l'arbre à beurre du Soudan, *Butyrospermum parkii*. *Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop.* 28:241-256.
- Cidell JL, Alberts HC (2006). Constructing quality: the multinational histories of chocolate. *Geoforum* 37(6):999-1007.
- Darwin C (1869). On the origin of species by means of natural selection: or, the preservation of favoured races in the struggle for life, 5th edn. John Murray, London.
- Ferris RSB, Collinson C, Wanda K, Jagwe J, Wright P (2004). Evaluating the marketing opportunities for Shea nut and Shea nut processed products in Uganda. ASARECA/IITA Monograph 5, Ibadan.
- Fontaine C, Lovett PN, Sanou H, Maley J, Bouvet JM (2004). Genetic diversity of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.), detected by RAPD and chloroplast microsatellite markers. *Heredity* 93:639-648.
- Gwali S, Okullo JBL, Eilu G, Nakabonge G, Nyeko P, Vuzi P (2011). Folk classification of Shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *niotica*) ethno-varieties in Uganda. *Ethnobot. Res. Appl.* 9:243-256.
- Gwali S, Okullo JBL, Eilu G, Nakabonge G, Nyeko P, Vuzi P (2011). Folk classification of Shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *niotica*) ethno-varieties in Uganda. *Ethnobot. Res. Appl.* 9:243-256.
- Hall JB, Aebischer DP, Tomlinson HF, Osei-Amaning E, Hindle JR (1996). *Vitellaria paradoxa*: a monograph. School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor.
- Hemsley JH (1968). Sapotaceae. In: Milne E, Polhill RM (eds) *Flora of tropical East Africa. Crown Agents for Overseas Governments and Administrations*, London. pp. 47-50.
- Invin RE (2000). Morphological variation and female reproductive success in two sympatric *Trillium* species: evidence for phenotypic selection in *Trillium erectum* and *Trillium grandiflorum* (Liliaceae). *Am. J. Bot.* 87(2):205-214.
- Kelly BA, Bouvet JM, Picard N (2004). Size class distribution and spatial pattern of *Vitellaria paradoxa* in relation to farmers' practices in Mali. *Agrofor. Syst.* 60:3-11.
- Lamien N, Tigabu M, Guinko S, Oden PC (2007). Variations in dendrometric and fruiting characters of *Vitellaria paradoxa* populations and multivariate models for estimation of fruit yield. *Agrofor. Syst.* 69: 1-11. doi:10.1007/s10457-006-9013-x
- Lovett PN, Haq N (2000a). Diversity of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Ghana. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 47(3):293-304.
- Lovett PN, Haq N (2000b). Evidence for anthropic selection of the sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agroforest. Syst.* 48:273-288.
- Mbaiguinam M, Mbayhrouel K, Djekota C (2007). Physical and Chemical Characteristics of Fruits, Pulps, Kernels and Butter of Shea *Butyrospermum parkii* (Sapotaceae) from Mandoul, Southern Chad. *Asian J. Biochem.* 2:101-110.
- Moore S (2008). The role of *Vitellaria paradoxa* in poverty reduction and food security in the Upper East region of Ghana. *Earth Environ.* 3:209-245.
- NafanD, Bup ND, Kapseu C, Kouame C, Sangare A (2007). Phenotypic Diversity of Shea (*VitellariaParadoxa*C.F. Gaertn.)Populations across Four Agro-EcologicalZones of Cameroon. *J. Crop Sci. Biotech.* 10 (4):211-218.
- Nyarko G, Mahunu GK, Chimsah FA, Yidana JA, Abubakari AH, Abagale FK, Quainoo A, Poudyal M (2012). Leaf and fruit characteristics of Shea (*Vitellaria paradoxa*) in Northern Ghana. *Res. Plant Biol.* 2(3):38-45.
- Okiror P, Agea JG, Okia CA, Okullo JBL (2012). On-Farm Management of *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. In Amuria District, Eastern Uganda. *Int. J. For. Res.* doi:10.1155/2012/768946.
- Okullo JBL, Hall JB, Obua J (2004). Leafing, flowering and fruiting of *Vitellaria paradoxa* subsp. *niotica* in savanna parklands in Uganda. *Agroforest. Syst.* 60(1):77-91.
- R Development Core Team (2011). A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available at <http://www.R-project.org> Accessed December 22.
- Rao KPC, Verchot LV, Laarman J (2007). Adaptation to climate change through sustainable management and development of agroforestry systems. *SAT e Journ.* 4(1):1-30.
- Ruyssen B (1957). Le karité au Soudan. *Agron. Trop.* 1:143-178.
- Salle G, Boussim J, Raynal-Roques A, Brunck F (1991). Potential wealth of the Shea nut tree. Research perspectives for improving yield. *Bois-et-Forêts-des-Tropiques* 228:11-23.
- Sanou H, Lovett PN, Bouvet JM (2005). Comparison of quantitative and molecular variation in agroforestry populations of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Mali. *Mol. Ecol.* 14(8):2601-2610.
- Sanou H, Picard N, Lovett PN, Dembèlè M, Korbo A, Diarissio D, Bouvet JM (2006). Phenotypic variation of agromorphological traits of the shea tree, *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., in Mali. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 53(1):145-161.
- Soloviev P, Daouda Niang T, Gaye A, Totté A (2004). Variabilité des caractères physico-chimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette récoltés au Sénégal: *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica*. *Fruits* 59(2):109-119.
- Tremblay RL, Ackerman JD, Pérez ME (2010). Riding across the selection landscape: fitness consequences of annual variation in reproductive characteristics. *Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.* 365(1539):491-498.
- Ugese FD, Baiyeri PK, Mbah BN (2010). Agroecological variation in the fruits and nuts of shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) in Nigeria. *Agrofor. Syst.* 79(2):201-211.
- Vaughan DA, Balázs E, Heslop-Harrison JS (2007). From crop domestication to super-domestication. *Ann. Bot.* 100(5): 893-901.

