
Amélioration génétique du karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) en Côte d'Ivoire : Analyse de la diversité morphologique des arbres élites identifiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo

Auteur : Attikora, Affi Jean Paul

Promoteur(s) : Vanderschuren, Hervé

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/6056>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Amélioration génétique du karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) en Côte d'Ivoire : analyse de la diversité morphologique des arbres élites identifiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo

AFFI JEAN PAUL ATTIKORA

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNEE ACADEMIQUE: 2017-2018

Promoteur: Prof. Hervé VANDERSCHUREN

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

Amélioration génétique du karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) en Côte d'Ivoire : analyse de la diversité morphologique des arbres élites identifiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo

AFFI JEAN PAUL ATTIKORA

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER BIOINGENIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNEE ACADEMIQUE: 2017-2018

Promoteur: Prof. Hervé VANDERSCHUREN

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
ABRÉVIATIONS	ix
RÉSUMÉ.....	xi
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION.....	1
Première partie :.....	4
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE KARITE	4
1.1. Importance socio-économique du karité	5
1.2. Origine et distribution géographique du karité	6
1.3. Taxonomie du karité.....	8
1.4. Morphologie du karité.....	8
1.4.1. Appareil végétatif du karité	8
1.4.2. Appareil reproducteur du karité.....	10
1.4.2.1 Inflorescence et fleurs du karité	10
1.4.2.2. Fruits et noix du karité	12
1.5. Ecologie du karité.....	12
1.6. Modes de reproduction, fécondation et développement du fruit du karité.....	13
1.7. Production fruitière du karité	14
1.8. Germination des semences de karité	15
1.9. Marqueurs génétiques et diversité du karité.....	15
1.9.1. Marqueurs morphologiques et diversité du karité	16
1.9.2. Marqueurs biochimiques et diversité du karité.....	19
1.10. Objectifs de l'étude.....	22
Deuxième partie :.....	24
MATERIEL ET METHODES	24
2.1. Présentation de la zone de l'étude	25
2.1.1. Localisation géographique de la zone d'étude	25
2.1.2. Climat de la zone d'étude.....	26

2.1.3. Relief et végétation de la zone d'étude	26
2.1.4. Caractéristiques pédologiques de la zone d'étude.....	26
2.2. Matériel	27
2.2.1 Matériel végétal.....	27
2.2.2. Matériel technique.....	27
2.3. Méthodes	28
2.3.1. Choix des individus élites de karité.....	28
2.3.2. Collecte des données morphologiques sur les individus élites de karité.....	28
2.3.2 Variables mesurées et observées	29
2.3.3. Analyse statistique des données	30
Troisième partie :.....	32
RESULTATS ET DISCUSSION	32
3. RESULTATS	33
3.1. Diversité des descripteurs qualitatifs du karité	33
Résultats	33
3.1.1 Forme de la canopée	33
3.1.2 Port de l'arbre	33
3.1.3 Ramification et densité des branches.....	33
3.1.4 Variabilité des caractères foliaires.....	34
3.1.4.1 Couleur des jeunes feuilles	34
3.1.4.2 Couleur des feuilles matures	34
3.1.4.3 Forme du limbe	34
3.1.4.4 Forme de la base du limbe	34
3.1.4.5 Forme de l'apex du limbe	34
3.1.5 Variabilité des caractères de la noix	34
3.1.5.1 Couleur de la noix	34
3.1.5.2 Forme de la noix	35
3.1.6 Classification ascendante hiérarchique.....	36
3.1.7 Analyse discriminante	39
Discussion	39
3.2 Diversité des descripteurs quantitatifs du karité	42
Résultats	42
3.2.1 Variabilité morphologiques des arbres élites de karité observée à l'intérieur de chaque région	42

3.2.2	Variabilité morphologique observée des arbres élites de karité des deux régions combinées.....	43
3.2.3	Structuration de la diversité morphologique	45
3.2.3.1	Analyse en composante principale.....	45
3.2.3.2	Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	46
3.2.3.3	Analyse factorielle discriminante (AFD).....	50
	Discussion	53
3.3	Relations entre les variables	56
	Résultats	56
3.3.1.	Etude de la corrélation entre les variables mesurées	56
3.3.2	Etude combinant les variables qualitatives et quantitatives	57
	Discussion	59
	CONCLUSION	61
	PERSPECTIVES.....	62
	ANNEXES.....	72

DÉDICACE

Je dédie ce document à :

mon père, ATTIKORA ETTIEN ;

ma mère, AHISSAN ANOUHOUA et ;

mes frères et sœurs pour qui la réussite de mes études constitue légitime fierté.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier :

Professeur Vanderscurhen Hervé qui n'a aménagé aucun effort à accepter d'être le promoteur de ce travail malgré le peu de connaissance qu'il a dans le domaine du karité.

Professeurs Lassois Ludivine et Guy Mergeai d'avoir accepté d'être dans le jury de ce travail et leurs apports considérables dans la rédaction.

Docteur Taofic Alabi et Souleymane Silué, maître de conférences ; pour tous les efforts consentis pour la mise en place de la coopération entre l'Université Péléforo Gon Coulibaly (UPGC), Côte d'Ivoire, et l'Université de Liège dont je suis l'un des premiers bénéficiaires depuis 2016.

Diarrassouba Nafan, maître de conférences, directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences Biologiques de l'UPGC pour la confiance qu'il a placée en moi en me permettant de travailler sur le projet de karité en Côte d'Ivoire.

Docteur Saraka Yao Didier, enseignant à l'UPGC, pour ses conseils et directives scientifiques pour la rédaction de la première partie de ce document et son aide précieuse pour la manipulation des outils statistiques utilisés. Merci infiniment docteur !

Monsieur Blé Kpagni Antoine, technicien supérieur de recherche à l'UPGC, pour sa disponibilité malgré ses nombreuses charges, à m'expliqué le déroulement de la collecte des données sur le terrain.

Ekra Jean Yves, étudiant en génétique et biotechnologie à l'UPGC, pour le temps consenti à m'expliquer les petits détails concernant le logiciel STATISTICA. Je me rappelle que parfois on passait plus d'une heure au téléphone sur ces choses. Merci mon ami !

La famille KOKORA qui m'a hébergé durant le temps passé en Côte d'Ivoire.

Le comité du fonds de mobilité de l'Université de Liège qui a donné un avis favorable pour l'octroi des billets du voyage en Côte d'Ivoire.

Toute ma famille pour leurs soutiens multiformes.

A tous ceux que je n'ai pas cités dans ce présent document mais qui m'ont, chacun à son niveau apporté à un moment ou à un autre, une aide à la conduite de ce travail, je leur dis un grand merci du fond du cœur.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Aire de distribution de <i>Vitellaria paradoxa</i> ssp. <i>paradoxa</i> et <i>nilotica</i> en Afrique (source : Hall <i>et al.</i> , 1996).....	7
Figure 2: Aire de distribution du karité en Côte d'Ivoire (Diarrassouba, 2008).....	7
Figure 3. Arbre de karité dans un champ de maïs (Kaboré <i>et al.</i> , 2012).....	10
Figure 4. Inflorescences du karité (Djekota, 2014).....	11
Figure 5. Variabilité de la forme du fruit du karité (Diarrassouba <i>et al.</i> , 2009).....	17
Figure 6. Variabilité dans la coloration des jeunes rameaux de karité (Diarrassouba <i>et al.</i> , 2009).....	18
Figure 7. Variabilité de la forme du houppier du karité.....	18
Figure 8: Variabilité de la coloration des jeunes fruits de karité (Diarrassouba <i>et al.</i> , 2009) .	18
Figure 9: Variabilité de la coloration des noix de karité (Diarrassouba <i>et al.</i> , 2009)	19
Figure 10. Dendrogramme construit à partir des marqueurs RAPD montrant les lien phylogénétiques entre les populations de karité collectées au Bénin (B), Burkina (BF), Côte d'Ivoire (IC), Mali (M), Sénégal (S), Centrafrique (CA), Cameroun (C) et Uganda (U) (Fontaine <i>et al.</i> , 2004 cité par Soro, 2016).....	21
Figure 11. Dendrogramme construit à partir des marqueurs SSRs chloroplastiques (CpSSR) montrant les lien phylogénétiques entre les populations de karité collectées au Bénin (B), Burkina (BF), Côte d'Ivoire (IC), Mali (M), Sénégal (S), Centrafrique (CA), Cameroun (C) et Ouganda (U) (Fontaine <i>et al.</i> , 2004 cité par Soro, 2016).....	22
Figure 12: Répartition géographique des haplotypes A, B, C, D, E, F et G de karité révélés à partir des marqueurs SSRs chloroplastiques (Fontaine <i>et al.</i> , 2004 cité par Soro, 2016).....	22
Figure 13: A: Carte régionale de la Bagoué; B: Organisation Administrative de Côte d'Ivoire; C: Carte régionale du Tchologo	26
Figure 14: Matériel technique utilisé.....	28
Figure 15: Variabilité de la forme de la couronne foliaire chez le karité: de gauche à droite, les phénotypes Pyramidal, largement pyramidal, sphérique, oblong, Semi-circulaire et elliptique (Photo Blé, mai 2018)	33
Figure 16: Dendrogramme réalisé à partir des 13 descripteurs qualitatifs relevant les similitudes morphologiques entre les 220 arbres élites de karité.....	37
Figure 17: Dendrogramme UPGMA réalisé à partir de 8 descripteurs quantitatifs révélant les similitudes morphologiques entre les 220 arbres élites de karité.....	48
Figure 18 : Répartition des 220 arbres élites de karité étudiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques du matériel végétal	27
Tableau 2: Variabilité des caractères qualitatifs des descripteurs morphologiques du karité. 35	
Tableau 3: Caractéristiques des différentes classes formées.....	38
Tableau 4: Variables discriminantes et paramètres statistiques associés.....	39
Tableau 5: Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les valeurs de F de l'analyse de la variance et sa probabilité associée des caractères quantitatifs des arbres élites de chaque région.....	43
Tableau 6: Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les valeurs de F de l'analyse de la variance sur les variables quantitatives et sa probabilité associée des caractères quantitatifs des 220 arbres élites de karité	45
Tableau 7: Valeurs propres et contribution des caractères aux axes 1; 2 et 3 de l'analyse en composantes principales.....	46
Tableau 8: Analyse multiple de variance (MANOVA) des cinq groupes . Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 9: Individus des différents groupes repartis selon la région.....	50
Tableau 10: Variables discriminantes et paramètres statistiques associés.....	51
Tableau 11: Valeurs propres et contribution des variables à la définition des fonctions canoniques 1 et 2 à partir de l'analyse factorielle discriminante sur les 3 groupes formés par la CAH	52
Tableau 12: Corrélation entre les différentes variables quantitatives mesurées	57
Tableau 13: Caractéristiques des différents groupes par rapport aux descripteurs qualitatifs	58

LISTE DES ANNEXES

Annexe1 : Fiche de caractérisation des arbres élités 2

Annexe 2 : Individus dont le ratio CIR 130/R est inférieur ou égal à 8,5

ABRÉVIATIONS

ACP : Analyse en composantes principales

ANADER : Agence nationale d'appui au développement rural

ANOVA : Analyse de la variance

CIR 130 : Circonférence du tronc à 130 cm du sol

FAL : Forme de l'apex du limbe

FAO : Food and agriculture organization

FBL : forme de la base du limbe

FCF : Forme de la couronne foliaire

FL : Forme du limbe

DB : Densité de branches

PA : Port de l'arbre

CN : Couleur de la noix

FN : Forme de la noix

CJF : Couleur de la jeune feuille

CFA : Couleur de la feuille adulte

RB : Type de Ramification des branches

LgL : Largeur du limbe

LL : Longueur du limbe

LP : Longueur du pétiole

LgN : Largeur de la noix

LN : longueur de la noix

PN : Poids de la noix

NF/A : Nombre de fruits par arbre

NN/F : Nombre de noix par fruit

R : Rendement en kilogramme de noix par arbre

MANOVA : Analyse multiple de variance

CAH : Classification hiérarchique ascendante

AFD : Analyse factorielle discriminante

UPGC : Université Péléforo Gon Coulibaly

IRHO : Institut de recherche pour les huiles et oléagineux

RGPH : Recensement général des populations et de l'habitat

UFR : Unité de formation et de recherche

RÉSUMÉ

Vitellaria paradoxa C. Gaertn est une espèce indigène africaine largement répandue dans la zone Nord de la Côte d'Ivoire. Cette espèce communément appelée karité est un arbre à usages multiples dans les communautés africaines et son beurre qui est commercialisé à l'échelle locale et internationale est utilisé en cuisine, cosmétique, chocolaterie et en médecine traditionnelle. La connaissance de la diversité agromorphologique des arbres de karité identifiés est primordiale pour débiter tout programme d'amélioration de l'espèce. Cette étude a consisté en la détermination des caractères morphologiques pertinents des arbres élités de karité et en la connaissance des types d'arbres suivant les caractères les plus pertinents. Elle a porté sur 220 arbres de karité choisis de façon aléatoire dans une population de 639 arbres élités de karité identifiés dans deux régions du Nord de la Côte d'Ivoire. Les résultats ont montré une variabilité importante pour la plupart des caractères étudiés. Ainsi des indices de diversité de Shannon de l'ordre de 0,98 et des coefficients de variation de 49% ont été obtenus. L'étude de la diversité a permis d'identifier 12 descripteurs, les plus pertinents, décrivant les arbres élités dont 6 caractères qualitatifs (CN, FN, CFA, CJF, FL et DB) et 6 caractères quantitatifs (CIR 130, R, LN, PN, LP, LL et LgL). De même, les populations de karité élités étudiées ont été typées en trois groupes phénotypiques. Cependant, il est nécessaire d'utiliser des marqueurs biochimiques et moléculaires encore plus puissants pour caractériser la biodiversité des arbres élités de karité de Côte d'Ivoire.

Mots clés : Karité, diversité morphologiques, arbres élités, amélioration génétique, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Vitellaria paradoxa C. Gaertn is an indigenous African species widely distributed in the northern zone of Côte d'Ivoire. This species commonly called shea is a multi-purpose tree in African communities and its butter which is traded locally and internationally is used in cooking, cosmetics, chocolate making and traditional medicine. Knowledge of the agromorphological diversity of the shea trees identified is essential to begin any programme to improve the species. This study consisted in determining the relevant morphological characteristics of elite shea trees and knowing the types of trees according to the most relevant characteristics. It was carried out on 220 shea trees randomly selected from a population of 639 elite shea trees identified in two regions of northern Côte d'Ivoire. The results showed significant variability for most of the characteristics studied. Thus Shannon diversity indices in the order of 0.98 and coefficients of variation of 49% were obtained. The diversity study identified 12 descriptors, the most relevant, describing elite trees, including 6 qualitative characteristics (CN, FN, CFA, CJF, FL and DB) and 6 quantitative characteristics (CIR 130, R, LN, PN, LP, LL and LgL). Similarly, the elite shea populations studied were typed into three phenotypic groups. However, it is necessary to use even more powerful biochemical and molecular markers to characterize the biodiversity of elite shea trees in Côte d'Ivoire.

Keywords: Shea tree, morphological diversity, elite trees, genetic improvement, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Le karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn) appartient à la famille des *Sapotaceae*. Il s'agit d'une espèce végétale endémique à l'Afrique qui pousse de façon naturelle sur une large ceinture de plus d'un million de km² entre l'Ouest du Sénégal et l'Est de l'Ouganda (Salle *et al.*, 1991 ; Hall *et al.* 1996). *V. paradoxa* est actuellement divisée en deux sous-espèces (*V. paradoxa* sous-espèce *paradoxa* qui se trouve en Afrique de l'Ouest et du Centre et *V. paradoxa* sous-espèce *nilotica* localisée en Afrique de l'Est. La morphologie des différents organes tige, feuille, fleur, fruit et graine est influencée par des facteurs environnementaux et leur variabilité est reconnue par les agriculteurs qui les utilisent pour la classification des variétés. Le karité donne des fruits à pulpe comestible contenant des amandes riches en matière grasse (Soro *et al.*, 2011). Plusieurs organes du karité sont utilisés dans les rituels traditionnels, la pharmacopée, le cosmétique, la construction, l'alimentation, *etc.* (Diarrassouba *et al.*, 2009). Les fruits du karité contiennent généralement une seule noix mais on peut trouver des fruits contenant 2, 3 ou 4 noix (Diarrassouba *et al.*, 2009). En Côte d'Ivoire, les peuplement de karité se trouvent aussi bien dans la zone de diversité (extrême Nord du pays) que dans la zone marginale (zone de transition préforestière) de son aire distribution ce qui, *a priori*, devrait correspondre à une richesse au plan génétique (Diarrassouba *et al.*, 2007).

La population qui habite l'aire de répartition du karité collecte les fruits à partir desquels est extraite la matière grasse, contenue dans les amandes, pour la fabrication du beurre. La commercialisation des amandes et du beurre sur les marchés locaux procure des revenus substantiels aux femmes qui sont impliquées dans la filière et leur exportation constitue une source de devises. Malgré l'importance économique du beurre de karité comme produit à usages multiples, le karité à partir duquel il est produit n'a, jusque-là, pas fait l'objet d'un effort de recherche soutenu en amélioration génétique (Soro *et al.*, 2011).

De plus, les effets cumulés des vents violents déracinant les arbres, de l'abattage des individus pour les besoins des ménages, du labour pour l'installation des champs et du ramassage systématique des fruits collectés sous les arbres fructifères par les populations rurales limitent la régénération naturelle des parcs à karité (Maïga, 1988 ; Boussim, 1991 ; Senou, 2000). A ces facteurs causant la perte des génotypes, l'on peut ajouter le parasitisme et d'autres aléas climatiques (Maïga, 1989; Boussim, 1991). Ceci réduit considérablement l'effectif des individus dans les parcs à karité et ne permet ni de pérenniser la ressource ni d'assurer un approvisionnement soutenu à la filière en amande de qualité. C'est dans le but de passer d'une

exploitation basée sur la cueillette vers une exploitation sous forme de plantations de production que de nombreux travaux de recherche visant la domestication de l'espèce ont été initiés dans les pays où pousse le karité (Sandwidi, 2012). Parmi ces travaux, Raebild (2011) note ceux de la multiplication végétative par greffage (Sanou *et al.*, 2004), ceux portant sur le parasitisme (Lamien *et al.*, 2008), la collection de germoplasme, la structure génétique spatiale des populations (Sanou *et al.*, 2006), la variabilité génotypique intra et inter population à l'aide des marqueurs génétiques (Fontaine *et al.*, 2004 ; Sanou *et al.*, 2005), la période de la phase juvénile et la variabilité des rendements annuels en fruits (Bayala *et al.*, 2009), la comparaison de la production fruitière entre les arbres présents dans les parcs agroforestiers et ceux des habitats naturels (Lamien *et al.*, 2004). Des travaux d'amélioration génétique préconisés il ya déjà plusieurs années par Bonkougou (1987) et par Salle *et al.* (1991) ont également démarré dans certains pays comme le Burkina, le Mali, le Ghana, l'Ouganda et la Côte d'Ivoire. Au niveau de la Côte d'Ivoire, les études de Sallé *et al.* (1991) ont révélé que dans un peuplement de karité, un arbre doit être considéré comme élite seulement s'il produit un nombre élevé de fruit (> 200 par an), un poids moyen de fruit supérieur à 9,7 g, une faible longueur du limbe (< 4,4 cm), un pétiole court (< 8,2 cm), un feuillage dense, une floraison précoce et une maturation précoce des fruits. Aussi Boffa *et al.* (1995) menant une étude sur la production de 54 arbres de karité pendant trois années dans des champs du terroir de Thiougou (Burkina Faso) ont montré que dans un peuplement de karité seulement 26 % des individus sont bons producteurs dont 15 % présentent une production stable. Plusieurs travaux orientés sur l'identification des variétés à partir des caractères physiologiques, morphologiques aussi bien qualitatifs que quantitatifs ont été conduits (Diarrassouba *et al.*, 2007 ; Diarrassouba *et al.*, 2008 ; Diarrassouba *et al.*, 2009 ; Soro *et al.*, 2011). Dans le parc à karité de Tengréla en Côte d'Ivoire, 5 variétés de karité ont été identifiées principalement sur base des caractères concernant les feuilles, les fruits et les noix (Diarrassouba *et al.*, 2009).

Ces études menées sur le karité en Côte d'Ivoire ont contribué à la connaissance de l'espèce. Cependant, au regard des travaux antérieurs, il se pose encore des questions sur les meilleures voies et moyens de conservation des ressources génétiques de karité et d'amélioration de la productivité de cette espèce. Pour assoir un programme d'amélioration variétale du karité en Côte d'Ivoire l'Université Peleforo Gon Coulibaly (UPGC) de Korhogo a bénéficié en 2017 d'un soutien financier du bailleur Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA). Ce projet a permis d'identifier, suite à une enquête participative, 639

arbres élités de karité conservés *in situ* sur les exploitations agricoles paysannes de 406 producteurs des régions administratives de la Bagoué et du Tchologo couvrant les Départements de Boundiali, Kouto, Tengrela, Ferkéssédougou, Kong et Ouangolodougou (Diarrassouba *et al.*, 2017). Ces arbres élités de karité géo-référencés et choisis par les producteurs eux-mêmes en se basant en général sur des critères comme le rendement élevé en fruits de l'arbre, le goût sucré de la pulpe du fruit, la grosseur du fruit et la précocité de floraison dans l'année constituent désormais le matériel génétique de base pour l'amélioration du karité en Côte d'Ivoire (Diarrassouba *et al.*, 2017). Jusqu'aujourd'hui, les caractéristiques agromorphologiques de ces individus élités ne sont pas connues. De telles connaissances permettraient d'impliquer judicieusement les individus élités identifiés dans les programmes ultérieurs d'hybridation pour la création de matériel végétal performant et la relance de la filière karité en Côte d'Ivoire. L'objectif général de la présente étude est de caractériser au plan agromorphologique les individus élités constituant la collection *in situ* de karité de Côte d'Ivoire.

Deux objectifs spécifiques sont visés. Il s'agit de (i) déterminer les caractères morphologiques les plus pertinents décrivant les karités élités et (ii) établir une typologie des arbres élités identifiés suivant les caractères morphologiques les plus pertinents.

Première partie :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LE KARITE

1.1.Importance socio-économique du karité

Le karité est un arbre sacré et protégé par les populations africaines (Bonkougou, 1987). Dans son aire de dispersion, l'arbre de karité et ses sous produits occupent une place importante dans la vie des populations rurales. La pulpe sucrée constitue un aliment d'appoint pendant la période de soudure (lorsque les greniers sont presque vides) et le beurre du karité est la principale source de lipides dans le milieu rural (Chevalier, 1948). Les fruits du karité sont délicieux et le beurre qui est extrait des amandes est habituellement utilisé dans la préparation des aliments, les soins médicaux, la fabrication du savon, les cosmétiques et l'éclairage (Chevalier, 1948). Les différents organes de l'arbre (feuilles, écorce, fleurs, fruits, etc) sont utilisés en médecine traditionnelle (Nacoulma-Ouedraogo, 1996). Les feuilles bouillies sont consommées et la pulpe sert à la fabrication de boissons qui s'apparentent au lait (Millogo-Rasolodimby, 2001). Le karité est beaucoup recherché en apiculture puisqu'il est très nectarifère et très pollinifère (Hall *et al.*, 1996). « Les chenilles qui se nourrissent exclusivement de feuilles de karité sont très riches en protéines, 100 g de matière sèche contiennent 55 g de protides. Elles sont plus riches que la viande de bœuf (19 g), la viande de mouton (17 g) et moins riches que la chair de poisson séché (61 g) » (Ouedraogo, 1987 cité Sanon, 2009).

La production mondiale annuelle de karité est estimée à plus 600000 tonnes avec un potentiel de production de plus 1400000 tonnes (Lovett, 2004 cité par Badini *et al.*, 2011). En côte d'Ivoire, la quantité d'amandes sèches exportée sur les années 2007, 2008, 2009 et 2010 était respectivement de 30495, 38545, 26008 et 20185 tonnes (INS, 2012).

Le beurre de karité qui est exporté est utilisé en cosmétologie, en pâtisserie, confiserie et en pharmacologie. Cependant, l'absence de garanties sur le niveau de la demande internationale et l'incertitude sur le cours des prix à l'exportation constituent des contraintes pour la filière Karité (Akossongo, 2014).

Sur le plan économique, les amandes et le beurre font l'objet d'un commerce local et international (Sanon, 2009). Selon Lamien (1996) cité par Sanon (2009) « le prix du kilogramme d'amandes varie entre 25 et 117 Francs CFA au Burkina Faso et celui du beurre entre 540 et 1 750 Francs CFA. Quant à la commercialisation des chenilles, le kilogramme coûterait entre 385 et 600 Francs CFA ». En Côte d'Ivoire, au cours de la campagne qui s'étend chaque année de juin à octobre, la récolte des fruits sur les pieds sauvages peuplant les parcs à karité fournit à une femme productrice de beurre un gain estimé entre 85 000 et 100 000 Francs CFA (Diarrassouba *et al.*, 2008). Sur la même campagne, la recette totale issue des ventes d'amandes et de beurre de karité engrangée par une femme commerçante sur les

marchés urbains est chiffrée à 2 300 000 Francs CFA (Diarrassouba *et al.*, 2008). De même, les grossistes des produits du karité peuvent réaliser un bénéfice variant entre 4 et 10 millions de Francs CFA par campagne (Diarrassouba *et al.*, 2008). La commercialisation du beurre et des amandes de karité au niveau international occupe de plus en plus une place importante. Les exportations de beurre et d'amandes vers l'Europe et l'Amérique constituent une source importante de devises pour les pays situés dans la zone de distribution du karité (Bonkougou, 1987; Boffa *et al.*, 1996; Becker et Held, 2001). Le beurre exporté est destiné aux industries cosmétique, chocolatière et les firmes pharmaceutiques (Becker et Held, 2001, Bup *et al.*, 2014 cité par Shu-aib Jakpa *et al.*, 2018).

1.2. Origine et distribution géographique du karité

Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn, est indigène de la zone des savanes guinéennes et soudaniennes en Afrique. Le karité fut décrit pour la première fois sous le nom de *V. paradoxa* par Carl Friedrich Gaertner en 1805. Il a, par la suite, été rebaptisé *Bassia parkii* G Don en 1838 puis *Butyrospermum paradoxum parkii* (G. Don) Kotschy en 1865. La dénomination botanique actuelle est *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn (Ruyssen, 1957). D'après les auteurs Ruyssen (1957) et Terpend (1982) l'aire naturelle du karité se situe entre l'Ouest du Sénégal et l'Est de l'Ouganda (entre les Longitudes 16° Ouest et 34°Est). L'aire de distribution forme une longue bande de 5 000 km avec une largeur de 500 à 750 km (Guira, 1997) sur une superficie d'environ 1 million de km² (Hall *et al.*, 1996) (**Figure 1**). Les aires de répartition des deux sous-espèces de karité (*V. paradoxa* subsp *paradoxa* et *V. paradoxa* subsp *nilotica*) ne se chevauchent pas, bien que la distance qui les sépare soit inférieure à 175 Km (Oyen et Lemmens, 2002). A l'exception du Ghana et du Nigéria où l'on trouve le karité à moins de 50 Km de la côte, on le rencontre à plus de 750 Km de la côte partout ailleurs Bonkougou (1987). Hall *et al.* (1996) indiquent que *Vitellaria* est présent dans 18 pays. La sous-espèce *paradoxa* se rencontre au Sénégal, en Guinée, en Guinée Bissau, au Mali, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Nigeria, au Togo, au Bénin, au Niger, au Tchad, au Cameroun et en République Centrafricaine. La sous-espèce *nilotica* de l'Est du continent est présente en Ethiopie, en République Démocratique du Congo, au Soudan, et en Ouganda. En Côte d'Ivoire, le karité se rencontre au Nord d'une ligne allant de Touba à Bondoukou en passant par Bouaké (Loupe, 1994) (**Figure 2**). « Pour Aubréville (1950), Ruyssen (1957) et Guinko (1984) l'espèce est liée à la présence de l'homme qui assure 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 Nigéria. Toutefois, le Mali et le Burkina Faso sont les deux pays qui se trouvent entièrement à l'intérieur de la zone de prédilection de l'espèce » (Sandwidi, 2012).

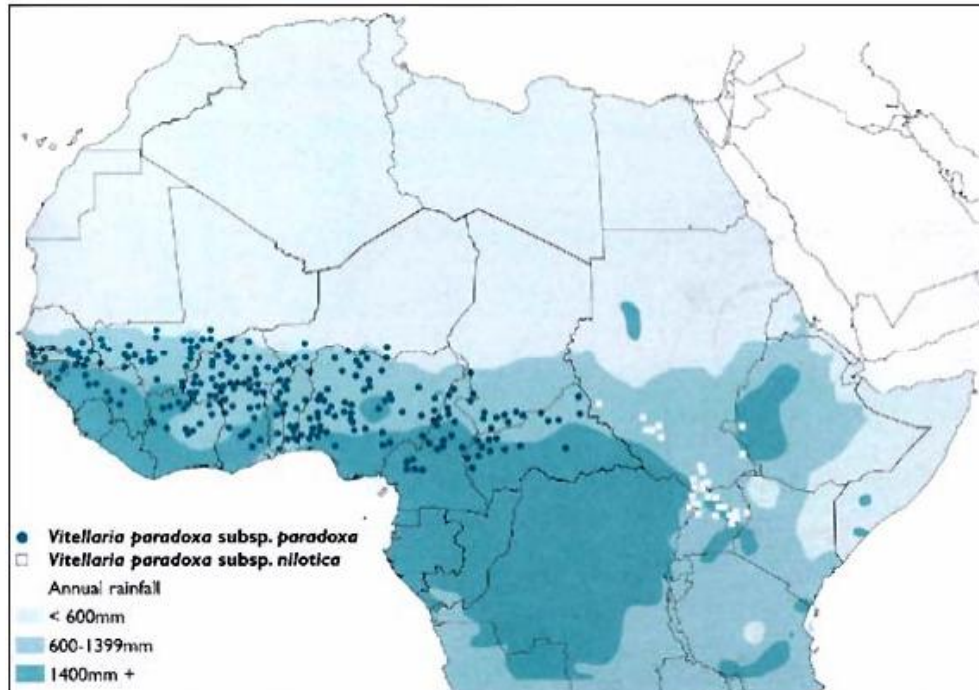


Figure 1: Aire de distribution de *Vitellaria paradoxa* ssp. *paradoxa* et *nilotica* en Afrique (source : Hall et al., 1996)

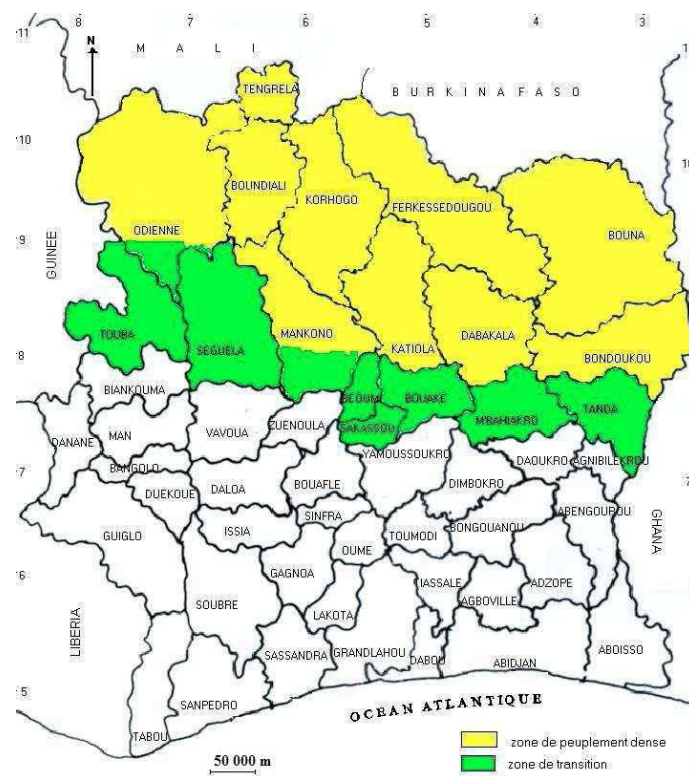


Figure 2: Aire de distribution du karité en Côte d'Ivoire (Diarrassouba, 2008)

- la forme en boule est caractérisée par un étalement rapide des branches secondaires. Ce qui donne un aspect sphérique au houppier de l'arbre. Les arbres possédant la forme en boule auraient des feuilles longues, étroites et claires et des petits fruits;
- La forme en parasol ou balai présente des ramifications secondaires qui s'écartent vers le haut en « V », donnant un aspect de parasol à la cime. Les arbres ayant ce type de houppier se caractériseraient par des larges feuilles et de couleur plus foncée, et une taille de fruits supérieure à celle observée pour les arbres avec la forme en boule.
- La forme érigée ou semi-dressée est intermédiaire entre la forme en parasol et la forme en boule.

Le tronc, d'une forme cylindrique, a une croissance très lente aussi bien en hauteur qu'en diamètre. Le diamètre du tronc pris à 1,30 m de hauteur, dépasse rarement 1 m (Ryussen, 1957 ; Guira, 1997). Il est recouvert d'une écorce gris foncé ou noire, l'écorce est presque lisse chez les jeunes arbres de moins de 15 ans (Guira, 1997). Contrairement aux jeunes plantes, les plantes âgées ont une écorce ligneuse et profondément crevassée en plaques plus ou moins rectangulaires rappelant la peau du crocodile (Sandwidi, 2012). Ce revêtement serait un moyen efficace pour l'arbre dans la résistance contre les feux de brousse.

Le système racinaire est constitué d'un pivot dont le diamètre diminue au fur et à mesure que la racine s'enfonce dans le sol et des racines latérales. La longueur de la racine pivotante est de l'ordre de 0,75 à 1 m (Bamba, 1985) et les racines latérales peuvent, quant à elles, atteindre 20 mètres de long (Bonkougou, 1987). Ces racines auraient une influence négligeable sur les cultures sous-jacentes puisqu'elles commencent à s'étaler à partir de 40 cm de profondeur environ (Bonkougou, 1987).

Le karité possède des feuilles caduques tout comme la plupart des arbres de la zone Soudano-sahélienne (Sanon, 2009). Les feuilles sont simples et sont disposées en rosette ou en spirale à l'extrémité des rameaux (Oyen et Lemmens, 2002). Généralement, le limbe est oblong coriace, luisant, à bords ondulés, au sommet arrondi, vert clair à la face abaxiale et plus foncé à la face adaxiale. La nervure principale est saillante sur la face inférieure et apparaît en clair sur la face supérieure. Les nervures secondaires sont parallèles, alternes et varient entre 20 à 40 paires et partent un peu obliquement au niveau de la nervure principale (Traoré et Yossi, 1987). La longueur et la largeur du limbe varient respectivement entre 10 et 30 cm et entre 3 et 7 cm de large (Guira, 1997 ; Compaoré, 2008 ; Diarrassouba *et al.*, 2007). Quant à la longueur du pétiole, Soro *et al.*, (2011) ont trouvé des valeurs comprises entre 4,93 et 22,20 cm. La longueur moyenne du pétiole obtenue par Soro *et al.*, (2011) est de 8,85 cm. La couleur des jeunes feuilles peut être rougeâtres, verdâtres ou rosâtres en fonction de l'écotype

et sont finement pubescentes avec des poils caducs (Aubréville, 1950 ; Diarrassouba *et al.*, 2009). Les caractéristiques des organes végétatifs sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques des organes végétatifs du karité

	Caractéristiques
Hauteur	15 à 20 m
Houppier	Boule (aspect sphérique ; longues feuilles, étroites et claires ; petits fruits) Parasol (forme en V ; larges feuilles et foncées ; gros fruits) Semi-dressé (intermédiaire)
Tige	Cylindrique, croissance très lente, diamètre à 1m30 (> 1 m)
Racine	Pivotante (longueur 0,75-1m), Latérales (environ 40 m)
Feuille	Caduques, simples, disposition en rosette
limbes	Oblong, bord ondulé, coriace, luisant, sommet arrondi, vert foncé face adaxiale, vert clair face abaxiale, nervures secondaires parallèles, alternes (20 à 40 paires), longueur (10-30 cm), largeur (3-7 cm)
pétiole	Longueur moyenne (8,85 cm) et varie entre 4,93 et 22,20 cm



Figure 3. Arbre de karité dans un champ de maïs (Kaboré *et al.*, 2012)

1.4.2. Appareil reproducteur du karité

1.4.2.1 Inflorescence et fleurs du karité

L'inflorescence du karité est bien caractéristique des *Sapotaceae*. Elle porte, sur les rameaux défeuillés, plusieurs fleurs groupées à l'aisselle des feuilles terminales ou des cicatrices

foliaires (Sandwidi, 2012) (**Figure 4**). Selon Aubréville (1950) la floraison se fait sur les arbres défeuillés, à des époques variables suivant les régions de décembre en avril.

Le nombre de fleurs par inflorescence est très variable et dépasse parfois les cent (100) fleurs (Oyen et Lemmens, 2002). La fleur, hermaphrodite et actinomorphe, se développe à la base de son pédoncule par une très petite bractée (**Figure 4**). Les fleurs de couleur blanche crème, très odorantes, mellifères, sont portées par de longs pédicelles (22-25 cm). L'étude détaillée de la morphologie florale Aubréville (1950) cité par Sanon (2009) révèle que la fleur comprend:

- Un calice dont le nombre de sépales externes varie entre 3 et 9 ; le nombre de sépales internes varie entre 2 et 10. Les sépales et les bractées sont recouverts d'une pubescence brunâtre;
- La corolle possède un nombre de pétales qui varie entre 6 à 10. Les pétales alternent avec les sépales et ils sont glabres, blancs jaunâtres et soudés à la base en un tube;
- L'androcée est composé de 8 à 10 étamines disposées en un seul cycle. Ces étamines sont soudées aux pétales par la base de leurs filets auxquels elles sont opposées. Les grains de pollen sont de couleur blanche brillante et sont visibles à la loupe.

Les premières fleurs sont stériles au cours des 3 premières années de floraison. C'est 3 à 4 ans après la première floraison que le karité porte quelques fruits (Traoré *et al.*, 1987 cité par (Sandwidi, 2012).



Figure 4. Fleurs du karité (Rousseau, 2016)

1.4.2.2. Fruits et noix du karité

Le fruit du karité est une baie subglobuleuse, ovoïde ou ellipsoïde, longue de 4 à 5 cm et 4 à 5 cm de large, porté par des pédoncules dont la longueur varie entre 1,5 et 3 cm. Le péricarpe est épais (4 à 8 cm) et les fruits non mûrs contiennent du latex. A maturité, ils sont dépourvus de du latex. La pulpe, très charnue et sucrée, est consommée pendant la période de soudure par les populations rurales (Aubréville, 1950). Le fruit renferme généralement une graine mais parfois on trouve deux ou trois, et plus rarement quatre.

Les graines globuleuses ou largement ellipsoïdes sont caractérisées par leur tégument luisant, avec une large cicatrice au niveau de l'axe. La noix contient une amande qui représente de 60 à 84% du poids total quand elles sont sèches. Le poids moyen d'une noix sèche est d'environ 6 g (Sanon, 2009). L'amande est constituée de deux cotylédons épais, charnus, fortement comprimés et d'une radicule non-saillante (Oyen et Lemmens, 2002). La teneur en matières grasses des amandes sèches varie entre 29, 1% et 55,5% (Delolme, 1947).

1.5. Ecologie du karité

Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn. est une espèce indigène de la zone des savanes guinéennes et soudaniennes. L'écologie du karité est influencée par plusieurs facteurs du milieu. Selon Nouvellet *et al* (2006), sur le plan climatique, il est présent dans les savanes où les précipitations annuelles varient entre 600 et 1400 mm avec une période sèche de 5 à 7 mois.

Le karité est fréquemment rencontré sur les terrains plats, les bas glacis et peu fréquent sur les hauts glacis. Il se rencontre rarement sur les versants et il est presque absent dans les vallées (Senou, 2000). Comme la répartition, la densité et la circonférence varient en fonction de l'endroit où poussent les arbres de karité. Aubréville (1950) notait la présence du karité dans la région montagneuse de l'ouest du Cameroun à 1300 m d'altitude. Les deux sous-espèces, *nilotica* et *paradoxa*, ont une répartition écologique différente. La sous-espèce *paradoxa* pousse généralement dans les plaines et les bas-plateaux où l'altitude varie entre 100 et 600 m, avec des températures annuelles moyennes oscillant entre 25 et 29°C. Aussi la sous-espèce *paradoxa* est rencontrée dans les zones qui ont une pluviométrie annuelle moyenne entre 600 et 1400 mm et une saison sèche plus longue qui dure 5 à 8 mois. Quant à la sous espèce *nilotica*, elle se rencontre dans des régions où les altitudes sont comprises entre 450 et 1600 m, avec une pluviométrie moyenne annuelle oscillant entre 900 et 1400 mm et la période de sécheresse est plus courte que celle de la sous-espèce *paradoxa* et dure entre 3 et 5 mois (Oyen et Lemmens, 2002).

Sur le plan édaphique, le karité pousse sur des sols argileux, argilo-sableux, caillouteux et latéritiques. Mais il est beaucoup rencontré sur les sols argileux ou sableux avec une bonne couche d'humus, les pentes colluviales moyennement humides, profonds, riches en matière organique. Il est absent dans des endroits tels le bord des cours d'eau, les sols argileux et lourds et toutes les stations marécageuses soumises aux inondations prolongées. (Senou, 2000 ; Oyen et Lemmens, 2002).

Sur le plan phytosociologique, le karité est abondant dans les savanes arbustives et est faiblement représenté dans les savanes boisées et arborées. Pour Senou (2000) le karité pourrait être sensible à la compétition interspécifique. C'est une espèce qui aime la lumière, les stations dégagées et aérées (Hans Jürgen, 1992). Cependant il est fréquemment rencontré en association avec plusieurs d'autres espèces ligneuses. Guinko (1984) souligne, au Burkina Faso, que le karité cohabite avec des espèces comme: *Parkia biglobosa*, *Isobemilia dalzielii*, *Isobemilia doka*, *Anogeissus leiocarpus*, *Burkea africana*, *Cussonia barteri*, *Monotes kerstingii* et *Lophira lanceolata*. Diarrassouba (2008) a fait aussi cas de l'influence et de l'association du karité avec d'autres espèces ligneuses (*Adansonia digitata*, *Daniellia oliveri*, *Parkia biglobosa*, *Vitex doniana*, *Azzeria africana*, *Sterculia setigera* et *Tamarindus indica*) dans le système de production qui associe les cultures annuelles en Côte d'Ivoire.

1.6. Modes de reproduction, fécondation et développement du fruit du karité

Selon Chevalier (1948), les fleurs sont fréquemment polygames hétérostylées : les mâles à styles courts inclus dans le bouton floral tombent peu de temps après l'épanouissement de la fleur; les hermaphrodites, à style saillant hors du bouton, sont peu nombreuses (2 à 4 par ombelle) et après la chute de la corolle elles laissent un jeune fruit d'abord pubescent. Les fleurs d'une ombelle fleurissent successivement, les mâles les premières. La fécondation croisée est majoritaire mais l'autofécondation est aussi possible et celle-ci est liée à l'anatomie de la fleur dont l'ouverture des anthères se fait en retard par rapport à la maturité de l'ovaire. Aussi selon Chevalier (1948), la fécondation est ordinairement croisée mais cela n'exclut pas le fait que parfois les fleurs mâles d'une ombelle peuvent féconder des fleurs longistyles de la même ombelle si la maturité sexuelle est atteinte. Les expériences de Halfff citées par Delolme (1947) à Ferkéssédougou ont obtenu 9,6% de nouaison par autofécondation contre 23% pour les fleurs témoin non ensachées.

Ce sont les insectes et principalement les abeilles qui contribuent à la pollinisation. Le vent quand il en survient peut aussi jouer un rôle. Toutefois on observe qu'il y a très peu d'insectes sur les fleurs de karité pendant la journée. Chevalier (1948) conclut que la sortie des insectes

est contrariée par le vent Nord-est qui souffle fortement au moment de la floraison. C'est sans doute la nuit et en matinée que la plupart des insectes viennent butiner. Dans tous les pays de la zone soudanaise chaque arbre à karité porte ordinairement sur ses branches une ou plusieurs ruches à abeilles.

Aussitôt après la floraison, les jeunes fruits, au nombre de 1 à 5, se développent en baies monospermes globuleuses ou ovoïdes. À partir de la floraison, les fruits mettent environ 4 mois pour mûrir. La fructification est irrégulière d'une année à l'autre (Bonkougou, 1987; Guira, 1997; Kelly, 2005 ; Lamien, 2006).

1.7. Production fruitière du karité

Minoungou (1988) cité par Serpantié (1996) a montré que le cycle de développement du karité est particulièrement long puisque le cycle de reproduction commence lorsque les arbres ont atteint un âge de 15-20 ans dans le meilleur des cas, et que la production économique est observée vers 40 ans. Ainsi au Burkina Faso, la plantation de karité de l'Institut de Recherche sur les Huiles et les Oléagineux (I.R.H.O.) de 1955 avec une densité de 150 pieds par hectare sur 2 hectares ne produisait en 1987 que sur 15% des pieds, avec une production faible, par arbre, comprise entre 1,2 et 9,1 kg de fruits par an.

Les études de production dans les peuplements naturels faites par l'I.R.H.O à Niangoloko (au Burkina Faso) dans les années 1950 ont montré qu'il existe un fort polymorphisme qui se traduit par une grande variation dans la productivité des arbres. Ainsi, ces études ont montré que plus de la moitié des arbres ne présentent pas de production, tandis que 25% environ sont de bons producteurs, dont les deux tiers sont réguliers. Pour ce même auteur, la production des arbres de karité semble liée au port de l'arbre. En effet 50% des bons producteurs (plus de 12 kg de noix fraîches par année) ont le port en boule alors que la forme en balai apparaît moins productive. Il ajoute à cela la densité de feuillage et la maturité des arbres comme de bons critères de productivité. En conditions où les feux de brousse sont contrôlés, la fructification a lieu vers 20 ans, et elle se produit vers 40 ans en condition de passage fréquent des feux de brousse fréquents. L'âge de pleine production est compris entre 40 et 100 ans (Serpantié, 1996).

Les rendements les plus élevés tournent autour de 50 kg d'amandes sèches par arbre. Le rendement moyen par arbre mature au Mali se situe autour de 27 kg de fruit (Bagnoud *et al.*, 1995) soit environ 6 kg d'amandes sèches. Selon Picasso (1984), les essais de fertilisation de l'arbre et de travail du sol plus le désherbage n'ont pas donné de résultats probants.

Les attaques de bioagresseurs tels que les plantes parasites (*Tapinanthus spp.*) et plusieurs ravageurs (chenilles spécifiques du karité, (*Cirina butyrospermii*) pyrales) sont avérées, mais leur impact sur la production n'est pas encore chiffré (Sallé *et al.*, 1991).

Les productions subissent des variations interannuelles importantes, que ce soit au niveau d'un arbre, d'un site et même d'une région, selon une périodicité de 2 à 5 ans. Il est difficile de relier ces variations à des spécificités climatiques. Il existe donc deux types de théories de l'élaboration de la production annuelle. Il y a les théories basées sur l'alternance, et celles qui font référence à des processus déterministes directs (tels les besoins en eau, le parasitisme, les températures, les vents etc.) pendant la floraison et la fructification. Après 10 ans de suivi de la production de 9 arbres de karité, Delolme (1947) cité par Serpantié (1996) penche en faveur de la théorie de l'alternance en observant qu'une production abondante est suivie par au moins une mauvaise.

1.8. Germination des semences de karité

Les graines fraîches, des fruits murs tombant au sol, germent rapidement. Cependant, le début de la levée sera observé au moins un mois après la germination, car le système racinaire de la plantule se développe avant la tige (Picasso, 1984). Selon Zerbo (1987), la germination comporte les étapes suivantes: « l'embryon perce la graine du côté de l'angle aigu de la cicatrice. L'organe qui émerge est d'une couleur blanchâtre et se recourbe pour s'enfoncer dans le sol avec toutes les apparences d'une radicule. Une fois dans le sol, cet organe se renfle à 5-7cm de profondeur. Au niveau de ce renflement naît une tigelle alors que la partie inférieure se gonfle davantage et développe des racines latérales ». Ce type de germination fut appelé « germination cryptogée » par Jackson en 1965 car différent des schémas classiques de germination épigée et hypogée (Bonkoungou, 1987 cité par Sanon, 2009). La graine a un pouvoir germinatif d'environ 99% lorsque sa teneur en humidité se situe entre 41 et 48% (Sacandé *et al.*, 2004). Cependant, le pouvoir de germinatif peut diminuer jusqu'à 0% lorsque la teneur en eau se situe entre 35 et 15% faisant du karité une espèce récalcitrante (Daws *et al.*, 2004). Les températures qui sont favorables à la germination se situent entre 16 et 36°C. Les semis mis en place à la mi-mai donnent les meilleurs résultats avec une profondeur de semis de 5 cm (Picasso, 1984).

1.9. Marqueurs génétiques et diversité du karité

Plusieurs types de marqueurs sont utilisés pour explorer la diversité génétique des plantes. Nous pouvons citer entre autres les marqueurs morphologiques, les marqueurs biochimiques et les marqueurs moléculaires. L'analyse des descripteurs morphologiques révèle la diversité

telle qu'elle est perçue et sélectionnée par les agriculteurs locaux, principaux acteurs de la gestion de la diversité variétale (McKey *et al.*, 2001 ; Pinton et Emperaire, 2001). L'analyse de la diversité génétique neutre (marqueurs microsatellites) permet de comprendre la structuration spatiale de la diversité et de construire des hypothèses sur les différents événements à la diffusion de la plante. Les marqueurs génétiques sont utiles pour la recherche comme outils de caractérisation de la diversité des ressources phytogénétiques et de la recherche des variants fonctionnels des gènes pertinents.

1.9.1. Marqueurs morphologiques et diversité du karité

L'expression des marqueurs morphologiques est influencée par les conditions environnementales. Cependant, les marqueurs morphologiques constituent encore un outil incontournable et puissant d'évaluation. En effet, lors de la régénération d'une collection végétale il est indispensable de disposer d'une liste de descripteurs morphologiques hautement discriminants (Yao *et al.*, 2015). Il existe plusieurs descripteurs disponibles pour le karité (IPGRI et INIA, 2006 ; Diarassouba *et al.*, 2007 ; Yao *et al.*, 2015). Ces descripteurs permettent de distinguer facilement et rapidement les phénotypes. Les descripteurs morphologiques révèlent une large diversité au sein des espèces végétales (Diarassouba *et al.*, 2007 ; Yao *et al.*, 2015).

Sur le karité, des descripteurs comme hauteur du fut (HFUT), la hauteur du houppier(HHOU), circonférence du tronc à 1,30 m du sol (CIR), la longueur du limbe (LLM), la largeur du limbe (LALM), la longueur du pétiole (LPET), la longueur du fruit (LFRU), la longueur de la noix (LNOI), la longueur du petit axe du fruit (LAFRU), la longueur du pédoncule (LPED), la longueur du petit axe de la noix (LANOI) ont été utilisés (Diarrassouba *et al.*, 2007 ; Soro, 2016). L'évaluation phénotypique des caractères quantitatifs et qualitatifs peut être effectuée sur l'inflorescence, les fruits, les graines, les feuilles, la tige et les racines, *etc.*

Plusieurs travaux de recherche ont contribué à la mise en évidence de la diversité morphologique au sein de l'espèce *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.. En plus des caractères pomologiques cités comme étant les plus discriminants chez le karité, les caractères foliaires notamment les formes de la base, du sommet, de la pubescence, de la marge et de la nervure des feuilles sont aussi utilisés pour décrire les individus au sein des peuplements de karité (Aubreville, 1950 ; Hutchinson, 1958 ; Berhaut, 1967 ; Berg, 1985).

Au Tchad, environ 6 morphotypes ont été décrits à partir des caractères macromorphologiques liés à la forme du fruit et qui se sont révélés être les plus discriminants (Djékota, 2008).

Ruysen (1957) et Boffa *et al.* (1996) ont montré qu'en Afrique occidentale les poids des fruits récoltés sur les karités variaient de 10 à 57 g.

En Côte d'Ivoire, Diarrassouba *et al.* (2009) ont mené une étude qui a porté sur l'analyse de 14 caractères morphologiques qualitatifs sur 124 à 300 arbres, selon les caractères, du parc à karité de Tengréla. Les résultats ont montré l'existence d'une variabilité de la plupart de ces caractères. Quatre formes du houppier (boule, balai, parasol et dressé), 5 formes chez le fruit (arrondie, ovoïde, poire renversée, fusiforme, et ellipsoïde), 4 expressions phénotypiques de la couleur de la noix (brun clair, brun foncé, brun grisâtre et brun noirâtre), 3 phénotypes des jeunes fruits et feuilles (vert clair, violacé et rougeâtre) et 3 orientations des rameaux ont été observés. Un total de neuf morphotypes a été décrit dont cinq à partir des caractères morphologiques (**figure 5**). La distinction entre les morphotypes a été faite essentiellement sur la base de la forme et de la dimension des fruits et des feuilles. De même, Soro *et al.* (2011) ont montré que le karité présente une importante variabilité morphologique selon le port végétatif, d'une part, et les mensurations des feuilles et des fruits, d'autre part. En particulier, cinq formes de fruits permettant de différencier les types de karité ont été mises en évidence (Soro *et al.*, 2011).



Figure 5. Variabilité de la forme du fruit du karité (Diarrassouba *et al.*, 2009)



Figure 6. Variabilité dans la coloration des jeunes rameaux de karité (Diarrassouba *et al.*, 2009)

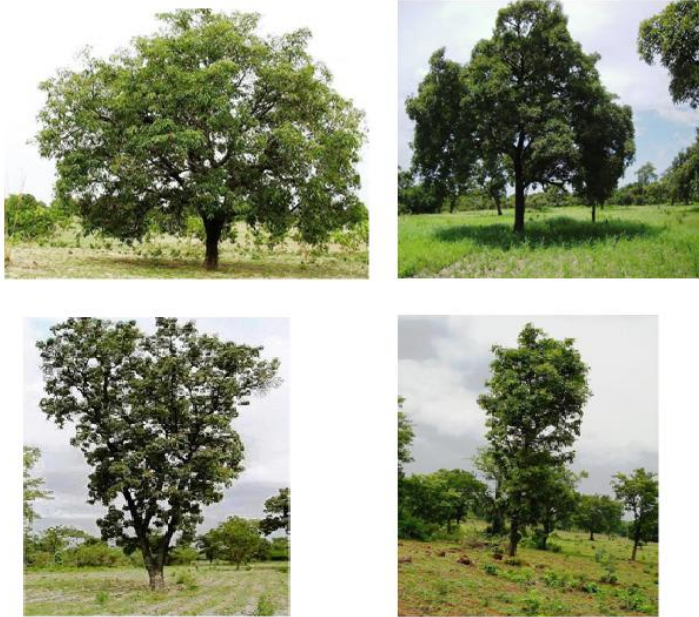


Figure 7. Variabilité de la forme du houppier du karité (Diarrassouba *et al.*, 2009)



Figure 8: Variabilité de la coloration des jeunes fruits de karité (Diarrassouba *et al.*, 2009)



Figure 9: Variabilité de la coloration des noix de karité (Diarrassouba *et al.*, 2009)

1.9.2. Marqueurs biochimiques et diversité du karité

Les protéines sont les produits directs de l'expression des gènes. Identifier une protéine, c'est disposer d'un marqueur biochimique du gène correspondant. L'expression des allèles est co-dominante, ce qui permet de distinguer les homozygotes des hétérozygotes (Soro, 2016). Deux grandes catégories sont distinguées dans les protéines des végétaux. Il s'agit des protéines de réserve, présentes principalement dans les graines et des protéines à fonction catalytique ou enzymes.

La diversité intra et inter-accession a été sondée sur 294 accessions de karité à l'aide de marqueurs biochimiques tels que les isoenzymes (Lovett et Haq, 2000). Ainsi sur dix systèmes enzymatiques testés seuls trois ont donné des résultats. Il s'agit de l'estérase (EST), l'alcool déshydrogénase (ADH) et le glutamate oxaloacetate transaminase (GOT). Un locus monomorphe a été identifié à l'origine pour le GOT, bien qu'il ait été exclu de l'analyse en raison d'un manque de confiance dans les résultats à cause du frottis de la bande. Seulement EST et ADH ont été polymorphes (Lovett et Haq, 2000, Soro, 2016). Le taux d'hétérozygotie a été de 0,2142 et un flux de gènes important a été observé entre les accessions de karité du Ghana ($F_{ST} = 0,0124$ et $Nm = 19,9$) (Lovett et Haq, 2000 ; Soro, 2016).

En Côte d'Ivoire, aucune étude basée sur l'emploi de marqueurs isoenzymatiques ainsi que des caractères physico-chimiques n'a été réalisée pour évaluer la diversité génétique au sein des populations locales de karité (Soro, 2016).

1.8.3. Marqueurs moléculaires et diversité du karité

Un marqueur moléculaire est un locus polymorphe qui renseigne sur le génotype de l'individu qui le porte (Bouchra *et al.* 2003). Les marqueurs moléculaires permettent une analyse directe du polymorphisme des séquences d'ADN pour dresser une carte génétique. Plusieurs marqueurs moléculaires sont utilisés pour identifier le génotype des différentes plantes : *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD), *Amplified Fragment Length Polymorphism* (AFLP), *Simple Sequence Repeats* (SSRs), *Restriction Fragment Length Polymorphism*

(RFLP), *single-nucleotide polymorphism* (SNP), *Target Region Amplification Polymorphism* (TRAP), (Abdou *et al.*, 2015).

La recherche de la diversité moléculaire du karité a été réalisée à l'aide de deux principaux types de marqueurs moléculaire. Il s'agit des marqueurs de types RAPD et microsatellite (Soro *et al.*, 2016). Fontaine *et al.* (2004) ont mené une étude sur la diversité génétique du karité dans huit pays couvrant la grande partie de l'aire de répartition naturelle du Sénégal à l'Ouganda. Au total 67 loci RAPD polymorphes et 15 loci RAPD monomorphes ont été détecté grâce à 15 amorces RAPD (OPB7, OPB11, OPN15, OPR15, OPW9, OPW12, OPW13, OPX3, OPX6, OPX11, OPY6, OPY13, OPY20, OPW5 et OPW19) au sein et entre 171 arbres échantillonnés dans des populations de karité au Bénin, Burkina, Côte d'Ivoire, Mali, Sénégal, Centrafrique, Cameroun et Ouganda (Soro *et al.*, 2016). La variabilité trouvée au sein et entre les populations était respectivement de 23 et 77%. Ainsi, le dendrogramme réalisé à partir des loci RAPD a révélé deux sous-groupes de populations renfermant d'une part celles du Burkina Faso, de Côte d'Ivoire, du Mali et du Sénégal et d'autre part celles du Cameroun, Centrafrique et Ouganda (Fontaine *et al.*, 2004). Les distances génétiques entre la population de karité collectée à Dolekaha (Côte d'Ivoire) et les populations du Sénégal (Samecouta), du Mali (Mperesso) et du Burkina Faso (Sapone) sont plus proches (**Figure 10**). L'utilisation de marqueurs microsatellites localisés dans le chloroplaste (C_p SSR) a permis d'affiner la classification précédemment établie à partir des marqueurs RAPD. Les quatre marqueurs C_p SSR (Ccmp3, Ccmp5, Ntcp8 et Ntcp9) polymorphes utilisés ont permis d'identifier quatre sous-groupes au lieu de deux. Le premier sous-groupe comprend les populations de karité du Mali, Burkina Faso et Côte d'Ivoire. Le deuxième sous-groupe comprend celles du Benin et Ouganda. Le troisième groupe comprend celles de Centrafrique et du Sénégal. Le quatrième groupe comprend les populations du Cameroun (**Figure 11**) (Fontaine *et al.*, 2004). A partir des marqueurs C_p SSR, sept haplotypes (A, B, C, D, E, F et G) de karité ont été identifiés (**Figure 12**). Seulement les haplotypes B et D sont présents en Côte d'Ivoire (Fontaine *et al.*, 2004).

Un total de 14 marqueurs microsatellites polymorphes localisés dans le noyau (mCIRVp8, mCIRVp14, mCIRVp28, mCIRVp170, mCIRVp113, mCIRVp134, mCIRVp159, mCIRVp167, mCIRVp168, mCIRVp170, mCIRVp175, mCIRVp181, mCIRVp190 et mCIRVp191) ont été développés par Allal *et al.* (2008) pour les études de diversité moléculaires du karité. Des effectifs de 10 et 11 de ces marqueurs SSR ont été utilisés pour évaluer la diversité moléculaire respectivement des ethno-variétés identifiées en Ouganda (Gwali *et al.*, 2014) et des variétés de karité du Ghana (Abdulai *et al.*, 2016).

En Côte d'Ivoire le recours aux marqueurs moléculaires pour évaluer la diversité génétique au sein des populations locales de karité n'a jamais été abordé (Soro *et al.*, 2016).

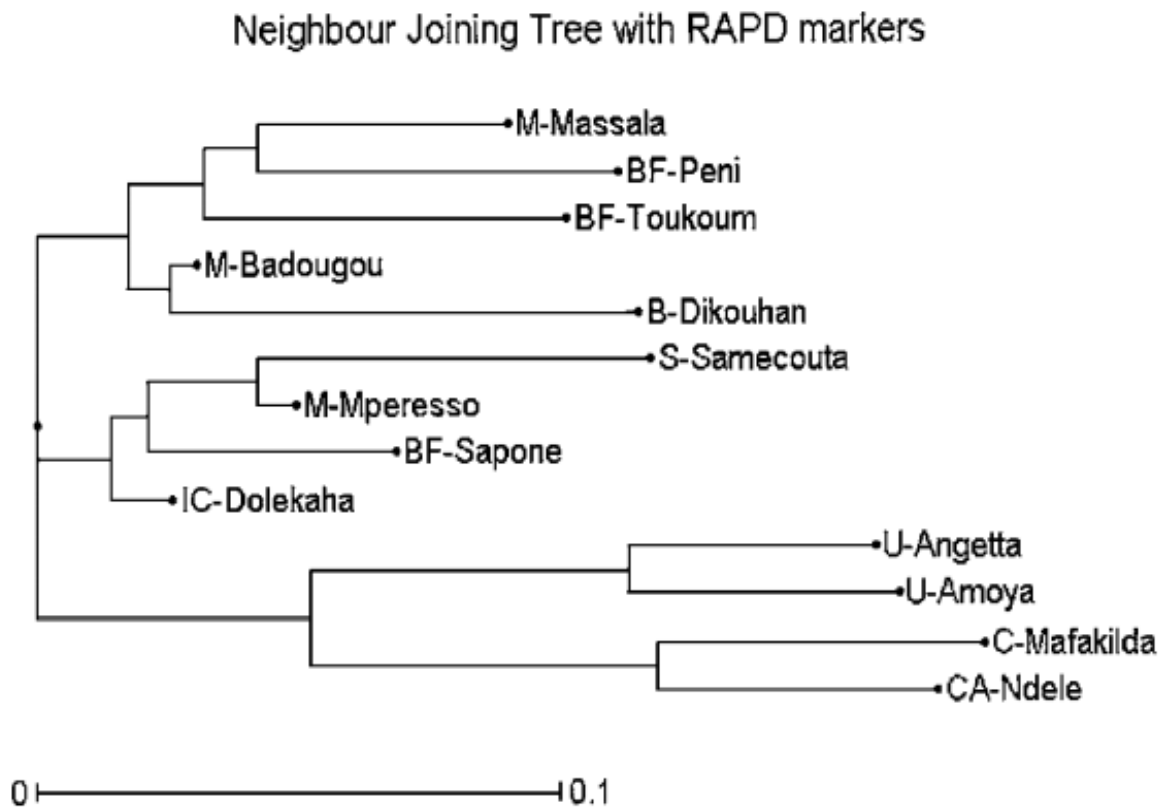


Figure 10. Dendrogramme construit à partir des marqueurs RAPD montrant les lien phylogénétiques entre les populations de karité collectées au Bénin (B), Burkina (BF), Côte d'Ivoire (IC), Mali (M), Sénégal (S), Centrafrique (CA), Cameroun (C) et Uganda (U) (Fontaine *et al.*, 2004 cité par Soro, 2016).

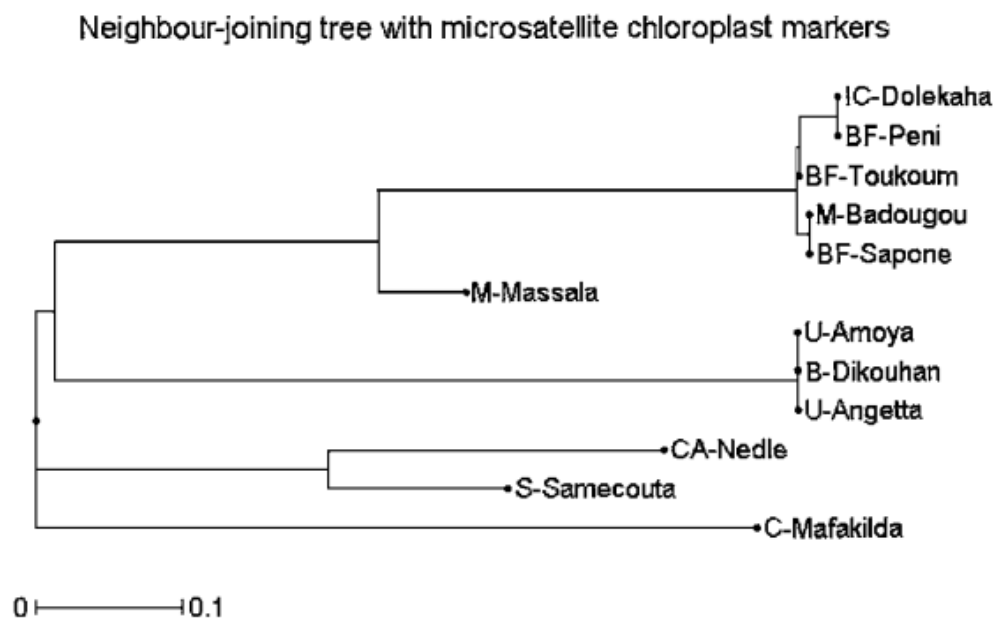


Figure 11. Dendrogramme construit à partir des marqueurs SSRs chloroplastiques (CpSSR) montrant les lien phylogénétiques entre les populations de karité collectées au Bénin (B), Burkina (BF), Côte d'Ivoire (IC), Mali (M), Sénégal (S), Centrafrique (CA), Cameroun (C) et Ouganda (U) (Fontaine *et al.*, 2004 cité par Soro, 2016)

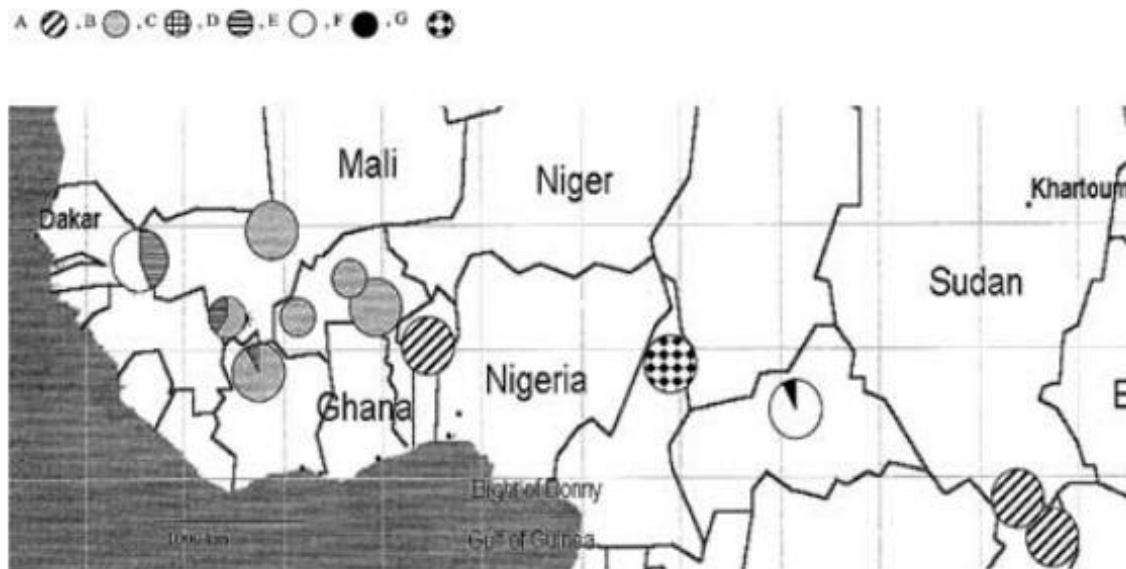


Figure 12: Répartition géographique des haplotypes A, B, C, D, E, F et G de karité révélés à partir des marqueurs SSRs chloroplastiques (Fontaine *et al.*, 2004 cité par Soro, 2016).

1.10. Objectifs de l'étude

Cette étude est inscrite dans un projet de recherche de l'Université Péléforo Gon Coulibaly (UPGC) intitulé : Identification participative et caractérisation des arbres élités de karité dans la zone de production en Côte d'Ivoire. Ce projet de recherche, vise à moyen terme à améliorer les rendements du karité par la mise à disposition de matériel de plantation performant avec des itinéraires techniques adaptés.

La première phase de ce projet consistait à identifier les arbres élités de karité dans la zone de production. Elle a été menée sous-forme d'enquête au près des paysans pour l'identification des arbres élités de karité. Ces arbres élités de karité choisis par les producteurs eux-mêmes en se basant en général sur des critères comme le rendement élevé en fruits de l'arbre, le goût sucré de la pulpe du fruit, la grosseur du fruit et la précocité de la floraison ont été géo-référencés par les enquêteurs. Au total, 639 arbres élités de karité ont été identifiés sur les exploitations agricoles paysannes de 406 producteurs des régions de la Bagoué et du Tchologo couvrant les départements de Boundiali, Kouto, Tengréla, Ferkéssédougou, Kong et Ouangolodougou.

Jusqu'aujourd'hui, les caractéristiques morphologiques de ces individus élites ne sont pas connues. Notre étude se donne donc pour objectif de caractériser au plan morphologique les individus élites identifiés par la détermination des caractères morphologiques les plus pertinents pour décrire les karités élites et de les typer suivant les caractères pertinents identifiés.

La caractérisation morphologique consistera en la mesure des paramètres quantitatifs et en la description des paramètres qualitatifs des différents arbres choisis dans les plantations paysannes.

Une structuration des variables utilisant une Analyse en Composante Principale permettra d'identifier les caractères qui expliquent à un niveau élevé les variabilités des arbres élites.

Une Classification Ascendante Hiérarchique permettra de structurer et de typer les arbres élites en des groupes phénotypiques.

A ces deux analyses s'ajoutent des calculs statistiques plus élémentaires comme la moyenne, le coefficient de variation et des corrélations entre les variables.

Deuxième partie :
MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone de l'étude

2.1.1. Localisation géographique de la zone d'étude

La Côte d'Ivoire est un pays de l'Afrique francophone, située en Afrique de l'Ouest dans la zone intertropicale humide. Elle a une superficie de 322 460 km² et est limitée au sud par le golfe de Guinée sur une côte de 550 km, à l'ouest par la Guinée et le Libéria, au nord par le Burkina Faso et le Mali, et à l'est par le Ghana (FAO, 2005).

L'étude a été menée dans les régions du Tchologo et de la Bagoué au nord de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°11' et 6°29' Ouest et les latitudes 9°31' et 9°35' Nord. Ces régions dans lesquelles le matériel végétal a été collecté sont deux (2) des neuf (9) régions de la Côte d'Ivoire où poussent naturellement le karité, sur les 31 que compte le pays. Ces deux régions et la région du Poro, constituent ensemble le district des savanes.

La Région du Tchologo couvre une superficie de 17 382 km² avec une population de 467 958 habitants (RGPH 2014) soit une densité de 26,92 habitants/Km². Elle est composée de trois Départements qui sont : Ferkessédougou, Kong et Ouangolodougou.

Selon les données issues du recensement général des populations et de l'habitat (RGPH) de 2014, la population est estimée à environ 375 687 habitants sur le territoire régional de la Bagoué dont la surface est 10678 Km² soit une densité de 35,2 habitants/Km². La région de la Bagoué est également constituée de trois (3) départements à savoir Boundiali, Kouto et Tengréla.

Les régions du Tchologo et de la Bagoué font partir de la zone du pays qui est la moins peuplée selon le RGPH 2014 soit une densité de 33,31 habitants/Km² contre 70,3 habitants/Km² à l'échelle nationale.

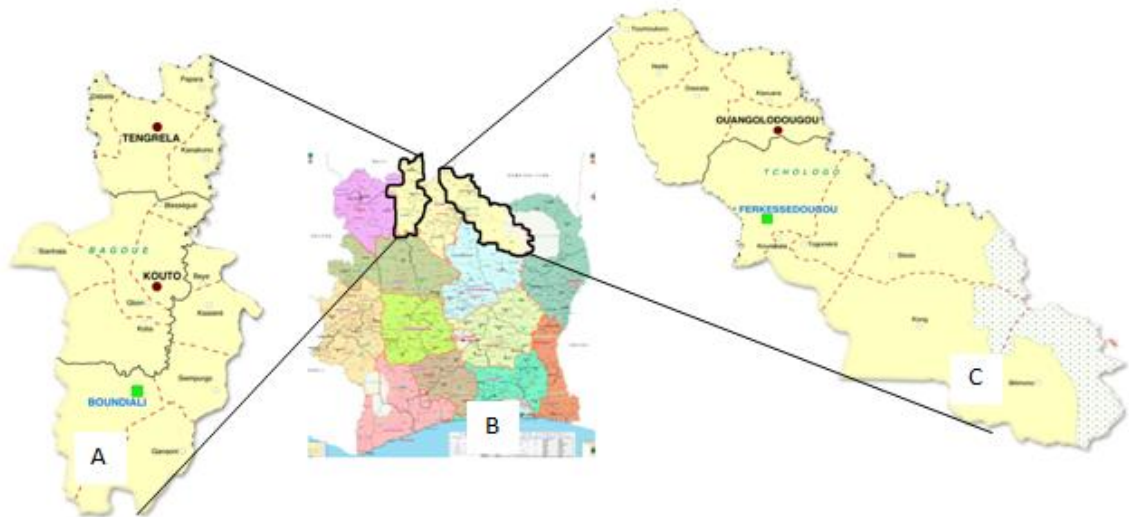


Figure 13: A: Carte régionale de la Bagoué; B: Organisation Administrative de Côte d'Ivoire; C: Carte régionale du Tchologo

2.1.2. Climat de la zone d'étude

Le climat rencontré est de type soudanais avec deux grandes saisons :

- Une saison sèche de novembre à avril. La saison sèche est accompagnée par l'Harmatan entre les mois de décembre et février ainsi que des pointes de chaleur entre mars et avril ;
- Une saison pluvieuse de mai à octobre avec des pics en août et septembre. La pluviométrie annuelle oscille autour 1200 mm de pluie (Brou, 2005).

2.1.3. Relief et végétation de la zone d'étude

Les régions du Tchologo et de la Bagoué sont caractérisées par un relief monotone, avec des altitudes variant, en moyenne, entre 300 et 400 m, surmontés par endroits de quelques élévations isolées (inselbergs granitiques) pouvant dépasser les 500 m d'altitudes. On y trouve aussi des plateaux latéritiques pouvant atteindre quelquefois trois mètres de hauteurs, témoins d'anciennes pénéplaines. Ces plateaux sont affectés d'une pente très faible et régulière et on y observe des galeries forestières le long des cours d'eau, constituées d'une végétation de type soudano-guinéen avec une prédominance de savanes arborée et herbeuse (Brou, 2005 cité par N'guessan et *al.*, 2015).

2.1.4. Caractéristiques pédologiques de la zone d'étude

«Les formations géologiques de la zone sont constituées d'une succession de bandes de roches schisteuses, de roches magmatiques et de roches plutoniques. Il s'agit essentiellement de granites, de granodiorites, de schistes indifférenciés et des schistes sériciteux (Yace, 2002)

dont dérivent plusieurs types de sols, à savoir : des Ferralsols, des Cambisols, des Fluvisols et des Luvisols (Koné *et al.*, 2009) » (N'guessan et al., 2015).

2.2. Matériel

Pour mener à bien notre étude, plusieurs matériels nous ont été nécessaires. Il s'agit du matériel biologique représenté ici par le végétal sur lequel l'étude est menée et de matériel technique pour faciliter l'étude et conduire aux résultats escomptés.

2.2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de plantes de karité recensées comme plantes élités par l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER). En effet l'ANADER a été mandatée par le porteur du projet sur le karité de l'UPGC pour faire une étude sous la forme d'une enquête au près des paysans de la zone d'étude. Au total 639 arbres ont été identifiés et géoréférencés. Notre étude porte sur 220 de ces arbres identifiés. Les critères de choix de ces arbres sont présentés au paragraphe 2.3. méthode.

Tableau 2: Caractéristiques du matériel végétal

Région	Zone de collecte	Cordonnées GPS de la zone de collecte	Nombre d'individus	Total
Bagoué	Boundiali	9°33'55 Nord, 6°10'894 Ouest	23	146
	Kouto	10°11'831 Nord, 6°15'225 Ouest	50	
	Tengréla	10°71'247 Nord, 5°39'119 Ouest	73	
Tchologo	Ferké	9°54'604 Nord, 5°09'634 Ouest	21	74
	Kong	9°30'05 Nord, 4°36'785 Ouest	41	
	Ouangolo	10°25'042 Nord, 5°07'106 Ouest	12	
				220

2.2.2. Matériel technique

Au cours de cette étude, le matériel technique était composé : d'étiquettes; de petits sacs tissés en coton dans lesquels étaient mis les échantillons collectés ; d'un double décimètre de 30 cm pour les mesures des différentes variables biométriques sur les feuilles ; d'une balance de précision (précision = 0,1 mg) pour la pesée des noix ; d'un pied à coulisse pour les mesures des variables biométriques sur la noix ; d'un ruban métrique pour la mesure de la circonférence à 130 cm ; et des fiches de collecte de données (**Annexes**).



Figure 14: Matériel technique utilisé

2.3. Méthodes

2.3.1. Choix des individus élites de karité

Les arbres élites de karité ont été choisis sur la base des critères suivants : le rendement élevé en fruit, la précocité de la floraison, la taille des fruits et noix et la régularité de production fournies par les paysans. Les 220 arbres élites sur lesquels a porté cette étude ont été choisis de façon aléatoire dans chacune des régions dans une population totale de 639 arbres.

2.3.2. Collecte des données morphologiques sur les individus élites de karité

La collecte des données a été effectuée par l'équipe du projet karité de l'UPGC en deux passages. Le premier passage était pendant le début de la feuillaison pour collecter les caractères liés aux jeunes feuilles et aux troncs et le second pendant la période de maturité des fruits pour la collecte des données liées aux feuilles adultes et aux noix. Sur toute la zone d'étude, il a été récolté sur chaque arbre 1 à 2 rameaux de feuilles dans les parties basses de la couronne des arbres, puisqu'il n'y a pas de grande variabilité morphologique des feuilles dans l'ensemble du houppier (Guira., 1997). Ensuite, un prélèvement de 5 feuilles saines par arbre est effectué. La récolte a été effectuée pendant la période de fructification des arbres où les fruits étaient à maturité. Dix fruits ont été ramassés en dessous de chez arbre. Ces fruits et les feuilles ont été conservés dans des sacs tissés en coton pour éviter tout dessèchement sur le terrain. Dans le même sac, on a introduit une étiquette correspondant au numéro de l'arbre élite attribué par l'ANADER pour ensuite procéder aux différentes mesures. Disposant d'une

fiche de collecte sur laquelle étaient dessinés et énumérés les caractères qualitatifs des arbres qu'on cochait à chaque fois qu'un caractère est trouvé (Annexe 1).

2.3.2 Variables mesurées et observées

❖ A l'échelle des arbres

La seule mesure sur chaque arbre a concerné la circonférence de la tige à 130 cm (CIR 130 cm). Quant aux observations, elles ont concerné :

- La forme de la couronne foliaire (FCF)
 - Le port de l'arbre (PA)
 - Le type de ramification des branches (RB)
 - La densité de ramification des branches (DB).
- #### ❖ A l'échelle des feuilles

Les mesures sur les feuilles ont porté sur :

- La longueur du pétiole (LP) (en cm), prise à l'aide d'un double décimètre ;
- La longueur et la largeur (largeur prise au milieu du limbe) du limbe (respectivement LL et LgL), mesurées à l'aide d'un double décimètre.

Les observations sur les feuilles ont porté sur :

- La forme du limbe (FL)
 - La forme de la base du limbe (FBL)
 - La forme de l'apex du limbe (FAL)
 - La couleur des jeunes feuilles (CJF) et feuilles adultes (CFA)
- #### ❖ A l'échelle des fruits
- Le nombre de fruits par arbre (NF/A)
- #### ❖ A l'échelle des noix

Les mesures sur les noix ont porté sur :

- Le nombre de noix par fruit (NNF)
- La longueur de la noix (LN)
- La largeur de la noix (LgN)
- Le poids de la noix (PN)

- Le rendement (R) en poids de noix par arbre.

Les observations ont porté sur :

- La couleur de la noix (CN)
- La forme de la noix (FN)

2.3.3. Analyse statistique des données

Après la collecte des données, le tableur Excel 2007 a été utilisé pour la saisie des données. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des logiciels STATISTICA version 7.1, SPSS version 17 et XLSTAT.

Pour les variables qualitatives l'indice de diversité de Shannon-Weaver normalisé (H') qui varie entre 0 et 1 a été utilisé pour apprécier la variabilité (Baudouin et Santos, 2005 cité par Yao *et al.*, 2015).

$$H' = - \sum_i^n \left(\frac{N_i}{N} \right) \times \ln \left(\frac{N_i}{N} \right) / \ln(n)$$

Avec N_i l'effectif observé d'une modalité pour un descripteur donné, N l'effectif total des individus et n le nombre de modalité pour un caractère. Lorsque H' tend vers 1 la diversité d'un descripteur est élevé dans l'ensemble des populations (Arunachalam *et al.*, 2005 cité par Yao *et al.*, 2015). L'équiprobabilité des fréquences ($p_i = \frac{N_i}{N}$) d'apparition des modalités d'un descripteur donné a été testée à l'aide du test χ^2 au seuil 5 %. Un résultat significatif permet de dire qu'au moins deux des fréquences observées sont différentes.

Pour les caractères quantitatifs, les classes de coefficient de variation ($CV = \delta \times 100 / \bar{X}$) proposées et testées par Kouyaté (2005) dans son étude sur les aspects ethnobotanique de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique du *Detarium microcarpum*, ont été utilisées pour évaluer la variation intra et inter-population (Kafilatou *et al.*, 2015). L'échelle proposée est la suivante :

1. Faible variation (CV = 0 -10%)
2. Variation moyenne (CV =10 -15%)
3. Variation modérée (CV=15 - 44%)
4. Variation élevée (CV > 44%)

Avec δ l'écart-type et \bar{X} la moyenne arithmétique d'un descripteur donné.

L'analyse de variance (ANOVA1) a été utilisée pour révéler la variabilité des descripteurs quantitatifs en intra et inter-population en fonction de la région. De même, les données

collectées ont fait l'objet de trois types d'analyses multivariées. Il s'agit de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) et l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD).

L'ACP et la CAH ont permis la structuration agromorphologique des populations des arbres élites de karité étudiées à partir des descripteurs quantitatifs.

L'Analyse en Composantes Principale est une méthode descriptive multivariée qui permet de regrouper les variables étudiées en fonction de la variabilité qu'elles expliquent dans la population. Cette méthode nous a permis de dresser un tableau de corrélations montrant le degré de lien entre les variables et les composantes principales.

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée selon la méthode Unweighted Pair Groups Method of Analysis (UPGMA). C'est une méthode essentiellement descriptive qui vise à répartir un certain nombre d'individus caractérisés par des variables en des groupes les plus homogènes que possible. Cette méthode nous a permis de constituer des groupes d'arbres élites de karité. Chaque groupe a par la suite subi une analyse descriptive et multivariée de variance pour déterminer la typologie des individus de chaque groupe.

Une analyse multiple de variance (MANOVA) réalisée sur les groupes obtenus à partir de la CAH a permis d'évaluer les caractéristiques de ces différents groupes.

L'AFD quant à elle a permis d'identifier les descripteurs discriminants dans les populations étudiées et donc de savoir les caractères dont leurs connaissances prédisent l'appartenance aux différents groupes formés par la CAH.

Troisième partie :
RESULTATS ET DISCUSSION

3. RESULTATS

3.1. Diversité des descripteurs qualitatifs du karité

Résultats

3.1.1 Forme de la canopée

Dans cette étude, six formes de la couronne foliaire (Cime pyramidale, Cime largement pyramidale, Cime sphérique, Cime oblongue, Cime semi-circulaire et cime elliptique) (**figure 15**) ont été identifiées. Le test χ^2 a été significatif ($\chi^2 = 21,26$; $P = 0,001$) pour ces 6 phénotypes observés et la cime largement pyramidale avec une fréquence de 26,36 % a été majoritaire (Tableau 3). Ce phénotype était suivi par les phénotypes elliptique, oblongue et sphérique qui avaient des fréquences respectives de 18,18 %, 17,27 % et 15,45 %.



Figure 15: Variabilité de la forme de la couronne foliaire chez le karité: de gauche à droite, les phénotypes Pyramidal, largement pyramidal, sphérique, oblong, Semi-circulaire et elliptique (Photo Blé, mai 2018)

3.1.2 Port de l'arbre

Le test χ^2 a été significatif ($\chi^2 = 11,16$; $p = 0,004$) pour les 3 phénotypes décrivant le port de l'arbre chez le karité. Ainsi, les 2 phénotypes étendu et droit avec respectivement 38,18 % et 39,09 % des individus ont été majoritaires. Cependant on retrouve le phénotype semi-érigé dans la population de karité à la fréquence de 22,73%.

3.1.3 Ramification et densité des branches

Généralement, chez le karité, toutes les branches sont orientées dans la même direction. Dans notre étude, les six phénotypes (**Droit, Opposé, Verticillé, Horizontal, Semi-érigé, Plagiotrope**) du schéma de ramification ont été identifiés. Ainsi le phénotype semi-érigé a montré une proportion d'individus élevée (29,55 %). D'autres types de ramifications tels que droit, opposé et verticillé sont présents chez les arbres élités de karité étudiés. Leurs proportions respectives sont : 15,54 %, 10,91 % et 19,55 %.

Trois types de la densité des branches (clairsemé, moyenne et dense) ont été identifiés chez les karités élités étudiés à des fréquences inégales ($\chi^2 = 111,45$; $p < 0,001$). Le phénotype densité moyenne apparaît à une fréquence 69,97% et est majoritaire.

3.1.4 Variabilité des caractères foliaires

3.1.4.1 Couleur des jeunes feuilles

Quatre couleurs (vert, vert clair, rose et rouge) ont été observées chez les jeunes feuilles dans des proportions variables ($\chi^2 = 213,74$; $P < 0,001$). Le phénotype vert-clair majoritairement représenté avait une fréquence de 67,27 % dans la population étudiée. Le phénotype vert qui le suit avait une fréquence de 16,36 %. Les phénotypes rouge et rose, les deux minoritaires, avaient des fréquences respectives de 9,09 % et 7,27%.

3.1.4.2 Couleur des feuilles matures

Au niveau des feuilles matures, trois couleurs (vert clair, vert et vert foncé) ont été observées dans des proportions variables ($\chi^2 = 143,19$; $P < 0,001$). La fréquence observée pour chaque phénotype était pour de 71,36 % ; 14,55 % et 14,09 % respectivement pour les phénotypes vert, vert clair et vert foncé.

3.1.4.3 Forme du limbe

Six formes du limbe (obovale, elliptique, largement elliptique, étroitement elliptique, oblongue et obovale-oblongue) ont été observées. Sur les 220 arbres élités analysés pour ce caractère, 51,36 % des arbres portaient des feuilles oblongues et 34,55 % portaient des feuilles étroitement elliptiques. Ces deux phénotypes étaient les plus fréquents.

3.1.4.4 Forme de la base du limbe

Trois types de la base du limbe (oblique, arrondie et cunéiforme) ont été observés avec des proportions variables ($\chi^2 = 26,21$; $P < 0,001$). Le phénotype cunéiforme avait la fréquence la plus élevée (45,91 %). Les deux autres phénotypes, arrondi et oblique avaient des proportions respectives de 25 et 29,09 %.

3.1.4.5 Forme de l'apex du limbe

Les 4 phénotypes de la forme de l'apex : obtus, aigu, arrondi et acuminé, apparaissent à des fréquences variables ($\chi^2 = 48,25$; $p < 0,001$). Ainsi les formes aigu, arrondi et obtus avec les fréquences respectives de 31,36 %, 29,09 % et 34,55 % sont majoritaires. Le phénotype acuminé apparaît à la fréquence de 5%.

3.1.5 Variabilité des caractères de la noix

3.1.5.1 Couleur de la noix

Trois phénotypes : brun, brun pâle et brun foncé, apparaissent à des fréquences variables ($\chi^2 = 88,48$; $p < 0,001$). La couleur de la noix varie du brun pâle au brun foncé. Le phénotype brun apparaît à la fréquence la plus élevée (60,91 %).

3.1.5.2 Forme de la noix

Quant à la forme de la noix, 4 phénotypes ont été observés avec des proportions variables ($\chi^2 = 79,67$; $p < 0,001$). Les formes ovoïde et ovale sont les fréquentes, avec respectivement 45,45 % et 31,36 %.

Tableau 3: Variabilité des caractères qualitatifs des descripteurs morphologiques du karité

Caractères	Modalités	Fréquence %	χ^2	P	H'
FCF	1=Pyramidale	9,55	21,26	0,001	0,97
	2=Largement pyramidale	26,36			
	3=Sphérique	15,45			
	4=Oblongue	17,27			
	5=Semi-circulaire	13,18			
	6=Elliptique	18,18			
PA	1=Droit	38,18	11,16	0,004	0,98
	2=Semi-érigé	22,73			
	3=Etendu	39,09			
DB	3=Clairsemée	14,68	111,45	P < 0,001	0,78
	5=Moyenne	66,97			
	7=Dense	18,35			
RB	1=Droit	15,54	38,11	P < 0,001	0,95
	2=Opposition	10,91			
	3=Verticillé	19,55			
	4=Droit	7,73			
	5=Semi-érigé	29,55			
	6=Etendu	16,82			
FL	1=Obovale	1,36	295,89	P < 0,001	0,59
	2=Elliptique	7,73			
	3=Largement elliptique	1,36			
	4=Étroitement elliptique	34,55			
	5=Oblongue	51,36			
	6=Obovale-oblongue	3,64			
	7=Ovale-oblongue	0			
FBL	1=Oblique	29,09	26,21	P < 0,001	0,77
	2=Arrondie	25			
	3=Cunéiforme	45,91			
	4=Rétrécie	0			
FAL	1=aigu	31,36	48,25	P < 0,001	0,89
	2=Accuminé	5			
	3=Arrondie	29,09			
	4=Obtus	34,55			
CJF	1=Rouge	9,09	213,74	P < 0,001	0,70
	2=Rose	7,27			
	3=Vert-claire	67,27			
	4=Verte	16,36			
CFA	1=Vert claire	14,55	143,19	P < 0,001	0,58
	2=Verte	71,36			
	3=Vert-foncée	14,09			
	4=Vert rosâtre	0			

CN	1=Crémeuse	0	88,48	P < 0,001	0,55
	2=Brun vitreux	0			
	3=Brun	60,91			
	4=Brun pâle	9,55			
	5=Brun foncée	29,55			
FN	1=Sphéroïde	5	79,67	P < 0,001	0,85
	2=Ellipsoïde	18,18			
	3=Ovale	31,36			
	4=Ovoïde	45,45			

FCF : Forme de la couronne foliaire, PA : Port de l'arbre, DB : Densité des branches, RB : Ramification des branches, FL : Forme du Limbe, FBL : Forme Base du Limbe, FAL : Forme de l'apex du limbe, CJF : Couleur Jeune Feuille, CFA : Couleur de la feuille adulte, CN : Couleur de la noix, FN : Forme des noix

H' : indice de diversité de Shannon-Weaver normalisé ; χ^2 : Valeur du test Chi-2 ; p : Valeur de la probabilité associée au test χ^2

Les caractères tels que la forme de la couronne foliaire, la ramification des branches et le port de l'arbre ont présenté les indices de diversité de Shannon normalisé les plus élevés avec des valeurs respectives de 0,97 ; 0,95 à 0,98.

3.1.6 Classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisé sur les individus étudiés, a permis de les repartir, en différentes classes suivant leur degré de dissemblance.

Le dendrogramme obtenu à partir de la troncature à 0,76 de dissimilarité de Jaccard, a permis de distinguer 9 classes (**figure 16**).

La classe 1 est composée de 66 arbres

La classe 2 est composée de 113 arbres

La classe 3 est composée de 2 arbres

La classe 4 est composée de 13 arbres

La classe 5 est composée de 5 arbres

La classe 6 est composée de 10 arbres

La classe 7 est composée de 2 arbres

La classe 8 est composée de 5 arbres

La classe 9 est composée de 4 arbres

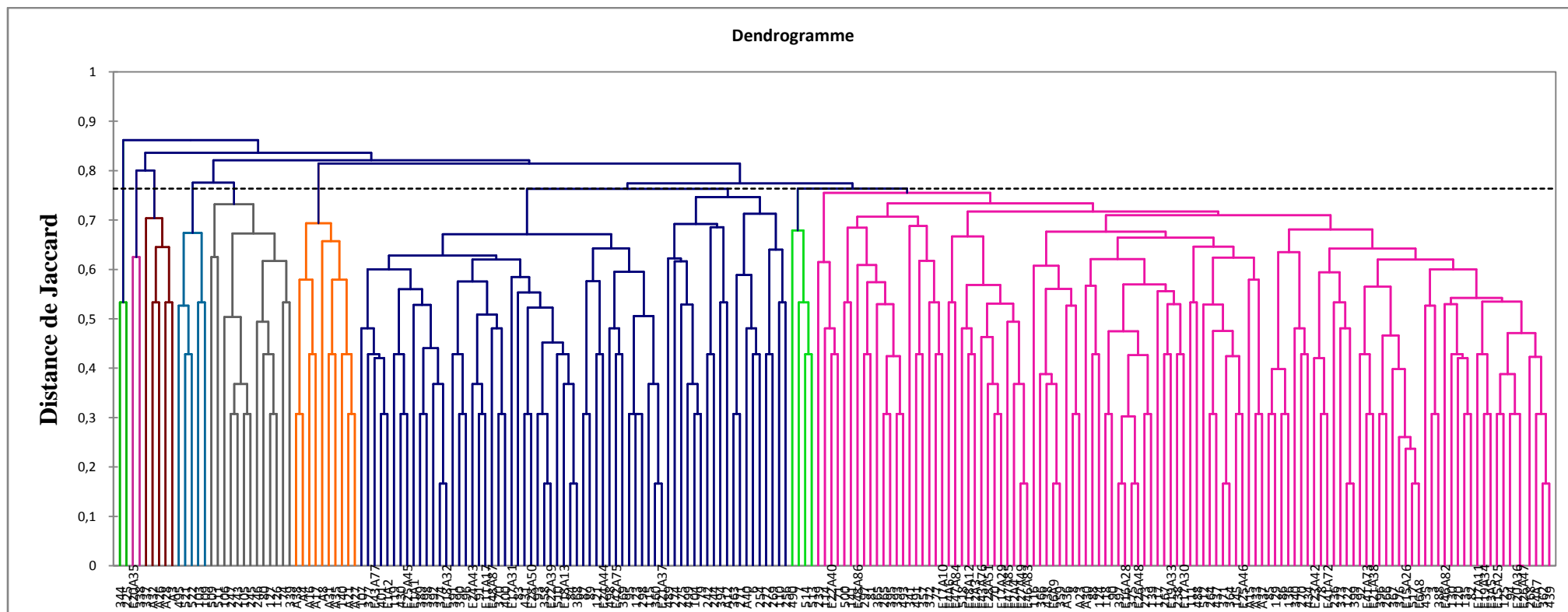


Figure 16: Dendrogramme réalisé à partir des 13 descripteurs qualitatifs relevant les similitudes morphologiques entre les 220 arbres élités de karité

Les caractéristiques des classes obtenus à par de la CAH sont répertoriées dans le tableau 4 :

Tableau 4: Caractéristiques des différentes classes formées

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9
FCF	Toutes les modalités	Toutes les modalités		Sphérique			Largement pyramidale		
PA	Toutes les modalités	Toutes les modalités	Semi-érigé	Etendu			Etendu		
DB	Toutes les modalités	Toutes les modalités		Dense moyenne			Moyenne		Moyenne
RB	Toutes les modalités	Toutes les modalités	verticillé						
FL	Absence de la forme Largement elliptique	Toutes les modalités		Etroitement elliptique oblongue	Rétrécie				
FBL	Toutes les modalités	Toutes les modalités							
FAL	Absence de la forme arrondie	Toutes les modalités	Arrondie	Obtus Aigu			Aigu	Obtus	Obtus
CJF	Toutes les modalités	Toutes les modalités	Verte						Rose
CFA	Toutes les modalités	Toutes les modalités	Verte	Vert-claire Vert-foncée	Vert-foncée	Vert-foncée		Vert claire	
CN	Toutes les modalités	Toutes les modalités	Brun pâle				Brun pâle		
FN	Toutes les modalités	Toutes les modalités	Sphéroïde				Ellipsoïde	Ovale	Ovoïde

FCF : *Forme de la couronne foliaire*, PA : *Port de l'arbre*, DB : *Densité des branches*, RB : *Ramification des branches*, FL : *Forme du Limbe*, FBL : *Forme Base du Limbe*, FAL : *Forme de l'apex du limbe*, CJF : *Couleur Jeune Feuille*, CN : *Couleur de la noix*, FN : *Forme des noix*, CFA : *Couleur feuille adulte*

3.1.7 Analyse discriminante

L'analyse discriminante réalisée sur les classes formées par la classification ascendante hiérarchique (CAH) a montré les variables qui permettent de prédire l'appartenance d'un quelconque individu à l'une des classes formées. Sur l'ensemble des 11 caractères qualitatifs, l'analyse factorielle discriminante, à travers le test λ -Wilk, a révélé 7 descripteurs qui contribuent significativement à la discrimination des cinq classes formés (**Tableau 5**). Ainsi la hiérarchie des variables des descripteurs qualitatifs discriminantes que nous avons obtenues est la suivante : la forme de l'apex du limbe (FAL), la couleur des feuilles adultes (CFA), la couleur des jeunes feuilles (CJF), la forme de la noix (FN), densité des branches (DB), forme du limbe (FL) et ramification des branches (RB).

Tableau 5: Variables discriminantes et paramètres statistiques associés

Variables	Wilk	P
FAL	0,161	< 0,001***
CFA	0,145	< 0,001***
CJF	0,118	< 0,001***
FN	0,092	< 0,001***
DB	0,092	< 0,001***
FL	0,087	0,01*
RB	0,086	0,023*

*** : Très significatif au seuil de 1% ; * : Significatif au seuil de 5%

FAL : *Forme de l'apex du limbe*, CFA : *Couleur feuille adulte*, CJF : *Couleur Jeune Feuille*, FN : *Forme des noix*, DB : *Densité des branches*, FL : *Forme du Limbe*, RB : *Ramification des branches*

Discussion

L'analyse des descripteurs qualitatifs a montré une variabilité importante des caractères étudiés. En effet, tous les phénotypes des caractères tels que la *forme de la couronne foliaire*, le *port de l'arbre*, la *densité* et la *ramification des branches* décrites par IPGRI/INIA (2006) ont été observés chez les arbres élites de karité identifiés. Six (6) et trois (3) phénotypes ont été observés respectivement pour les caractères *couronne foliaire* et *ramification des branches* et les caractères *port de l'arbre* et *densité des branches* dans des proportions variables. Des études menées par Diarrassouba *et al.*, 2009 et Soro *et al.*, 2011 dans le parc à karité de

Tengréla, ont identifié 4 types de la canopée. Cependant, ils avaient signalé l'existence de types intermédiaires qui rendaient difficiles la distinction des arbres en utilisant ce caractère. Hormis l'action de l'homme pour l'agriculture qui aurait pu modifier la canopée des arbres, la concurrence que les autres arbres pourraient avoir sur ce caractère, comme l'ont signifié ces deux auteurs cités plus haut, n'est pas à considérer dans ce cas puisque notre étude a été menée sur des arbres isolés. D'autres études antérieures avaient également montré différentes formes de couronne à savoir les couronnes sphérique ou ronde, forme en fuseau, de balai ou de parapluie (Ruyssen, 1957) et les différentes formes décrites par l'IPGRI/INIA (2006) sont Pyramidale, largement pyramidale, oblongue, elliptique, semi-circulaire et sphérique. Concernant ces caractères liés à l'arbre, les fréquences variables observées pourraient s'expliquer par le fait que les agriculteurs préfèrent conserver des arbres avec des ombrages moyens pour limiter les effets comme la diminution du rendement des spéculations dans ces systèmes agro-forestiers. Saidou *et al* (2012) ont noté une influence négative des arbres de karité sur les rendements grains et paille du maïs. Ces auteurs ont montrés que les rendements grains et paille sous houppier sont réduits respectivement de 46,64% et de 32,8% comparativement à la zone hors houppier et s'explique par l'effet de l'ombrage qui réduirait considérablement l'intensité lumineuse.

En ce qui concerne les caractères foliaires tels que la couleur de la feuille mature, la forme du limbe et la forme de la base limbe ont présenté une modalité de moins alors que les caractères forme de l'apex du limbe et couleur de la jeune feuille ont été identifiées telles que décrites par l'IPGRI/INIA en 2006. L'absence de certains phénotypes pourrait s'expliquer par le fait que l'étude de l'IPGRI/INIA a été faite sur toute l'aire de répartition du karité en Afrique. En effet des études préliminaires sur la diversité génétique du karité ont montrés que les populations de l'Ouganda forment un groupe différent de celui de l'Afrique centrale et occidentale (Bouvet et Cardé, 2001) et donc les modalités absentes pourraient provenir de l'Afrique de l'Est. Pour ces caractères, nous avons identifié trois (vert-clair, vert et vert-foncé), six (obovale, elliptique, largement elliptique, étroitement elliptique, oblongue, obovale-oblongue) et trois (oblique, Arrondie et cunéiforme) respectivement pour la forme du limbe, la couleur de la feuille adulte et la forme de la base du limbe. Quant aux caractères couleur de la jeune feuille et forme de l'apex du limbe, il a été observé quatre phénotypes de chaque respectivement (rouge, rose, vert-claire et verte) et (aigue, acuminiée, arrondie et obtuse). Ainsi cette étude a identifié plus de phénotypes liés aux caractères foliaires que ceux observés par Diarrassouba (2008). Cela peut s'expliquer par le fait que son étude a été faite dans un parc à karité et que cette étude a été effectuée dans les deux régions importantes de

distribution du karité en Côte d'Ivoire qui regorgent probablement plus de diversité que dans le parc.

Pour les caractères de la noix, trois et quatre phénotypes ont été observés respectivement pour la couleur et la forme de la noix. Il s'agit des phénotypes : brun, brun pâle et brun foncé pour le caractère couleur de la noix et les phénotypes sphéroïde, elliptique, ovale et ovoïde pour le caractère forme de la noix. Le phénotype brun apparaît à une fréquence de 60,91% contre 29,55% pour le phénotype brun foncé. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la sélection des arbres par les paysans est en faveur de ces deux phénotypes et exercerait une pression de sélection défavorable sur les autres. Ainsi Diarrassouba (2008) a indiqué que les communautés locales définissaient les variétés de karité selon les critères comme la taille du fruit, le goût de la pulpe, la période de fructification et la couleur de la noix. Toujours avec la couleur des noix, les résultats obtenus diffèrent de ceux de Diarrassouba *et al* (2009) qui ont identifié quatre couleurs de noix (brun clair, brun foncé, brun grisâtre et brun noirâtre). IPGRI/INIA en 2006 a décrit 5 phénotypes couleurs (crèmeux, brun vitreux, brun, brun pâle et brun foncé) de noix chez le karité. Cela pourrait se justifier par les mêmes raisons mentionnées plus haut.

Pour tous les caractères qualitatifs étudiés, trois ont présenté des indices de diversité de Shannon normalisés les plus élevés. Ce sont : le caractère forme de la couronne foliaire, le caractère port de l'arbre et le caractère ramification des branches avec des indices respectives de 0,97 ; 0,98 et 0,95. Cela voudrait dire que tous les phénotypes de ces caractères se rencontrent dans les peuplements de karité élités étudiés à des proportions plus ou moins élevées. On pourrait l'expliquer par le fait que ces caractères ne sont pas influencés par la distribution géographique du karité. Gwali *et al* (2012) ont observés une importante variation dans le diamètre de la canopée chez le karité.

La structuration des individus basée sur les caractères descriptifs à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique nous a permis de regrouper les arbres étudiés en 9 groupes. Une analyse discriminante a été réalisée sur ces différents groupes. Les résultats ont montré que les caractères forme de l'apex foliaire (FAL), couleur de la feuille adulte (CFA), couleur de la jeune feuille (CJF), forme de la noix et la densité des branches sont hautement discriminants (Tableau 4). En effet, ces caractères pourraient être des caractères pertinents pour la classification des arbres de karité identifiés sur la base des descripteurs qualitatifs. Diarrassouba (2008), travaillant sur la variabilité morphogénétique du karité pour sa thèse de doctorat a abouti à la même conclusion du fait que la couleur de la jeune feuille, la forme de la feuille et la forme des noix pouvaient être utilisées pour discerner facilement des classes

d'arbres. Le même auteur et ses collaborateurs (2007b) ont affirmé que les descripteurs qualitatifs étaient moins influencés par les conditions environnementales car les observations faites sur les mêmes individus de karité pendant trois années consécutives ont montré que ces caractères varient peu d'une année à une autre.

3.2 Diversité des descripteurs quantitatifs du karité

Résultats

3.2.1 Variabilité morphologiques des arbres élites de karité observée à l'intérieur de chaque région

Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les valeurs de F de l'analyse de la variance et sa probabilité associée des caractères quantitatifs sont présentées dans le **Tableau 6**. Il montre qu'à l'exception de la circonférence du tronc à 130 cm du sol et du rendement en kilogramme de noix, les caractères métriques n'ont pas montré des écarts importants entre les valeurs minimales et maximales chez les arbres de karité étudiés pour tous les autres variables. En effet la circonférence à 130 cm varie entre 61 cm et 287 cm dans la région de la Bagoué et entre 50 cm et 285 cm. La plus faible valeur minimale de la circonférence de 50 cm a été observée dans la région du Tchologo contre 61 cm dans la région de la Bagoué. La plus grande valeur maximale de 287 cm de la circonférence a été obtenue dans la région de la Bagoué contre 285, la valeur maximale du Tchologo. De même, la plus petite valeur de rendement de 0,54 Kg a été obtenue dans la région du Tchologo contre 4,96 Kg, celle de la Bagoué. Par contre la plus grande valeur maximale a été obtenue dans la région du Tchologo (48,34 Kg).

Tableau 6: Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les valeurs de F de l'analyse de la variance et sa probabilité associée des caractères quantitatifs des arbres élités de chaque région

	Bagoué					Tchologo				
	Min	Moy	Max	F	P	Min	Moy	Max	F	P
CIR 130	61	158,4	287	0,180	0,836	50	131,23	285	36,102	< 0,001
LP	5,18	8,29	13,66	0,177	0,838	5,9	8,94	29,42	0,944	0,394
LL	9,34	14,61	21,48	0,795	0,454	9,44	15,30	21,58	3,753	0,028
LgL	2,82	4,48	9,94	0,314	0,731	3	4,78	6,96	1,318	0,274
NN/F	1,00	1,02	1,50	0,850	0,429	1	1,04	1,50	1,509	0,228
LN	2,26	3,14	6,61	3,373	0,037*	2,26	3,27	4,05	4,420	0,015
LgN	1,60	2,36	2,85	1,903	0,153	1,22	2,42	3,16	2,215	0,116
PN	4,33	8,51	14,77	6,681	0,002*	1,05	9,87	17,92	1,884	0,159
NF/A	411	1916	3903	0,18	0,835	241	1496	3872	36,11	< 0,001
R	4,96	16,49	40,89	1,27	0,285	0,54	15,52	48,34	15,62	< 0,001

CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, LP : longueur du pétiole, LL : longueur du limbe, LgL : largeur du limbe, NN/F : nombre de noix par fruit, LN : longueur de la noix, LgN : largeur de la noix, PN : poids de la noix. NF/A : nombre de fruits par arbre ; R : rendement en poids de noix par arbre

Les analyses de variance effectuées variables par variables au niveau de chaque région ont montré que :

- Dans la région de la Bagoué, à l'exception du poids de la noix (PN : F=6,681 ; P=0,002) et de la longueur de la noix (LN : F=3,373 ; P=0,037), toutes les autres variables ne varient pas significativement au seuil de 5%.
- Dans la région du Tchologo, les variables CIR 130, NF/A et R ont montré une différence très significatives (P<0,001) entre les individus et les variables LL et LN ont montré une différence significative au seuil de 5% (LL : P=0,028 ; LN : P=0,015).

3.2.2 Variabilité morphologique observée des arbres élités de karité des deux régions combinées

Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les valeurs de F de l'analyse de la variance et sa probabilité associée des caractères quantitatifs des arbres élités pris ensemble sont

présentées dans le **Tableau 7**. Il montre qu'à l'exception de la circonférence à 130 cm (CIR 130 : CV=30,71%), du nombre de fruits par arbre (NF/A : CV=39,90%) et du rendement (R : CV=49,01%), les caractères métriques varient peu chez les arbres de karité étudiés. En effet la circonférence à 130 cm du sol varie entre 50 et 287 cm avec une moyenne de 149,26 cm et le rendement entre 0,54 et 48,34 Kg. Quant au nombre de fruits par arbre, il a varié entre 241 et 3903 fruits avec la moyenne de 1775 fruits/arbres. L'analyse de variance pour les caractères foliaires tels que la longueur du pétiole, la longueur et la largeur du limbe ont révélé des différences significatives au seuil de 5% entre les arbres ($P = 0,028$ pour la longueur du limbe, $P = 0,04$ pour la longueur et $P = 0,016$ pour la largeur du limbe). Avec un coefficient de variation de 24,41 %, la longueur du pétiole a été la variable qui a montré un plus grand écart de dispersion que les autres caractères foliaires. La longueur du pétiole a varié entre 5,18 et 29,42 cm avec la moyenne de 8,5 cm. Quant à la longueur et la largeur du limbe, ces deux variables ont varié entre 9,34 et 21,58 cm pour la longueur du limbe et entre 2,82 et 18,7 cm pour la largeur du limbe avec une moyenne et un coefficient de variation respectifs de 14,84 cm et 15,95 % et 4,58 cm et 18,7 %. L'analyse de variance pour les caractères de noix (nombre de noix par fruit, longueur et largeur des noix et poids des noix) a montré une différence significative pour la longueur et le poids des noix ($P = 0,022$ pour la longueur des noix et $P < 0,001$ pour le poids des noix). Le poids des noix a montré une variabilité importante avec un coefficient de variation de 28,51 % et a varié entre 1,05 et 17,92 g avec une moyenne de 8,97 g. La longueur de la noix a varié entre 2,26 et 6,61 cm avec une moyenne de 3,18 cm. Le nombre de noix par fruit et la largeur des noix n'ont montré de différence significative ($P = 0,063$ pour le nombre de noix par fruit et $P = 0,051$ la largeur des noix) au seuil de 5 % du poids du point vue statistique. Le nombre de fruits par arbre a été hautement significatif ($P < 0,001$). Par contre le rendement (R : $P = 0,393$) n'a pas montré de différence significative au seuil 5% entre les arbres.

Tableau 7: Les valeurs moyennes, minimales, maximales et les valeurs de F de l'analyse de la variance sur les variables quantitatives et sa probabilité associée des caractères quantitatifs des 220 arbres élités de karité

Variables	Min	Moy	Max	CV %	F	P
CIR 130	50	149,26	287	30,71	18,64	< 0,001*
LP	5,18	8,5	29,42	24,41	4,92	0,028*
LL	9,34	14,84	21,58	15,94	4,28	0,04*
LgL	2,82	4,58	9,94	18,7	5,87	0,016*
NN/F	1	1,02	1,5	7,19	3,48	0,063
LN	2,26	3,182	6,61	12,49	5,29	0,022*
LgN	1,22	2,38	3,16	9,42	3,85	0,051
PN	1,05	8,97	17,92	28,51	14,73	< 0,001*
NF/A	241	1775	3903	39,9	18,64	< 0,001*
R	0,54	16,16	48,34	49,01	0,73	0,393

CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, LP : longueur du pétiole, LL : longueur du limbe, LgL : largeur du limbe, NN/F : nombre de noix par fruit, LN : longueur de la noix, LgN : largeur de la noix, PN : poids de la noix. NF/A : nombre de fruits par arbre ; R : rendement en poids de noix par arbre

Min : minimum, Max : maximum, Moy : moyenne, CV% : coefficient de variation en pourcentage, F : Valeur de Fisher, P : probabilité associée à la valeur de Fisher

3.2.3 Structuration de la diversité morphologique

3.2.3.1 Analyse en composante principale

L'analyse en composantes principales de 10 variables quantitatives a extrait trois composantes principales de valeur propre supérieure à 1 représentées dans le **tableau 8**. Ces composantes principales expliquent 72,75 % de la variabilité totale des arbres élités de karité étudiés. La première composante (axe 1) explique 29,62 % de cette variabilité. Elle est définie par les variables telles que le nombre de fruits par arbre (NF/A) (0,972), la circonférence du tronc à 130 cm du sol (CIR 130 cm) (0,972) et le rendement (R) (0,865). Le deuxième axe exprime 28,36 % de la variabilité totale. Cette composante principale (axe 2) est définie par les variables liées au poids des noix (PN) (0,923), à la longueur des noix (LgN) (0,888) et à la longueur des noix (LN) (0,743). Le troisième axe exprime 14,77% de la variabilité totale et les variables qui ont contribué à la formation de cet axe sont la longueur des limbes (LL) (0,856), la largeur des limbes (LgL) (0,798) et la longueur du pétiole (LP) (0,637). Cet axe décrit les caractéristiques foliaires étudiées dans cette étude.

Tableau 8: Valeurs propres et contribution des caractères aux axes 1; 2 et 3 de l'analyse en composantes principales

ACP	Axes		
	CP1	CP2	CP3
Valeurs propres	2,962	2,836	1,477
Variance (%)	29,62	28,36	14,77
Variance cumulée (%)	29,62	57,98	72,75
Variables	corrélation ACP		
NF/A	0,972	-0,116	-0,150
CIR 130 cm	0,972	-0,116	-0,150
R (Kg)	0,865	0,470	-0,020
PN (g)	0,421	0,923	0,142
LgN (cm)	0,037	0,888	0,145
LN (cm)	0,041	0,743	-0,084
NN/F	-0,127	0,394	0,286
LL (cm)	-0,134	0,079	0,856
LgL (cm)	-0,058	0,001	0,798
LP (cm)	-0,108	0,141	0,637

NF/A : nombre de fruits par arbre, CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, R : rendement en kilogramme par arbre, PN : poids de la noix, LgN : largeur de la noix, LN : longueur de la noix, NN/F : nombre de noix par fruit, LgL : largeur du limbe, LL : longueur du limbe, LP : longueur du pétiole

3.2.3.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Une classification hiérarchique des 220 arbres de karités élités réalisée selon le critère d'agrégation UPGMA à partir des distances euclidiennes des variables quantitatives a produit le dendrogramme de la **Figure 17**. Suivant la troncature au niveau 800, trois groupes d'arbres se distinguent. L'analyse multiple de variance (MANOVA) effectuée sur ces groupes a montré une différence significative ($F= 20,22$; $P < 0,001$). Les caractéristiques de ces différents groupes sont présentées dans le **Tableau 9** :

Le groupe 1 est constitué de 139 arbres dont 83 arbres proviennent de la région de la Bagoué et 56 arbres proviennent de la région du Tchologo.

Le groupe 2 est constitué de 16 arbres dont 10 arbres proviennent de la Bagoué et 6 arbres du Tchologo.

Le groupe 3 est constitué de 65 arbres dont 53 arbres proviennent de la région de la Bagoué et 12 arbres proviennent du Tchologo.

L'analyse du tableau 8 montre que les trois groupes se différencient les uns les autres par la circonférence du tronc à 130 cm du tronc (CIR 130), le nombre de fruits par arbre (NF/A) et

le rendement en poids de noix par arbre (R). Ainsi, une analyse plus approfondie a montré que le rapport entre la circonférence et le rendement en nombre de fruits et en poids de noix par arbre est presque similaire. En effet le rapport (CIR 130)/R a donné 12,05 ; 8,48 et 9,62 respectivement pour groupe 1, le deuxième groupe 2 et le groupe 3.

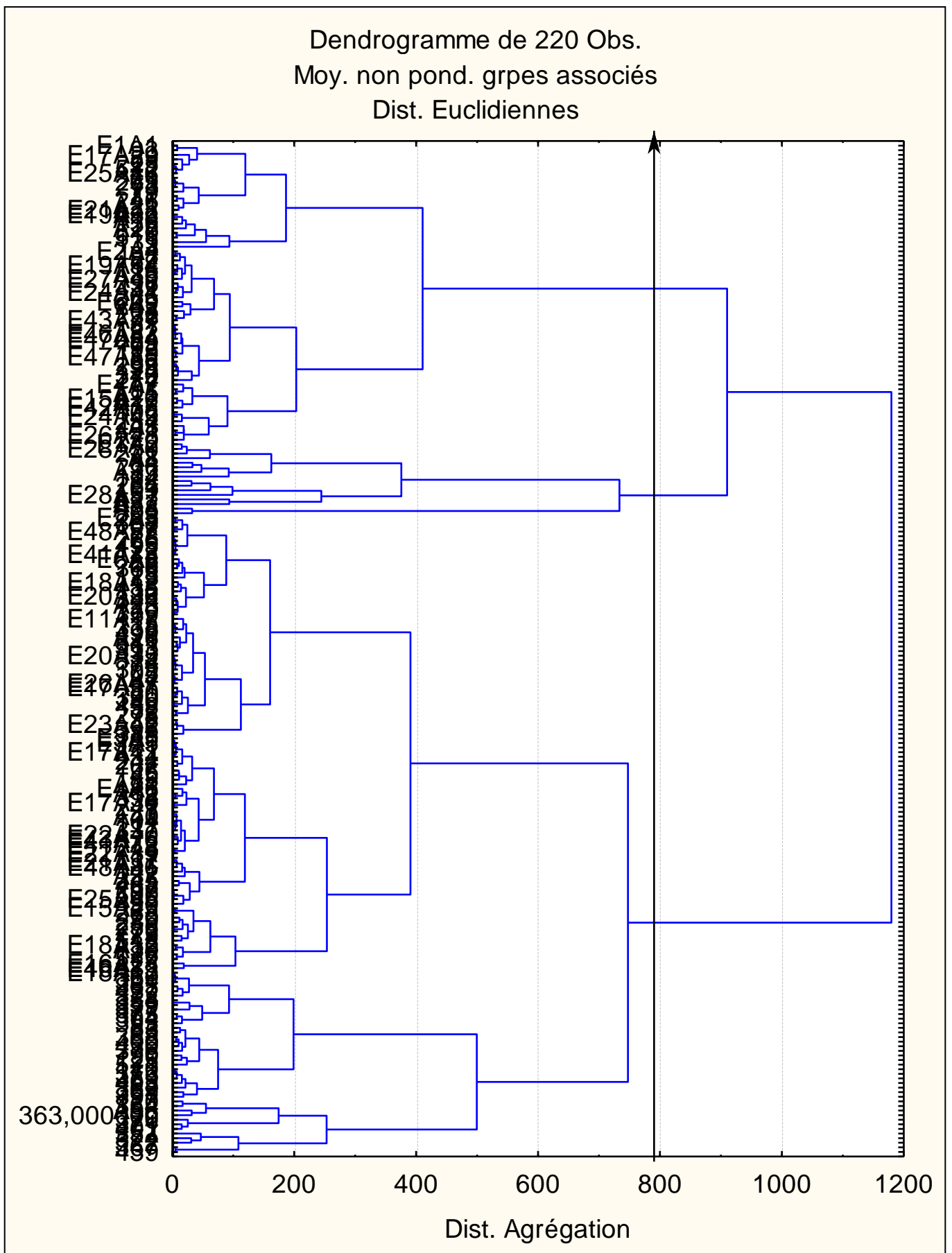


Figure 17: Dendrogramme UPGMA réalisé à partir de 8 descripteurs quantitatifs révélant les similitudes morphologiques entre les 220 arbres élites de karité

Les arbres du groupe 1 possèdent de petits troncs à 130 cm du sol (CIR 130=121,21 cm), de longues feuilles (LL=15,21 cm, LP=8,73) et larges (LgL=4,69 cm). Ils produisent moins (R=12,44 Kg) mais possède de grosses noix (LN=3,22 cm, LgN=2,39 cm et PN=9,11g).

Les individus du groupe 2 se distinguent par un gros tronc (CIR 130 = 244,56 cm) avec des feuilles courtes et moins larges (LP = 7,74 cm, LL= 13,66 cm et LgL= 4,17 cm). Ils ont un bon rendement (R=30,08 Kg) et possèdent des noix de grandes dimensions (LN=3,19 cm et LgN=2,39 cm) et lourdes (PN = 9,08 g).

Les arbres du groupes 3 sont caractérisés par des noix de petites dimensions (LN = 3,10 cm, LgN = 2,36 cm et PN = 8,62 cm) mais jouent l'office d'intermédiaire entre les deux groupes précédents pour les autres caractères étudiés.

Tableau 9: Analyse multiple de variance (MANOVA) des cinq groupes

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	F	P
CIR 130	121,21 ± 26,73 a	244,56 ± 20,98b	185,78,5± 14,56 c	311,91	<0,001
LP	8,73 ±2,34a	7,74 ± 1,08 a	8,21 ± 1,52 a	2,59	0,077
LL	15,21 ± 2,45a	13,66 ±1,68b	14,34 ± 2,15ab	5,41	0,005
LgL	4,69 ±0,73a	4,17 ±0,84b	4,45 ± 1,04ab	3,84	0,023
NN/F	1,02±0,75a	1,02 ± 0,42a	1,02 ± 0,78a	0,12	0,887
LN	3,22 ±0,44 a	3,19 ±0,22a	3,10 ±0,31a	1,95	0,144
LgN	2,39 ± 0,24a	2,39 ± 0,14a	2,36 ±0,20a	0,41	0,667
PN	9,11 ± 2,81a	9,08 ± 1,74a	8,62 ±2,11a	0,84	0,432
NF/A	1341±413a	3247±324,26b	2339±225c	311,87	<0,001
R	12,44±5,62a	30,08±7,41b	20,7±5,87c	93,45	<0,001
CIR 130/R	12,05a	8,48a	9,62a	2,74	0,067

CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, LP : longueur du pétiole, LL : longueur du limbe, LgL : largeur du limbe, NN/F : nombre de noix par fruit, LN : longueur de la noix, LgN : largeur de la noix, PN : poids de la noix, NF/A : nombre de fruits par arbre ; R : rendement en poids de noix par arbre, CIR 130/R : rapport entre la circonférence à 130 cm du sol et le rendement

Les individus des différents groupes sont consignés dans le **tableau 10** en fonction de la région de provenance.

Le groupe 1 est composé de 56,85% des individus de la Bagoué et 75,67% des individus de la région du Tchologo.

Le groupe 2 est composé de 6,85% des individus de la Bagoué et 8,11% des individus du Tchologo.

Le groupe 3 est constitué de 36,30% des individus de la région de la Bagoué et 16,22% de ces du Tchologo.

Tableau 10: Individus des différents groupes repartis selon la région

	Groupe1 (139)	Groupe 2 (16)	Groupe 3 (65)
Bagoué	E3A5 ; E3A5 ; E17A11 ; E17A30 ; 6 ; 7 ; 85 ; 104 ; 111 ; 117 ; 121 ; 141 ; 145 ; 243 ; 244 ; 245 ; 247 ; 267 ; 488 ; 490 ; 500 ; E48A86 ; E21A37 ; E22A39 ; E22A40 ; E25A45 ; E41A72 ; E43A76 ; 120 ; 522 ; E2A3 ; E6A8 ; E18A12 ; E18A13 ; E11A17 ; E17A31 ; E20A35 ; E20A36 ; 8 ; 74 ; 78 ; 80 ; 82 ; 83 ; 88 ; 90 ; 95 ; 105 ; 107 ; 110 ; 115 ; 118 ; 122 ; 123 ; 125 ; 130 ; 135 ; 140 ; 256 ; 266 ; 275 ; 493 ; 495 ; 499 ; 513 ; 514 ; 518 ; 521 ; E48A87 ; E23A42 ; E26A47 ; E41A73 ; E4A6 ; E15A25 ; E16A28 ; E18A32 ; 126 ; 129 ; 268 ; 272 ; 517 ; E46A83 ; 70	E1A2 ; 84 ; 94 ; 109 ; 114 ; 264 ; 271 ; E28A5 ; E28A51 ; 509	E6A9 ; E42A75 ; E19A34 ; 81 ; 86 ; 87 ; 92 ; 96 ; 103 ; 116 ; 119 ; 124 ; 127 ; 242 ; 265 ; 274 ; 489 ; 498 ; E46A82 ; E47A84 ; E47A85 ; E24A44 ; E27A49 ; E43A77 ; E1A1 ; E2A4 ; E4A7 ; E15A26 ; E17A29 ; E19A33 ; 3 ; 71 ; 77 ; 79 ; 89 ; 91 ; 93 ; 106 ; 136 ; 139 ; 246 ; 254 ; 269 ; 270 ; 273 ; 491 ; 510 ; 511 ; 512 ; E21A38 ; E24A43 ; E25A46 ; E26A48
Tchologo	A36 ; 357 ; 363 ; 364 ; 370 ; 371 ; 374 ; 401 ; 358 ; 359 ; 360 ; 362 ; 365 ; 367 ; 368 ; 369 ; 372 ; 373 ; 375 ; 376 ; 377 ; 388 ; 389 ; 391 ; 394 ; 395 ; 396 ; 397 ; 400 ; 430 ; 437 ; 439 ; A12 ; A23 ; A40 ; A37 ; A31 ; A26 ; 297 ; 337 ; 338 ; 339 ; 341 ; 344 ; 366 ; 390 ; 392 ; 393 ; 398 ; 399 ; 434 ; 435 ; 438 ; A4 ; A30 ; 239	A8, A27, A32, A33, A38 ; 236	A15 ; A3 ; A28 ; A16 ; A17 ; A35 ; A21 ; 225 ; 238 ; 298 ; 340 ; 431

3.2.3.3 Analyse factorielle discriminante (AFD)

La variable nombre de fruits par arbre (NF/A) a échoué au test de tolérance (niveau de tolérance minimum est 0,001) par conséquent, elle n'est pas utilisée dans l'analyse. L'analyse factorielle discriminante (AFD) a été effectuée à partir des 9 variables quantitatives restantes et des trois groupes obtenus à partir de la classification ascendante hiérarchique. Sur l'ensemble des 9 caractères quantitatifs, l'analyse factorielle discriminante, à travers le test λ -Wilk, n'a révélé qu'un seul descripteur qui contribue très significativement à la discrimination des trois groupes d'arbres formés (**Tableau 11**). La seule variable qui permet cette discrimination des groupes formés est la circonférence à 130 cm du tronc.

Tableau 11: Variables discriminantes et paramètres statistiques associés

Variables	λ Wilk	P
CIR 130	0,778	< 0,001***
LP	1	0,974ns
LL	0,998	0,823ns
LgL	0,989	0,309ns
NN/F	0,994	0,510ns
LN	0,997	0,730ns
LgN	0,997	0,693ns
PN	0,995	0,592ns
R	0,990	0,354ns

CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, LP : longueur du pétiole, LL : longueur du limbe, LgL : largeur du limbe, NN/F : nombre de noix par fruit, LN : longueur de la noix, LgN : largeur de la noix, PN : poids de la noix. NN/A : nombre de fruits par arbre ; R : rendement en poids de noix par arbre

Le **Tableau 12**, résultant de l'analyse factorielle discriminante, donne les pourcentages d'inertie et la contribution des variables à la définition des deux premières composantes canoniques. Ces dernières rendent compte de la plus grande partie de la dispersion, car elles décrivent à elles seules la totalité (100%) de la variabilité. Cependant nous pouvons dire que la variabilité est décrite par la première fonction canonique puisqu'à elle seule, explique 99,60 % de la variabilité totale. La première fonction discriminante est essentiellement définie par la circonférence du tronc à 130 cm du sol (CIR 130 cm). La seconde fonction est plutôt marquée par la variable *Rendement* (R). Les variables *circonférence du tronc* (CIR 130 cm), *longueur des noix* (LN), *nombre de noix par fruit* (NN/F) et *poids de la noix* (PN) contribuent dans une moindre mesure à la définition de cette deuxième composante.

Tableau 12: Valeurs propres et contribution des variables à la définition des fonctions canoniques 1 et 2 à partir de l'analyse factorielle discriminante sur les 3 groupes formés par la CAH

Fonction discriminante canonique	Axe 1	Axe 2
Valeurs propres	2,97	0,01
Variance %	99,6	0,4
Variance cumulée %	99,6	100
CIR 130	1,19	-0,77
LP	0,00	-0,15
LL	0,06	0,17
LgL	-0,15	-0,11
NN/F	0,1	-0,61
LN	-0,01	0,60
LgN	0,12	-0,14
PN	0,21	-0,53
R	-0,32	1,42

CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, LP : longueur du pétiole, LL : longueur du limbe, LgL : largeur du limbe, NN/F : nombre de noix par fruit, LN : longueur de la noix, LgN : largeur de la noix, PN : poids de la noix; R : rendement en poids de noix par arbre.

L'analyse des moyennes des variables canoniques a montré que la première fonction discriminante permet de discriminer le groupe 2 des autres groupes formés par la CAH.

La **Figure 18** présente la répartition des groupes et des individus dans le plan formé par les fonctions discriminantes canoniques 1 et 2 de l'AFD. Les groupes 1 et 2 présentent une séparation distincte. Le groupe 3 qui fait d'office de d'intermédiaire ne présente pas de distinction concrète avec les deux autres. L'analyse du classement des individus des groupes formés par la CAH avec les groupes théoriques prévus a montré que 95,9% des individus ont été classés correctement. En effet, 6 individus du groupe 3 sont classés dans le groupe 1 et 3 arbres du groupe 3 sont classés dans le groupe 2.

La composante canonique 1 représente plus de la moitié de la variabilité totale avec 99,60 %. Elle permet de distinguer le groupe 2 des groupes 1 et 3. Par ailleurs, la composante canonique 2 (avec 0,4 % de la variabilité totale) ne permet pas de distinguer les groupes les uns des autres.

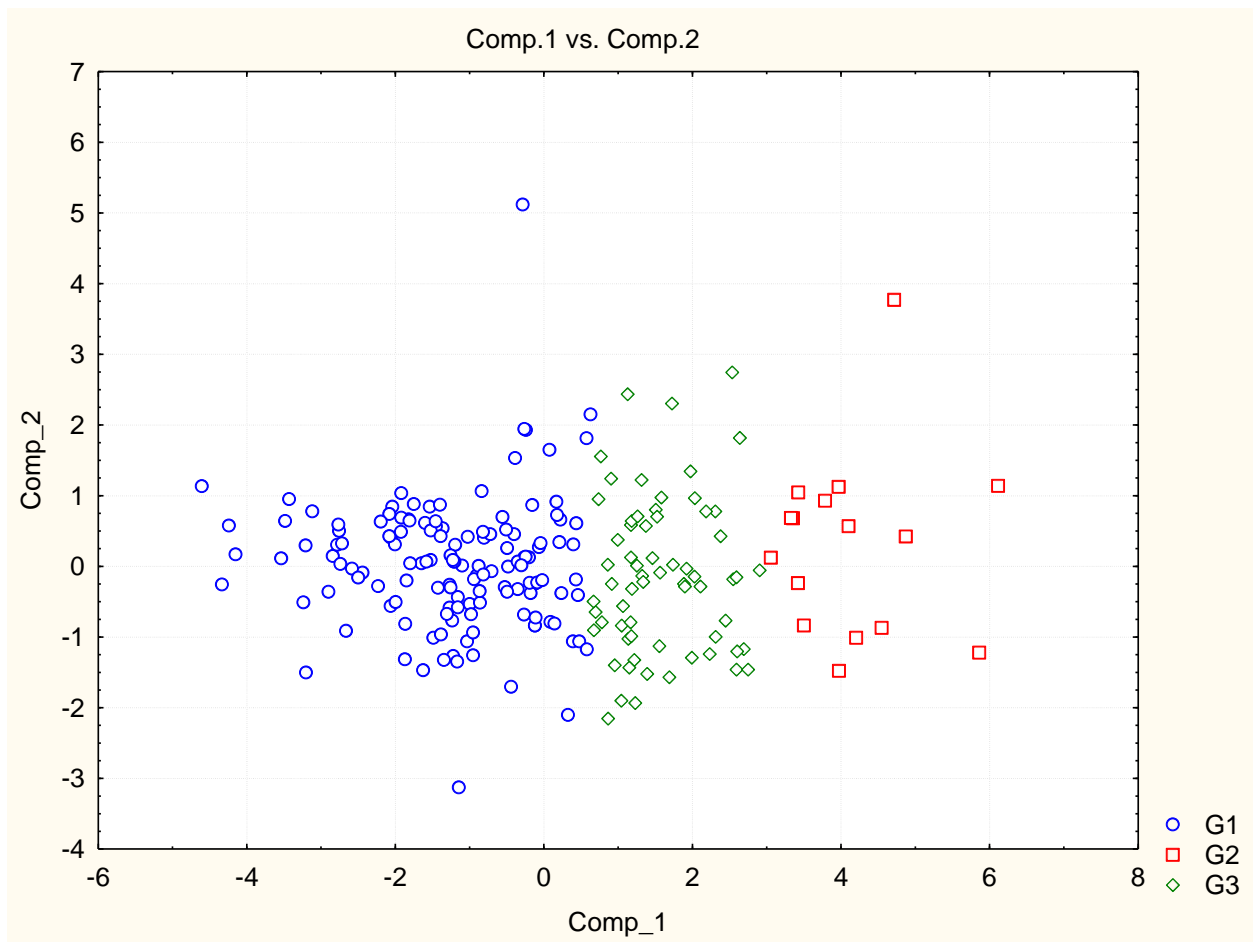


Figure 18 : Répartition des 220 arbres élités de karité étudiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo

Discussion

Les variables quantitatives morphologiques mesurées sur les feuilles, les noix, et le rendement au sein de chaque région ont montré des variations importantes. En effet, les mesures de la circonférence du tronc ont varié entre 50 et 287 cm avec un coefficient de variation CV = 30,71%. D'autres études ont montré des variations se situant entre 0,28 et 3,14 m (Chevalier 1948), entre 40 et 320 cm (Sanou *et al.*, 2006), entre 0,58 et 2,3 m (Diarrassouba, 2008) et entre 0,55 m et 2,56 m (Soro *et al.*, 2011), pour les arbres adultes. Les différences seraient liées à la technique de mesure comme l'a observé Hall *et al* (1996). Ainsi, certains auteurs rapportent la circonférence du tronc au collet, alors que d'autres la mesure à 1,3 m du sol. La longueur moyenne des noix (LN = 3,18 cm) diffère de celles déterminées par Diarrassouba (2008) et Soro *et al* (2011) en Côte d'Ivoire, Djekota (2014) au Tchad et de Gwali *et al* (2012) en Ouganda qui ont varié entre 2,65 et 2,9 cm. Ces différences sont dues au fait que lors de l'identification des arbres élités de karité, il y avait le critère grosseur du fruit alors que l'étude de ces différents auteurs était basée pour la plupart sur la variabilité morphologique d'une zone. En effet Gwali *et al* (2012) avaient trouvé une corrélation significative positive (r

= 0,803) entre la longueur du fruit et celle de la noix. Les valeurs moyennes des mesures sur la feuille sont identiques à celles obtenues par Sanou *et al* (2006) Diarrassouba (2008), Soro *et al* (2011), Djekota (2014). Cependant elles diffèrent de celles déterminées par Gwali *et al* (2012) en Ouganda. La différence pourrait être expliquée par la différence des caractéristiques morphologiques entre les différentes sous-espèces. En effet, en Afrique occidentale et centrale, l'espèce de karité rencontrée est la sous-espèce *V. paradoxa* subsp *paradoxa* alors qu'en Afrique australe, c'est la sous-espèce *V. paradoxa* subsp *nilotica* qui est rencontrée. Le rendement moyen (16,16 kg) de noix par arbre est différent de celui de Nouvellet *et al* (2006) qui ont obtenu un rendement moyen de 58 kg de noix fraîches lors d'une étude de détermination de la production fruitière du karité dans les parcs à karités au Mali. Cette différence importante résiderait dans la technique de mesure comme l'a signifié Masters en 2002 lors de l'atelier international sur le karité au Sénégal. « Un rendement estimé au nombre de fruits par branche comptés au sol, avec une extrapolation et un travail de devinette considérable. Ou, un rendement estimé, basé sur la participation active d'un agriculteur local, qui doit collecter chaque fruit tombé, mais sans mélanger la récolte d'un arbre avec celle des autres » (Masters, 2002).

Les analyses de variance réalisées variable par variable entre les arbres d'une même région selon les départements n'a pas montré des différences significatives entre les arbres de la région de la Bagoué pour la plupart des caractères quantitatifs. Les deux variables quantitatives qui ont montré des différences significatives étaient la longueur et le poids de la noix (LN et PN). Par contre, pour la région du Tchologo, la moitié des caractères quantitatifs ont montré des différences significatives au seuil de 5%. Il s'agit de la circonférence à 130 cm du sol (CIR 130), la longueur du limbe (LL), la longueur de la noix (LN), le nombre de fruits par arbre (NF/A) et le rendement en noix par arbre (R). Sur base de ces résultats, nous pouvons dire qu'il y a forte variabilité des caractères quantitatifs des arbres élites de karité identifiés dans la région du Tchologo par rapport à ceux de la région de la Bagoué. Chevalier (1943 ; 1948) cité par Diarrassouba (2008) a réalisé des travaux qui avaient signalé la présence de variétés géographique, morphologique, physiologique chez le karité.

La variabilité de certaines espèces des savanes a été mise en exergue par l'étude de la morphologie, notamment chez *Datarium microcarpum* par la mesure de la dimension des arbres, des fruits et des graines (Kouyaté et Van Damme, 2002), *Balanites aegyptiaca* (Abasse *et al.*, 2011) et *Tamarindus indica* (Soloviev *et al.*, 2004). Selon certains de ces auteurs, ces variations s'expliqueraient par la sélection naturelle et/ou humaine, la dérive génétique et le flux des gènes (Vaughan *et al.*, 2007, Abasse *et al.*, 2011).

L'analyse de variance réalisée sur les caractères quantitatifs en fonction des deux régions a montré des différences significatives au seuil de 5% pour sept (7) variables sur les dix mesurées (tableau 5). Ces résultats montrent qu'il y a une variabilité importante quant aux descripteurs quantitatifs étudiés chez les arbres élites de karité identifiés. Cette variabilité pourrait être expliquée par le caractère allogame du karité qui créerait des sous-variétés d'une région à une autre.

L'analyse en composante principale a généré trois principales composantes principales. La première qui explique 29,92% de la variabilité est corrélée avec les variables du rendement (nombre de fruits par arbre et rendement en noix) et la circonférence du tronc à 130 cm du sol. La deuxième est corrélée avec les caractères liés à la noix (LN, LgN et PN) avec 28,36% de la variabilité expliquée. Quant à la troisième qui est corrélée aux caractères foliaires (LP, LL, LgL) explique 14,74% de la variabilité des arbres élites identifiés. Ces résultats montrent que les caractères quantitatifs liés à la feuille sont peu pertinents pour expliquer la variabilité des arbres étudiés. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Gwali *et al.*, (2012). Ces auteurs ont montré à travers une étude sur la variabilité agromorphologique du karité en Ouganda que la variation était plus élevée pour les variables relatives aux fruits et aux noix que pour les variables relatives aux feuilles. Ce qui semblait aller à l'encontre des descripteurs populaires des variétés ethniques qui s'étendent au-delà de la morphologie.

L'analyse hiérarchique ascendante (CAH) réalisée sur la base de variables quantitatives sur les caractères de la noix, les feuilles, la circonférence à 130 cm du sol et le rendement a révélé trois groupes. Ces groupes ne correspondent pas à la séparation géographique des arbres identifiés. Par conséquent, la cause des différences significatives observées entre les individus d'une région peut être due à la nature allogame des arbres de karité. Gwali *et al.*, (2012) sont arrivés à la même conclusion. On sait que la pollinisation croisée entre les arbres à beurre de karité peut donner naissance à des variantes hautement phénotypiques qui sont largement influencées par des facteurs environnementaux (McGowen *et al.* 2010). Cependant, la diversité phénotypique pourrait aussi bien être génétique (Masood *et al.*, 2005). Ainsi il est donc difficile d'identifier les variétés de karité sur la seule base de preuves morphologiques (Gwali *et al.*, 2012). L'analyse multiple de variance réalisée à partir des groupes a montré qu'ils se différencient principalement par la circonférence à 130 cm du sol, le nombre de fruits par arbre et le rendement. Ces résultats montrent que le rendement est fonction de la circonférence du tronc puisque les arbres dont la circonférence moyenne des groupes 1 ; 2 et 3 était respectivement 121,21, 244,56 et 185,78 cm avaient des rendements respectifs de 12,44 ; 30,08 et 20,7 Kg de noix. Ces résultats sont en désaccord avec ceux obtenus par Serpantié

(1996). Pour cet auteur, la production fruitière est indépendante de la circonférence du tronc à 1,3 m du sol pour des troncs supérieur ou égal à 75 cm. En effet dans son étude sur la production fruitière du karité au Burkina Faso, il a considéré deux classes de karité en fonction de la circonférence du tronc (une classe dont la circonférence était comprise entre 75 et 125 cm et l'autre, des arbres dont la circonférence était supérieure à 125 cm) et n'a pas relevé des différences significatives entre les rendements.

L'analyse factorielle discriminante réalisée sur les groupes a montré que seule la circonférence du tronc à 130 cm du sol permettait de prédire l'appartenance d'un quelconque individu à l'un des groupes avec un pouvoir discriminant de 99,6%. Cela signifie que les arbres de karité identifiés ne se différencient statistiquement que par leurs classes d'âges. On pourrait expliquer cette situation par le fait les arbres de karité sont épargnés et entretenus par les paysans lors des pratiques agricoles selon des critères de préférences comme le goût de la pulpe, la grosseur des fruits et le taux en huile. Par conséquent nos arbres élites de karité seraient semi-domestiqués par les paysans.

3.3 Relations entre les variables

Résultats

3.3.1. Etude de la corrélation entre les variables mesurées

Le **tableau 13** présente les corrélations entre les différentes variables mesurées. Dans ce tableau, on observe des corrélations positives et des corrélations négatives. Toutes les variables étudiées ont présenté des différences significatives avec au moins une variable. La plus forte corrélation a été obtenue entre la circonférence du tronc (CIR 130 cm) et le nombre de fruits par arbre (NF/A) avec une corrélation parfaite de 1. D'autres corrélations, également, fortes ont été observés entre largeur de la noix (LgN) et le poids de la noix (PN) ($r = 0,808$; $p < 0,001$) et entre le rendement et la circonférence et le nombre de fruits par arbre ($r=0,772$; $P<0,001$). On note aussi d'autres corrélations significatives $p<0,001$) comme LN et LgN ($r = 0,502$), LN et PN ($r = 0,580$), LL et LgL ($r = 0,568$), LP et LL ($r = 0,47$), NN/F et LgN ($r = 0,359$), NN/F et PN ($r = 0,328$).

L'observation des catégories de variables permettent de trier au sein de chaque catégorie celles qui sont les plus discriminantes. Ce sont: (i) la dimension des feuilles (LL, LgL, LP) et (ii) la dimension des noix (LN, LgN et PN) au niveau des arbres élites des deux régions étudiées.

Tableau 13: Corrélation entre les différentes variables quantitatives mesurées

	CIR 130	LP	LL	LgL	NN/F	LN	LgN	PN	NF/A	R
CIR 130	1,000									
LP	-0,184	1,000								
LL	-0,253	0,470	1,000							
LgL	-0,173	0,260	0,568	1,00						
NN/F	-0,052	0,063	0,140	0,178	1,000					
LN	-0,126	0,125	0,061	0,028	0,017	1,000				
LgN	-0,082	0,184	0,175	0,124	0,359	0,502	1,000			
PN	-0,104	0,194	0,204	0,112	0,328	0,580	0,808	1,000		
NF/A	0,999	-0,184	-0,253	-0,173	-0,052	-0,126	-0,082	-0,14	1,000	
R	0,772	-0,041	-0,087	-0,085	0,295	0,214	0,423	0,485	0,772	1,000

CIR 130 : circonférence du tronc à 130 cm du sol, LP : longueur du pétiole, LL : longueur du limbe, LgL : largeur du limbe, NN/F : nombre de noix par fruit, LN : longueur de la noix, LgN : largeur de la noix, PN : poids de la noix, NF/A : nombre de fruits par arbre ; R : rendement en poids de noix par arbre.

3.3.2 Etude combinant les variables qualitatives et quantitatives

L'analyse descriptive réalisée à partir des variables qualitatives sur les trois groupes formés par la classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les caractères quantitatifs, a montré que les modalités de chaque caractère qualitatif sont représentées dans chaque groupe à l'exception du groupe 2 qui n'a pas la modalité *sphéroïde* du caractère *forme de la noix*.

Par la suite, une classification ascendante hiérarchique a été réalisée sur une matrice de données contenant les caractères qualitatifs et quantitatifs. Le résultat de cette CAH était identique que celui réalisé sur les caractères quantitatifs, c'est-à-dire la formation de trois groupes d'arbres avec les effectifs de 16 ; 65 et 139 individus respectivement pour le groupe 2 ; le groupe 3 et le groupe 1. Les individus de chaque groupe formé par cette nouvelle (combinaison des données sur les caractères qualitatifs et quantitatifs) étaient les mêmes que la précédente (données sur les caractères quantitatifs uniquement). Cependant il y a des caractéristiques qualitatives qui s'ajoutent sur les caractéristiques quantitatives de ces trois groupes. Seuls les sept caractères les plus discriminants identifiés au niveau de l'analyse de caractères qualitatifs ont été considérés. Ces différents caractères et leurs phénotypes majeurs associés sont consignés dans le tableau suivant en fonction des groupes.

Tableau 14: Caractéristiques des différents groupes par rapport aux descripteurs qualitatifs

Caractères	Groupe 1 (139)	Groupe 2 (16)	Groupe 3 (65)
DB (Phénotypes et %)	Moyen 70,5%	Moyen 56,26% Dense 31,25%	Moyen 56,26% Dense 31,25%
RB (Phénotypes et %)	Semi-érigé 30,22% Etendu 22,30%	Verticillé 31,25% Droit 31,25%	Verticillé 26,15% Semi-érigé 30,77%
FL (Phénotypes et %)	E elliptique 31,65% Oblong 52,52%	E elliptique 37,5% Oblong 56,25%	E elliptique 40% Oblong 47,69%
FAL (Phénotypes et %)	Aigu 31,65% Arrondi 29,50% Obtus 36,69%	Aigu 25% Arrondi 43,75% Obtus 25%	Aigu 32,31% Arrondi 24,62% Obtus 32,31%
CJF (Phénotypes et %)	Vert clair 67,63%	Vert clair 75%	Vert clair 64,62%
CFA (Phénotypes et %)	Vert 72,66%	Vert 50% Vert foncé 37,50%	Vert 73,85%
FN (Phénotypes et %)	Ellipsoïde 20,86% Ovale 27,34% Ovoïde 46,76%	Ovale 50% Ovoïde 31,25%	Ovale 35,38% Ovoïde 46,15%

DB : Densité des branches, RB : Ramification des branches, FL : Forme du Limbe, FAL : Forme de l'apex du limbe, CJF : Couleur Jeune Feuille, CFA : Couleur de la feuille adulte, FN : Forme des noix

L'analyse du tableau 13 montre qu'à des exceptions près, les trois groupes présentent les mêmes caractéristiques qualitatives. Il ressort donc des typologies majeures des arbres élités de karité étudiés les caractéristiques suivantes :

Groupe 1 : Ce sont des possédant de petits troncs à 130 cm du sol (CIR 130=121,21 cm), de grandes feuilles (LL=15,21 cm, LP=8,73 cm, LgL=4,69 cm). Ils produisent peu (R=12,44 Kg) mais possèdent de grosses noix (LN=3,22 cm, LgN=2,39 cm et PN=9,11g). Au niveau des caractères qualitatifs, ils possèdent une densité de brachiation moyenne, une ramification de type semi-érigé ou étendu, une forme de limbe étroitement elliptique ou oblongue, une forme de l'apex foliaire aiguë, arrondie ou obtuse, une couleur de jeune feuille majoritairement vert-claire, une couleur de feuille adulte verte et une forme de noix elliptique, ovale ou ovoïde.

Groupe 2 : Les individus du groupe 2 se distinguent par un gros tronc (CIR 130 = 244,56 cm) avec des petites feuilles (LL= 13,66 cm, LP = 7,74 cm et LgL= 4,17 cm). Ils ont un bon

rendement moyen (R=30,08 Kg) et possèdent de grosses noix (LN=3,19 cm LgN=2,39 cm et PN = 9,08 g). Ils possèdent les mêmes caractéristiques qualitatives du groupe 1 pour les caractères foliaires et pomologiques à l'exception du phénotype vert-foncé qui s'ajoute pour la couleur de la feuille adulte et le phénotype ellipsoïde qui est absent pour la forme de la noix. La densité et le type de brachiation sont respectivement moyenne ou dense et verticillé ou droit.

Groupe 3 : Les arbres du groupes 3 sont caractérisés par des noix moyennes (LN = 3,10 cm, LgN = 2,36 cm et PN = 8,62 cm) mais jouent d'office d'intermédiaire entre les deux groupes précédents pour les autres caractères étudiés. Ils possèdent les mêmes caractéristiques qualitatives que le groupe 1 pour la forme du limbe, forme de l'apex du limbe, couleur de la jeune feuille et couleur de la feuille adulte. Ces arbres ont le phénotype ovale ou ovoïde pour la forme de la noix, le type de brachiation est verticillé ou semi-érigé et la densité de brachiation est moyenne ou dense.

Discussion

L'étude de la relation phylogénique par la structuration phénotypique de la population des arbres élites de karité dans la zone d'étude est importante pour la gestion des ressources phytogénétiques puisqu'elle constitue la première étape dans la mise en œuvre d'un processus de sélection (Djékota, 2014). La gestion des ressources de karité a été principalement basée sur la classification des indigènes pour la conservation, la domestication et la sélection des individus performants au cours des temps (Lovett et Haq, 2000b cité par Djékota, 2014). Cependant, selon Masters (2002), c'est seulement lorsque la rentabilité pour les producteurs initiaux et leurs foyers est augmentée que ces décisions locales tendent à être en faveur de la ressource en karité pour le futur.

La connaissance de la diversité morphologique génétique des arbres de karité ciblés comme élites est nécessaire pour mieux définir des stratégies de conservation autre que ce qui est faite actuellement et d'amélioration de l'espèce. Cette étude a concerné l'évaluation de la variabilité morphologique de 220 arbres de karité identifiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo au Nord de la Côte d'Ivoire en vue d'une amélioration future de l'espèce. Les résultats de l'analyse de certains caractères qualitatifs et quantitatifs ont montré que les individus identifiés pourraient valablement représenter la diversité morphologique du karité rencontrés dans le pays.

Une analyse descriptive de la combinaison des variables qualitatives en fonction des trois groupes formés n'a pas montré d'affiliation d'une variable quelconque à l'un des groupes.

Cela pour être interprété qu'il n'y a pas de liaison génétique entre les variables qui ont servi au regroupement des individus et les variables qualitatives. Par la suite, l'analyse hiérarchique réalisée à partir de la combinaison des deux différents types de variables a généré les mêmes groupes et les mêmes individus dans chaque groupe qu'avec les variables quantitatives uniquement. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'effet des variables qualitatives est négligeable en présence des variables quantitatives dans la constitution des groupes.

Des corrélations significatives ont été obtenues à l'intérieur de chaque catégorie de caractères. Ce résultat indique que l'utilisation d'un descripteur pomologique tel que la largeur de la noix suffit pour caractériser la noix de karité. Par exemple, il y a 80,6 % de chance de pouvoir faire une bonne estimation du poids de la noix en se référant à la valeur de la largeur de celle-ci. On note aussi des corrélations très significatives entre les caractères de différents types. En effet il y a une corrélation parfaite entre la circonférence à 130 cm du sol et le nombre de fruits par arbre et une corrélation très significative ($r=0,772$; $P<0,001$) entre ce même caractère et le rendement en poids de noix par arbre. Diarrassouba (2008) a montré des corrélations significatives à l'intérieur de chaque catégorie de caractères. Par contre il n'a pas observé cette différence significative entre les caractères de différents types. Cela pourrait s'expliquer par le fait que dans son étude, il ne s'est pas intéressé au rendement et nous l'avons fait dans celle-ci. En effet les corrélations entre différents types de caractère ont été observées entre la seule variable dendrométrique (CIR 130) et le rendement en général (NF/A et R). Cette corrélation positive indique que le rendement (NF/A et R) augmente avec la circonférence de l'arbre à 130 cm du sol. Ces résultats sont en désaccords avec ceux de Nouvellet *et al.*, (2006) qui ont étudié la production fruitière du karité au Mali dans quatre villages. Les résultats ont montré que les arbres de karité du parc de Ténéfina qui avaient une grande circonférence à 1,3 m du sol ont donné le plus faible rendement. Selon Bonkougou (2002) la production de fruits frais par arbre et par année est estimée de 15 à 30 kg, avec des rendements pouvant parfois atteindre les 50 kg pour les arbres très productifs. Cependant, la variation de rendement est énorme entre les arbres et selon les périodes. Selon le même auteur, les arbres individuels peuvent ne pas produire toutes les années et la production peut être réduite d'un tiers ou de moitié d'une année sur l'autre. Pour Serpantié (1996), la fluctuation de la production du karité par année serait liée à la pluviométrie, une année humide donnant un meilleur rendement par rapport à une année sèche, un vent supérieur à 40km/h pendant la floraison accompagné d'attaque de pyrales occasionnait la chute des fleurs. Tout ceci pourrait expliquer cette différence observée entre ces deux études.

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif global de caractériser la diversité morphologique des arbres élités de karité identifiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo en Côte d'Ivoire. Il s'agissait spécifiquement de déterminer les caractères morphologiques pertinents qui décrivent les arbres élités et de les typer suivant les caractères morphologiques les plus pertinents. Elle a consisté en la mesure des caractères quantitatifs et en la description des caractères qualitatifs de 220 arbres de karités identifiés dans des champs paysans comme élités.

Les résultats présentés dans cette étude ont donné une représentation globale de la variabilité morphologique des arbres de karité ciblés comme élités identifiés dans les régions de la Bagoué et du Tchologo en Côte d'Ivoire. Ils révèlent que :

- Les arbres élités de karité présentent une variabilité morphologique importante au plan phénotypique. Six formes du houppier et du limbe, quatre phénotypes chez la jeune feuille, de l'apex du limbe, de la forme de la noix et trois phénotypes de la couleur de la noix ont été identifiés pour les caractères qualitatifs. Des coefficients de variation de l'ordre de 15 à 49% ont été obtenus pour la plupart des caractères quantitatifs étudiés. La population analysée semble être représentative de la variabilité existante. Ces résultats montrent que la stratégie de sélection employée par les paysans est satisfaisante sur le plan morphophénotypique. Cependant, la conservation de ces précieuses ressources phytogénétiques n'est pas durable car elles sont menacées par des risques naturels et anthropiques. Les paysans peuvent en effet à n'importe quel moment couper leurs arbres pour, notamment, faciliter l'exploitation de leurs champs ou produire du bois de feu. Des événements naturels comme des tempêtes ou une forte sécheresse menacent également la survie des arbres élités.
- Six descripteurs quantitatifs (CIR 130, R, LN, PN, LP, LL et LgL) et six caractères qualitatifs (CN, FN, CFA, CJF, FL et DB) sont les plus pertinents pour décrire les karités élités en Côte d'Ivoire.
- Les analyses multivariées réalisées ont permis de classer les arbres élités en trois grands groupes qui se distinguent principalement par leur niveau de développement végétatif (CIR 130), la longueur et la largeur du limbe et leur rendement.
- Selon nos observations, le rendement est fonction de la circonférence du tronc à 130 cm du sol : plus cette circonférence est grande et plus la récolte est élevée. Le ratio CIR 130/R des trois groupes formés a donné dans l'ordre des groupes (1 à 3) les

valeurs 12,05 ; 8,48 et 9,62. Sur base de ces résultats, un arbre de karité peut être considéré comme élite, en terme de production, si le rapport CIR 130/R est inférieur ou égal à 10. Compte tenu de la variabilité interannuelle des rendements du karité, il est nécessaire de valider ce constat en continuant le suivi de ces paramètres sur au moins deux ans.

- Le ratio CIR 130/R pourrait servir de critère pour sélectionner les arbres élites à conserver et à dupliquer pour la suite du programme. Le rendement étant selon nos observations lié directement à la circonférence, et donc à l'âge des arbres, une faible valeur du ratio CIR 130/R doit correspondre aux arbres les plus productifs pour une tranche d'âge donnée. A titre illustratif, nous avons repris dans l'annexe 2 tous les individus présentant un ratio CIR 130/R inférieur à 8,5, qui correspond au ratio moyen du groupe dont les arbres sont les plus productifs. Le choix définitif des arbres à retenir devra également tenir compte des résultats des analyses réalisées actuellement par Kouassi Kouakou Alfred sur la caractérisation de la matière grasse des arbres élites.

PERSPECTIVES

Afin de finaliser le choix des individus à conserver en priorité dans le processus de domestication du karité en Côte d'Ivoire, il nous semble important de compléter l'analyse de la diversité morphologique que nous avons réalisée par une caractérisation génotypique des arbres élites au moyen de marqueurs moléculaires de l'ADN. Cette étude doit être couplée avec le suivi du rendement pendant au moins trois ans dans le but d'identifier les arbres les plus productifs et qui ont une production stable dans le temps.

Les individus sélectionnés suite à ces travaux pourront être multipliés par greffage sur des porte-greffes préalablement identifiés et préparés dans le parc à karité de Tengréla pour créer une collection permanente qui servira à la poursuite des activités d'amélioration du karité.

Cette collection pourra servir, notamment, à la production par greffage des plants élites à distribuer aux paysans.

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 agroforests in eastern Niger. *Agrofor Syst* 81(1):57–66

Abdou Rabiou, Bakasso Yacoubou, Adam Toudou, Saadou Mahamane, Baudoin Jean-Pierre 2015. Biologie, diversité et outils pour l'analyse de la diversité génétique de l'oignon, *Allium cepa* L. (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2015 19(2), 184-196.

Abdulai I., Krutovsky K.V., Finkeldey R. (2016). Morphological and genetic diversity of shea tree (*Vitellaria paradoxa*) in the savannah regions of Ghana. *Genet Resour Crop Evol.* DOI 10.1007/s10722-016-0434-8

AKOSSONGO T. J. (2014). Les coopératives de productrices de beurres de karité et leur rôle dans le financement des forêts au Burkina Faso. Présentation PowerPoint 25 p. http://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2014/12/AHEG2_WG1_BurkinaFaso.pdf

Aubreville, A. 1950. Flore Forestière Soudano-Guinéenne, A.O.F.- CAMEROUN A. E.F. 523 p.

Badini Z., Kaboré M., van der Mheen – Sluijter, J., et Vellema S. 2011. Le marché du karité et ses évolutions. VC4PD Research Paper, No. 12

Bamba, K. 1985. Systèmes aériens et racinaires de quelques essences spontanées et exotiques dans la région de Saponé. Mém.de fin d'études. Institut Supérieur Polytechnique, Université de Ouagadougou, 135 p.

BAYALA, J. & LAMIEN, N. 1997. Caractérisation du parc à karité dans le système de production à base de céréales du terroir de Dimmolo, 46 p.

Becker M. & Held, D.C. 2001. Market Structure of *Vitellaria paradoxa* and *Parkia biglobosa* products. In: Teklehaimanot, Z., 2001. third annual report of improved management of agroforestry parkland systems in Sub-Saharan Africa, pp 39-47.

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, 2e éd. Dakar, Sénégal. 485 p.

Boffa J-M., Yaméogo G., Nikiéma P. and Knudson D.M., 1995. Shea nut (*Vitellaria paradoxa*) production and collection in agroforestry parklands of Burkina Faso.

Boffa, J.M., Yaméogo, G., Nikiema, P. & Taonda, J.B. 1996. What future for the shea tree. *Agroforestry Today* 8(4),5-11.

Bonkougou E.G., 1987. Monographie du karité, *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn. F.) Hepper., espèce agroforestière à usages multiples. IRBET/CNRST. Ouagadougou, 67 p.

Bonkougou E.G., 2002. L'arbre à karité (*Vitellaria paradoxa*) et les parcs à karité en Afrique. Présentation à atelier international sur le traitement, la valorisation et le commerce du karité en Afrique. Centre de Suivi Ecologique Dakar, Sénégal du 4 au 6 mars 2002

Bouchra N, Samir E.J., Mohamed J., Jacquemin J.M. (2003). Applications des marqueurs moléculaires dans l'amélioration du blé tendre pour la résistance aux maladies et aux insectes. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 7 (1), 17–35.

Boussim, I 1991. Contribution à l'étude des Tapinanthus Parasites du karité au Burkina Faso. Thèse de Doctorat 3ème Cycle, option Biologie et Ecologie Végétales, ISNIIDR, Univ., Ouagadougou. 131 p.

Bouvet J. M., Fontaine C., Sanou H. et Cardi C., 2004. An analysis of the pattern of genetic variation in *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. Using RAPD markers. *Agroforestry Systems* 60: 61-69.

Bouvet, J.M. et Cardi, C. 2001. Genetic diversity of *Vitellaria paradoxa*. In: Teklehaimanot, Z. 2001. *Third annual report of Improved management of agroforestry parkland systems in Sub-Saharan Africa*, pp. 48-56.

Brou Y. T., 2005 Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités Scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches. Université des Sciences et Technologies de LILLE, (2005) 212.

Bup, D. N., Mohagir, A. M., Kapseu, C. & Mouloungui, Z. (2014). Production zones and systems, markets, benefits and constraints of shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) butter processing. *OCL* 2014, 21(2): D206.

Chevalier A. 1943. Les sapotacées à graines oléagineuses et leur avenir en culture. *Rev. Bot. Appl.*, 2 : 260 – 262.

Chevalier A. 1948. Nouvelles recherches sur l'Arbre à beurre du Soudan *Butyrospermum Parkii* . In: Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale, 28^e année, bulletin n°307-308, Mai-juin 1948. pp. 241-256; doi : 10.3406/jatba.1948.6157

Compaoré I., 2008. Etude de la variabilité des caractères morphologiques chez différents écotypes du karité (*Vitellaria paradoxa* (Gaertn. F.) Hepper. Au Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du développement rural. UPB/IDR, BF, 75 p.

Delolme, A. 1947. Etude du karité à la station agricole de Ferkéssédougou. Oléagineux 4, pp 186-200.

Diarrassouba N. N'guessan A. Koffi E., Sangaré A. (2007b). 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. *Plant Genetic Resource Newsletter* 152 : 65-72.

Diarrassouba N. 2008. Caractérisation morphologique chez le karité : *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. (Sapotaceae) et analyse de certains facteurs anthropiques affectant la structure de la diversité génétique des peuplements en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 126 p.

Diarrassouba N., Bup N. D., Fofana I.J., Sangare A. (2009). Varieties fixing at shea trees (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) Using morphological traits in Côte d'Ivoire. *Geneconserve*. 8 (33) : 752 – 780.

Diarrassouba N., Fofana J. I, Bakayoko A., Nguessan A. K. et. Sangare A., 2009. Influence des systèmes agraires sur la dynamique de régénération naturelle du karité : *Vitellaria paradoxa* CF GAERNT (*Sapotaceae*) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 21 (1) : 49 - 58 (2009).

Diarrassouba N., Yao S.D.M. et Traoré B. (2017). Identification participative et caractérisation des arbres élites de karité dans la zone de production en Côte d'Ivoire. Rapport d'étape N°2 projet FIRCA/Karité N° 069/2016. 15 pages.

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. (2014). Etude de la variabilité morphologique et taxonomique des morphotypes chez le karité (*Vitellaria paradoxa* C.F Gaertn sous-espèce *paradoxa*, *Sapotaceae*) dans la région du Mandoul au Tchad. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 151 p.

Daws, I M., Gaméné, S. c, Glidewell, M. S. & Pritchard, W. H. 2004. Seed mass variation potentially masks a single in recalcitrant seeds. *Seed Science Research* 14, pp.185-195.

FAO, 2005 : L'irrigation en Afrique en chiffres – Enquête AQUASTAT 2005

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. *Heredity* 93, 639–648

Guinko S., 1984. Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat d'état ès sciences naturelle, Bordeaux III, tome 2, 318p.

Guira, M. 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 3ème cycle, Biologie et Ecologie Végétales. Université de Ouagadougou, 176 p.

Gwali S., Nakabonge G., Okullo J. B. L., Eilu G., Nyeko P., Vuzi P., 2012. Morphological variation among shea tree (*Vitellaria paradoxa* subsp. *nilotica*) 'ethnovarieties' in Uganda, *Genet Resour Crop Evol* DOI 10.1007/s10722-012-9905-8

Gwali S., Vaillant C. A., Nakabongea G., Okullo J., Eilua G., Muchugid A. et Bouvet C. J. (2014). Genetic diversity in shea tree (*Vitellaria paradoxa* subspecies *nilotica*) ethno-varieties in Uganda assessed with microsatellite markers. *Forests Trees and Livelihoods*

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

Hans-Jürgen, V.M. 1992. Arbres et Arbustes de Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. 531 p.

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

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.

IPGRI et 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

IRHO.,1952. Karité-Rapport annuel d'activités 1952: 136-141.

Kaboré S. A., Bastide B., Traoré S., Boussim J. I. Dynamique du karité, *Vitellaria paradoxa*, dans les systèmes agraires du Burkina Faso. Bois et forêts des tropiques, 2012, n°313 (3)

Kafilatou S. T., Léonard A E., Vincent E and Eliassou S. H, 2015. Agro-morphological variability of shea populations (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn) in the Township of Bassila, Benin Republic. Journal of Plant Breeding and Crop Science. Vol. 7(2), pp. 28-37, February 2015. ISSN 2006-9758.

Kelly B., 2005. Impact des pratiques humaines sur la dynamique des populations et sur la diversité génétique de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. (karité) dans les systèmes agroforestiers au sud du Mali. Thèse de Doctorat de l'Univ. de Bamako, Mali, 233 p + annexes.

Kone B., Diatta S., Sylvester O., Yoro G., Mameri C., Desiré D. D., et Ayemou A, 2009. Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur. Canadian Journal of Soil Science. 89 331-342.

Kouyaté A.M., Van Damme P. 2002. Caractères morphologiques de *Deutarium microcarpum* Guill. et Perr. Au Sud du Mali. Cirad /EDP Sciences. Fruits, (57) : 231–238.

Lamien, N. 1996. Importance des produits forestiers non ligneux comme source de revenus des femmes en milieu rural, Rapport de recherche, Bobo-Dioulasso, 40 p.

Lamien N., 2001. Organisation structurale et état sanitaire des populations fructifères de karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. Hepper.) dans la région de Bondoukuy Burkina Faso. Mémoire DEA, Université de Ouagadougou, BF. 70 p.

Lamien N., 2006. Fructification du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.F., Sapotaceae): Facteurs de déperdition, Amélioration et Prévision des rendements à Bondoukuy, Ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, BF. 108 p.

- Louppe Dominique, 1994. Le karité en cote d'ivoire Résumé et conclusions. CIRAD-Forêt
- Lovett P.N., Haq N. (2000). Diversity of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Ghana. *Genetic Resources and Crop Evolution* 47: 293–304.
- Lovett P., Haq N. (2000b). Evidence for anthropic selection of the sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agrofor. Syst.* 48 : 273-288.
- Maiga A.Y., 1988. Actions thématiques sur la mortalité du karité (*butyrospermlm paradoxum* subps. Parkii (g.t). hepper) dans la région de ségou. Rapport 2^{ème} mission, CCE, 29p.
- Masood MS, Javaid A, Rabbani MA, Anwar R (2005) Phenotypic diversity and trait association in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces from Baluchistan, Pakistan. *Pak J Bot* 37(4):949–957
- Masters Eliot., 2002. La ressource en karité: vue d'ensemble de la recherche et du développement en Afrique. Présentation à atelier international sur le traitement, la valorisation et le commerce du karité en Afrique. Centre de Suivi Ecologique Dakar, Sénégal du 4 au 6 mars 2002.
- McGowen MH, Vaillancourt RE, Pilbeam DJ, Potts BM (2010) Sources of variation in self-incompatibility in the Australian forest tree, Eucalyptus globulus. *Ann Bot* 105(5):737–745. doi:10.1093/aob/mcq036.
- McKey D., Emperaire L., Elias M., Pinton F., Robert T., Desmoulière S., Rival L., Gestions locales et dynamiques régionales de la diversité variétale du manioc en Amazonie, *Genet. Sel. Evol.* 33 (2001) 465-490.
- Millogo-Rasolodimby J., 2001. *L 'homme, le climat et les ressources alimentaires végétales en période de crise de subsistance au cours du 20^{ème} siècle au Burkina Faso*. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Univ. De Ouagadougou, 248 p.
- Minoungou A., 1988 Plantation expérimentale du karité. Actes du sém. *La valorisation du karité pour le développement national*, Ouagadougou: 35- 41.
- N'Guessan A., K., Diarrassouba N., Konan A., Nangha K., Y., Inza J., F., et Kouamé A., Y. Indicateurs de dégradation physique des sols dans le nord de la Côte d'Ivoire : cas de Boundiali et Ferkéssédougou. *Afrique science*, vol. 11, N°3 (2015), 1 mai 2015, <http://www.afriquescience.info / document.php?id=4711>. ISSN 1813-548X. pp 115-128.

Nacoulma-Ouedraogo O. G., 1996. *Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles au Burkina Faso. Cas du plateau central*. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Univ. de Ouagadougou, 261 p.

Nouvellet, Y., Kassamba, A. & Besse, F. 2006. Le parc à karité au mali: inventaire, volume, houppiers et production fruitière. Source: Bois et Forêts des Tropiques, 2006, (287), pp. 6-20.
OLDMAN L., HAKKEILIN

Ouedraogo, M. 1987. Note d'information sur le papillon du karité: *Cirina butyrospermii*. Recueil des communications présentées au séminaire national sur les essences forestières locales, 6-10 juillet 1987, Ouagadougou, Burkina Faso, IRBET/CILSS, pp 130133.

Picasso G., 1984. Synthèse des résultats acquis en matière de recherche sur le karité au Burkina Faso de 1950 à 1958. Rapport technique IRHO. IRD, BF. 45p.

Pinton F., Emperaire L., Le manioc en Amazonie brésilienne : diversité variétale et marché, Genet. Sel. Evol. 33 (2001) 491-512.

Oyen L. P. A. et Lemmens R. H. M. J., 2002. Ressources végétales de l'Afrique tropicale. *Précurseurs*: 107-172.

Ræbild A., Larsen A. S., Jensen J. S., Ouedraogo M., De Groote S., Van Damme P., Bayala J., Diallo B. O., Sanou H., Kalinganire A., Kjaer E. D., 2011. Advances in domestication of indigenous fruit trees in the West African Sahel. *New Forests* (2011) 41:297–315

Ruysen, B. 1957. Le karité au Soudan. *Agronomie Tropicale* 12(2):143-172,279-307.

Sacandé, M., Joker, D., Dulloo, M.E. & Thomsen, K.A. 2004 Comparative storage biology of tropical tree seeds, pp 57-65.

Saidou A., Balogoun I., Kone B., Gnangle C. P. et Aho N., 2012. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea maize*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(5): 2066-2082, October 2012.

Salle 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

Salle, G., Boussim, L, RaynaL-Roques, A. & Brunck, F. 1991. Le Karité: état de nos connaissances et perspectives de recherche. In Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, pp. 427-439.

Sandwidi A. 2012. Analyse comparative des caractères morpho-adaptatifs des variétés de karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.F. (Sapotaceae)) par la biostatistique. Mémoire de fin de cycle. UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO. 65p.

SANON Z. 2009. Fonctionnement physiologique du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. F Hepper, *Sapotaceae*) sous différents régimes d'eau. Mémoire de fin de cycle. UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO. 76p.

Sanou H, Picard N, Lovett PN, Dembe'le' M, Korbo A, DiarissoD, 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

Senou O., 2000. Les peuplements de karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.C. F.Hepper.) dans le cercle de Koutiala, au sud de Mali: répartition, structure et parasitisme par les *Tapinanthus*. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, BF. 84 p.

Serpantié G. 1996. La production de karité (*Butyrospermum paradoxum* Gaertn. f. Hepper) des parcs arborés de l'Ouest Burkina Faso : effets de différents modes de gestion. ORSTOM BP 171 Bobo-Dioulasso 01 Burkina Faso.

Shu-aib Jakpa, S , Lovett, J. C.and Donkoh, S.A 2018. Management of shea parklands in the west african savannah. UDS International Journal of Development (UDSIJD). Volume 5 No. 1, June, 2018. ISSN: 2026-5336.

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 aegyptiaca* et *Tamarindus indica*. Fruits 59(2):109–119

Soro Dodiomon , TRAORE Karidia et KASSI N'Dja Justin (2011). Variabilité des caractères morphologiques chez le karité (*Vitellaria paradoxa*), dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Int. J. Biol. Chem. Sci. 5(3): 1201-1214, June 2011

Soro G. A. (2016). Synthèse bibliographique sur la diversité génétique du karité [*Vitellaria paradoxa* (Gaertn F.)]. Mémoire de Licence 3, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire, 25 p.

Terpend, M.N. 1982. La filière karité. Produit de cueillette, produit de luxe. Les dossiers faim et développement, 91 p.

Traore, S. 1999. Contribution à l'étude cytogénétique du karité, *Vitellaria paradoxa* Gaertn du Burkina Faso. Mém. de DEA, université de Ouagadougou, 44 p.

Traore L., et Yossi., 1987. Etude bibliographique du karité (*Butyrospermum paradoxa* subsp. *parkii* (G.Don) Hepper. Sotuba (Mali). 57p.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE (INS) Côte d'Ivoire: Annuaire des Statistiques Démographiques et Sociales, Edition n°7 (2007-2010).

Yaméogo A. S., 2004. Evaluation du greffage de *Vitellaria paradoxa* Gaertn.f.Sapotaceae: quatre années après. Rapport de stage d'Ingénieur Développement Rural. IDR/UrB, Bobo-Dioulasso, BF. 30 p.

Yao Saraka Didier Martial, Konan Konan Jean-Louis , Sie Raoul Sylvère , Diarrassouba Nafan , Lekadou Tacra T. , Koffi Eric-Blanchard Z. , Yoboue Koffi, Roland Bourdeix , Issali Auguste E., Doh Franceline, Allou Kouassi , Zoro bi Arsène Irié, 2015. Fiabilité d'une liste minimale de descripteurs agromorphologiques recommandée par le COGENT dans l'étude de la diversité génétique du cocotier (*Cocos nucifera* L.). Journal of Animal & Plant Sciences, 2015. Vol.26, Issue 1: 4006-4022 Publication date 31/8/2015, <http://www.m.elewa.org/JAPS>; ISSN 2071-7024

Yace I., Initiation à la géologie, 2002. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Pétrologie, Géologie régionale. Ed. CEDA, SODEMI 183.

Zerbo, J. 1987. Expérimentations de techniques de production de plantes d'arbres utilisés en agroforesterie traditionnelle. Cas du karité, *Butyrospermum paradoxum* (Gaertn. F.). Mémoire IDR, Université de Ouagadougou 75 p.

ANNEXES

Annexe 1 Fiche N°.....Caractérisation arbre élite de karité

Nom observateur : Date observation.....

Stade phénologique de l'arbre : Végétatif Floraison Fructifère

I. Arbre et site de caractérisation

Département : Village :

Type de milieu : Jachère Champ Non cultivé

Code Arbre : Distance à partir du village : <1 km 1 à 5 km > 5 km

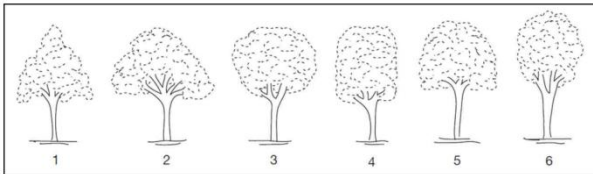
Latitude : Longitude : Altitude : m

N° Référence photo : Arbre..... Feuille..... Fruit

II. Caractéristiques liées au tronc

II. 1. Circonférence tronc (CIR 130 cm) :

II. 2. Forme de la couronne foliaire



① cime pyramidale, ② cime largement pyramidale, ③ cime sphérique, ④ cime oblongue, ⑤ cime semi-circulaire et ⑥ cime elliptique.

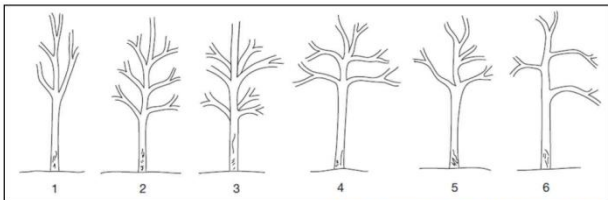
II. 3. Port de l'arbre : (1) Droit (2) Semi-érigé

(3) Etendu

II. 4. Densité des branches : (3) Clairesemée (5)

Moyenne (7) Dense

II. 5. Ramification des branches



lier et ⑥ plagiotrope.

① droit, ② opposé, ③ verticillé, ④ horizontal, ⑤ irrégulier

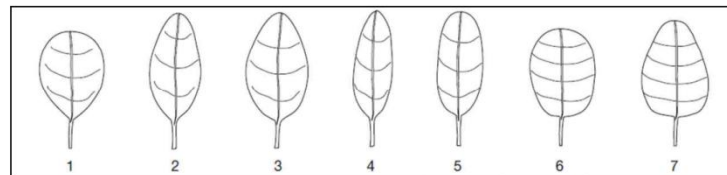
III. Caractéristiques liées à la feuille

III. 1. Descripteurs quantitatifs

	1	2	3	4	5
Longueur limbe (cm)					
Largeur limbe (cm)					

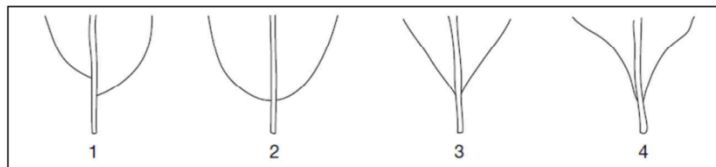
Longueur pétiole (mm)					
-----------------------	--	--	--	--	--

III. 2. Forme du limbe



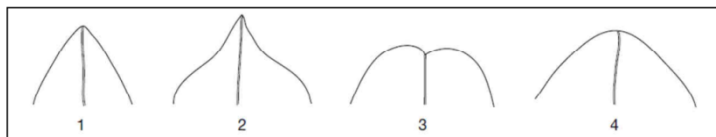
① obovale, ② elliptique, ③ largement elliptique, ④ étroitement elliptique, ⑤ oblongue, ⑥ obovale-oblongue et ⑦ ovale-oblongue

III. 3. Forme de la base du limbe



① oblique, ② arrondi, ③ cunéiforme et ④ rétréci

III. 4. Forme de l'apex du limbe



① aigu, ② acuminé, ③ arrondi et ④ obtus

III. 5. Couleur jeune feuille: (1) Rouge (2) Rose

(3) Vert claire (4) Verte

III. 6. Couleur feuille adulte: (1) Vert claire

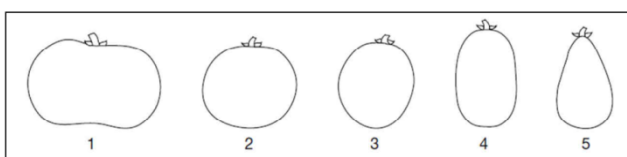
(2) Verte (3) Vert foncée (4) Vert rosâtre

IV. Caractéristiques liées au fruit

IV. 1. Descripteurs quantitatifs

N° Fruit	Longueur fruit (cm)	Diamètre fruit (cm)	Longueur pédoncule (cm)	Poids fruit (g)	Nombre de noix / fruit	Longueur Noix (cm)	Largeur Noix (cm)	Poids noix (g)
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

V. 2. Forme du fruit mature



⓪ aplati, ⓪ sphéroïde, ⓪ ellipsoïde, ⓪ oblongue et ⓪ ovoïde

V. 3. Surface du fruit

- (1) Lisse (2) Rugueuse

V. 4. Couleur péricarpe fruit :

- (1) Verte (2) Vert jaunâtre (3) Jaune
 (4) Jaune rougeâtre (5) Brune

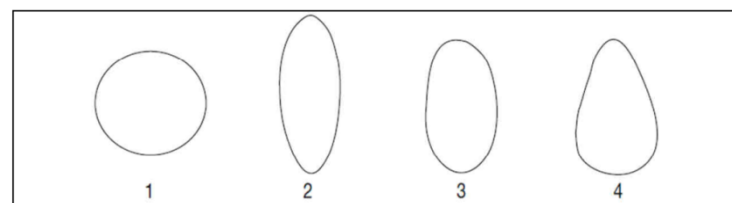
V. 5. Goût fruit

- (1) Sucré (2) Insipide (pas de saveur)

V. 6. Couleur de la noix :

- (1) Crémeuse (2) Brun vitreux (3) Brun
 (4) Brun pâle (5) Brun foncée

V. 7. Forme des noix



⓪ sphéroïde, ⓪ ellipsoïde, ⓪ ovale et ⓪ ovoïde Windows

ANNEXE 2

Individus dont le ratio CIR 130/R est inférieur ou égal à 8,5

	Groupe1 (31)	Groupe 2 (10)	Groupe 3 (22)
Bagoué	6 ; 7 ; 488 ; 490 ; E48A86 ; E11A17 ; 8 ; 82 ; 83 ; 521 ; E4A6 ; E15A25 ; 129 ; 268	E1A2 ; 94 ; 264 ; 271 ; E28A50 ; 509	242 ; 274 ; 489 ; 498 ; E24A44 ; E43A77 ; E1A1 ; E2A4 ; E17A29 ; 79 ; 91 ; 273 ; 491 ; 511 ; E25A46 ; E26A48
Tchologo	369 ; 372 ; 376 ; 377 ; 388 ; 389 ; 396 ; 397 ; 430 ; A12 ; A40 ; A37 ; A31 ; 366 ; 392 ; 435 ; 239	A27, A32, A33 ; 236	A15 ; A3 ; A28 ; A21 ; 238 ; 340