



FACULTEIT BIO-
INGENIEURSWETENSCHAPPEN



Academiejaar 2004-2005

**ASPECTS ETHNOBOTANIKES ET ETUDE DE LA VARIABILITE
MORFOLOGIQUE, BIOCHIMIQUE ET PHENOLOGIQUE
DE *DETARIUM MICROCARPUM* GUILL. & PERR. AU MALI**

**ETNOBOTANIE EN STUDIE VAN DE MORFOLOGISCHE, BIOCHEMISCHE EN
FENOLOGISCHE VARIABILITEIT VAN *DETARIUM MICROCARPUM* GUILL. &
PERR. (MALI).**

Par/door

ir. Amadou Malé KOUYATE

Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur (Ph.D) en Biosciences Ingénieurs
Section Agronomie

Proefschrift voorgedragen tot het bekomen van de graad
van Doctor in de Bio-ingenieurswetenschappen
Richting Landbouwkunde

Op gezag van

Rector: **Prof. dr. A. DE LEENHEER**

Decaan:
Prof. dr. ir. H. VAN LANGENHOVE

Promotoren:
Prof. dr. ir. P. VAN DAMME

DECLARATION-STATEMENT

L'auteur et le promoteur autorisent la consultation de ce travail uniquement pour l'usage personnel. Toute autre utilisation est interdite par la loi d'impression. La reproduction d'une partie de ce travail doit se faire avec l'accord au préalable de l'auteur.

De auteur en de promotor geven toelating dit doctoraatswerk voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting uitdrukkelijk de bron te vermelden bij het aanhalen van de resultaten uit dit werk.

The author and the promoter give the permission to use this dissertation for consultation and to copy parts of it for personal use. Any other use is subjected to copyright laws, more specifically the source must be extensively when using results from this work.

Gent, 24 Janvier 2005

Prof. dr. ir. P. VAN DAMME
Promoteur

ir. Amadou Malé KOUYATE
Auteur

A mes parents feu Fama Kouyaté et feu Mâh Goundo Koné
A mon grand-frère feu Mountaga Kouyaté
A mon ami feu Madani Diénépo
A ma très chère épouse Aoua Traoré
A mes enfants Mamadou Bidian, Fousseini, Cheikh Hamed Tidiane

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier solennellement Prof. Dr. ir. P. Van Damme qui n'a ménagé aucun effort pour assurer la direction de cette thèse avec beaucoup de disponibilité, de rigueur scientifique et de compréhension. Qu'il trouve ici toute ma gratitude.

J'exprime toute ma reconnaissance à la Coopération suisse et Intercooperation suisse, pour leur appui financier qui a permis la réalisation de ce travail. Je tiens à remercier du fond du cœur Dr. James Gasana qui est l'initiateur de l'octroi de la bourse de formation doctorale. Qu'il en soit remercié.

Mes remerciements sincères s'adressent aux membres de la commission d'examen de cette thèse en l'occurrence Prof. Dr. ir. George Hofman, Prof. Dr. Paul Goetghebeur, Prof. Dr. Reheul, Prof. Dr. ir. George De Wulf, Prof. Dr. François Malaisse, Prof. Dr. Jean-Pierre Sorg, Dr. ir. Toon Defoer, Dr. Ina Vandebroek. Leurs observations et suggestions visant à l'amélioration qualitative de cette thèse ont été d'un apport inestimable. Encore fois, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

Dr. Toon Defoer, je vous dis grand merci pour m'avoir conseillé de venir faire ma thèse à l'Université de Gand. Qu'il en soit remercié.

J'adresse mes sincères remerciements à Lieven De La Marche, Attaché de Coopération Internationale, au Bureau de la Coopération Internationale de l'Ambassade de la Belgique au Mali, pour son appui inestimable. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance.

A l'Institut d'Economie Rurale, je voudrais remercier le Directeur Général Dr. Bino Témé et tout son personnel. Mes remerciements chaleureux s'adressent à mon parrain scientifique Dr. Ibrahima N'Diaye pour son suivi constant et ses remarques pertinentes.

A la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie, je tiens à remercier Prof. Dr. ir. Stephan De Neve et Dr. Bruno Meulenaer pour avoir supervisé nos analyses de sols et biochimiques, respectivement. Je remercie Mademoiselle Heidi Wouter pour ses conseils statistiques. Mes sincères remerciements s'adressent aux stagiaires Andreas Meyer de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich, Jean Hugé et Sarah Goyens de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand qui ont contribué significativement et positivement à la réalisation de ce travail.

Je dis grand merci à mes amis du Laboratoire d'Agronomie Tropicale et Subtropicale et d'Ethnobotanique pour leurs conseils constants. Il s'agit de Annita Goethals, Tinneke Dirckx, Wouter Vanhove, Thomas Evert, Marleen Delanoy, Sofie Ruyschaert, Achille Assogbadjo, Bernard Lelou, Vahid Roohi, Hamid Reza Karimi, Mohammad Rafieiohossaini, Pejman Tahmasebi et Johan Geirnaert.

J'adresse mes chaleureux remerciements au Prof. Dr. Jean-Pierre Sorg qui m'a fait profiter de sa longue expérience en matière de recherche forestière. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance pour les services déployés.

A Intercooperation, mes chaleureux remerciements s'adressent à Dr. Jürgen Blaser, à François Picard et à Marina Ogier qui a été ma très chère collaboratrice. Je dis grand merci au personnel des projets Jekasy et d'Appui à la Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de Recherche.

Je remercie Dr. Pascal Cuny qui a été mon très cher collaborateur.

Au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso, j'exprime ma reconnaissance au Directeur Dr. Abdoulaye Hamadou et son personnel. Mes sincères remerciements s'adressent au personnel de la Station de la Recherche Agronomique de Farako-Longorala, Monsieur Baba Fomba Chef d'Antenne de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles de Bougouni, et au personnel de l'Antenne de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles de Kadiolo pour leur appui constant. Je remercie Mamady Sanogo chef du parc auto, Siaka Traoré informaticien et Boubacar Diaw documentaliste pour leur disponibilité.

Au Programme Ressources Forestières, je voudrais remercier le Chef de Programme Dr. Harouna Yossi et tout son personnel.

Je voudrais remercier très sincèrement Messieurs Yaya. K. Diallo chauffeur au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso et Hamidou Diawara observateur dans le cadre de cette thèse, pour leur contribution inestimable à la réalisation de ce travail. Qu'ils en soient très fortement remerciés.

Mes vifs remerciements s'adressent à Dr. Mamadou Kané Directeur du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Niono, Dr. Amadou Kodio Directeur du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Mopti pour leur hospitalité.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur Mamadou Bassi Simpara pour son amitié sans faille.

Mes remerciements s'adressent à Abdoulaye Kamara, Bokary Allaye Kelly et Nicolas Picard pour leurs conseils en biométrie.

Mes sincères remerciements s'adressent à Messieurs Ségui Konaté et Mama Soumaré, et leurs familles respectives à Gand pour leur hospitalité qui n'a jamais fait défaut.

Je remercie Marleen, Isabelle et tous les locataires de l'OBSG pour leur accueil.

Mes chaleureux remerciements à Flora Chadare pour son soutien moral et logistique, Alice N'Goran et Mikaila Kanana.

Je ne saurais terminer sans avoir une pensée profonde pour mes parents qui se sont investis de leur vivant pour que j'aie le plus loin possible dans mes études. Que leur âme repose en paix. Amen.

J'attribue la palme d'or à une personne qui a contribué efficacement à la réussite de ce travail et consenti d'énormes sacrifices. Je la nomme ma très chère épouse Aoua Traoré. Qu'elle en soit récompensée. Mes saluts paternels à mes amis Baty Doucouré, Ibrahim Kouyaté, Aminata Daou, Mamadou Bidian Kouyaté, Fousseini Kouyaté et Cheickh Hamed Tidiane Kouyaté.

Mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui, de près ou loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

v
Table des matières

	Page
Résumé	ix
Liste des tableaux	xiii
Liste des figures	xv
Sigles et acronymes	xvi
Introduction générale	1
1. Problématique et justification	1
2. Objectifs	4
3. Questions de recherche	4
Chapitre 1	6
Présentation de la zone d'étude	6
1.1 Géographie et population	6
1.2 Relief et hydrographie	7
1.3 Climat, sol et végétation	8
1.4 Agriculture	10
1.5 Mines	12
Chapitre 2	13
Revue botanique, biogéographique et écologique de <i>Detarium microcarpum</i>	13
2.1 Introduction	13
2.2 Description des espèces de <i>Detarium</i>	13
2.3 <i>Detarium microcarpum</i>	17
2.3.1 Nomenclature	17
2.3.2 Habitat et distribution	18
2.3.2.1 Habitat	18
2.3.2.2 Distribution	18
2.3.2.3 Description botanique	18
2.4 Comportement des jeunes plantules de <i>Detarium microcarpum</i> en plantation	20
Chapitre 3	22
Perceptions des communautés locales sur <i>Detarium microcarpum</i>	22
3.1 Introduction	22
3.2 Objectifs spécifiques	24
3.3 Matériel et méthodes	24
3.3.1 Présentation de la zone d'étude	24
3.3.2 Critères de choix des villages d'enquête	25
3.3.3 Aperçu sur les ethnies enquêtées	26
3.3.4 Conduite et déroulement de l'enquête	27
3.3.5 Traitement et analyse des données	29
3.4 Résultats et discussion	30
3.4.1 Toposéquence et types de sol	30
3.4.2 Modes de reproduction	31
3.4.3 Commercialisation des produits	33
3.4.4 Utilisations médicinales	35
3.4.5 Utilisations magiques	41
3.4.6 Utilisations vétérinaires	41
3.4.7 Utilisations courantes et non médicinales	42
3.4.8 Niveau de fertilité des sols	46
3.4.9 Importance socioculturelle	46
3.4.10 Gestion des arbres	49
3.4.10.1 Gestion des arbres dans les champs	49
3.4.10.2 Cueillette et ramassage des fruits	49
3.4.10.3 Période et hauteur de coupe	50

3.4.11 Critères de différenciation paysans des individus	51
3.4.12 Nature des pressions	52
3.5 Conclusions	53
Chapitre 4	55
Caractérisation morphologique de <i>Detarium microcarpum</i>	55
4.1 Introduction	55
4.2 Objectifs	57
4.3 Matériel et méthodes	57
4.3.1 Choix des arbres	57
4.3.2 Caractérisation pédologique des sites	58
4.3.3 Evaluation des descripteurs morphologiques	59
4.3.3.1 Descripteur morphologique du tronc	59
4.3.3.2 Descripteur morphologique du houppier	60
4.3.3.3 Descripteurs morphologiques foliaires	61
4.3.3.4 Descripteurs morphologiques des fruits	62
4.3.3.5 Descripteurs morphologiques de l'endocarpe	63
4.3.3.6 Descripteurs morphologiques des graines	64
4.3.3.7 Autres descripteurs morphologiques	65
4.3.5 Traitement et analyse des données	65
4.4 Résultats et discussion	66
4.4.1 Caractérisation pédologique des sites	66
4.4.2 Descripteur morphologique du tronc	67
4.4.3 Descripteur morphologique du houppier	69
4.4.4 Descripteurs morphologiques des feuilles	70
4.4.4.1 Diamètre des pétioles	70
4.4.4.2 Longueur des feuilles	70
4.4.4.3 Nombre de folioles par feuille	72
4.4.4.4 Longueur des folioles	73
4.4.4.5 Largeur des folioles	74
4.4.4.6 Surface des folioles	75
4.4.4.7 Longueur des pétiolules	75
4.4.4.8 Rapport entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles	76
4.4.4.9 Rapport entre la longueur et la largeur des folioles	77
4.4.4.10 Rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétiolules	79
4.4.5 Descripteurs morphologiques des fruits	80
4.4.5.1 Longueur des fruits	80
4.4.5.2 Epaisseur des fruits	81
4.4.5.3 Poids des fruits	82
4.4.5.4 Rapport entre la longueur des fruits et l'épaisseur des fruits	83
4.4.6 Descripteurs morphologiques de l'endocarpe	84
4.4.6.1 Longueur de l'endocarpe	84
4.4.6.2 Epaisseur de l'endocarpe	85
4.4.6.3 Rapport entre la longueur et l'épaisseur de l'endocarpe	86
4.4.7 Descripteurs morphologiques des graines	87
4.4.7.1 Longueur des graines	87
4.4.7.2 Epaisseur des graines	88
4.4.7.3 Poids des graines	89
4.4.7.4 Rapport entre la longueur des graines et l'épaisseur des graines	89
4.4.8 Autres descripteurs	91
4.4.8.1 Rapport entre le poids des fruits et le poids des graines	91
4.4.8.2 Epaisseur de la pulpe	92
4.4.9 Corrélations	93
4.4.10 Influence de l'environnement sur les descripteurs morphologiques	93

4.4.11 Analyse en composantes principales	95
4.5 Conclusions	98
Chapitre 5	100
Caractérisation biochimique de <i>Detarium microcarpum</i>	100
5.1 Introduction	100
5.2 Objectifs	101
5.3 Matériel et méthodes	101
5.3.1 Evaluation sensorielle	101
5.3.2 Evaluation des caractéristiques biochimique de la pulpe	101
5.3.2.1 Evaluation de la matière sèche et de la protéine	102
5.3.2.2 Evaluation de la valeur Brix, du pH et de la vitamine C	102
5.3.3 Traitement et analyse des données	103
5.4 Résultats et discussion	103
5.4.1 Evaluation sensorielle de la pulpe	103
5.4.2 Caractérisation biochimique de la pulpe	104
5.4.2.1 Matière sèche	104
5.4.2.2 Protéine	105
5.4.2.3 Valeur Brix	106
5.4.2.4 Vitamine C	106
5.4.2.5 pH	107
5.4.3 Influence de l'environnement sur la composition biochimique de la pulpe	108
5.4.4 Autres propriétés biochimiques	109
5.5 Conclusions	110
Chapitre 6	111
Phénologie de <i>Detarium microcarpum</i>	111
6.1 Introduction	111
6.2 Objectifs	112
6.3 Matériel et méthodes	113
6.3.1 Evaluation des phases phénologiques	113
6.3.1.1 Choix de la zone d'étude	113
6.3.1.2 Présentation des sites d'étude	113
6.3.1.3 Méthodes	115
6.3.2 Analyse des fleurs	116
6.3.3 Inventaire des agents visiteurs des fleurs	116
6.3.4 Evaluation de la production en fruits	117
6.3.5 Traitement et analyse des données	118
6.4 Résultats et discussion	119
6.4.1 Evaluation des phases phénologiques	119
6.4.2 Fleurs	125
6.4.3 Piégeage des agents visiteurs des fleurs dans les seaux	125
6.4.3.1 Evolution du nombre total d'agents visiteurs des fleurs	125
6.4.3.2 Répartition par ordre taxonomique des agents visiteurs des fleurs	126
6.4.3.3 Influence de la période de la journée sur le piégeage des agents visiteurs	129
6.4.3.4 Influence de la lumière sur le piégeage nocturne des agents visiteurs	130
6.4.3.5 Influence de la toposéquence sur le piégeage des agents visiteurs	130
6.4.4 Piégeage des agents visiteurs des fleurs dans les filets	131
6.4.5 Rendement en fruits	132
6.5 Conclusions	135
Chapitre 7	137
Etude de la fertilité des sols à <i>Detarium microcarpum</i>	137
7.1 Introduction	137
7.2 Objectif	138
7.3 Matériel et méthodes	138

7.3.1 Aperçu sur la zone d'étude	138
7.3.2 Echantillonnage des sols	139
7.3.3 Analyse des sols	139
7.3.4 Minéralisation de l'azote	140
7.3.4.1 Echantillonnage des feuilles	140
7.3.4.2 Echantillonnage des sols	140
7.3.4.3 Expériences en laboratoire	141
7.3.4.4 Incubation	141
7.3.5 Traitement et analyse des données	141
7.4 Résultats et discussion	143
7.4.1 Statut des éléments physico-chimiques des sols	143
7.4.2 Composition chimique des branches feuillées et minéralisation de l'azote	147
7.4.2.1 Composition chimique des branches feuillées	147
7.4.2.2 Minéralisation de l'azote	151
7.5 Conclusions	153
Chapitre 8	154
Conclusions générales	154
Références bibliographiques	159
Annexes	177
Curriculum vitae	180

Resumé

L'évaluation des connaissances ethnobotaniques et de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (*Fabaceae*) a été réalisée au Mali, un pays africain situé entre 11° et 25° de latitude Nord, et entre 4° et 12° de longitude Ouest.

Au Mali, l'arbre et la forêt contribuent considérablement à l'alimentation humaine et animale, à la protection et au maintien de la fertilité des sols, au maintien de la santé des populations et au maintien de l'équilibre écologique. Cependant, la végétation naturelle subit des conséquences de la croissance de la population malienne (2,5 % par an), des facteurs naturels et de l'accès libre aux ressources. Au Mali, l'insuffisance d'informations sur la domestication des espèces locales comestibles freine leur valorisation et leur promotion. Les recherches sur *D. microcarpum* sont sollicitées par les populations rurales afin de la domestiquer pour le mieux être des familles maliennes. L'objectif principal et final de cette thèse est le développement de stratégies de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques de *D. microcarpum* par la voie de la domestication. Spécifiquement, il s'agit de décrire et d'analyser les caractéristiques morphologiques, biochimiques et phénologiques de *D. microcarpum* à partir des savoirs locaux afin d'identifier des individus et des populations intéressants pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique.

Pour atteindre les objectifs fixés, nous avons développé plusieurs approches liées les unes aux autres et en relation avec la domestication, qui sont: (1) une enquête ethnobotanique au sud du Mali auprès d'un échantillon de 244 personnes appartenant aux ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing*; (2) la caractérisation morphologique de quatorze populations de *D. microcarpum* présentes sur l'aire de répartition naturelle de l'espèce au Mali (PIRT, 1983) à partir de vingt cinq descripteurs ayant fait l'objet de 350 à 8125 mesures; (3) la caractérisation des propriétés biochimiques de trente échantillons de la pulpe des fruits; (4) la caractérisation phénologique à partir de 1275 observations pendant dix-sept mois au sud du Mali; et (5) l'évaluation de la fertilité des sols à *D. microcarpum*.

L'enquête ethnobotanique montre que *D. microcarpum* joue un rôle socioéconomique, socioculturel, alimentaire, médicinal, écologique, religieux et environnemental très important dans les zones rurales au sud du Mali. Elle met en exergue des liens ancestraux entre les personnes interrogées et l'espèce. A partir de ces résultats, l'échantillonnage des individus de *D. microcarpum* a permis de décrire une variabilité morphologique et phénologique entre et à l'intérieur des populations étudiées. Il a permis d'identifier des descripteurs intéressants pour la caractérisation des feuilles, des fruits, de l'endocarpe et des graines de *D. microcarpum* pour des futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de déboucher sur la domestication. Il a mis en évidence la forme triangulaire-ovale de la foliole, une diversité de formes (elliptique et biconvexe) des fruits et des graines. A partir des résultats de l'enquête ethnobotanique, la caractérisation biochimique de la pulpe révèle des descripteurs (matière sèche, valeur Brix et protéine) intéressants pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de déboucher sur la domestication. Les résultats des observations phénologiques, ainsi obtenus, permettent de planifier les périodes de récoltes des fruits et des feuilles en vue de conserver et d'utiliser durablement les ressources génétiques. De nombreux agents visiteurs des fleurs sont identifiés, ce qui est utile pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de déboucher sur la domestication. L'étude a permis la mise en évidence de la production fruitière de *D. microcarpum* qui était méconnue jusqu'à présent, et met à disposition un outil d'estimation de cette production. Elle montre une faible fertilité des sols à *D. microcarpum* d'une part et une faible minéralisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum*, ce qui indique que l'espèce n'est pas un bon fertilisant des sols pour l'azote.

Le travail détaillé ainsi réalisé sur *D. microcarpum* constitue un moyen incontournable pour sa promotion et sa domestication. Le processus de décentralisation au Mali aidant, il

constitue un élément de politique de développement participatif et durable à travers sa contribution à la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté qui est, aujourd'hui, l'axe central de toutes actions de développement au Mali.

La conjugaison des descripteurs morphologiques, biochimiques et phénologiques, et des savoirs locaux identifiés doit être le socle de tous programmes de sélection, d'amélioration génétique débouchant sur la domestication de *D. microcarpum*.

Samenvatting

In Mali – een Afrikaans land, gelegen tussen 11° en 25° NB en tussen 4° en 12° WL - werd de etnobotanische kennis en de morfologische, biochemische en fenologische variabiliteit van *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae) geëvalueerd.

Het bos in Mali draagt er in belangrijke mate bij tot de menselijke en dierlijke voedselzekerheid, de bescherming en het onderhoud van de bodemvruchtbaarheid, de volksgezondheid en het behoud van het ecologisch evenwicht. De natuurlijke bosvegetatie wordt in Mali echter bedreigd door een stijgende bevolkingsaan groei (2,5 % per jaar), natuurlijke factoren en de ongebreidelde toegang tot natuurlijke hulpbronnen. De valorisatie van eetbare, lokale voedselplanten wordt bovendien geremd door de geringe beschikbaarheid van informatie over hun domesticatie. De plattelandsbevolking van Mali is vragende partij voor het onderzoek rond de domesticatie van *D. microcarpum*, omdat de hoger beschreven nutsfuncties van bosvegetatie eveneens op deze boomsoort betrekking hebben. De uiteindelijke hoofddoelstelling van deze thesis is de ontwikkeling van strategieën voor conservatie en duurzaam gebruik van *D. microcarpum* d.m.v. domesticatie van deze soort. In het bijzonder worden de morfologische, biochemische en fenologische eigenschappen van *D. microcarpum* beschreven en geanalyseerd, met de bedoeling om interessante individuen en populaties te identificeren met het oog op toekomstige selectie- en veredelingsactiviteiten.

Om deze doelstellingen te bereiken, werden verschillende aan elkaar verbonden benaderingen ontwikkeld: (1) etnobotanische enquête in Zuid-Mali bij een groep van 244 bevraagden behorende tot de bevolkingsgroepen *sénoufo*, *minianka*, en *bobofing*; (2) morfologische karakterisering van 14 populaties van *D. microcarpum* in het natuurlijke verspreidingsgebied van de soort in Mali (PIRT, 1983), vertrekkende van 25 beschrijvende variabelen waarbij 350 tot 8125 metingen per variabele werden verricht; (3) biochemische karakterisering van 30 stalen van het vruchtvlees; (4) fenologische karakterisering, vertrekkende van 1275 observaties, uitgevoerd gedurende 17 maanden in Zuid-Mali; en (5) de evaluatie van de vruchtbaarheid van bodems rond *D. microcarpum*.

De etnobotanische enquêtes tonen aan dat *D. microcarpum* een belangrijke socio-economische, socio-culturele, medicinale, ecologische en religieuze rol speelt in Zuid-Mali. Verder is *D. microcarpum* in de regio van belang bij de voedselvoorziening en vanuit milieukundig oogpunt. Het onderzoek heeft de eeuwenoude band tussen *D. microcarpum* en de ondervraagden aangetoond. Vertrekkende van deze resultaten werd aan de hand van bemonstering van individuen van *D. microcarpum* de morfologische en fenologische variabiliteit binnen en tussen de verschillende populaties nagegaan. Hierbij werden beschrijvende variabelen opgesteld voor de karakterisering van de bladeren, de vruchten, het endocarp en de zaden van *D. microcarpum*. De resultaten van de fenologische waarnemingen maken een betere planning van de oogstperiode van vruchten en bladeren mogelijk. Hierdoor kan de toekomstige bewaring en het duurzaam gebruik van de genetische hulpbronnen van *D. microcarpum* efficiënter verlopen. Ook de identificatie van verschillende bestuivende insecten kan in belangrijke mate bijdragen tot toekomstige selectie- en veredelingsprogramma's met het oog op domesticatie.

Deze studie verschaft een dieper inzicht in, en een schatting van de omvang van de totnogtoe miskende fruitproductie van *D. microcarpum*. Verder toont de studie aan dat de bodemvruchtbaarheid onder *D. microcarpum* zwak is. Deze wordt deels veroorzaakt door een geringe stikstofmineralisatie van takken met bladeren in de bodems onder *D. microcarpum*, wat erop wijst dat de soort geen goede stikstofleverancier is voor de bodems waar ze op voorkomt.

Het gedetailleerde werk dat hier wordt voorgesteld, werd verricht in de hoop dat de teelt en het gebruik van *D. microcarpum* zal worden aangemoedigd. Deze aanmoediging bevat een politiek element met betrekking tot een participatief en duurzaam ontwikkelingsproces door de bijdrage van *D. microcarpum* aan de voedselzekerheid en armoedebestrijding. Beide elementen vormen een centrale as in alle ontwikkelingsactiviteiten in Mali.

Het samenvoegen van de morfologische, biochemische en fenologische beschrijvende variabelen, en de geïdentificeerde lokale kennis vormt een basis voor alle selectie- en veredelingsprogramma's met het oog op de domesticatie van *D. microcarpum*.

Liste des tableaux

Tableau 1: Consommation de bois-énergie par les différents secteurs au Mali en 1998	1
Tableau 2: Equivalents approximatifs des systèmes international et français de classification des sols au Mali	10
Tableau 3: Production des céréales au Mali de 1998-2003 en tonne	11
Tableau 4: Effectif du cheptel malien entre 1994 et 1999	11
Tableau 5: Appellations locales de <i>Detarium microcarpum</i> en Afrique	17
Tableau 6: Répartition des personnes interrogées selon les ethnies et le sexe	29
Tableau 7: Emplacement de <i>Detarium microcarpum</i> dans la toposéquence	30
Tableau 8: Types de sols	30
Tableau 9: Modes de reproduction	31
Tableau 10: Commercialisation des produits	33
Tableau 11: Nombre de maladies et symptômes soignés	35
Tableau 12: Utilisations médicinales	36
Tableau 13: Caractéristiques éco-géographiques	58
Tableau 14: Caractéristiques des sols	67
Tableau 15: Caractéristiques biométriques pour la circonférence du tronc	67
Tableau 16: Caractéristiques biométriques pour la hauteur de la première ramification basale	69
Tableau 17: Caractéristiques biométriques pour le diamètre des pétioles des feuilles	70
Tableau 18: Caractéristiques biométriques pour la longueur des feuilles	71
Tableau 19: Caractéristiques biométriques pour la longueur des folioles	73
Tableau 20: Caractéristiques biométriques pour la largeur des folioles	74
Tableau 21: Caractéristiques biométriques pour la surface des folioles	75
Tableau 22: Caractéristiques biométriques pour la longueur des pétiolules des folioles	75
Tableau 23: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles	76
Tableau 24: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre la longueur et la largeur des folioles	77
Tableau 25: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétiolules	79
Tableau 26: Caractéristiques biométriques pour la longueur des fruits	80
Tableau 27: Caractéristiques biométriques pour l'épaisseur des fruits	81
Tableau 28: Caractéristiques biométriques pour le poids des fruits	82
Tableau 29: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre la longueur des fruits et l'épaisseur des fruits	83
Tableau 30: Caractéristiques biométriques pour la longueur de l'endocarpe	84
Tableau 31: Caractéristiques biométriques pour l'épaisseur de l'endocarpe	85
Tableau 32: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre la longueur de l'endocarpe et l'épaisseur de l'endocarpe	86
Tableau 33: Caractéristiques biométriques pour la longueur des graines	87
Tableau 34: Caractéristiques biométriques pour l'épaisseur des graines	88
Tableau 35: Caractéristiques biométriques pour le poids des graines	89
Tableau 36: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre la longueur des graines et l'épaisseur des graines	90
Tableau 37: Caractéristiques biométriques pour le rapport entre le poids des fruits et le poids des graines	91
Tableau 38: Caractéristiques biométriques pour l'épaisseur de la pulpe	92
Tableau 39: Corrélations entre les descripteurs morphologiques	93
Tableau 40: Corrélations entre les coordonnées géographiques et les descripteurs morphologiques	94
Tableau 41: Valeurs propres et contribution relative des descripteurs à la formation des	

différents axes	95
Tableau 42: Caractéristiques biométriques pour l'évaluation sensorielle	103
Tableau 43: Caractéristiques biométriques pour les descripteurs biochimiques	104
Tableau 44: Evolution des descripteurs biochimiques de la pulpe en fonction des coordonnées géographiques	108
Tableau 45: Corrélation entre les descripteurs biochimiques de la pulpe et les coordonnées géographiques	109
Tableau 46: Caractéristiques climatiques des sites d'étude phénologique au sud du Mali	115
Tableau 47: Fréquence des agents visiteurs en fonction de la toposéquence	131
Tableau 48: Caractéristiques biométriques des descripteurs de la production fruitière	132
Tableau 49: Corrélation entre les descripteurs de la production fruitière	132
Tableau 50: Régression linéaire entre la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol, la hauteur de la première ramification basale, et certains descripteurs	133
Tableau 51: Evolution de la production fruitière en fonction de la saisonnalité à Yanfolila	134
Tableau 52: Caractéristiques biométriques des éléments physico-chimiques des sols	145
Tableau 53: Tableau comparatif des sites en fonction de l'emplacement	145
Tableau 54: Composition chimique des branches feuillées	147

Liste des figures

Figure 1: Localisation géographique du Mali	6
Figure 2: Carte du relief du Mali	8
Figure 3: Folioles de <i>Detarium microcarpum</i>	14
Figure 4: Fruits de <i>Detarium microcarpum</i> récoltés au Mali	15
Figure 5: Foliole et fruit de <i>Detarium senegalense</i>	15
Figure 6: Foliole, tronc et fruit de <i>Detarium macrocarpum</i>	16
Figure 7: Un individu de <i>Detarium microcarpum</i> dans la forêt classée de Farako	19
Figure 8: <i>Tapinanthus globiferus</i> associée à <i>Detarium microcarpum</i>	38
Figure 9: Des colliers de <i>Detarium microcarpum</i>	43
Figure 10: Récolte des fruits par un garçon	50
Figure 11: Niveau de mesure de la circonférence du tronc	59
Figure 12: Niveau de mesure de la hauteur de la première ramification basale	60
Figure 13: Mesure des dimensions d'une feuille et d'une foliole	61
Figure 14: Mesure des dimensions des fruits	63
Figure 15: Mesure des dimensions de l'endocarpe	64
Figure 16: Mesure des dimensions des graines	64
Figure 17: Evolution du nombre de folioles par population	72
Figure 18: Types de feuille	73
Figure 19: Forme triangulaire-ovale des folioles	78
Figure 20: Forme ovale des graines	90
Figure 21: Répartition des populations dans le plan défini par les axes 1 et 2	96
Figure 22: Localisation des sites d'étude phénologique au sud du Mali	113
Figure 23: Influence de la pluviométrie et de la température dans le processus de feuillaison à Komé	120
Figure 24: Influence de la pluviométrie et de la température dans le processus de feuillaison à Farako	120
Figure 25: Influence de la pluviométrie et de la température dans le processus de feuillaison à Gouinso 2	121
Figure 26: Evolution dans la fructification à Komé, Farako et Gouinso 2	124
Figure 27: Evolution du nombre total d'agents visiteurs des fleurs dans les seaux	125
Figure 28: Répartition par ordre taxonomique des agents visiteurs des fleurs dans les seaux	126
Figure 29: <i>Apis mellifera</i> visitant des fleurs	128
Figure 30: Evolution de la fréquence des agents visiteurs en fonction des périodes de la journée	129
Figure 31: Evolution de la fréquence des agents visiteurs sous l'effet de la lumière	130
Figure 32: Relation entre le poids des fruits et la circonférence du tronc	133
Figure 33: Relation entre le nombre de fruits et la circonférence du tronc	134
Figure 34: Libération de l'azote dans les sols témoins de Farako	151
Figure 35: Libération de l'azote dans les sols témoins de Kafono	151
Figure 36: Minéralisation de l'azote des branches feuillées à Farako	152
Figure 37: Minéralisation de l'azote des branches feuillées à Kafono	152

Sigles et Acronymes

ACP	Analyse en composantes principales
AFRISTAT	Observatoire Economique et Statistique d'Afrique Subsaharienne
AGRHYMET	Centre Régional de formation et d'application en agrométéorologie et hydrologie opérationnelle (Niger)
ANOVA	Analyse de variance
CFAA	<i>Continuous flew auto-analyser</i>
CIA	<i>Central Intelligence Agency</i>
CMDT	Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (Mali)
CMT	<i>CoMonomer Technology</i>
CPCS	Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (France)
CPS	Cellule de Planification et des Statistiques (Développement Rural, Mali)
CRU	Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de Recherche (Mali)
DFWM/UGENT	<i>Department of Forest and Water Management (University of Ghent, Belgium)</i>
DPF/INERA	Département des Productions Forestières/Institut de l'Environnement et des Recherche Agricoles (Burkina Faso)
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
FOSA	Etude prospective du secteur forestier en Afrique
GDRN	Gestion Durable des Ressources Naturelles (Mali)
GPS	<i>Geographical Positioning System</i>
GRASE	Groupe de Recherche et d'Action pour la Sauvegarde de l'Environnement (Mali)
IBPGR	Conseil International des Ressources Phytogénétiques
ICRAF	<i>World Agroforestry Centre</i>
IER	Institut d'Economie Rurale (Mali)
INCO	Mesures Spécifiques d'Appui à la Coopération Internationale
IPGRI	Institut International des Ressources Phytogénétiques (ex-IBPGR)
LABOSEP	Laboratoire Sol-Eau-Plante (Mali)
MDR	Ministère du Développement Rural (Mali)
PIRL	Projet Inventaire des Ressources Ligneuses (Mali)
PIRT	Projet Inventaire des Ressources Terrestres (Mali)
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
SADT	<i>Systematics Association Committee For Descriptive Biological Terminology</i>
SNPA/DB	Stratégie Nationale et Plan d'Action en matière de Diversité Biologique (Mali)
STP/CIGQE	Secrétariat Technique Permanent du Cadre Institutionnel de Gestion des Questions Environnementales (Mali)

INTRODUCTION GENERALE

1. Problématique et justification

En Afrique, les forêts constituent un immense réservoir de biodiversité et jouent un rôle fondamental dans la satisfaction de nombreux besoins de base des communautés locales (IPGRI, 1999). Parmi tous les produits forestiers, le bois de chauffe demeure le combustible domestique le plus communément utilisé en Afrique de l'Ouest (Zech, 1984), où sa consommation en 2000 a atteint 175 086 000 m³ (FOSA, 2003).

Selon Touré (2000), les ménages maliens sont les plus grands consommateurs du bois-énergie par rapport aux hôpitaux, aux garnisons militaires, aux écoles, aux industries, aux restaurants et à l'artisanat (tableau 1). Chaque malien consomme en moyenne 1,35 kg de bois par jour pour la cuisson et 1 à 1,35 kg par jour pour le chauffage et l'éclairage (Konaté, 2001).

Tableau 1: Consommation de bois-énergie par les différents secteurs au Mali en 1998 (Touré, 2000)

Secteur	Bois de chauffe	Charbon de bois
Ménages	7 504 027	105 430
Hôpitaux, garnisons militaires, écoles	10 087	-
Industries	6 424	-
Restaurants, artisanat	40 062	10 970
Sous-Total	7 560 600	116 400
Total		7 677 000

Parmi les 7 677 000 m³ de bois-énergie consommés par an, la part du bois de chauffe représentait 98,48 % contre 1,52 % pour le charbon de bois (d'où un rapport de 64,79:1). Tous ces bois-énergie sont prélevés dans les formations forestières naturelles qui, selon Maïga (1999), se trouvent principalement au sud du Mali (12°30' et 10°30' de latitude nord, et entre 8°30' et 5°30' de longitude ouest) dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne. Elles se composent de forêts claires et de savanes arborées à arbustives où dominent les espèces suivantes (Maïga, 1999): *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz. (Fabaceae), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (Sapotaceae), *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae), *Afzelia africana* Sm. (Fabaceae), *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae), *Pterocarpus erinaceus* Poir. (Fabaceae) et *Parinari curatellifolia* Planch. ex Benth. (Chrysobalanaceae).

Selon la FAO (2002a), la superficie forestière du Mali a diminué de 0,72 % par an entre 1990 et 2000 à cause du déboisement, contre 0,78 % en moyenne par an en Afrique et 0,24 % par an au niveau mondial. Cette même source définit le déboisement comme l'élimination de la forêt et son remplacement par une autre catégorie d'utilisation des sols ainsi libérés. Les surfaces

des forêts maliennes anthropisées, c'est-à-dire modifiées par l'homme, étaient estimées à 97,82 % (Maïga, 1999) de la surface totale en forêt, c'est-à-dire qu'il n'y a plus que 2,18 % de forêts non encore exploitées par l'homme.

Selon Konaté (2001), les différentes perturbations de l'ambiance forestière au Mali liées aux changements climatiques et écologiques ont entraîné une savanisation des forêts claires et une sahélanisation des savanes. Ceci a eu comme corollaire, l'enrichissement de la composition floristique de base en espèces moins hygrophiles et/ou xérophiles, la paupérisation des populations et la perte en ressources génétiques. Selon Kemp (1992), une exploitation sélective trop fréquente même de faible intensité, peut entraîner l'appauvrissement des populations végétales en essences à croissance plus lente.

C'est pour prévenir la disparition totale de la diversité génétique d'espèces ou de communautés écologiques, que le Mali a créé un cadre légal (STP/CIGQE, 2002) par la signature de plusieurs conventions (biodiversité, lutte contre la désertification, changements climatiques, Ramsar, et préservation de la flore et de la faune dans leur habitat naturel) et protocoles internationaux (prévention des risques biotechnologiques). Dans ce contexte, dix neuf espèces forestières locales sont classées prioritaires sur le plan phytogénétique au Mali en fonction des menaces existantes et de leur valeur socio-économique (Maïga, 2001). Il s'agit de: *Faidherbia albida* Del. (Fabaceae), *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Del (Fabaceae), *Acacia senegal* (L.) Willd. (Fabaceae), *Adansonia digitata* L. (Bombacaceae), *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (Combretaceae), *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. (Balanitaceae), *Borassus* spp. (Arecaceae), *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redhead (Fabaceae), *D. microcarpum*, *D. oliveri*, *Hyphaene thebaica* (L.) Mart. (Arecaceae), *Isobertinia doka* Craib & Stapf (Fabaceae), *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae), *P. erinaceus*, *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae), *Tamarindus indica* L. (Fabaceae), *V. paradoxa*, *Ziziphus mauritiana* Lam. (Rhamnaceae) et *K. senegalensis*. Parmi ces espèces prioritaires, les populations rurales et particulièrement les femmes du sud du Mali, à travers la Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de Recherche (CRU), identifient *D. microcarpum* comme une espèce à domestiquer, parce que très surexploitée donc menacée de disparition dans la plupart des terroirs villageois. La CRU est une instance de concertation entre les chercheurs et les utilisateurs des résultats de recherche, et a pour mission de négocier la demande des acteurs locaux concernant toutes les spéculations agricoles, en relation avec la recherche.

D'autres études menées au sud du Mali confirment le danger de menace de disparition de *D. microcarpum* (Bazile, 1998; GRASE, 1999). Selon Bawa (1997), la disparition d'une espèce peut avoir comme conséquence la perte de diversité génétique, la perturbation et la perte

d'habitats et d'écosystèmes, et peut influencer négativement la relation entre l'homme et la plante.

C'est pour ces différentes raisons qu'une étude sur *D. microcarpum* a été initiée au Mali qui devrait conduire à sa domestication et qui, dans un premier temps, se concentre sur l'évaluation de ses connaissances ethnobotaniques et de sa variabilité morphologique, biochimique et phénologique.

D. microcarpum est une espèce bien connue et appréciée des communautés locales maliennes, voire sahéliennes pour ses utilités médicinales, ses fruits et la qualité de son bois-énergie. Par ailleurs, les paysans riverains de la forêt classée des Monts Mandingues dans le centre-ouest du Mali l'ont classée parmi les plus importantes espèces polyvalentes de leur ambiance naturelle (Gakou *et al.*, 1994). *D. microcarpum* fait partie aussi des quinze espèces agroforestières classées prioritaires en fonction de leur disponibilité sur le marché et de la facilité d'accès à leurs produits, par les populations des zones semi-arides du Burkina Faso, du Mali, du Niger et du Sénégal (Bonkougou *et al.*, 2002), pour leur développement socio-économique.

En dépit de la méconnaissance de sa valeur et de ses potentialités sur le plan international aux niveaux de son utilisation et besoins de recherche, *D. microcarpum* est considérée dans sa zone d'origine et de distribution naturelle d'Afrique de l'Ouest, c'est-à-dire dans les zones soudano-sahélienne et soudano-guinéenne, comme une espèce qui mérite d'être conservée (Sigaud & Eyog-Matig, 2001), et domestiquée.

Au niveau de l'aire de répartition naturelle de *D. microcarpum*, un grand nombre d'études portent sur sa taxonomie (Keay, 1958, 1989; Kerharo & Adam, 1974; Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1980, 1981; Malgras, 1992; Vogt, 1995; Neuwinger, 1996; Cuny *et al.*, 1997; Arbonnier, 2000; Bationo *et al.*, 2001a), son écologie (Aubréville, 1950; Lock, 1989; Malgras, 1992; Van Damme, 1993; Burkill, 1995; Arbonnier, 2000) et sa biogéographie (Keay, 1958, 1989; Berhaut, 1975). Toutefois, les études qui sont consacrées à l'évaluation de ses connaissances ethnobotaniques, morphologiques, biochimiques et phénologiques sont rares, voire presque inexistantes. En effet, ce sont ces types d'études qui devront aboutir à une meilleure connaissance de l'espèce en vue de sa domestication ultérieure, parce que cette dernière nécessite les connaissances locales, l'identification de bonnes sources de graines, les connaissances des caractéristiques biologiques, le développement des techniques de propagation et l'identification des lignées supérieures.

La présente étude sur *D. microcarpum* qui est une réponse au besoin urgent de la collection et la caractérisation de ses ressources génétiques et découlant de la logique paysanne,

peut constituer une contribution importante au développement socio-économique et à la lutte contre la pauvreté au Mali.

Nous pensons que la domestication de *D. microcarpum* doit être perçue comme une opportunité offerte aux communautés paysannes de cultiver la plante dans un système durable fondé sur le compromis entre les options économique, écologique et sociale.

2. Objectifs

L'objectif final de l'évaluation ethnobotanique, morphologique, biochimique et phénologique de *D. microcarpum* est le développement des stratégies de conservation et d'utilisation durable de ses ressources génétiques, par la voie de la domestication, afin de contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations maliennes.

Spécifiquement, il s'agit de: (1) analyser les valeurs socioculturelle, religieuse, écologique, socio-économique, alimentaire et médicinale; (2) identifier et analyser les critères de différenciation paysans des individus; (3) identifier, évaluer et analyser les populations sur les plans morphologique et biochimique; (4) décrire et analyser les différentes phases phénologiques; (5) décrire et caractériser les fleurs, et ses principaux visiteurs; (6) évaluer et analyser la production en fruits; et (7) évaluer et analyser les propriétés chimiques des sols à *D. microcarpum*.

3. Questions de recherche

L'évaluation des connaissances locales, morphologique, biochimique et phénologique de *D. microcarpum* est sous-tendue par les questions suivantes:

- les connaissances des ethnies influent-elles sur la conservation et l'utilisation des produits?
- les critères de différenciation paysans des individus sont-ils fonction des caractéristiques biologiques?
- les populations de *D. microcarpum* sont-elles différentes, selon leur appartenance agro-écologique, sur les plans morphologique, biochimique et phénologique? et
- Y a t-il des descripteurs qui discriminent le mieux les populations, et les individus intéressants pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique afin d'aboutir à la domestication de *D. microcarpum*?

Selon Mariott (1990), une population désigne l'ensemble de tous les individus ou entités à partir desquels l'échantillonnage est conçu. Doligez (1996) rapporte qu'une population est, soit l'ensemble des arbres d'une même espèce situés sur une surface donnée, soit un groupe d'arbres de la même espèce géographiquement isolé des autres arbres de la même espèce.

Nous entendons par population, un ensemble d'individus d'une espèce sur un espace donné dont leur présence atteint 80 %.

Le travail présenté ici sur *D. microcarpum* comporte huit chapitres:

- le premier chapitre traite de la géographie, des populations, du climat, de la végétation et des sols, du secteur agricole et des autres aspects de l'économie malienne;
- le deuxième chapitre fait le point sur la biogéographie, la botanique et l'écologie;
- le troisième chapitre présente les résultats de l'enquête ethnobotanique qui a été menée au sud du Mali, où la problématique des menaces de disparition de l'espèce a été posée pour la première fois. Il présente les connaissances des ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing* sur les rôles écologique, environnemental, alimentaire, socioculturel, socioéconomique et médicinal;
- le quatrième chapitre présente les caractères morphologiques de quatorze populations de *D. microcarpum* dans son aire de répartition géographique au Mali, partant de l'idée que l'étude de la variabilité au niveau d'une espèce nécessite la prise en compte de plusieurs niches écologiques afin de multiplier les chances de rencontrer des populations ou des individus intéressants pour un travail de sélection et d'amélioration génétique afin de parvenir à la domestication;
- le cinquième chapitre présente les propriétés biochimiques des populations de *D. microcarpum*;
- le sixième chapitre fait le point de la phénologie de *D. microcarpum* au sud du Mali et l'inventaire non exhaustif des visiteurs des fleurs de l'espèce. Cette étude part de l'idée que le comportement phénologique est fonction des facteurs agro-climatiques;
- le septième chapitre offre une étude de cas qui traite de l'effet de *D. microcarpum* sur les paramètres de fertilité des sols, partant de l'idée que les sols colonisés par des légumineuses sont souvent plus fertiles que ceux sans légumineuses, et leurs feuilles sont d'excellents fertilisants; et
- le huitième chapitre présente les conclusions générales et les principales recommandations de l'étude.

La méthodologie de travail est donnée dans les différents chapitres, mais les deux premiers chapitres résultent d'une recherche bibliographique, tandis que les 3^e, 4^e, 5^e, 6^e et 7^e chapitres relèvent des recherches de terrain dont les résultats sont comparés à la littérature.

Le nom scientifique d'une espèce citée pour la première fois dans un chapitre, est suivi de l'auteur.

Le chapitre qui suit traite de la présentation de la zone d'étude.

CHAPITRE 1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Dans ce chapitre, nous donnons un bref aperçu sur le Mali où l'ethnobotanique et la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae) sont évaluées et caractérisées.

1.1 Géographie et population

Le Mali, pays continental, occupe une superficie de 1 241 138 km² dont les 2/3 sont désertiques (STP/CIGQE, 2002). Il est situé en Afrique, au sud du Sahara entre 11° et 25° de latitude nord, et entre 4° et 12° de longitude ouest (Kamaté, 1980). Le Mali partage une frontière commune avec sept pays qui sont l'Algérie au nord, la Mauritanie au nord-ouest, le Niger à l'est, le Burkina Faso au sud-est, la Côte d'Ivoire au sud, la Guinée au sud-ouest, et le Sénégal à l'ouest (figure 1).

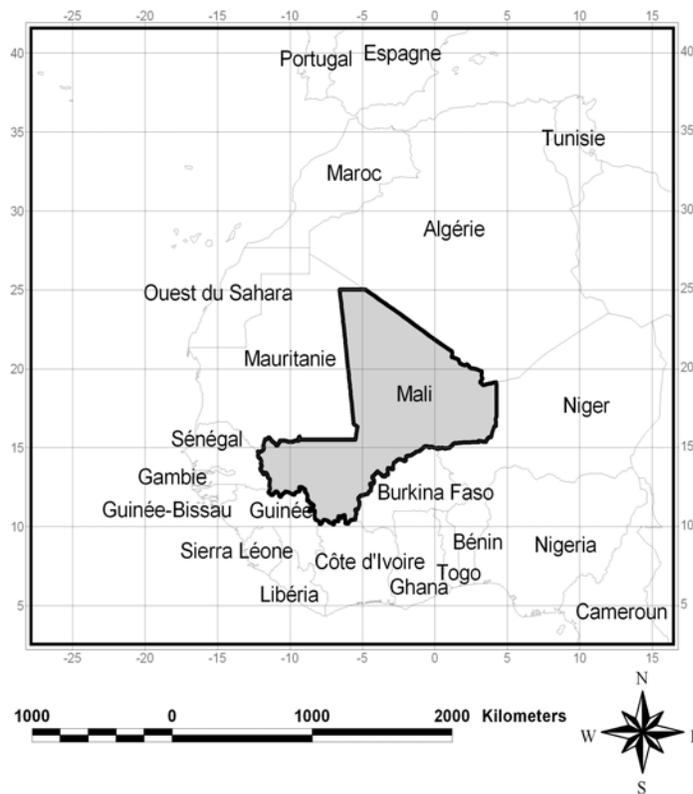


Figure 1: Localisation géographique du Mali (source: DFWM/UGENT)

La population malienne, estimée à 11 957 000 en 2004 (CIA, 2004), est rurale à 85,1 % (FAO, 2001). Selon cette dernière source, elle a augmenté, entre 1995-2000, en moyenne de 2,5

% par an. Selon STP/CIGQE (2002), les taux de mortalité infantile et juvénile (1-4 ans) sont de 122,5 ‰ et 131,1 ‰, respectivement.

La population malienne est constituée de plusieurs groupes ethniques qui vivent de manière sédentaire ou nomadique. Selon N'Diaye (1970) et Diallo (1980), les sédentaires se composent des groupes mandingue (*Bambara, Malinké, Dioula*), voltaïque (*Sénoufo, Minianka*) et soudanien (*Sarakolé, Sonraï, Dogon et Bozo*), tandis que les nomades sont constitués de *Peul, Touareg et Maures*. Malgras (1992) a classé les *Bobofing* et les *Bwa* dans les groupes mandingue et voltaïque, respectivement. Parmi toutes ces ethnies, le groupe mandingue représente 40 % de la population malienne dont 80 % sont des *Bambara* (Diallo, 1980).

Traditionnellement, la hiérarchisation sociale dans chaque ethnie est fondée sur la division en nobles et castes. Par ailleurs, certaines fonctions demeurent exclusivement assurées par les castes telles que la cordonnerie et la forge, tandis que le griot ou *Djéli* (sang en français), doté d'une mission de médiateur et d'animateur au sein de la société, est le dépositaire de la tradition orale (Diallo, 1980).

1.2 Relief et hydrographie (figure 2)

Le relief du Mali est assez uniforme et surtout tabulaire, c'est-à-dire à surface presque plane et horizontale, se terminant quelquefois par de grands versants appelés falaises (Michel, 1980). Les plateaux (200-400 m d'altitude), recouverts de dépôts primaires constitués de grès siliceux parfois ferrugineux, sont des vestiges de l'ancien Continental terminal (formations sablo-argileuses de la fin de l'ère Tertiaire et du début du Quaternaire) d'Afrique de l'Ouest (Sivakumar *et al.*, 1984).

Selon Michel (1980), les massifs caractéristiques du Mali sont l'Adrar des Iforas (600 à 890 m d'altitude au nord-est du Mali), le Plateau Mandingue (300 à 800 m d'altitude à l'ouest du Mali), le Massif de Sikasso (820 m d'altitude au sud du Mali) et le Plateau de Bandiagara (500-791m d'altitude au centre-est du Mali).

Le Mali est arrosé par deux grands fleuves qui prennent leur source dans le Fouta Djallon en Guinée (Touré, 1980). Il s'agit du fleuve Niger, long de 4200 km dont 1700 km au centre du Mali, et le fleuve Sénégal, long de 1700 km dont 400 km à l'ouest du Mali.

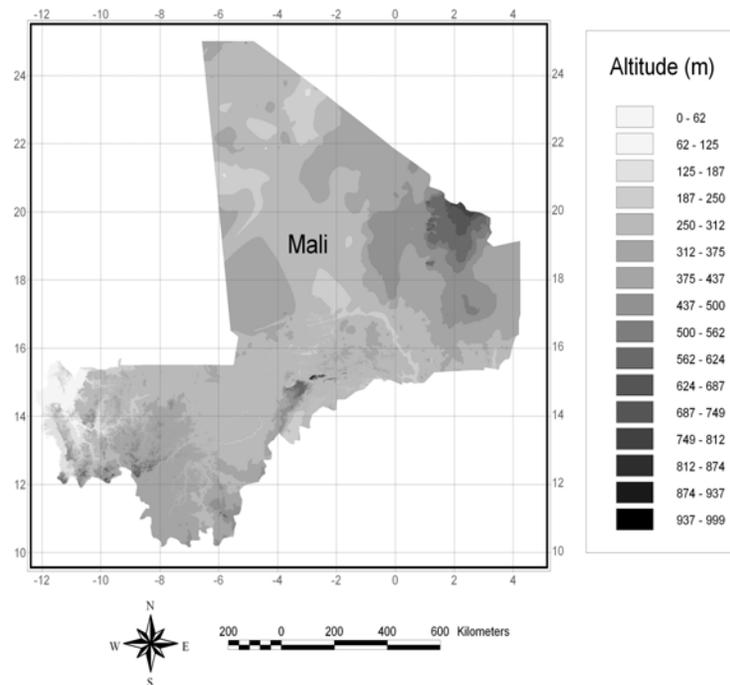


Figure 2: Carte du relief du Mali (source: DFWM/UGENT)

1.3 Climat, sol et végétation

Le Mali est un pays intertropical à caractère soudano-sahélien à longue saison sèche de six à neuf mois suivant le gradient sud-nord, et avec une seule saison des pluies (Kamaté, 1980; CPS, 2000). Il appartient aux pays à climat sec et tropical humide sec au sens de Köppen (1632), et aux zones tropicales sèches (Blaser & Rajoelison, 1995). Les températures moyennes annuelles sont de 26-28° C. L'évapotranspiration potentielle annuelle varie entre 1700 mm au sud et 2500 mm au nord, tandis que les précipitations annuelles moyennes oscillent entre 200 mm au nord et plus de 1 000 mm au sud (Kamaté, 1980; PIRT, 1983).

Selon PIRT (1983), le Mali est caractérisé par cinq grandes unités agro-écologiques dont le delta intérieur du Niger qui est une entité particulière commune aux unités soudanienne et sahélienne.

L'unité saharienne est caractérisée par des précipitations annuelles moyennes inférieures à 200 mm.

L'unité sahélienne est marquée par des précipitations annuelles moyennes comprises entre 200 et 600 mm.

L'unité soudanienne est caractérisée par des précipitations annuelles moyennes comprises entre 600 et 1000 mm.

L'unité soudano-guinéenne est marquée par des précipitations annuelles moyennes supérieures à 1000 mm.

Les régions naturelles au Mali présentent une grande diversité de sols qui sont classés suivant le système international, le système français (CPCS) et la légende FAO de la carte des sols du monde au 1/5 000 000^e. On distingue quatre types de sols dominants qui sont (Kéita, 2002): alfisols, aridisols, entisols et ultisols (système international des sols). Ceux –ci correspondent aux lixisols, arénosols, leptosols, luvisols et gleysols (légende FAO), et sols ferrugineux tropicaux, sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols brunifiés et sols hydromorphes (classification CPCS).

La végétation reflète le zonage agro-climatique ci-dessus, et elle se dégrade du sud au nord suivant un gradient pluviométrique. Au niveau de l'unité saharienne, les formations végétales sont constituées de steppe subdésertique qui est dominée par *Cornulaca monochantha* Del. (Chenopodiaceae) et *Panicum turgidum* Forsk (Poaceae), et avec une production ligneuse insignifiante (Konaté, 2001). L'unité sahéenne est caractérisée par des steppes arbustives dominées par *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. (Balanitaceae), *Hyphaene thebaica* (L.) Mart. (Arecaceae), *Acacia senegal* (L.) Willd (Fabaceae) et *Acacia raddiana* Savi (Fabaceae), et des savanes arbustive et arborée à *Borassus aethiopicum* Mart. (Arecaceae), *Faidherbia albida* Del. (Fabaceae) et *Bombax costatum* Pellegr. & Vuillet (Bombacaceae), et une production ligneuse inférieure à 10 m³/ha (Konaté, 2001). Les formations végétales en zone soudanienne sont constituées de savanes boisées dominées par *Combretum* spp. (Combretaceae), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (Sapotaceae) et *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae), avec une production ligneuse de 10-40 m³/ha (Konaté, 2001). L'unité soudano-guinéenne est caractérisée par des forêts claires à *Isobertinia doka* Craib & Stapf (Fabaceae), *Azalia africana* Sm. (Fabaceae) et *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz. (Fabaceae), et des forêts galeries à *Erythrophleum guineense* G. Don (Fabaceae), avec une production ligneuse de 40 à plus de 60 m³/ha (Konaté, 2001).

Ces formations végétales caractéristiques du Mali appartiennent aux formations d'importance régionale (White, 1983) et aux forêts tropicales de type humide et sec (Sorg, 1995).

Le tableau 2 résume les équivalents approximatifs des systèmes international et français de classification des sols rencontrés au Mali.

Tableau 2: Equivalents approximatifs des systèmes international et français de classification des sols au Mali (PIRT, 1983)

Système français	Système international
Sols minéraux bruts	Entisols orthents et psamments
Sols peu évolués	Alfisols ustalfs; aridisols orthids; entisols orthents; Inceptisols tropets, ochrepts et aquepts
Vertisols	Inceptisols tropets; Vertisols usterts
Sols calcimagnésiques	Aridisols orthids
Sols isohumiques	Aridisols argids; Entisols psamments; Mollisols
Sols brunifiés	Alfisols ustalfs; Aridisols argids; Inceptisols tropets; mollisols
Sols à sesquioxydes de fer et de manganèse	Alfisols ustalfs; Inceptisols tropets; Ultisols udults et ustults.
Sols ferrallitiques	Ultisols udults et ustults
Sols hydromorphes	Alfisols aqualfs; Entisols psamments; Inceptisols aquepts
Sols sodiques	Inceptisols aquepts

1.4 Agriculture

Pays à vocation agro-pastorale, le Mali a une économie soutenue par le secteur primaire qui représente 39,9 % du produit intérieur brut (PNUD, 2003). Depuis 1992, ce secteur est régi par un schéma directeur du développement rural défini par le Ministère de l'Agriculture qui s'articule autour des domaines prioritaires qui sont: (1) la sécurité alimentaire; (2) la restauration et le maintien de la fertilité des sols; (3) le développement d'aménagements hydro-agricoles; et (4) le développement des productions agricole, animale, forestière et halieutique (CPS, 2001).

L'agriculture, principale occupation des 90 % de la population, est surtout concentrée dans le centre, à l'ouest et au sud du Mali. Selon CPS (1998), la superficie agricole était de 33 517 031 ha en 1997. Les principales cultures, selon la surface, sont *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae), *Oryza sativa* Linn. et *Oryza glaberrima* STEUD (Poaceae), *Pennisetum americanum* (L.) Leeke (Poaceae), *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Poaceae) et *Zea mays* L. (Poaceae). Les productions céréalières étaient chiffrées à 2 523 377 tonnes en 2003 (tableau 3), tandis que celles de *G. hirsutum* (principale culture industrielle) était de 575 000 tonnes en 2002 (Gouvernement du Mali, 2002).

Tableau 3: Productions des céréales au Mali de 1998-2003 en tonnes (¹FAO, 2002a; ²FAO, 2004, modifié)

Céréale	Année					
	1998 ¹	1999 ¹	2000 ¹	2001 ²	2002 ²	2003 ²
<i>Zea mays</i>	387 000	437 504	222 700	301 931	363 629	365 174
<i>Pennisetum americanum</i>	746 000	953 132	802 500	792 548	795 146	815 000
<i>Sorghum bicolor</i>	674 000	713 881	591 700	517 748	641 695	650 000
<i>Oryza</i> spp. (paddy)	717 860	809 555	745 100	940 938	710 446	693 203
Total	2 524 000	2 914 072	2 362 000	2 553 165	2 510 916	2 523 377

L'arboriculture fruitière est dominée par *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae) dont la production était de 250 000 tonnes en 1999 (Reynes & Odoux, 1999).

Au Mali, l'apport du secteur forestier dans l'économie nationale n'est pas négligeable non plus. Selon Guillaume-Gentil (2001), la production malienne d'amandes de *V. paradoxa* à l'an 2000 était de 85 000 tonnes. Selon Konaté (2000) et sur base des statistiques nationales, la valeur ajoutée générée par ce produit est de l'ordre de 5 milliards de FCFA par an (7,6 millions d'euro/an). La même source indique que le commerce des combustibles ligneux représentait en 1995 un chiffre d'affaires de 21 milliards de FCFA (32 millions d'euro). L'exportation des feuilles de *H. thebaica* et de *B. aethiopicum* représentait pendant la même année un chiffre d'affaires de 100 millions de FCFA (152 449 euro). Cependant, des statistiques sur la production annuelle et la valeur ajoutée de la majorité des produits de cueillette telle que *D. microcarpum* qui sont plutôt vendus sur les marchés local et régional, sont rares.

Le système d'élevage est caractérisé par la transhumance et le nomadisme (déplacements fréquents des éleveurs et de leurs troupeaux sans campement fixe en fonction de la disponibilité des ressources) au nord du Mali, et une plus grande intégration entre l'élevage et l'agriculture au fur et mesure que l'on s'éloigne de cette partie du pays (Gouvernement du Mali, 2002). Selon Coulibaly (2003) et AFRISTAT (2004), le cheptel malien, composé essentiellement de bovins, d'ovins, de caprins, de porcins, d'équins et de camélins, était de 24 244 447 têtes en 1999 (tableau 4).

Tableau 4: Effectif du cheptel malien entre 1994 et 1999 (¹Coulibaly, 2003; ²AFRISTAT, 2004)

Année	¹ Bovin	¹ Ovin	¹ Caprin	² Porcin	¹ Equin	¹ Camélin
1994	5540633	5172462	7397976	62800	712998	259455
1995	5708000	5430999	7748000	63000	736998	292001
1996	5882000	5707000	8102000	64000	760620	328100
1997	6058000	5992500	8507000	65000	788200	369000
1998	6239750	6292400	8932350	65200	807270	415008
1999	6946943	6607020	9378968	-	845124	466392

La pêche revêt une grande importance, non seulement dans l'économie nationale, mais aussi dans la consommation nationale qui est estimée à 10,5 kg de poisson/habitant/an (FAO, 2004). Selon cette même source, la production moyenne de poissons est d'environ 100 000 t/an, grâce aux nombreux plans d'eau denses, riches et variés (les fleuves Sénégal et Niger avec leurs affluents, les petits barrages agropastoraux et le grand barrage de l'Office du Niger situé dans la partie ouest du Delta intérieur du Niger).

Les revenus d'exportation à partir du secteur agricole sont constitués principalement par *G. hirsutum*, les fruits, les légumes (PNUD, 1997; Banque Mondiale, 1999-2000), et les produits de l'élevage (Essor, 1999).

1.5 Mines

Selon Traoré (1980) et CPS (1998), le sous-sol malien renferme beaucoup de gisements d'or (3^e producteur africain), du phosphate, du sel gemme, du calcaire, de la bauxite, du fer, du manganèse, du gypse, de l'uranium et du marbre.

L'or occupe la 2^e place des produits d'exportation après *G. hirsutum*, et sa production annuelle a atteint 58,9 tonnes en 2002 (PNUD, 2003), pour une valeur de 30 milliards de francs CFA (46 millions d'euro).

Le chapitre qui suit fait le point sur l'état des connaissances botanique, biogéographique et écologique de *D. microcarpum*.

CHAPITRE 2

REVUE BOTANIQUE, BIOGEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DE *DETARIUM MICROCARPUM*

2.1 Introduction

Selon la classification de Cronquist (1988), *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. appartient à la classe des Magnoliopsida, à la sous-classe des Rosidae, à l'ordre des Fabales, à la famille des Fabaceae, à la sous-famille des *Caesalpinioideae*, à la tribu des *Detarieae* et au genre *Detarium*.

La famille des Fabaceae renferme environ 639 genres et au moins 16 000 espèces (Mabberley, 1981; Gaussen *et al.*, 1982; Van Damme, 1993).

La sous-famille des *Caesalpinioideae* est présente exclusivement dans les régions tropicales (Spichiger *et al.*, 2002). Elle se rencontre surtout en Amérique méridionale, en Afrique tropicale et en Asie méridionale-est (Van Damme, 1993). Cette sous-famille est constituée d'arbres, d'arbustes et très rarement d'herbes, et comprend quelques 162 genres (Van Damme, 1993; Spichiger *et al.*, 2002), dont 88 en Afrique (Lock, 1989). Leurs feuilles sont pennées ou bipennées, rarement simples ou unifoliées (Keay, 1958; Mabberley, 1981; Tailfer, 1989).

La tribu des *Detarieae* renferme approximativement 82 genres dont *Detarium* (Mabberley, 1981; Tucker, 2002). En dépit de sa taille, cette tribu est peu connue, probablement parce qu'une grande partie de ses espèces sont des arbres tropicaux dont seulement quelques-uns sont cultivés (Tucker, 2002), voire exploités ou utilisés.

Le genre *Detarium*, d'origine africaine (Keay, 1989), est caractérisé par de grands fruits drupacés (Geerling, 1982), subdrupacés, indéhiscents, aplatis et globuleux avec un épicarpe dur (Aubréville, 1950; Watson & Dallwitz, 1993), et de petites fleurs hermaphrodites (Watson & Dallwitz, 1993). Selon Lock (1989), Keay (1989) et Watson & Dallwitz (1993), il compte trois espèces, qui sont *Detarium senegalense* J. F. Gmel., *D. microcarpum* Guill. et Perr., et *D. macrocarpum* Harms.

2.2 Description des espèces de *Detarium*

D. microcarpum est présente seulement dans les zones plus sèches des savanes soudaniennes du continent africain (Keay, 1989; Lock, 1989) où son aire de répartition s'étend du Sénégal au Soudan. L'espèce est reconnaissable par ses folioles arrondies avec un apex et

une découpeure de formes respectivement émarginée (Keay, 1958) et crénelée; ses fleurs sont groupées en panicules axillaires de 15 à 25 cm de long et larges de 6 à 10 mm (Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1981; Cuny *et al.*, 1997).



Figure 3: Folioles de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

Ses fruits sont drupacés de formes aplatie (Kerharo & Adam, 1974; Adjanohoun *et al.*, 1980), ovoïde ou globuleuse (Arbonnier, 2000) de 2,5-5 cm de diamètre.

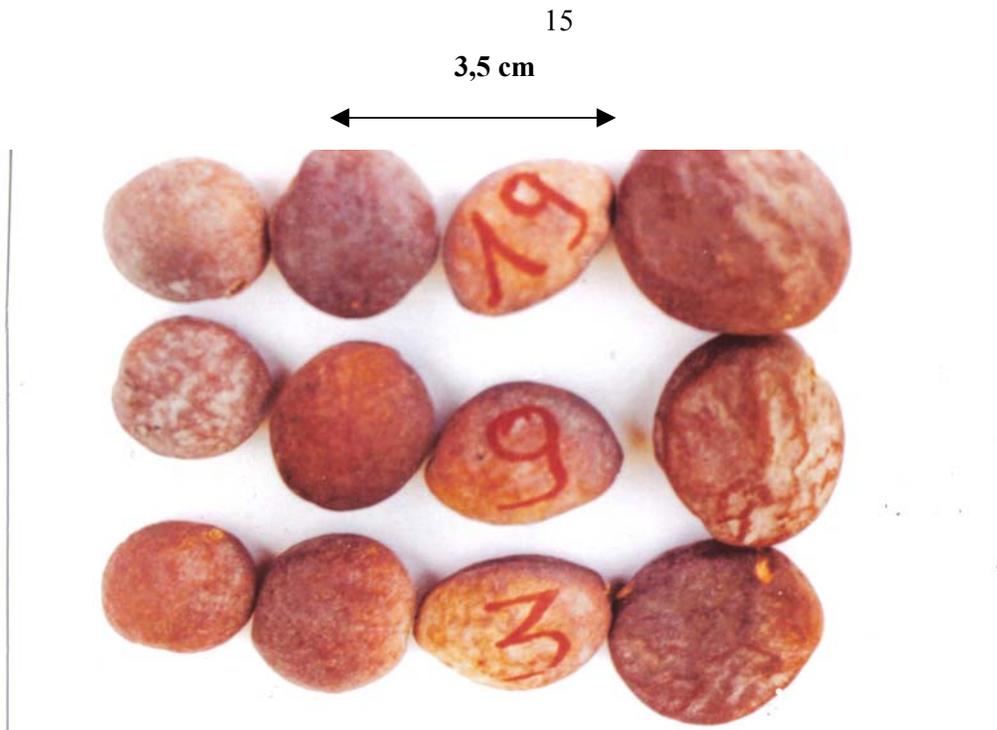


Figure 4: fruits de *Detarium microcarpum* récoltés au Mali (Photo: Kouyaté)

Detarium senegalense, contrairement à *D. microcarpum*, se trouve dans les forêts guinéo-congolaise et les zones plus humides des savanes du continent africain (Keay, 1989; Lock, 1989). Son aire de répartition naturelle couvre l'Afrique tropicale (Lock, 1989) et s'étend du Sénégal en République du Congo Démocratique (ex-Zaïre). L'espèce est reconnaissable par ses petites folioles arrondies ou émoussant à l'apex, parfois entaillées; ses fleurs très faiblement en grappe (Keay, 1989), et ses fruits drupacés, comprimés et suborbiculaires de 3-8 cm de diamètre à gros noyau garni de fibres adhérentes (Tailfer, 1989). Selon Aubréville (1950), l'espèce comporte des individus à fruits comestibles et d'autres à fruits toxiques.

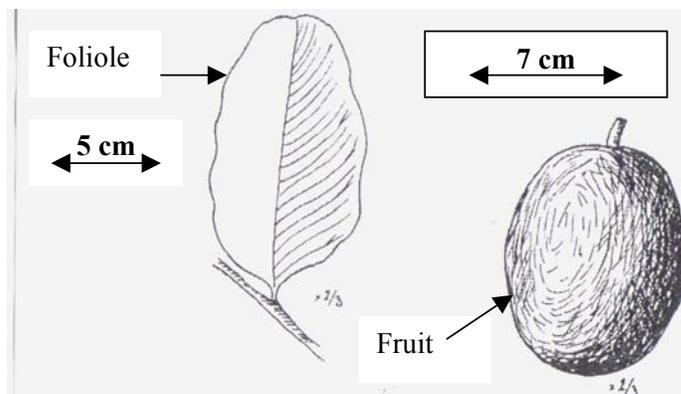


Figure 5: foliole et fruit de *Detarium senegalense* (Photo: Tailfer, 1989; modifié)

Detarium macrocarpum se rencontre dans les forêts guinéo-congolaise du continent africain (Lock, 1989). Son aire de répartition s'étend du sud-est du Nigeria au Gabon. Elle est caractérisée par des remarquables contreforts (Tailfer, 1989), des folioles faiblement acuminées ou aigues à l'apex (Keay, 1989), des fruits drupacés ou subglobuleux de 7-8 cm de diamètre et à noyau garni de fibres (Tailfer, 1989).

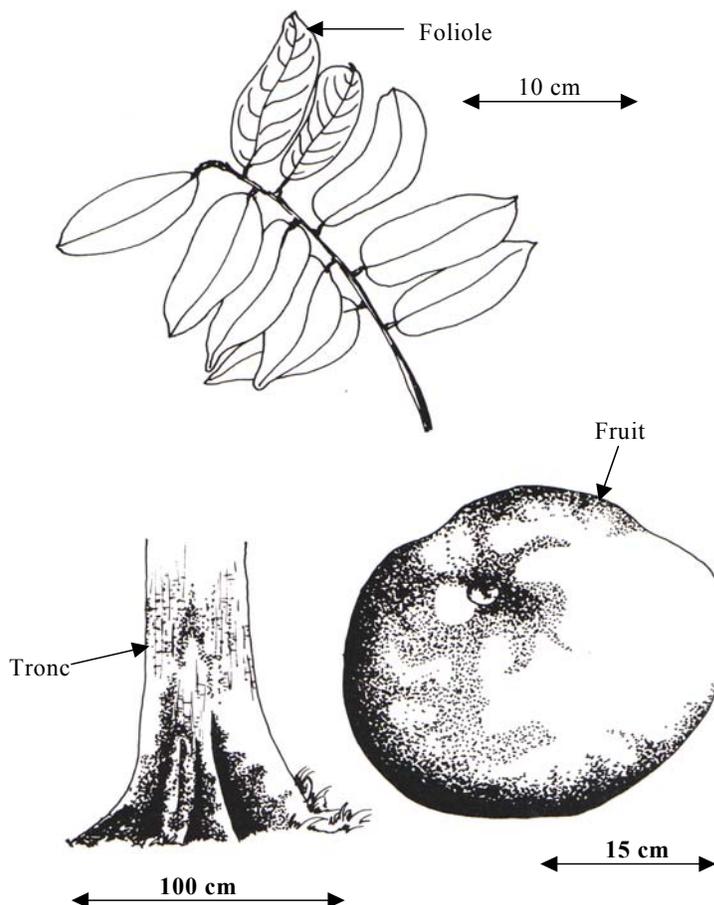


Figure 6: Foliole, tronc et fruit de *Detarium macrocarpum* (Photo: Tailfer, 1989; modifié)

Il résulte de la revue documentaire que les espèces *D. microcarpum* et *D. senegalense* se différencient par leur habitat, et la dimension des fruits, des folioles et des fleurs ainsi que la disposition des fleurs.

Au cours de la caractérisation morphologique des individus de *D. microcarpum* à Farako dans le cadre de la présente étude, nous observons quelques pieds d'une autre espèce de *Detarium* de grande taille et à gros fruits mûrs par terre le long d'une galerie forestière. Etant donné que les fruits mûrs sont délaissés par les oiseaux et les animaux, il nous semble qu'il

s'agit de la variété de *D. senegalense* à fruits toxiques. Un travail de prospection et d'identification taxonomique de cette espèce mérite d'être entrepris.

2.3 *Detarium microcarpum*

2.3.1 Nomenclature

Les noms communs de *D. microcarpum* sont *sweet dattock* en anglais (Woot-Tsuen, 1968), ou petit détar en français (Burkill, 1995). L'espèce bénéficie de plusieurs appellations locales dans son aire de distribution naturelle (tableau 5).

Tableau 5: Appellations locales de *Detarium microcarpum* en Afrique

Ethnie	Nom	Source
<i>Bambara</i>	<i>Tambacoumba</i>	*Communications paysannes (1999)
	<i>Tamba</i>	Aubréville (1950)
	<i>Tamba dala</i>	Kerharo & Adam (1974); Berhaut, 1975
<i>Malinké, Mandingue</i>	<i>Tamba guelu</i>	Aubréville (1950); Berhaut, 1975;
	<i>Sarawonkoo</i>	Berhaut, 1975; De Wolf & Van Damme (1994)
<i>Sénoufo</i>	<i>Simfarga</i>	Communications paysannes (1999)
	<i>Batio, cebaraga, tiparaga</i>	Aubréville (1950)
<i>Minianka</i>	<i>Sumparaka</i>	*Communications paysannes (1999)
<i>Bobo</i>	<i>O'O</i>	*Communications paysannes (1999)
<i>Sonraï</i>	<i>Fantu</i>	Aubréville (1950)
<i>Peul</i>	<i>Dôli</i>	Burkill (1995), Kerharo & Adam (1974)
	<i>Pompodogo</i>	Berhaut, 1975
	<i>Konkéhi</i>	Aubréville (1950)
	<i>Kukehy</i>	Adjanooun <i>et al.</i> (1980)
<i>Soninké</i>	<i>Tambacounba</i>	*Communications paysannes (1999)
<i>Dogon</i>	<i>Ponu</i>	Burkill (1995)
<i>Haoussa</i>	<i>Taura</i>	Parkan (1974b); Keay (1989)
<i>Zarma</i>	<i>Fantu</i>	Adjanooun <i>et al.</i> (1980)
<i>Fon</i>	<i>Dakpa</i>	Aubréville (1950)
<i>Wolof</i>	<i>Dank</i>	Aubréville (1950); Berhaut, 1975; Woot-Tsuen, 1968
	<i>Dâk, Dâx, Daha</i>	Kerharo & Adam (1974)
	<i>Danha</i>	Berhaut, 1975
<i>Sérère</i>	<i>Rahn</i>	Aubréville (1950)
	<i>Ndanh</i>	Berhaut, 1975
<i>Socé</i>	<i>Vonko</i>	Berhaut, 1975
<i>Arabe</i>	<i>Abu leile</i>	Burkill (1995); Vogt (1995)
<i>Bassari</i>	<i>Napuhuri</i>	Burkill (1995)
<i>Kanuri</i>	<i>Gatapo</i>	Burkill (1995)
<i>Igbo</i>	<i>Ofo</i>	Keay (1989)

*: communications faites par des paysans au moment de l'auto-évaluation paysanne des activités du volet Environnement et Développement Paysans du programme GDRN au sud du Mali en 1999.

2.3.2 *Habitat et distribution*

2.3.2.1 *Habitat*

D. microcarpum habite les terrains secs, les savanes boisées, et les forêts claires des zones soudano-guinéenne et soudano-sahélienne du continent africain (Aubréville, 1950; Lock, 1989; Arbonnier, 2000).

2.3.2.2 *Distribution*

La répartition naturelle de *D. microcarpum* s'étend du Sénégal jusqu'au Soudan (Keay, 1958, 1989; Berhaut, 1975). Les principaux pays concernés sont: Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Centrafrique, Côte d'Ivoire, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée Bissau, Mali, Niger, Nigeria, Sénégal, Soudan et Tchad.

2.3.2.3 *Description botanique*

D. microcarpum est un arbuste ou un petit arbre à cime irrégulière de 5 à 10 m de haut (Kerharo & Adam, 1974; Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1981; Malgras, 1992).

Les feuilles, longues de 15 cm, sont paripennées (Adjanohoun *et al.*, 1980; Malgras, 1992) ou imparipennées (Kerharo & Adam, 1974; Malgras, 1992; Arbonnier, 2000), avec des points translucides. Elles renferment quatre à douze folioles alternes ou sub-opposées longues de 5 à 11 cm (Keay, 1958; Kerharo & Adam, 1974; Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1980, 1981; Vogt, 1995; Arbonnier, 2000) et larges de 3 à 5 cm (Keay, 1958; Kerharo & Adam, 1974; Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1980, 1981; Arbonnier, 2000). Selon Neuwinger (1996), les feuilles sont arrondies à l'apex. Le pétiole est long de 0,4 cm à 0,6 cm en moyenne (Berhaut, 1975; Arbonnier, 2000). Le limbe est bordé d'un filet translucide (Kerharo & Adam, 1974; Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1980), avec un pétiole épaissi à la base et long de 3 à 4 cm avant la première foliole (Berhaut, 1975). Les folioles sont coriaces (Keay, 1958), glabres, longues de 6,6 à 11 cm, larges de 3,4 à 5 cm (Keay, 1958; Berhaut, 1975) avec un apex et une découpe de formes respectivement émarginée (Keay, 1958) et crénelée.

L'écorce est brune (Keay, 1958), rougeâtre et craquelée sur les rameaux lignifiés (Berhaut, 1975), et claire et lisse (Kerharo & Adam, 1974), et vert-jaune sur les jeunes pousses.

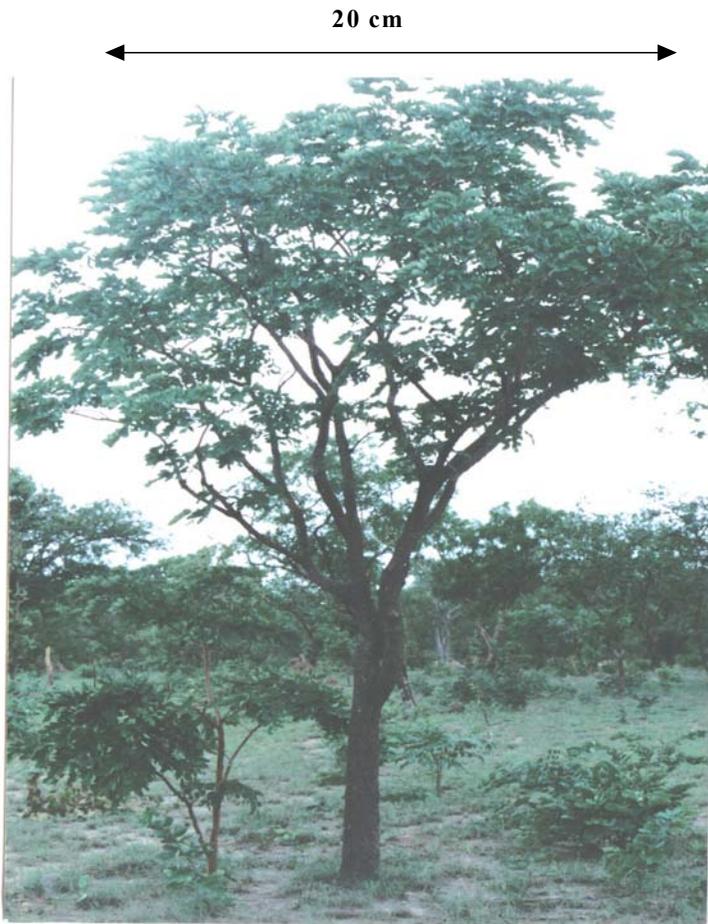


Figure 7: Un individu de *Detarium microcarpum* dans la forêt classée de Farako (Photo: Kouyaté)

Les inflorescences sont denses (Keay, 1958). Les fleurs hermaphrodites, de couleur crème (Keay, 1958) ou blanc-crème (Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1981; Keay, 1989; Vogt, 1995; Cuny *et al.*, 1997) sont groupées en panicules axillaires de 15 à 25 cm de long et larges de 6 à 10 mm (Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1981; Cuny *et al.*, 1997). Selon Keay (1989) et Vogt (1995), elles sont parfumées. Les fleurs apétales portent quatre sépales elliptiques et dix étamines (Berhaut, 1975).

Le fruit est une drupe. Selon Berhaut (1975), Letouzey (1982) et Schmidt (2000), la drupe se caractérise par une graine (plus rarement plusieurs graines) enfermée dans un endocarpe qui est entourée par un mésocarpe, juteux, parfois fibreux et protégé extérieurement par un épicarpe. Il est large de 2,5 à 4 cm (Kerharo & Adam, 1974; Adjanohoun *et al.*, 1980), épais mais pas très charnu (Keay, 1958), et de formes aplatie (Kerharo & Adam, 1974; Adjanohoun *et al.*, 1980), ovoïde ou globuleuse (Arbonnier, 2000). Selon Keay (1958) et Adjanohoun *et al.* (1981), un individu de l'espèce porte fréquemment des fruits avortés globuleux de 1 à 2 cm de diamètre.

Le bois est brun foncé et rugueux, semi-dur de densité 0,7 kg/m³ (Burkill, 1995). Il est de très bonne qualité et est utilisé en charpenterie dans les zones sèches au Soudan (Vogt, 1995).

Selon Bationo *et al.* (2001a), *D. microcarpum* a un système racinaire horizontal.

Cependant, nos propres observations révèlent que *D. microcarpum* peut atteindre une circonférence moyenne de 160 cm si elle est protégée des actions anthropiques, et avoir un houppier aussi large que celui de *Parkia Biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae). Cet aspect n'est pas traité dans la littérature jusqu'à présent. Nos propres observations révèlent que les feuilles paripennées et/ou imparipennées mesurent $17,32 \pm 3,00$ cm de long, avec des pétioles de 0,23 cm de diamètre. Les folioles sont de forme triangulaire-ovale, longues de $7,29 \pm 1,14$ cm et larges de $3,76 \pm 0,66$ cm, avec une surface de 28,03 cm². Les pétiolules sont longs de $0,41 \pm 0,07$ cm. Les fruits de *D. microcarpum* au Mali de formes elliptique et biconvexe sont longs de $35,61 \pm 3$ mm, avec une épaisseur de $22,05 \pm 1,95$ mm et un poids de $10,89 \pm 2,67$ g. L'endocarpe est long de $32,25 \pm 4,00$ mm avec une épaisseur de $13,06 \pm 1,8$ mm, tandis que les graines de forme ovale mesurent $18,21 \pm 2,1$ mm de long avec une épaisseur de $7,69 \pm 0,99$ mm. Une graine pèse $1,83 \pm 0,39$ g. Par ailleurs, nos propres observations se sont étendues sur certains caractères botaniques comme les dimensions de la pulpe et de l'endocarpe, et le nombre de fleurs par panicule, qui ne sont pas traités dans la littérature jusqu'à présent. Elles montrent que la pulpe est épaisse de $8,99 \pm 1,62$ mm, une panicule contient 3 à 60 fleurs longues de 15 à 25 cm et larges de 6 à 10 mm. Nous avons été impressionnés par la forte odeur parfumée des fleurs au moment de l'inventaire des agents visiteurs et du suivi phénologique, qui peut être sentie à 10 m de l'arbre. Par ailleurs, nous n'avons pas identifié de pétales chez *D. microcarpum*.

La présente étude résultant de plusieurs mesures et de plusieurs niches écologiques, révèle que *D. microcarpum* échantillonnée au Mali constitue un élément de référence à prendre en compte dans la redéfinition des aspects botaniques.

2.4 Comportement des jeunes plantules de *Detarium microcarpum* en plantation

Les jeunes plantules issues des graines germées en pépinière transplantées en parcelles manifestent un bon taux de reprise allant jusqu'à 100 % avant la fin de la saison des pluies à laquelle la plantation a lieu. Des évaluations biophysiques effectuées en saison sèche chaude (mars-avril) donnent des taux de survie des plantules de 0 %. Cependant, de nouvelles pousses apparaissent dès les premières pluies, mais disparaissent de nouveau à la prochaine saison sèche chaude, et ceci peut durer cinq ans au plus.

Nos observations personnelles au sud du Mali montrent que la partie souterraine reste en vie, tandis qu'il y a un renouvellement continu de la partie aérienne pendant la saison des pluies. Elles sont confirmées par Louppe & Ouattara (1996) et Bationo *et al.* (2001a) au nord de la Côte d'Ivoire et à l'ouest du Burkina Faso, respectivement. Il importe de préciser que le sud du Mali, le nord de la Côte d'Ivoire et l'ouest de la Côte d'Ivoire partagent une même aire écologique.

Les causes de l'abscission précoce des parties aériennes des jeunes plantules de *D. microcarpum* transplantées, en saison sèche sont encore mal connues. On suppose que la partie souterraine n'est pas assez forte pour soutenir la partie aérienne (nos propres constats) ou bien la plante développe des stratégies pour économiser ses réserves tant que celles-ci ne sont pas suffisantes pour satisfaire les besoins des pousses en saison sèche (Bationo *et al.*, 2001a). Selon Van Damme (1993), la plante développe une stratégie permettant de survivre la saison sèche. Pour cela, l'utilisation des mycorhizes qui sont des symbiotes ou associations à bénéfices réciproques entre des racines de plantes et des champignons du sol, peut contribuer à juguler ce phénomène d'abscission chez *D. microcarpum*. Des sols prélevés sous cette plante au Bénin indiquent la présence des spores de types *Gigaspora*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Entrophosphora* et *Acaulospora* (Pascal Houngnandan, données non publiées). Ceux-ci appartiennent aux mycorhizes à arbuscules, et selon Breman & Kessler (1995), celles-ci sont caractéristiques des sols ouest-africains.

Le chapitre qui suit, présente les inter-relations entre les communautés locales et *D. microcarpum*, et donne un aperçu des propriétés ethnobotaniques de l'espèce.

CHAPITRE 3

PERCEPTIONS DES COMMUNAUTES LOCALES SUR *DETARIUM MICROCARPUM*

3.1 Introduction

Jadis, le champ ethnobotanique appartenait aux explorateurs européens qui observaient et notaient les utilisations des plantes par les peuples autochtones qu'ils rencontraient pendant leurs voyages (Cotton, 1996). La même source rapporte que la notion d'ethnobotanique a subi plusieurs changements à travers les temps et selon les auteurs. Elle est passée de l'étape d'objet de commerce et d'étude des formes de végétation que les autochtones utilisaient pour couvrir leurs besoins tels que la médecine, l'alimentation et l'habillement dans les années 1800, à la description de l'interaction des populations locales avec l'environnement naturel dans les années 90 (Harshberger, 1896; Ford, 1978; Wickens, 1990; Martin, 1995 cités par Cotton, 1996).

En Afrique, les peuples ont toujours disposé de connaissances ethnobotaniques traditionnellement très riches grâce aux diversités culturelle et écologique de l'environnement dans lequel ils vivent (Van den Eynden *et al.*, 1994). Selon Vandebroek *et al.* (2004), ces connaissances reflètent la richesse des végétations dans lesquelles vivent ces peuples autochtones: plus que la végétation est riche, plus il y aura des espèces qui peuvent être utilisées par les populations. Elles sont dynamiques, non statiques (Kakudidi, 2004a), et peuvent nous aider à une meilleure compréhension, à la sélection et à la domestication des meilleurs individus dans des systèmes d'agriculture traditionnelle et/ou moderne (Okafor, 1998; Patrick Van Damme, communication personnelle). Selon Mula (1992), la connaissance locale est la somme des expériences et du savoir d'un groupe ethnique donné qui constitue la base pour les prises de décision face aux problèmes et défis quotidiens.

La recherche ethnobotanique africaine a été principalement centrée sur les relevés des noms vernaculaires et l'utilisation des plantes (Cunningham, 1997), mais aussi les noms scientifiques et ceci surtout en zones soudano-sahéliennes (Aubréville, 1950; Kerharo & Adam, 1974; Malgras, 1992; Arbonnier, 2000), mais aussi en Afrique australe (Watt & Breyer-Brandwijk, 1962b; Rodin, 1985; Gelfand *et al.*, 1985; Hedberg & Staugard, 1989). Parmi les enquêtes ethnobotaniques réalisées en Afrique de l'Ouest, on peut citer en exemple celles d'Adjanohoun *et al.* (1980) au Niger et d'Ambé (2001) dans les savanes guinéennes de la Côte d'Ivoire auprès de l'ethnie *malinké*.

Au Mali, il y a eu surtout plusieurs études ethnologiques. On peut citer: (1) la thèse de Rondeau (1980a, 1980b) sur la société *sénoufo* du sud du Mali; (2) celle de Diabaté (1986) sur l'analyse des mécanismes des mutations socio-économiques au sein des sociétés rurales *sénoufo*

du sud du Mali; (3) celle de Jonckers (1981a, 1981b) sur l'organisation socio-économique des *Minianka* du Mali; (4) le livre de N'Diaye (1970) sur les groupes ethniques du Mali; et (5) l'article de Dembélé (1977) sur la philosophie et les rites de la mort dans la société traditionnelle *minianka* au Mali.

A part le travail d'Adjanohoun *et al.* (1981), il n'existe donc pas une synthèse des connaissances ethnobotaniques maliennes, les autres études étant fragmentaires et concentrées sur quelques zones spécifiques seulement. On peut citer entre autres: (1) le travail de Diallo (1994) dans le Gourma malien; (2) celui d'Hveem *et al.* (1995, 1996) intitulé "*Ethnobotanical findings from Gourma, northern Mali*" et "*The dependency on local plant resources in the Malian Sahel*"; et (3) celui de Diallo *et al.* (1998) intitulé "*An ethnobotanical survey of herbal drugs of Gourma district*". D'autres aspects tels que les volets écologiques et socio-économiques de l'exploitation du bois de chauffe au niveau local au Mali restent peu documentés (Benjaminsen, 1996).

Aujourd'hui, les plantes sont plus sollicitées que jamais par les populations maliennes à des fins médicinales, suite au coût élevé des produits pharmaceutiques industriels. Selon Avertin *et al.* (1998), plus de 80 % des maliennes et des maliens se soignent plus ou moins par la plante. Cependant, les informations thérapeutiques relatives aux plantes du Mali sont en déclin (Diallo & Mahmoud, 1992) à cause de l'absence de bases de données, d'où la nécessité d'inventorier leurs méthodes d'utilisation. Aké Assi (1997) attribue le faible développement des médicaments à base des plantes africaines à la déforestation qui sévit surtout dans les formations forestières naturelles, principale source d'approvisionnement pour la plupart de ces plantes.

Face aux menaces d'ordres anthropique et climatique pour la survie des ressources forestières, il importe d'acquérir le plus possible d'informations sur les espèces forestières locales pour lesquelles les communautés paysannes disposent d'un savoir-faire et des savoirs traditionnels nés d'une longue expérience avec l'utilisation de ces produits, en vue d'en sélectionner et domestiquer au moins les plus intéressantes.

Aujourd'hui, la domestication est perçue comme une solution pour pallier la disparition des espèces forestières locales. Pour cela, nous pensons que le choix des communautés paysannes vis-à-vis des espèces à conserver et à valoriser est capital. C'est pourquoi, l'identification des espèces connues et appréciées de ces communautés est essentielle.

C'est le cas de *Detarium microcarpum* Guill & Perr. (Fabaceae) où il importe d'élargir et d'approfondir les connaissances pour son utilisation et sa gestion ultérieure plus durable *in situ* et *ex situ*. Pour cela, on fait recours à l'ethnobotanique appliquée considérée comme une réponse aux besoins urgents et aux préoccupations des populations face à la dégradation de leurs héritages naturel et culturel (Höft & Höft, 1997). Elle peut aussi contribuer à l'estimation des

ressources en produits forestiers non ligneux (Wong *et al.*, 2001). Selon Cotton (1996), l'ethnobotanique désigne l'ensemble des études qui concernent les relations mutuelles entre les populations humaines et les plantes.

La présente étude s'accorde avec la préoccupation du Gouvernement malien en matière de prise en compte des savoirs locaux dans toutes actions de gestion des ressources naturelles (SNPA/DB, 2001). Ceci indique que le présent travail est une réponse à une préoccupation nationale.

On suppose que l'utilisation de *D. microcarpum* par les populations locales est fondée sur des savoirs traditionnels développés pour guérir des maladies, pour la cuisson des aliments, pour la construction et la confection d'outils de travaux champêtres, pour des expressions culturelles liées à la religion et aux croyances traditionnelles, pour l'alimentation humaine et animale. En outre, on postule que les savoirs locaux sur la classification des individus de *D. microcarpum* selon leurs aspects morphologiques et les endroits où on les rencontre, peuvent aider à mieux caractériser la biodiversité, comprendre le matériel végétal de l'espèce, connaître son effet sur la fertilité des sols, et contribuer à la mise au point des modèles de domestication.

3.2 Objectifs

Les objectifs spécifiques de l'enquête ethnobotanique sur *D. microcarpum* sont de:

- analyser les valeurs socioculturelle, socioéconomique, religieuse, écologique, alimentaire et médicinale;
- identifier et analyser les types de sols et le niveau de fertilité des sols à *D. microcarpum* selon la classification paysanne; et
- identifier et analyser les critères de différenciation paysans des individus de *D. microcarpum*.

3.3 Matériel et méthodes

3.3.1 Présentation de la zone d'étude

La présente enquête ethnobotanique est réalisée au nord et au sud de l'unité agro-écologique soudanienne au sud du Mali qui regroupe les cercles de Sikasso, Koutiala et Yorosso, où *D. microcarpum* est traditionnellement exploitée (fruit, bois, plante médicinale) par les communautés paysannes. Cette unité regroupe en moyenne 500 villages (CMDT, 1995) potentiellement enquêtés.

Selon la loi n° 93-008 de 1993 de la Présidence de la République du Mali, un cercle est une collectivité territoriale dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière qui est composée de communes.

La zone d'enquête est caractérisée par des formations végétales de type savanes boisée, arborée et arbustive (PIRT, 1983) qui sont constituées de *D. microcarpum*, *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (Sapotaceae), *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae), *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae), *Lannea acida* A. Rich. (Anacardiaceae), *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. (Combretaceae) et *Pterocarpus lucens* Guill. & Perr. (Fabaceae).

3.3.2 Critères de choix des villages d'enquête

L'enquête ethnobotanique est menée auprès de vingt villages dont trois villages *sénoufo*, quatorze villages *minianka* et trois villages *bobofing*; les nombres respectifs reflétant l'importance relative des ethnies présentes dans la zone, selon GDRN (1999). Ces villages sont choisis sur la base des critères suivants: (1) les villageois disposent d'une bonne connaissance en matière de gestion des ressources naturelles et (2) leurs perceptions vis-à-vis des espèces forestières locales varient en fonction de la présence d'une formation forestière naturelle, donc de la diversité biologique, près de leur village.

La bonne connaissance des villageois en matière de gestion des ressources naturelles évoquée ci-dessus est liée à leur participation à un projet du "Programme Gestion Durable des Ressources Naturelles" initié par l'organisation Intercooperation suisse au sud du Mali. Ce Programme avait pour objectif de former et d'accompagner les populations rurales en matière de gestion des ressources naturelles (GDRN, 1999). Pour ce qui concerne le second critère, on suppose que les villageois ont plus de chances d'avoir des informations sur *D. microcarpum*, à raison de la présence d'une forêt classée (forêt gérée par le service forestier où la coupe de bois vert est interdite) et d'une forêt villageoise (forêt dont la gestion est confiée aux villageois à travers une convention). Selon Kakudidi (2004a), les communautés rurales avoisinant les forêts détiennent de riches connaissances et/ou d'informations sur l'utilisation et les propriétés des produits forestiers non ligneux. Ces informations seraient plus riches que quand il s'agit de populations vivant loin des forêts.

Selon des propos rapportés par Wiersum et Slingerland (1996), le statut des forêts (forêt classée ou villageoise) constitue d'importantes sources de différences dans l'évaluation des ressources forestières qui peuvent exister entre les catégories sociales des communautés paysannes, et par conséquent, ceci peut influencer sur la valorisation des arbres.

3.3.3 Aperçu sur les ethnies enquêtées

Nous supposons qu'une présentation des relations des ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing* avec la plante en général s'impose, parce qu'elle permet d'appréhender le comportement de chaque ethnie par rapport aux utilisations, et de comprendre leurs savoirs, leurs connaissances ethnobotaniques et leur attitude générale envers les plantes. Les influences socioculturelles sur les perceptions humaines d'une plante donnée sont confirmées par d'autres études (Cotton, 1996; Vandebroek *et al.*, 2004).

Sénoufo

Les *Sénoufo*, très respectueux de leurs traditions (N'Diaye, 1970), habitent les unités agro-écologiques soudanienne et soudano-guinéenne au sud du Mali (Malgras, 1992). La culture de *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae) et de *Zea mays* L. (Poaceae) constitue leur principale occupation (Perron, 1933; N'Diaye, 1970; Capron, 1973; Coulibaly, 1973; Rondeau, 1980a, 1980b). Selon Rondeau (1980a) et Bagnoud (1992), seul le chef de terre (ou "*tarfolo*" en *sénoufo*) est habilité à ordonner la cueillette des fruits de *V. paradoxa* et de *P. biglobosa*. Les arbres utiles tels que *V. paradoxa*, *P. biglobosa* et *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (Bombacaceae) sont toujours épargnés au moment de l'installation de nouvelles terres.

Minianka

Les *Minianka* habitent le nord de l'unité soudanienne au sud du Mali (Malgras, 1992). Ce sont de grands cultivateurs (Jonckers, 1981a), avec *G. hirsutum* et *Pennisetum americanum* (L.) Leeke (Poaceae) comme les principales cultures. A l'opposé des *Sénoufo*, le chef de terre *minianka* n'exerce pas de contrôle sur la terre, mais il est le détenteur des connaissances des plantes (Jonckers, 1981b). Selon cette même source, les ligneux ont toujours joué un grand rôle dans la vie socioculturelle des *Minianka*. Selon Bazile (1998), le bois de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. (Combretaceae) brûlant lentement, est très prisé pour la construction des autels utilisés comme foyers de cuisine au moment des sacrifices spécifiques (mariage, décès, etc.) et annuels (santé, paix, bonne saison des pluies). Ce bois est également utilisé pour la cuisson des plats qui restent longtemps sur le feu comme ceux de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) et la préparation de la bière locale à partir de *P. americanum*. Selon Dembélé (1977), les morts *minianka* sont déposés dans un cercueil (ou "*karya*" en *minianka*) constitué de bois de *Pterocarpus erinaceus*

Poir. (Fabaceae), de *D. microcarpum* et de *Piliostigma* spp. (Fabaceae), relié par des fibres de *Hibiscus cannabinus* L. (Malvaceae), et le tout déposé sur une natte de *Raphia* spp. (Arecaceae).

Bobofing

Les *Bobofing*, une ethnie voisine des *Minianka* au sud du Mali, se rencontrent à l'extrême nord-est de l'unité agro-écologique soudanienne. Selon N'Diaye (1970), ils sont très renfermés sur eux-mêmes, très méfiants et livrent difficilement le secret de leur âme, mais sont d'autre part très hospitaliers, et très liés à leurs traditions (Capron, 1973). A l'instar des deux autres ethnies, les *Bobofing* sont des cultivateurs (N'Diaye, 1970; Malgras, 1992), et leur principale culture est *P. americanum*. Selon Capron (1973), l'initiation est très importante en milieu *bobofing* où les masques en bois y jouent un rôle prépondérant dont celui de *D. microcarpum* (Meyer, 2001).

La compilation ainsi faite révèle que les trois ethnies disposent des connaissances sur la plante, mais à des degrés divers.

3.3.4 Conduite et déroulement de l'enquête

L'enquête proprement dite a été précédée d'un test du questionnaire auprès de cinq femmes du village de Pémasso (environ 18 km de la ville de Sikasso, un centre urbain), choisies en fonction de leur disponibilité et sur la base de volontariat. Ce test a permis de réviser la formulation des questions et leur ordination (annexe 1). Le questionnaire adopté comporte quatre grandes rubriques: (1) l'identité de l'enquêté et de son village. Ceci a pour effet de créer un climat de confiance entre l'enquêté et les enquêteurs; (2) les utilisations (écologie, religion, culture, alimentation, pharmacopée traditionnelle et commerce). Cette rubrique a permis d'évaluer l'intérêt porté à l'espèce en milieu paysan et dans les marchés locaux; (3) la connaissance du matériel végétal (lieux de prédilection, sylviculture, propagation) pour assurer sa pérennité et sa valorisation; et (4) les menaces. Ceci a permis de recenser des propositions paysannes pour sauvegarder l'espèce. Il résulte que toutes ces rubriques concourent à justifier la nécessité de domestiquer *D. microcarpum* en vue de la rendre encore plus accessible aux communautés paysannes.

Pour rassembler les données d'enquête, nous avons interviewé 244 personnes (tableau 6) dans la zone d'enquête dont 147 hommes et 67 femmes appartenant aux ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing*, sur la base de volontariat. Ce dernier explique l'inégalité de la taille de l'échantillon entre les hommes et les femmes.

Nous avons opté pour l'entretien, parce qu'il permet de collecter des données d'enquête auprès d'informateurs (Murphy & Sprey, 1984), ici des cultivateurs. Au niveau de chaque village, nous avons rendu une visite de courtoisie au chef du village entouré par ses conseillers afin de les expliquer l'objet de notre présence qui est une suite logique de leur propre demande et de préciser comment l'enquête va se dérouler. A partir de cet instant, nous avons fixé de commun accord le jour des interviews et le chef de village est chargé de véhiculer l'information auprès des villageois.

Les interviews semi-structurées ont été faites au moyen des questions ouvertes, indirectes et directes auprès de ces hommes et des femmes, séparément et en langue vernaculaire. Nous avons choisi cet outil parce qu'il a l'avantage de susciter de nouvelles questions. Parmi les enquêteurs, un tenait le registre et l'autre posait les questions. Chaque villageois qui répondait à une question posée, était tenu de décliner son identité qui est notée par l'un des enquêteurs.

Les enquêtes ont été effectuées aux mois d'août et de septembre dans la saison des pluies par une équipe pluridisciplinaire composée de forestier et d'agronome. Nous avons choisi cette période pour faire les interviews, parce que le calendrier agricole paysan est plus ou moins flexible et peu chargé (cultures déjà installées et désherbées, période de post-récolte).

Les enquêtes ont été effectuées aux mois d'août et de septembre dans la saison des pluies par une équipe pluridisciplinaire composée de forestier et d'agronome. Nous avons choisi cette période pour faire les interviews, parce que le calendrier agricole paysan est plus ou moins flexible et peu chargé (cultures déjà installées et désherbées, période de post-récolte).

Nous avons choisi l'option d'interviewer les femmes et les hommes séparément, parce que la présence des hommes constitue un biais dans les réponses des femmes dont certaines ont de la peine de s'exprimer en public devant leurs maris. Nous pensons que l'enquête par groupe permet un échange de débats entre les participants. Cette catégorisation permet de décrire, de comprendre et d'analyser les rôles des hommes et des femmes au niveau d'une exploitation, d'un ménage, d'une famille et au sein d'une communauté (Wentholt *et al.*, 2001). Selon Alexiades (1996), l'interview par groupe est un exercice stimulant permettant aux individus de fournir des informations. Il facilite la transmission de la connaissance culturelle à travers des générations. Cependant, ce type d'interviews ne permet pas à certains individus de révéler certains types de connaissance devant d'autres personnes de sexe opposé, ou clans ou familles rivales, ou enfants, par exemple. Ceci justifie notre choix d'enquêter les femmes et les hommes, séparément, mais le volume d'informations aurait été plus élevé si on avait fait des sous-groupes au sein des femmes et des hommes en fonction de l'âge et des activités socio-professionnelles.

Tableau 6: Répartition des personnes interrogées selon les ethnies et le sexe

Sexe	Ethnie			Total
	<i>Sénoufo</i>	<i>Minianka</i>	<i>Bobofing</i>	
Hommes	24	104	19	147
Femmes	9	69	19	97
Total	33	173	38	244

La finalité de la présente enquête est de parvenir à mettre au point des modèles de domestication de *D. microcarpum* dont le besoin en informations a été posé pour la première fois au Mali par les communautés paysannes notamment les femmes. La réussite d'une telle entreprise nécessite leur implication, car elles constituent les principaux bénéficiaires des produits qui vont être développés. Ceci nécessite leur participation active au processus de domestication, qui se fera au moyen d'une approche participative où leurs savoirs et leur savoir-faire seront intégrés dans les programmes de sélection et d'amélioration génétique. Les résultats découlant d'une telle approche ont de très forte chance d'être adoptés par les paysans, parce qu'ils y prennent part et leurs pratiques sont aussi prises en compte. C'est pourquoi, nous estimons que l'enquête ethnobotanique sur *D. microcarpum* va guider le choix des techniques à mettre en œuvre pour aboutir à sa domestication tant souhaitée par les communautés paysannes.

3.3.5 Traitement et analyse des données

Les données d'enquête ont été regroupées par village, par sexe et par ethnie pour pouvoir déterminer le "taux de réponses des enquêtés" (f) par type d'utilisation.

$$f = S/N \times 100$$

avec:

S: nombre de personnes ayant fourni une réponse par rapport à une utilisation donnée

N: nombre total de personnes interviewées

Nous avons constitué des classes d'utilisations de *D. microcarpum* en s'inspirant de la méthode présentée par Van den Eynden *et al.* (1994). Il s'agit des utilisations médicinales, magique et vétérinaire. Au niveau des utilisations médicinales, nous avons reparti les maladies et symptômes en fonction des parties de *D. microcarpum* utilisées comme remèdes.

Aussi, nos résultats sont comparés aux données de la littérature pour la même espèce, et pour d'autres espèces forestières des savanes africaines.

3.4 Résultats et discussion

3.4.1 Toposéquence et types de sol (tableaux 7 et 8)

Tableau 7: Emplacement de *Detarium microcarpum* dans la toposéquence (% de réponses)

Toposéquence	<i>Sénofo</i>		<i>Minianka</i>		<i>Bobofing</i>		Moyenne
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	
Colline	100	88	100	88	100	100	96
Bas de colline	0	12	0	12	0	0	4

Les résultats de la présente enquête montrent que le taux de réponses des personnes interrogées concernant l'emplacement de *D. microcarpum* dans la toposéquence varie entre 4 % (bas de colline) et 96 % (colline). Il résulte que, pour toutes ethnies confondues, les hommes et les femmes soulignent la présence de l'espèce sur la colline. En revanche, le taux de réponses par rapport à la présence de l'espèce au bas de colline varie de 0 % chez les femmes des trois ethnies à 0-12 % chez les hommes. Ceci peut être lié au fait que le bas de colline est réservé pour l'agriculture où *D. microcarpum* n'est pas épargnée.

Tableau 8: Types de sols à *Detarium microcarpum* (% de réponses)

Sol	<i>Sénofo</i>		<i>Minianka</i>		<i>Bobofing</i>		Moyenne
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	
Gravillonnaire	66	76	72	74	68	63	70
Sableux	34	17	22	15	32	0	20
Rouge	0	17	0	3	0	37	10
Rocheux	0	0	6	7	0	0	2
Argileux	0	0	0	1	0	0	0,2

Les résultats de la présente enquête montrent que les sols à *D. microcarpum*, par ordre de citations, sont gravillonnaire (taux= 70 %), sableux (taux= 20 %), rouge (taux= 10 %), rocheux (taux= 2 %) et argileux (taux= 0,2 %). Il résulte que, pour tous sexes et ethnies confondus, *D. microcarpum* se trouve sur des sols gravillonnaires. Ceci peut être lié au système racinaire horizontal de l'espèce lui permettant de profiter le mieux des fissures existant dans ce type de sols.

L'écart des taux de réponses entre les femmes et les hommes en milieu *bobofing* sur les sols sableux et rouge dépend de l'intérêt que ces paysans portent à ces types de sols. Nos propres

observations sur le terrain confirment l'avis des femmes par rapport aux sols rouges qui sont caractéristiques des sols hydromorphes. Or, ce type de sols est craint par *D. microcarpum*.

Nos propres observations prouvent que *D. microcarpum* est dominante sur les sols gravillonnaires et peu présente sur les sols sableux. Sa forte présence sur sols gravillonnaires est également confirmée par des travaux antérieurs réalisés dans la même zone d'étude (PIRL, 1988; Kanté & Defoer, 1995; Coulibaly *et al.*, 1997) et dans le sud-est du Sénégal (Goudiaby *et al.*, 2001)

La forte présence de *D. microcarpum* sur la colline révélée par la présente étude est confirmée par d'autres études menées sur les ressources terrestres au Mali (PIRT, 1983), les sols et la végétation de la région de Bondoukuy à l'ouest du Burkina Faso (Devineau *et al.*, 1997), et dans les zones sèches d'Afrique de l'Ouest (Arbonnier, 2000). Nous supposons que cette forte présence de l'espèce sur la colline est la conséquence d'une forte pression anthropique.

Les informations paysannes recueillies sur les sols colonisés par *D. microcarpum* et son emplacement sur la toposéquence constituent des éléments qui sont utiles pour la réussite de la domestication, car le sol est le support de toute végétation.

3.4.2 Modes de reproduction

Tableau 9: Modes de reproduction (% de réponses)

Reproduction	<i>Sénoufo</i>		<i>Minianka</i>		<i>Bobofing</i>		Moyenne
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	
Rejet de souche	44	23	56	40	50	39	42
Drageon	23	45	11	21	0	11	19
Graine spontanée	33	32	33	39	50	50	40

Le taux de réponses moyen des personnes interrogées pour les modes de reproduction de *D. microcarpum*, varie entre 19 % (drageon) et 42 % (rejet de souche). Nous observons qu'il n'atteint 50 % avec aucun des niveaux comparés. Le taux de réponses le plus élevé pour le rejet est rencontré chez les femmes, tandis que l'opinion des hommes est prédominante au niveau des drageons, et ceci est valable pour l'ensemble des ethnies et des sexes. Par contre, les hommes et les femmes *bobofing* expriment une même opinion sur le mode de reproduction de *D. microcarpum* par voie générative.

Les femmes rurales enquêtées exploitent surtout les rejets pour satisfaire leurs besoins de bois de feu, ce qui explique leur taux de réponses élevé par ethnie. Selon leurs dires, l'espèce est très facile à couper, et ceci est lié au fait que les jeunes rejets ne sont pas lignifiés.

Les points de vue des femmes et des hommes enquêtés par ethnie ne diffèrent pas à propos de la reproduction à partir des graines spontanées, mais nos observations montrent que ce mode de reproduction est très aléatoire à cause des feux de brousse.

Il ressort que les personnes interrogées sont conscientes des différents modes de reproduction de *D. microcarpum*, à savoir par rejet de souche, le drageonnage et par graine spontanée. Cependant, la plantation de *D. microcarpum* à partir des graines germées en pépinière est méconnue dans la zone d'enquête.

Nos propres observations sur le terrain montrent que l'espèce est très sensible au recépage, ce qui fait que les rejets sont régulièrement coupés par les femmes. Il n'existe pas de plantations de *D. microcarpum* à partir des plants élevés en pépinière dans la zone d'enquête. Au fait, l'engouement pour les plantations d'espèces forestières locales est récent dans la zone d'enquête grâce à des projets tel que le Programme Gestion Durable des Ressources Naturelles initié par Intercooperation.

Plusieurs travaux de recherche mettent en évidence la capacité de reproduction végétative par rejet et par drageon de *D. microcarpum* (Gampiné & Boussim, 1995; Wiersum & Slingerland, 1996; Cuny *et al.*, 1997; Devineau *et al.*, 1997; Bellefontaine, 1997; Bellefontaine *et al.*, 1997; Rietkerki *et al.*, 1998; Bationo *et al.*, 2001a). Selon Bellefontaine *et al.* (1997), cette capacité de reproduction végétative peut être liée à un environnement des zones sèches africaines marqué par des feux de brousse, la sécheresse et le surpâturage, mais nous pensons que la réaction physiologique de l'espèce à la coupe est plutôt déterminante.

Pour ce qui concerne la plantation de l'espèce à partir des plants élevés en pépinière, nos propres expériences indiquent que le taux de réussite d'une telle entreprise est nul. Nous observons un dessèchement et une perte systématique des feuilles en saison sèche et une reprise en saison des pluies, et ce phénomène dure plus de quatre ans au terme desquels une tige principale est émise. Cependant, nous n'observons pas ce phénomène chez les individus adultes de *D. microcarpum*. La difficulté de plantation à partir des graines germées en pépinière est confirmée par d'autres études (Louppe *et al.*, 1996; Wiersum & Slingerland, 1996; Bationo *et al.*, 2001b). D'autres tentatives sont menées pour juguler cette difficulté. On peut citer l'étude de Moustapha *et al.* (2003) au Niger qui porte sur l'effet combiné d'un hydroreteneur CMT (CoMonomer Technology) et du phosphate naturel de Tahoua sur la survie et la croissance de *D. microcarpum* en plantation. Cet effet combiné a permis d'enregistrer une reprise de 42 % et une croissance en hauteur de 41,86 cm (hydroreteneur seul) à 42,90 cm (phosphate naturel) deux ans après la transplantation. Le CMT est un polymère organique biodégradable capable d'absorber de grandes quantités d'eaux.

On peut conclure de ce qui précède, qu'il est pour le moment aléatoire de propager *D. microcarpum* par plantation à partir des graines germées en pépinière. Comme montrent nos résultats et la littérature, il reste du travail. C'est pourquoi, nous pensons que la voie mycorrhizienne est à explorer dans le cadre des programmes de sélection et d'amélioration génétique, car elle a fait ses preuves pour beaucoup d'espèces difficiles à planter. Des analyses des sols à *D. microcarpum* au Laboratoire de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Agronomique de Cotonou au Bénin indique la présence des champignons de types *Gigaspora*, *Glomus*, *Scutellospora*, *Enthophosphora* et *Acaulospora* qui appartiennent à la grande famille des endomycorhizes (Pascal Houngnandan, données non publiées).

Ces différents enseignements concourent à la mise au point des modèles de domestication basés sur les pratiques paysannes et de nouvelles approches méthodologiques tels que la mycorrhization contrôlée et l'apport des composts dans des trous de plantation ouverts plusieurs mois avant la plantation. Ce dernier aspect a pour avantage de créer un microclimat favorable permettant aux racines de survivre pendant la saison sèche.

3.4.3 Commercialisation des produits (tableau 10)

Tableau 10: Commercialisation des produits (% de réponses)

Partie commercialisée	<i>Sénoufo</i>		<i>Minianka</i>		<i>Bobofing</i>		Moyenne
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme	
Fruit	0	0	46	52	68	71	40
Bois-énergie	21	73	29	15	32	29	33
Feuille	0	0	10	9	0	0	3
Racine	0	0	0	9	0	0	2

Les résultats de la présente enquête montrent que le taux de réponses à propos des types de produits commercialisés de *D. microcarpum* varie entre 2 % (racines) et 40 % (fruits).

Fruit

Les résultats de l'enquête montrent que le taux de réponses à propos des fruits de *D. microcarpum* varie entre 0 % (*Sénoufo*) et 71 % (*Bobofing*). Les valeurs nulles enregistrées en milieu *sénoufo* sont liées à la proximité de la ville de Sikasso où la demande de bois d'énergie est plus forte, et mieux il existe d'autres produits de cueillette tels que *V. paradoxa* et *P. biglobosa* qui ont une valeur marchande plus élevée. Les *Minianka* et les *Bobofing* partagent un même espace géographique qui est réputé être la principale zone de transaction commerciale des fruits

de *D. microcarpum* au sud du Mali, ce qui explique les taux élevés de réponses au niveau de ces deux ethnies.

Les résultats de l'enquête montrent que le prix de vente d'un fruit en 2001 varie entre 5 FCFA, soit moins d'un centime d'euro (période de récolte, donc d'abondance des fruits) et 25 FCFA, soit moins de 5 centimes d'euro (période de rareté des fruits). Il résulte que le prix d'achat au producteur est très faible dans notre zone d'enquête.

Nos propres observations montrent que les paysans vendent à perte les fruits, parce qu'ils ignorent que la graine peut aussi rapporter de l'argent. En effet, ce sont les intermédiaires et les grands commerçants de Bamako (capitale du Mali) qui tirent profit du commerce des fruits de *D. microcarpum*. Ils les cèdent au Sénégal à 750 FCFA le kilo, soit plus de 1,14 euro par kilo.

L'apport des fruits dans le revenu des ménages paysans dans l'unité agro-écologique soudanienne sud au sud du Mali est rapporté par Sidibé (1996), mais sans données chiffrées. A l'ouest du Mali qui est frontalier au Sénégal, le revenu net du commerce de 100 kg des fruits de *D. microcarpum* peut atteindre 200 FCFA (0,30 euro) en période d'abondance des fruits et 3000 FCFA (4,57 euro) en période de rareté des fruits (Thiam, 2001). Dione (2001) confirme que le Sénégal est la principale destination des fruits de *D. microcarpum* du Mali. Selon Van den Eynden *et al.* (1994), 44 g de fruits de *D. microcarpum* ont coûté 5 FCFA en 1994, soit moins d'un centime d'euro dans le département de Kolda au sud du Sénégal, correspondant à 113,636 FCFA/kg (0,17 euro/kg).

Bois-énergie

Contrairement aux fruits, le commerce du bois-énergie de *D. microcarpum* est connu de la totalité des personnes interrogées. Le taux de réponses, pour l'ensemble des femmes et des hommes, varie entre 15 % (*Minianka*) et 75 % (*Sénoufo*). Il est élevé en milieu *sénoufo*, et ceci est lié au commerce florissant du bois-énergie entre les villages enquêtés et la ville de Sikasso qui est le plus grand centre urbain au sud du Mali où la demande en bois est la plus forte. Il résulte que le bois d'énergie est commercialisé en milieux *minianka* et *bobofing*, mais à un degré moindre par rapport aux villages *sénoufo*.

Les résultats de la présente enquête montrent que le stère de bois de chauffe de *D. microcarpum* en milieu *sénoufo* est vendu entre 1000 FCFA (1,52 euro) en saison sèche où l'offre est supérieure à la demande et 1250 FCFA (1,91 euro) en saison des pluies où il y a des difficultés d'accès aux lieux de collecte du bois entraînant la baisse de l'offre, donc une hausse des prix. En milieu *minianka*, un stère de bois de chauffe est vendu entre 1000 FCFA (1,52 euro) en saison sèche et 3000 FCFA (4,57 euro) en saison des pluies. Le prix élevé du bois de chauffe

en saison des pluies chez les *Minianka* est lié aux difficultés d'accès aux lieux de collecte. Nous n'avons pas pu obtenir d'informations sur le prix de cession du bois de chauffe chez les *Bobofing*, à cause probablement de leur méfiance par peur de représailles ultérieures.

Feuille et racine

Les résultats de la présente enquête montrent que le taux de réponses pour la commercialisation des feuilles et des racines de *D. microcarpum* varie entre 9 % et 10 %.

Il résulte que très peu de personnes ont connaissance du commerce des feuilles et des racines de *D. microcarpum*. Ceci est lié à l'accès libre aux ressources médicinales en milieu paysan. Nous pensons que l'absence de filières médicinales pour l'approvisionnement des grands centres urbains peut aussi expliquer ces faibles taux de réponses.

Nos propres observations confirment la suprématie des fruits et du bois-énergie en matière de commercialisation des produits de *D. microcarpum* en milieu paysan.

3.4.4 Utilisations médicinales (tableaux 11 et 12)

Tableau 11: Nombre de maladies et symptômes soignés

Maladie et symptôme	<i>Sénoufo</i>	<i>Minianka</i>	<i>Bobofing</i>
Plaie	-	X	-
Dermatose	-	X	-
Méningite	-	X	-
Paludisme	X	X	X
Diarrhée	X	X	X
Maux de ventre	X	X	X
Maux de tête	X	X	X
Fatigue	-	X	X
Maux de poitrine	X	X	-
Troubles mentaux	-	X	-
Kwashiorkor	-	X	-
Carie dentaire	X	-	-
Complications d'accouchement	X	-	-
Rhumatisme	-	-	X
Maladies infantiles	-	X	-
Pousse des cheveux des bébés	-	X	-
Rougeole	-	X	-
Mal de gorge	-	X	-
Dysenterie	X	X	-
Toutes maladies	X	-	-
Total	9	16	6

L'examen du tableau 11 indique que les *Minianka* soignent seize maladies et symptômes avec *D. microcarpum*, contre neuf en milieu *sénoufo* et six maladies et symptômes chez les

Bobofing. Les propos de Jonckers (1981b) sur l'importance des plantes dans la vie socioculturelle des *Minianka* confirment ces résultats.

Les résultats de la présente enquête indiquent que vingt maladies et symptômes sont connus pour être soignés par *D. microcarpum* dans la zone d'étude ethnobotanique.

Parmi ces maladies et symptômes, quatre sont communément cités par les trois ethnies interrogées à savoir le paludisme, la diarrhée, les maux de ventre et les maux de tête.

Tableau 12: Utilisations médicinales (taux de réponses)

Partie de l'arbre	<i>Sénoufo</i>	<i>Minianka</i>	<i>Bobofing</i>
Feuille	78	47	50
Racine	44	35	50
Ecorce	44	29	0
Fruit	0	6	33
Graine	0	12	0
<i>Tapinanthus globiferus</i>	0	6	0

Les résultats de l'enquête montrent que la majorité des maladies et symptômes recensés auprès des trois ethnies, sont soignés avec toutes les parties de *D. microcarpum* (sauf les fleurs) qui sont: (1) les feuilles (47-78 %); (2) les racines (35-50 %); (3) les écorces (0-44 %); (4) les fruits (0-33 %); (5) les graines (0-12 %); et (6) *Tapinanthus globiferus* (0-6 %).

Nous observons que les *Sénoufo* méconnaissent l'utilisation des fruits, des graines et de *T. globiferus* dans le traitement des maladies et symptômes, tandis que les écorces, les graines et *T. globiferus* sont méconnus en milieu *bobofing*. Ceci est lié à la disponibilité d'autres espèces plus réputées dans le traitement des maladies et symptômes concernés.

Il ressort que trois parties de *D. microcarpum* sont utilisées par les *Sénoufo* (feuille, racine et écorce) et les *Bobofing* (feuille, racine et fruit), tandis que les *Minianka* utilisent toutes les parties pour traiter les maladies et symptômes. Cette attitude des *Minianka* est probablement liée à l'importance des plantes dans leur vie socioculturelle (Jonckers, 1981b).

Dans la partie qui suit, les chiffres entre parenthèse indiquent le nombre de fois où les maladies et symptômes sont cités par un groupe de correspondants.

Graines

Tous les *Minianka* interrogés utilisent des graines de *D. microcarpum* pour désinfecter les plaies (1) et soigner les dermatoses (1).

Fruits

Les résultats de l'enquête montrent que les *Minianka* consomment les fruits pour soigner la méningite (1), tandis qu'ils sont consommés en milieu *bobofing* pour traiter le paludisme (1) et la diarrhée (1) et ceci explique les 33 % de réponses recueillis au niveau de cette ethnie.

L'utilisation des fruits en milieu *minianka* contre la méningite est confirmée par Wittig & Guinko (1998) chez les Mossi de Sampogodogo et d'Ouéguédo au Burkina Faso. Cette même source les cite pour soigner les dermatoses, tandis que les nigériens les utilisent pour traiter les vertiges (Adjanooun *et al.*, 1980). Selon Iwu (1993) et Ikhiri & Ilagouma (1995), les fruits permettent de soigner la syphilis et la diarrhée.

L'utilisation des fruits pour traiter la diarrhée en milieu *bobofing* est confirmée par Iwu (1993) et Ikhiri & Ilagouma (1995).

Feuilles

Les *Sénoufo* et les *Minianka* interrogés utilisent le décocté des feuilles de *D. microcarpum* pour soigner les maux de ventre (8), le paludisme (2) et la diarrhée (4). En milieu *minianka*, les feuilles soignent les maux de poitrine (1), les troubles mentaux (1) et le kwashiorkor (1), tandis que les *Sénoufo* les utilisent pour soigner la carie dentaire (2), les maux de poitrine (1), et les complications d'accouchement (1). Par contre, les *Bobofing* interrogés les utilisent pour soigner le rhumatisme (2). Selon les *Minianka* et les *Bobofing* interrogés, le décocté de feuilles permet de soigner les maux de tête chez les enfants (6) et la fatigue (2).

La capacité anti-diarrhéique et anti-asthénique des feuilles est confirmée par la littérature (Iwu, 1993; Ikhiri & Ilagouma, 1995; Malgras, 1992). L'utilisation des feuilles en milieu *sénoufo* pour faciliter l'accouchement est confirmée par Malgras (1992).

Cependant, la littérature indique d'autres vertus thérapeutiques des feuilles qui ne sont pas révélées par la présente étude. Selon Malgras (1992), Van den Eynden *et al.* (1994), Burkill (1995), les feuilles soignent la paralysie, et la syphilis (Malgras, 1992; Iwu, 1993; Ikhiri & Ilagouma, 1995), et la lèpre, la gonococcie, l'héméralopie, la méningite et les crampes (Malgras, 1992). Selon Van den Eynden *et al.* (1994) et Burkill (1995), le mélange des feuilles de *D. microcarpum*, *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae), *Acacia macrostachya* Reichenb. ex Benth. (Fabaceae), pris avec du lait, est très efficace contre les morsures de serpent.

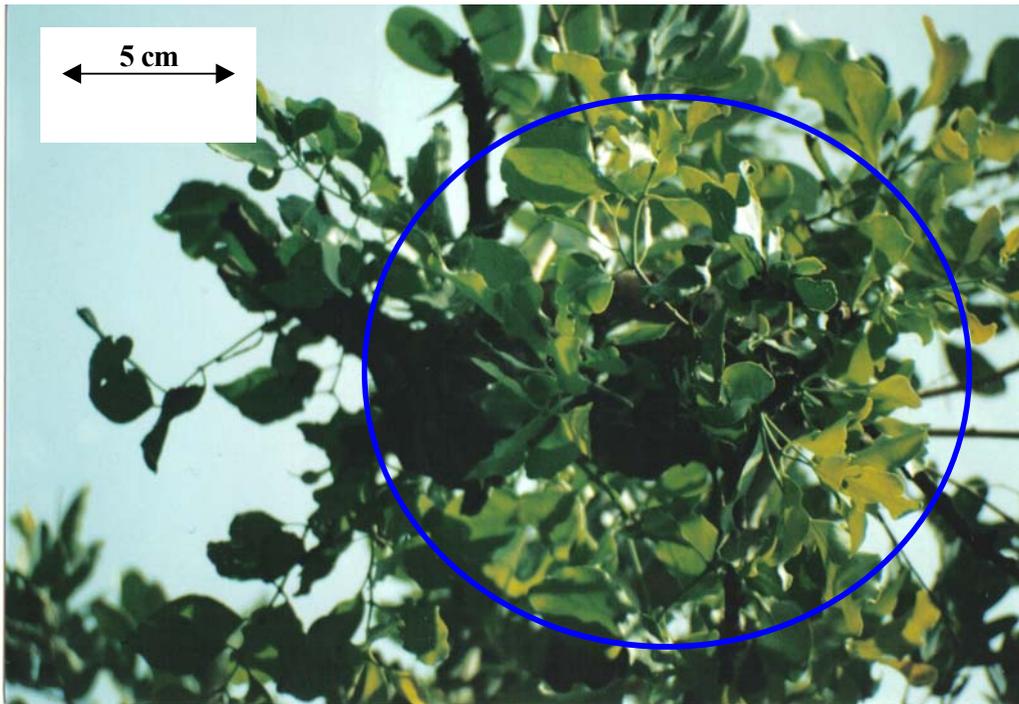
Tapinanthus globiferus (figure 8)

Figure 8: *Tapinanthus globiferus* associée à *Detarium microcarpum* en encadré (Photo: Kouyaté)

Selon la croyance paysanne, chaque plante végétale peut être parasitée et le parasite porte le nom de son hôte. C'est ainsi que *Tapinanthus* spp. (Loranthaceae) associé à *D. microcarpum* est considéré comme l'une de ses parties intégrantes.

Selon Boussim (chercheur burkinabé spécialiste des *Tapinanthus*, communication personnelle), la plante hémiparasite ou gui à feuilles larges associée à *D. microcarpum* est *Tapinanthus globiferus* (A. Rich.) Van Tiegh.

Dans la zone de la présente enquête, *T. globiferus* est utilisée en milieu *minianka* pour soigner toutes les maladies infantiles (1).

Nos propres observations sur le terrain indiquent que *D. microcarpum* est très faiblement parasité, car nous observons un seul individu parasité sur les 1045 arbres mesurés au moment de la caractérisation morphologique au Mali.

Nous observons que le gui de *D. microcarpum* est très prisé par les communautés paysannes en raison de son côté mystique lié à sa rareté dans la nature. Ceci explique le peu d'informations fournies à propos de ce gui dans la zone d'enquête. Il est utilisé en milieu *minianka* pour soigner les maladies infantiles. Ce large spectre de guérison est confirmé par Kalis

(1997) qui stipule que les Gaulois donnaient le nom gui à toute plante qui guérit toutes les maladies.

Cependant, les *Dogons* et les *Bwa* au centre-est du Mali l'utilisent pour soigner la lèpre au stade bénigne, l'épilepsie et le paludisme chronique (communications paysannes), tandis qu'il est utilisé contre la fatigue par les populations au sud du Mali d'après Malgras (1992). Cette dernière information ne ressort pas de nos enquêtes.

Selon Kalis (1997), les *Serères siin* du Sénégal utilisent le gui pour le traitement de l'impuissance sexuelle, et pour obtenir de meilleurs rendements des cultures en mélangeant ses branchettes feuillées avec les semences des cultures.

La présence de *T. globiferus* sur d'autres espèces est rapportée par plusieurs auteurs (Zewge, 1999; Senou, 2000). A titre d'exemple, Senou (2000) souligne sa présence sur *V. paradoxa*, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae), *L. acida*, *Burkea africana* Hook. (Fabaceae), *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae) et *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. (Fabaceae), dans l'unité agro-écologique soudanienne nord au sud du Mali. Van Damme (communication personnelle) confirme que *V. paradoxa* dans son aire de distribution au nord du Togo est souvent parasitée par *T. spp.*, avec un taux d'infestation pouvant dépasser 30 % à certains endroits.

Watt & Breyer-Brandwijk (1962b) rapportent que les *Zulu* en Afrique du Sud utilisent la poudre d'écorce de *Loranthus degrei* E & Z. (Loranthaceae), prise avec du lait pour soigner les maux de ventre chez les enfants.

Nous remarquons que le gui des espèces végétales est recherché dans les sociétés traditionnelles africaines et d'ailleurs, et mérite de faire l'objet d'études phytochimiques comparatives pour évaluer leur efficacité en fonction des plantes hôtes.

Racines

Les racines de *D. microcarpum* sont utilisées par les trois ethnies interrogées pour soigner les maux de tête (7) et les maux de ventre (10).

Les *Sénoufo* et les *Minianka* traitent de la diarrhée (4) et de la fatigue à partir des racines. Selon les *Minianka*, les racines stimulent la pousse des cheveux chez les bébés (1), tandis qu'elles soignent le rhumatisme en milieu *bobofing* (2).

La capacité anti-diarrhéique et anti-asthénique des racines est relayée par d'autres auteurs (Van den Eynden *et al.*, 1994; Berhaut, 1975; Burkill, 1995).

D'autres utilisations médicinales des racines sont signalées dans la littérature, mais ne ressortent pas dans la présente enquête. Selon Malgras (1992), les racines permettent de soigner la tuberculose, la variole, la bilharziose, la démangeaison et la paralysie, et le mauvais sort et les

ulcères d'estomac (Van den Eynden *et al.*, 1994; Berhaut, 1975; Burkill, 1995). Selon Kerharo & Adam (1974), les *Wolof* dans le Cayor au Sénégal soignent la syphilis avec une décoction des racines de *D. microcarpum*, *Strychnos spinosa* Lam. (Loganiaceae), *Faidherbia albida* Del. (Fabaceae), *Ziziphus mauritiana* Lam. (Rhamnaceae), *Ziziphus mucronata* Willd. (Rhamnaceae), *P. biglobosa*, *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. (Fabaceae), *Ozoroa insignis* Del. (Anacardiaceae), *Swartzia madagascariensis* Desv. (Fabaceae) et *Stereospermum kunthianum* Cham. (Bignoniaceae).

Ecorces

Les ethnies *sénoufo* et *minianka* utilisent les écorces de *D. microcarpum* contre les maux de ventre (10). Selon les *Minianka*, le décocté d'écorces soigne les maux de tête chez les enfants (4), le paludisme (1) et la rougeole (1). Ils mélangent également la poudre d'écorces avec le sel gemme (sel extrait dans le désert au nord du Mali) pour soigner le mal de gorge (1). Par contre, en milieu *sénoufo*, le décocté soigne la dysenterie (1), la carie dentaire (2), et presque toutes les maladies (1).

Le traitement de la dysenterie avec les écorces est confirmé par Van den Eynden *et al.* (1994). Selon Hirose & Wakatsuki (2002), les écorces sont utilisées dans l'Etat de Bauchi au Nigeria pour soigner la diarrhée infantile, la morsure des serpents, et les enflures des bras et des jambes. D'autres auteurs signalent l'utilisation des écorces pour le traitement de la blennorrhagie (Berhaut, 1975; Burkill; 1995; Arbonnier, 2000), l'énurésie nocturne, l'hypertension, la nausée, la fatigue, l'anémie, les douleurs dorsales et rénales, l'impuissance sexuelle et la stérilité masculine au nord du Sénégal (Van den Eynden *et al.*, 1994), le rhumatisme (Malgras, 1992), et la démangeaison (Wittig et Guinko, 1998). Les écorces possèdent aussi des propriétés antimicrobienne (Van den Eynden *et al.*, 1994; Berhaut, 1975; Burkill, 1995; Abreu *et al.*, 1998) et anti-hémorroïde (Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1980; Burkill, 1995). Les *Malinké* du Ferlo au Sénégal mélangent les écorces de *D. microcarpum* et celles de *S. kunthianum*, avec des feuilles de *Crossopteryx febrifuga* (Afzel. ex G. Don) Benth. (Rubiaceae) et des racines de *Andira inermis* (Wright) DC (Fabaceae) pour traiter les troubles mentaux causés par les "djinn", c'est-à-dire des êtres surhumains (Kerharo & Adam (1974). Selon Iwu (1993) et Ikhiri & Ilagouma (1995), l'infusion d'écorces de *D. microcarpum* possède des propriétés diurétique, anti-inflammatoire et anti-parasitaire. Selon Neuwinger (1996), plusieurs catéchines, un diterpène clérodane et deux tetranorditerpènes sont isolés de l'écorce de *D. microcarpum* au Sénégal, tandis que celle récoltée au Niger contient 1 % de coumarine, 1,7 % d'acide diterpène copalique et 0,5 % d'acide cis-2-oxokolavenique.

En résumé, on peut dire que la présente enquête n'a pas recensé d'informations ni pour les maladies urinaires et sexuellement transmissibles ni sur l'utilisation des fleurs ni sur les maladies respiratoires.

A la lumière des résultats de cette enquête, nous pouvons dire que *D. microcarpum* est une importante plante médicinale, premièrement pour son large spectre d'utilisations et deuxièmement pour la diversité de ses parties médicinales. Abreu & Relva (2002) le confirme en stipulant que l'espèce est cataloguée comme une importante plante médicinale africaine. Njoku et al. (1999) rapportent que des terpénoides (constituants majeurs de l'huile essentielle extraite des végétaux) et des flavonoides anti-HIV sont isolés des extraits de *D. microcarpum*, mais sans préciser le niveau de prélèvement de ces extraits. Nous pensons que cette découverte va justifier la domestication de l'espèce.

3.4.5 Utilisations magiques

Les ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing* interrogées attestent que *T. globiferus* vivant sur *D. microcarpum* peut faire du bien comme du mal sur le plan magique. Malheureusement, nous n'avons pas pu recueillir des informations plus détaillées sur cet aspect, car le sujet est considéré sacré et donc pas communicable aux non-initiés. Cependant, l'utilisation de sa poudre pour éloigner les mauvais esprits est signalée par les *Sénoufo* et les *Minianka*.

Les *Sénoufo* et les *Minianka* utilisent aussi les feuilles de *D. microcarpum* pour se protéger contre les mauvais esprits.

Selon un paysan *bwa* rencontré au moment des mesures des caractères morphologiques de *D. microcarpum* dans le centre-est du Mali, *T. globiferus* vivant sur *D. microcarpum* permet d'éloigner les mauvais esprits, ce qui confirme l'opinion des *Sénoufo* et des *Minianka* interviewés. Selon ce paysan *bwa*, la coupe de *T. globiferus* vivant sur *D. microcarpum* répond à des règles sans quoi elle devient inefficace pour le service espéré: (1) la récolte s'effectue uniquement le jeudi ou le vendredi pendant les premières heures de la matinée, et (2) il faut le couper trois fois de suite en commençant les manipulations toujours par la main gauche.

3.4.6 Utilisations vétérinaires

Selon les *Minianka* interrogés, les feuilles et les racines de *D. microcarpum* (décoction) sont utilisées pour soigner la diarrhée chez les bovins. Au sud du Sénégal, *D. microcarpum* (partie non précisée) est frotté sur les flancs des bovins pour soigner un mal intestinal appelé "*damon*" (Burkill, 1995).

La présente enquête révèle que *D. microcarpum* a une utilisation vétérinaire dans la société traditionnelle *minianka*, ce qui n'est pas mentionné par la littérature. Cette information peut alors constituer un élément dans la politique de santé animale du Mali et contribuer à la valorisation de *D. microcarpum* en vue de justifier sa domestication.

3.4.7 Utilisations courantes et non médicinales

Fruit

Nous avons utilisé, dans cette partie, le mot fruit au lieu de pulpe, bien que la pulpe soit la partie comestible et donc utile du fruit.

L'enquête en milieu *minianka* (100 % de réponses) révèle que les fruits de *D. microcarpum* interviennent dans l'alimentation humaine et animale. Ils sont consommés par les humains à l'état crû ou cuit, et sont transformés en gâteaux.

Selon les *Sénoufo*, le fruit est consommé crû ou cuit (100 % de réponses), et est utilisé pour la fabrication d'une boisson alcoolique et on peut en faire du couscous (5 % de réponses).

La présente enquête montre que les fruits de *D. microcarpum* font partie des habitudes alimentaires chez les *Sénoufo* et les *Minianka*, tandis que les *Bobofing* semblent ignorer ses utilisations courantes et non médicinales.

L'utilisation courante et non médicinale des graines n'a pas été mentionnée par aucun correspondant (0 % de réponses), parce que les connaissances locales se limitent seulement au fruit entier. Cependant, une très faible minorité des femmes *minianka* (3 % de réponses) dispose des informations sur d'autres usages des graines. Selon leurs dires, les graines sont utilisées comme source d'encens à partir des graines séchées et pilées d'une part, et colliers à partir des graines séchées d'autre part (figure 15), à l'ouest du Mali et au Sénégal. Ces colliers, objet de parure des femmes, sont très recherchés au Mali et au Sénégal, parce que l'on leur attribue une capacité aphrodisiaque due à leur bonne odeur.

La préparation du couscous à partir des fruits de *D. microcarpum* par les femmes rurales à l'ouest du Mali (communication paysanne recueillie au moment où on mesurait les caractères morphologiques de *D. microcarpum* à Oualia) confirme les propos des 5 % des *Sénoufo*.

Les *Bwa* contactés au moment des mesures des caractères morphologiques de *D. microcarpum* dans le centre-est du Mali, utilisent les graines bouillies pour l'embouche porcine. Ceci se trouve probablement son explication dans la teneur de 7,4 % d'huile contenue dans ces graines rapportée par Eromosele & Eromosele (1993).

L'utilisation des fruits pour l'alimentation humaine est rapportée par plusieurs auteurs (Schneider, 1996; Bergeret, 1990; Onweluzo *et al.*, 1994; Arbonnier, 2000; Dakouo, 2002; Garine, 2002), ce qui corrobore l'opinion des *Minianka* et des *Sénoufo* interrogés.



Figure 9: Des colliers de *Detarium microcarpum* portés par une dame (Photo: Kouyaté)

Selon Wiersum & Slingerland (1996), les populations des provinces de Sanmatenga et Zoundweogo au Burkina Faso utilisent les fruits pour la préparation de la bière locale appelée "*dolo*", ce qui confirme les informations fournies par les *Sénoufo*.

D'autres sources rapportent que les graines sont parfois utilisées pour la préparation des gâteaux et du pain (Burkill, 1995; Arbonnier, 2000) pour l'alimentation humaine. Les *Masa* et les *Muzey*, deux ethnies du Tchad et du Cameroun consomment les graines (Garine, 2002), tandis qu'elles sont également utilisées comme épices et condiments (Falconer, 1990). Autrefois, les cotylédons pulvérisés des graines de *D. microcarpum* avaient une application culinaire au Nigeria et dans certains pays ouest-africains comme épaississant et émulsifiant dans les préparations des nourritures traditionnelles (Onweluzo *et al.*, 1999). Selon la même source, le polysaccharide contenu dans les graines de *D. microcarpum* est évalué comme agent gélifiant, stabilisateur et épaississant dans les produits fruitiers transformés tels que le jus de *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae), le jus de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae), la sauce de *Lycopersicon esculentum* (L.) Karst. (Solanaceae) et la confiture d'*Ananas comosus* (L.) Merr. (Bromeliaceae).

La comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature montre que les graines de *D. microcarpum* ne sont pas consommées ni par les humains ni par les animaux dans la zone de la présente enquête ethnobotanique.

Nos propres observations sur le terrain confirment la consommation humaine des fruits et les transformations qu'en font certaines communautés paysannes. Bien que la consommation humaine des graines soit méconnue dans la zone d'enquête et dans les principaux sites de l'étude de la caractérisation morphologique de *D. microcarpum*, il s'avère que la conjonction des informations recueillies (présente étude et littérature) justifie la domestication de l'espèce pour le mieux être des communautés maliennes.

Feuilles

Les résultats de la présente enquête montrent que les femmes *minianka* (50 % des réponses) utilisent les feuilles de *D. microcarpum* pour le paillage de la toiture des maisons, et comme fumure organique dans les champs de *Zingiber officinale* Rosc. (Zingiberaceae), de *Cyperus esculentus* L. (Cyperaceae) et de *Dioscorea* spp. (Dioscoreaceae). Ils indiquent également, pour l'ensemble des ethnies, que les feuilles ne sont pas consommées ni par les humains ni par les animaux. Le fait que ces feuilles ne soient pas consommées par les animaux au sud du Mali est lié à la disponibilité d'autres ligneux fourragers plus palatables dans le milieu étudié (Amadou Malé Kouyaté, communication personnelle), telles que *P. lucens*, *P. erinaceus* et *Landolphia heudelotii* A. DC. (Apocynaceae).

Van Wingham *et al.* (1994) ont pu démontrer, dans la zone forestière au sud du Sénégal, que les feuilles de *D. microcarpum* ne sont pas appréciées par les animaux ni au stade végétatif de l'arbre (avant floraison et pendant la période de floraison ni après la fructification), et ceci s'accorde avec les informations recueillies par Wiersum & Slingerland (1996) au Burkina Faso. Cependant, d'autres sources indiquent l'utilisation de *D. microcarpum* pour l'alimentation du bétail sans nommer les parties de l'arbre (Dalziel, 1937; Lewis *et al.*, en prep.). Selon Couteron & Bergeret (1995), les nomades *Ouida* au Nord-Cameroun utilisent les branches basses comme fourrages. Nous expliquons cette diversité de connaissances par la disponibilité d'autres types de fourrage, donc à la loi de préférence.

La littérature, par ailleurs, rapporte que les feuilles sont utilisées comme condiments au Nigeria (Okafor, 1980b) et comme légumes au Soudan (Burkill, 1995), mais ces auteurs ne donnent aucune précision sur les méthodes d'utilisation.

Nos propres observations sur le terrain confirment la non utilisation des feuilles dans l'alimentation humaine et animale.

Bois

Selon les ethnies interrogées, le bois de *D. microcarpum* est utilisé comme bois de chauffe, perche de construction et manche de houes. Les femmes des trois ethnies interrogées (100 % de réponses) préfèrent son bois de chauffe à ceux de *Terminalia* spp. (Combretaceae), *P. erinaceus* et *Isobertinia doka* Craib & Stapf (Fabaceae), parce qu'il s'allume vite et même s'il est mouillé. La maîtrise des propriétés des sources de combustibles par les populations locales est confirmée par Cotton (1996).

La préférence des femmes pour le bois de chauffe de *D. microcarpum* est confirmée par plusieurs auteurs (Schneider, 1996; Wiersum & Slingerland, 1996; Bazile, 1998). Les autres utilisations du bois sont corroborées par d'autres sources (Berhaut, 1975; Arbonnier, 2000; Dakouo, 2002).

Nos propres investigations montrent que *D. microcarpum* constitue les 2/3 des stères de bois de chauffe dans la zone d'enquête, ce qui dénote sa forte demande tant en milieu rural qu'en milieu urbain. Cette forte préférence et cette forte consommation de bois de chauffe justifient la domestication de *D. microcarpum* pour le mieux être des communautés paysannes maliennes.

Fleurs

L'utilisation des fleurs n'a été mentionnée par aucun correspondant (0 % de réponses). Cependant, selon Dakouo (2002), les fleurs sont consommées par les populations vivant autour de la forêt classée de Dioforongo dans la région de Ségou située entre 12° et 15° de latitude nord, et entre 4° et 7° de longitude ouest au Mali. Selon Burkill (1995), les fleurs sont très appréciées par les bovins au Soudan.

Racines

Les ethnies interrogées ne connaissent pas d'utilisations courantes et non médicinales pour les racines de *D. microcarpum*. Cependant, la littérature indique qu'elles constituent des repoussants contre les moustiques (Lewis *et al.*, en prep.), ce qui corrobore la pratique paysanne au Tchad qui consiste à brûler au feu les racines pour lutter contre les moustiques (communication d'un forestier malien de mère d'origine tchadienne). Selon Burkill (1995), les racines sont utilisées par les femmes *dinka* au Soudan comme encens en raison de leur odeur aromatique et parfumée.

3.4.8 Niveau de fertilité des sols

Moins de 50 % des interviewés ont répondu aux questions se rapportant à la fertilité des sols à *D. microcarpum*, c'est pourquoi les résultats n'ont pas été éclatés ni par sexe ni par ethnie dans un tableau. En effet, 48 % des personnes interrogées pensent que le niveau de fertilité des sols est bon, tandis que les 19 % et les 33 % des personnes interrogées le trouvent peu ou nul, respectivement. Selon Kanté & Bengaly (1997), certains paysans *sénoufo* au sud du Mali, utilisent l'abondance de *D. microcarpum* et de *Loudebia togoensis* Hubb. (Gramineae) pour caractériser les mauvaises terres, tandis que le contraire est rapporté par Bagnoud (1992) pour la même zone.

Au sud du Mali, la végétation est utilisée par les communautés paysannes comme un indicateur de fertilité des sols (Bagnoud, 1992; Kanté & Bengaly, 1997). Il résulte d'énormes contradictions entre les résultats de la présente enquête d'une part, et la littérature d'autre part. Nous pensons que les 48 % des personnes interrogées confondent l'abondance de *D. microcarpum* dans une jeune jachère avec le retour de la fertilité, parce qu'elle fait partie des espèces qui s'installent rapidement et en grand nombre dans une terre de culture mise en repos, c'est-à-dire les jeunes jachères. Par ailleurs, nos propres observations sur le terrain révèlent l'absence de nodosités au niveau des racines de *D. microcarpum*, ce qui est confirmé par plusieurs auteurs qui indiquent que la plante n'est pas fixatrice d'azote atmosphérique (Breman & Kessler, 1995; Moustapha *et al.*, 2003), bien qu'elle soit une Fabaceae.

3.4.9 Importance socioculturelle

L'importance socioculturelle de *D. microcarpum* dans la zone d'enquête se situe à quatre niveaux qui sont: (1) les interdits; (2) les indicateurs écologiques ou agricoles; (3) la protection contre les mauvais esprits; et (4) les rites religieux.

Interdits

Selon la majorité des *Sénoufo* interrogés (63 %), il est interdit de faire la cuisson des plantes médicinales avec le bois de chauffe de *D. microcarpum*, car il enlèverait l'efficacité des principes actifs des plantes utilisées. Ce même bois est interdit pour toutes formes de cuisson chez les *Minianka* de Néresso, l'un des villages enquêtés.

Selon les dires des *Sénoufo*, dans un groupe de personnes, quelqu'un qui perçoit *T. globiferus* associée à *D. microcarpum* ne doit pas prononcer son nom, ni "le montrer du doigt car cela équivaut à jeter des mauvais sorts à ses compagnons".

La littérature confirme qu'il y a beaucoup d'interdits qui frappent les espèces forestières locales. L'opinion des *Sénoufo* sur l'effet négatif de l'utilisation du bois de chauffe de *D. microcarpum* pour les plantes médicinales est corroborée par Malgras (1992). Cette même source signale que l'utilisation du bois de chauffe de *Combretum molle* R. Br. ex G. Don. (*Combretaceae*) dans les concessions au sud du Mali est interdite, car elle entraînerait la bagarre ou la mort du chef de village. Le bois de chauffe de *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz. (*Fabaceae*) est également interdit dans les concessions, car il attirerait les mauvais génies de la brousse. Celui de *Azelia africana* Sm. (*Fabaceae*) est interdit dans les familles pour lesquelles il constitue leur "totem" c'est-à-dire une référence pour une personne ou une famille ou une communauté ou un village ou une ethnie ou une lignée à ne pas violer. D'autres sources indiquent que les feuilles et les fruits de *Adansonia digitata* L. (*Bombacaceae*) ne sont pas utilisés par les forgerons *minianka* pour l'alimentation, parce que ces produits entrent dans la composition de l'autel de l'enclume (ou "tumpungno" en *minianka*), leur instrument de travail (Jonckers, 1981b). En Ouganda, l'utilisation des poteaux de *Sapium ellipticum* (Krauss) Pax (*Euphorbiaceae*) pour la maison principale est interdite, parce que le propriétaire de la maison serait détesté ou deviendrait fou (Kakudidi, 2004b). En Inde, les femmes enceintes *tamil nadu* évitent de manger le fruit de *Carica papaya* L. (*Caricaceae*) par peur d'interférence avec leur processus de reproduction (Cotton, 1996).

Indicateurs

Tous les *Sénoufo* interviewés signalent l'existence d'une relation entre le mois d'août (une période de forte pluviosité) et l'intense floraison de *D. microcarpum*. Selon leurs dires, l'arrêt des pluies pendant le mois d'août entraîne une grande production des fruits de *D. microcarpum*, mais fait baisser les rendements des cultures. C'est ainsi que, sa production fruitière, après une saison de pluies, leur permet d'évaluer la campagne agricole: une bonne production de fruits signifie de mauvais rendements des cultures, et donc une mauvaise campagne agricole. En milieu *minianka*, les paysans attendent l'épanouissement des fleurs de *D. microcarpum* pour faire le semis de *Vigna subterranea* (L.) Verdc. (*Fabaceae*).

Nos observations sur le terrain nous permettent d'expliquer le lien entre la bonne production fruitière de *D. microcarpum* et les mauvais rendements des cultures. La fructification dépend en grande partie de l'activité des insectes pollinisateurs des fleurs. Or, *D. microcarpum*

fleurit entre fin août et mi-septembre qui correspond à la période de forte pluviosité au Mali. Ceci suppose une réduction des mouvements des pollinisateurs. Si cette période de pleine floraison coïncide avec une "poche de "sécheresse", on assiste à une forte activité des pollinisateurs, et par conséquent une bonne fructification. Cette poche de sécheresse influe alors négativement sur les cultures qui ont besoin des pluies à cette période de la saison des pluies pour boucler leur cycle végétatif.

Protection

Selon les *Minianka* interrogés, une branche de *D. microcarpum* bouturée et transplantée dans les champs permet de protéger ces champs contre les voleurs. Le mécanisme qui joue est que "tout voleur qui passera dans le champ perdra son enfant quand celui-ci atteindra la taille de la bouture".

La littérature confirme l'utilisation des espèces forestières locales comme un outil de protection. Selon Ouattara (1991), les *Dogons* du plateau de Bandiagara situé au centre-est du Mali utilisent des planches de *F. albida* pour se reposer ou dormir, car ceci prolongerait leur vie. Au Zimbabwe, des gros arbres sont protégés par les communautés locales, parce que leur présence occasionnerait de fortes pluies pour les raisons suivantes: (1) ces arbres sont le refuge de l'oiseau coucou (*hwaya*) qui chante pendant la pluie; et (2) le Dieu *Zame* peut punir tous ceux qui coupent ces arbres (Cotton, 1996).

Rites religieux

Selon les *Minianka* interrogés, leurs morts avant d'être enterrés le matin, sont soutenus pendant la nuit par trois (pour les hommes) ou quatre (pour les femmes) perchettes de *D. microcarpum*.

En milieu *bobofing*, *D. microcarpum* est l'une des composantes essentielles des masques utilisés lors de la fête rituelle appelée "*Dandassourou*" organisée au début de la saison des pluies pour annoncer le démarrage des travaux champêtres et implorer les Dieux pour une bonne et abondante pluviosité.

Les informations fournies par les *Minianka* interrogés sur l'utilisation du bois de *D. microcarpum* dans la confection de la civière traditionnelle sont confirmées par Dembélé (1977).

Les résultats de la présente enquête mettent en évidence le symbole culturel de *D. microcarpum* dans les sociétés traditionnelles *minianka* et *bobofing*. Ceci justifie la domestication de l'espèce pour sauvegarder ce patrimoine culturel.

3.4.10 Gestion des arbres

3.4.10.1 Gestion des arbres dans les champs

Les résultats de l'étude montrent que l'association *D. microcarpum*-cultures n'est pas pratiquée par les populations interviewées, parce qu'ils pensent que *D. microcarpum* peut entrer en compétition avec les cultures pour la lumière et les nutriments.

Nos observations en dehors de la zone d'enquête montrent que *D. microcarpum* est intégrée dans les parcs agroforestiers en milieu *dogon* au centre-est du Mali où elle est protégée. Selon ICRAF (1994), les parcs agroforestiers désignent "un système d'utilisation des terres dans lequel les végétaux ligneux pérennes sont délibérément conservés en association avec les cultures et/ou l'élevage dans un arrangement spatial dispersé et où existent à la fois des interactions écologiques et économiques entre les ligneux et les autres composantes du système". Cette pratique paysanne est confirmée par Wiersum et Slingerland (1997) qui rapportent la conservation de quelques individus dans les champs de culture par les paysans burkinabé des provinces de Sanmatenga et Zoundweogo. Ces derniers interviennent souvent pour élaguer des branches afin de réduire l'ombrage sur les cultures et de stimuler la production des fruits à partir des branches plus juvéniles qui produisent le plus de fruits.

Nous pensons que l'absence de *D. microcarpum* dans les parcs agroforestiers de la zone d'enquête peut être expliquée par le fait qu'elle ne figure pas sur la liste des espèces forestières locales protégées par la législation forestière.

Les populations interrogées n'ont pas fourni d'informations à propos de la densité à l'hectare de *D. microcarpum* dans les champs, puisqu'il ne s'y trouve pas. Cependant, les résultats de l'inventaire forestier mené dans une savane boisée au sud du Mali indiquent une densité de 268 individus à l'hectare (Koné, 1997). Cet inventaire a été réalisé sous notre encadrement scientifique.

3.4.10.2 Cueillette et ramassage des fruits

Les résultats de l'enquête montrent que la cueillette et le ramassage des fruits de *D. microcarpum* (exécutés par les femmes et les enfants) ne sont pas réglementés. La cueillette est faite, soit en secouant les branches de l'arbre (figure 10), soit en utilisant une gaule.

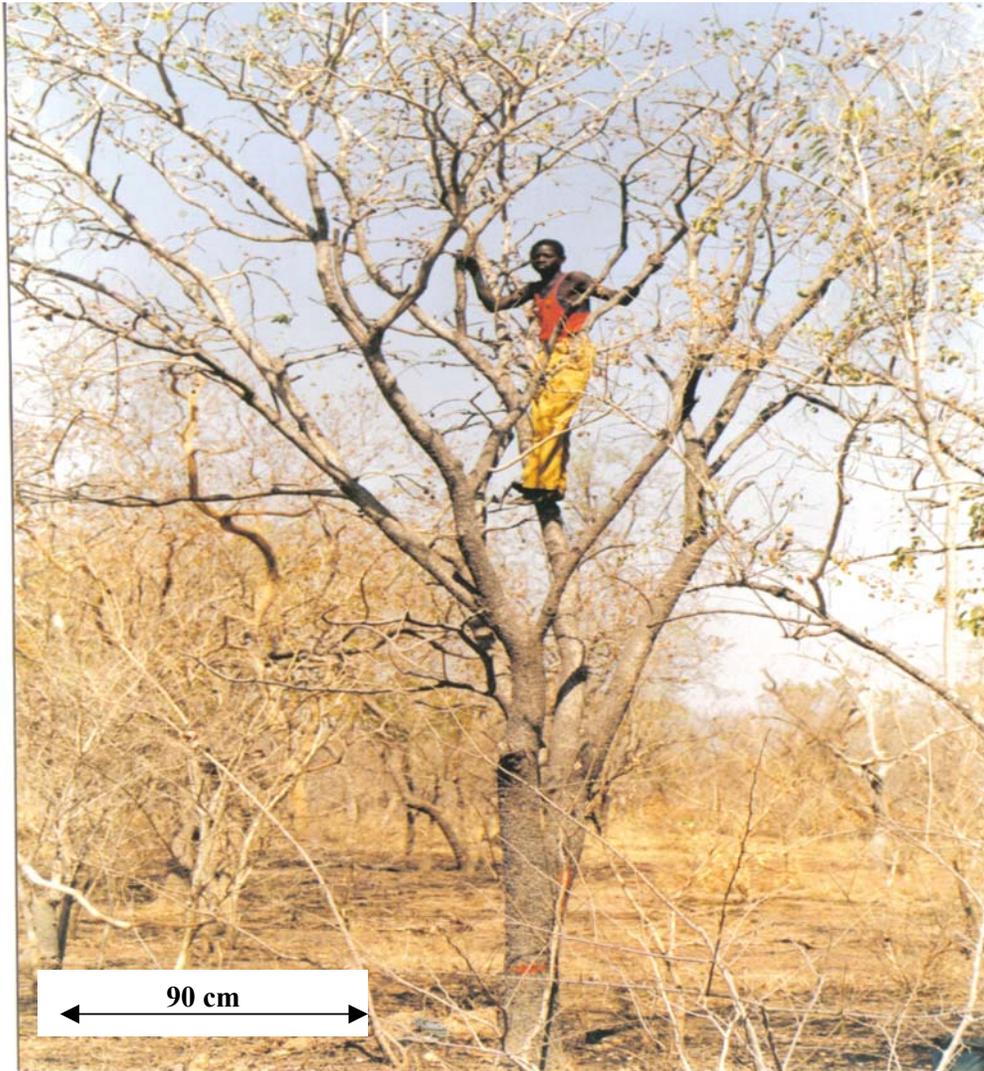


Figure 10: Récolte des fruits de *Detarium microcarpum* par un garçon (Photo: Kouyaté)

La littérature indique que les fruits de *V. paradoxa* et de *P. biglobosa* en milieu *sénoufo*, sont cueillis après l'autorisation du chef des terres (Rondeau, 1980a; Bagnoud, 1992), ce qui n'est pas le cas chez *D. microcarpum*.

3.4.10.3 Période et hauteur de coupe

Les résultats de l'enquête montrent que la période de coupe de l'arbre entier *D. microcarpum*, en milieux *sénoufo* et *minianka*, se situe pendant la saison sèche (février-mai) afin de constituer des stocks de bois de chauffe en prévision de la saison des pluies. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, on ne coupe pas des branches mais carrément le tronc.

Selon la majorité des populations interrogées (60 %), la coupe du tronc principal à une hauteur de 10 à 30 cm du sol favorise la régénération de l'arbre et permettrait d'avoir

continuellement du bois de chauffe. Pour les 40 % des populations, *D. microcarpum* est coupée au rez-de-terre (coupe rase), car la coupe entre 10 et 30 cm du sol entraînerait la mort de la souche.

D'autres auteurs corroborent l'opinion des 40 % des populations interrogées. Selon eux, la coupe rase favorise l'émission de bourgeons proventifs (Bationo *et al.*, 2001b; Dakouo, 2002). Cependant, certaines sources confirment l'opinion de la majorité des populations interrogées, en ce sens que les espèces forestières savaniques doivent être coupées à une hauteur comprise entre 10 et 60 cm du sol pour avoir un grand nombre de rejets vigoureux (Anderson *et al.*, 1992; Coulibaly, 1978).

On note une contradiction entre les avis des personnes interrogées d'une part, et entre les références citées d'autre part.

Nos propres observations et nos expériences sur le terrain indiquent que la coupe à une hauteur de 10 à 60 cm du sol permet une bonne émission des bourgeons proventifs et adventifs, et une bonne croissance des rejets. En coupant à cette hauteur, on met la souche à l'abri des rongeurs et on la protège contre le piétinement des animaux et les feux de brousse. On conclut en disant que l'opinion des 60 % des personnes interrogées reflète la réalité. Cependant, le choix de la hauteur de coupe peut être lié à la nature du produit bois recherché. On ne coupera pas un tronc à une même hauteur si on veut une perche de construction ou un bois de chauffe.

3.4.11 Critères de différenciation paysans des individus

Les résultats de la présente enquête proviennent de deux villages *sénoufo* et de cinq villages *minianka* qui se sont prêtés à ce sujet, soit 35 % de l'ensemble des villages interviewés. Ces villages recèlent des compétences qui ont un système pour différencier des spécimens entre eux, à raison de leurs activités de pépiniéristes.

Selon les 60 % des personnes interrogées dans les deux villages *sénoufo*, il existerait des individus de *D. microcarpum* à écorce noire sur terrains pauvres, et des individus à écorce rouge sur terrains fertiles. On peut dire que cette ethnie utilise l'écorce pour différencier les individus de *D. microcarpum*.

Par contre, l'existence d'individus à grandes feuilles qui ne produisent jamais de fruits et des individus à petites feuilles qui sont très productifs en fruits est signalée par les 45 % des personnes interrogées dans les cinq villages *minianka*, ce qui indique que *D. microcarpum* est une plante dioïque. Selon leurs dires, il existerait aussi des individus à gros fruits qui se trouvent sur des arbres de petite circonférence ($C_{1,30\text{ m}} \leq 30\text{ cm}$) et des individus à fruits sucrés sur des

arbres de grande circonférence ($C_{1,30\text{ m}} > 30\text{ cm}$). Donc, on peut dire que cette ethnie utilise des critères liés à la morphologie de la feuille, du fruit, du tronc et au goût du fruit.

Un paysan *dogon* interviewé au moment où on mesurait les caractères morphologiques de l'espèce à Lougourogombo situé au centre-est du Mali corrobore les critères *minianka* liés au caractère dioïque de *D. microcarpum*. Des paysans rencontrés à l'extrême sud du Mali au moment où on mesurait les caractères morphologiques de l'espèce sur les sites de Gouinso 1 et Gouinso 2, distinguent les individus à partir de la taille et du goût des fruits, ce qui confirme les propos *minianka*.

On peut donc conclure que les critères paysans utilisés dans la zone d'enquête pour distinguer les individus de *D. microcarpum* sont liés à la morphologie des feuilles et des fruits, et au goût des fruits.

Des études antérieures révèlent que les paysans ont toujours utilisé leurs propres critères pour différencier parmi des phénotypes. Selon Sidibé *et al.* (1996), les paysans maliens identifient des individus de *A. digitata* à écorce noire (*sirafing*) à partir des fruits doux, des individus à écorce rouge (*sirablé*) à partir des fruits délicieux, et des individus à écorce blanchâtre (*siradiè*) à partir des fruits employés pour la production de fibre destinée à l'emballage. C'est aussi le cas de *P. biglobosa* en Afrique de l'Ouest où les paysans distinguent des écotypes à partir du tronc, du fruit, de la graine, de la pulpe et de l'inflorescence (Ouédraogo, 1995). Selon Boffa *et al.* (1996b), moins de 30 % des paysans de Thiougou au Burkina Faso reconnaissent des individus de *V. paradoxa* improductifs en fruits à partir de la présence de marques de brûlure ou de fentes à la base du tronc, du feuillage diffus ou partiellement mort, et par la présence de nombreuses noix sous les arbres. En Inde, les *Kattunaikka* ont utilisé la morphologie des tubercules et leurs propriétés organoleptiques pour classer les espèces du genre *Discorea* (Balakrishnan *et al.*, 2003).

3.4.12 Nature des pressions

Selon les personnes interrogées, les pressions exercées sur *D. microcarpum* sont d'ordre anthropique (coupe incontrôlée de bois pour la satisfaction des besoins des populations et feux de brousse) et climatique (sécheresse et érosion). Selon leurs dires, la coupe incontrôlée du bois de *D. microcarpum* est la principale menace qui pèse sur l'espèce. Elles affirment qu'il est très rare de trouver des arbres qui aient un diamètre supérieur ou égal à 30 cm dans un rayon de 10 km autour des villages. A notre avis, ce phénomène est une conséquence du comportement des populations rurales face à la nature qui a été, malheureusement, longtemps considérée comme un don de Dieu, donc inépuisable.

Selon tous les *Sénoufo* interrogés, les rejets de *D. microcarpum* de hauteur supérieure ou égale à deux mètres peuvent résister aux feux de brousse. Cependant, selon Schmitz (1996), les jeunes rejets et drageons de l'espèce sont très sensibles au feu de brousse jusqu'au point d'en mourir.

Pour sauvegarder *D. microcarpum*, les populations suggèrent de réglementer la coupe, de contrôler les feux et de diminuer les besoins en bois de chauffe en vulgarisant les foyers améliorés et en encourageant des boisements villageois énergétiques.

Nos propres observations sur le terrain indiquent que les jeunes rejets souffrent des feux de brousse, mais la capacité de rejeter de la souche est très élevée. La fréquence des feux de brousse au Mali implique de les considérer comme un élément de gestion des formations naturelles. Pour cela, il importe d'étudier la résistance des rejets aux feux pour soutenir la domestication de *D. microcarpum*.

3.5 Conclusions

Les populations enquêtées disposent d'une masse critique de perceptions et d'opinions sur *D. microcarpum*. Sur le plan utilitaire, les produits de *D. microcarpum* sont d'usages multiples. On utilise les fruits, les graines, le bois, les feuilles, les racines, les écorces et le gui. Sur le plan médicinal, des différences notoires sont observées sur l'utilisation des parties de l'espèce pour soigner les maladies et les symptômes et les maladies entre les ethnies interviewées, mais aussi entre ces dernières et la littérature. Sur le plan édaphique, la présence de *D. microcarpum* sur les sols gravillonnaires (sols peu évolués) a été signalée par la majorité des populations interrogées.

Les principaux critères de différenciation paysans des individus sont la morphologie des feuilles et des fruits, et le goût des fruits.

La reproduction de *D. microcarpum* se fait par rejet, par drageon et à partir des graines germées spontanément (récupération des plantules). Cette capacité laisse présager des possibilités de multiplication végétative de *D. microcarpum* qui sont nécessaires pour sa domestication.

La commercialisation des produits, comme le témoignent les résultats de l'enquête, peut être une filière porteuse d'espérance et une source de revenus pour les populations rurales maliennes, ce qui justifie davantage la domestication de *D. microcarpum*.

L'enquête ethnobotanique a mis en évidence les savoirs et le savoir-faire local des populations rurales relatifs à la gestion, à la caractérisation, à la conservation et à l'utilisation durable des ressources génétiques de *D. microcarpum*.

Le travail présenté ici, très détaillé et spécifique à *D. microcarpum* permet de la classer parmi les espèces à usages multiples pour les populations rurales maliennes, puisque toutes ses

parties sont utilisées et utilisables. Ainsi, les parties de *D. microcarpum*, une fois valorisées, contribuent à la réduction de la pauvreté dans les zones rurales.

Les savoirs paysans recensés ici, peuvent constituer un gage pour le développement de stratégies de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques de *D. microcarpum*, car l'une des voies pour mieux valider nos résultats auprès des populations rurales est de tenir compte de leurs savoirs, et cela favorise la valorisation de leurs riches expériences et l'adoption des technologies développées. Ils sont utiles pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration en vue d'aboutir à la domestication de *D. microcarpum*, car domestiquer revient à augmenter la plus-value à partir du matériel végétal amélioré. La diversité des produits constitue une assurance pour promouvoir sa conservation et son utilisation durable.

Nous pensons que la conjonction de l'enquête individuelle et de l'enquête en groupe est à préconiser pour tirer le maximum d'informations auprès des familles paysannes, car les leaders d'opinions au niveau des villages constituent un grand handicap pour l'enquête en groupe. Le présent travail pouvait être plus riche en informations si on avait constitué des sous-groupes par âge à l'intérieur des groupes d'hommes et de femmes formés. Par ailleurs, il importe de préciser que notre questionnaire n'a pas été étendu aux utilisations secondaires de *D. microcarpum*. On peut citer comme exemple les champignons mycorhyziens (présence, typologie et comestibilité) et la production de miel que nous n'avons pas traités dans ce travail. Notre enquête aurait pu fournir d'autres informations si ces utilisations secondaires étaient prises en compte. En effet, il est très important de connaître ces utilisations dans le futur pour marquer d'avantage l'importance de la domestication de la plante, car l'écosystème forestier est un tout et chaque élément y joue son rôle.

Le chapitre qui suit, présente les caractères morphologiques de *D. microcarpum* dans son aire de distribution géographique au Mali en se basant sur des savoirs locaux.

CHAPITRE 4

CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE *DETARIUM MICROCARPUM*

4.1 Introduction

L'utilisation et la gestion durable des arbres demandent une caractérisation de leur matériel végétal sur les plans morphologique, biochimique et moléculaire afin de différencier les individus. Selon Mars & Marrakchi (2000), la variabilité des espèces végétales, en général, s'exprime au niveau des caractéristiques de l'appareil végétatif et/ou de l'appareil reproducteur de la plante. Pour Dosba *et al.* (1998), la caractérisation variétale doit concerner les individus qui se sont adaptés à des conditions écologiques spécifiques. Selon Sounigo *et al.* (1997) et Zhang (2002), la description est nécessaire pour l'ensemble des activités d'amélioration génétique et de sélection variétale des plantes, car elle permet (1) de cibler les descripteurs morphologiques intéressants et (2) de connaître ceux qui sont liés aux facteurs environnementaux.

En effet, l'existence de différents écotypes au sein d'une même espèce (au Sahel et dans le monde entier) aboutit à la mise en place de vastes programmes de domestication.

Les travaux de Ouédraogo (1995) mettent en évidence une importante variabilité intraspécifique et permettent la connaissance de la biosystématique des populations ouest-africaines de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae).

Diallo (2001) indique que la morphologie des graines de *Tamarindus indica* L. (Fabaceae) est le caractère qui discriminait le mieux les provenances d'Afrique de l'Ouest, d'Afrique de l'Est et d'Asie.

Au niveau de *Triticum monococcum* L. (Poaceae), il a été observé une importante variabilité morpho-agronomique pour tous les caractères étudiés, et des provenances prometteuses sont identifiées en termes de sélection (Empilli *et al.*, 2000).

Au Mali, des travaux de multiplication végétative par greffage de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (Sapotaceae) aboutissent à des résultats probants (Sanou *et al.*, 2004).

Au Burkina Faso, il a été trouvé des individus de *V. paradoxa* qui portent en même temps de grandes feuilles et de petites feuilles, des individus au port élancé avec des fruits de forme allongée, d'autres au port très élancé avec des fruits de forme arrondie et un troisième groupe au port arrondi avec des fruits de forme allongée (DPF/INERA, 1999). Ces informations sont actuellement intégrées dans les travaux de recherche en cours sur la diversité génétique de l'espèce en Afrique de l'Ouest dans le cadre d'un projet INCO sur financement de l'Union Européenne.

Au Nigeria, les résultats de l'évaluation et de la caractérisation des variétés locales de *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) montrent que la résistance à *Ustilago* spp. (Ustilaginaceae) et la forte teneur en sucre alimentaire sont d'une grande importance pour fournir une base génétique élargie pour son amélioration (Agboire *et al.*, 2000).

En Tunisie, la caractérisation des fruits de *Phoenix dactylifera* L. (Arecaceae) dans la région du Djérid a permis la sélection de variétés (Menakher, Boufagous) possédant des fruits de grandes dimensions, de poids intéressants et de fortes teneurs en pulpe pour l'industrie dattière (Reynes *et al.*, 1994). Selon Jendoubi *et al.* (2001), l'étude du système de reproduction et de la variabilité morpho-phénologique chez *Allium roseum* L. (Alliaceae) montre que les variétés de Jerba et de Bengardane sont les plus polymorphes pour les dimensions des feuilles et des fleurs.

En Inde, Gupta *et al.* (2001) concluent, à partir d'une étude sur la variabilité et la caractérisation des collections de *Vigna mungo* (L.) Hepper (Fabaceae), que la maturité précoce, la résistance au virus de la mosaïque jaune, le plus grand nombre de gousses par plante et le plus grand nombre de graines par gousse seront utiles pour la poursuite des schémas de sélection.

Malgré les multiples usages de *Detarium microcarpum* Guill & Perr. (Fabaceae), une espèce forestière locale intéressante sur les marchés local et régional, et l'existence d'une littérature assez fournie sur sa botanique, on a trouvé peu d'informations sur sa domestication. On a donc analysé, dans ce qui suit, ses caractères morphologiques pour contribuer à l'identification de meilleurs individus à partir de son aire de distribution géographique au Mali.

Un tel travail de caractérisation morphologique de *D. microcarpum* constitue un maillon essentiel de la sélection variétale et de la sélection à l'aide des outils biotechnologiques tels que la multiplication végétative et les marqueurs moléculaires afin de proposer des individus répondant aux préoccupations des communautés paysannes, à la domestication. Pour cela, l'étude du comportement de l'espèce dans la nature sur les plans édaphique, croissance en circonférence et en hauteur, et développement végétatif des organes de reproduction est nécessaire.

La réussite de la domestication de *D. microcarpum* passe nécessairement par la maîtrise de ses caractéristiques morphologiques liées aux fruits, aux feuilles et au bois, car la domestication doit déboucher à une utilisation de l'espèce dans les jardins de case, dans les vergers de production, dans les boisements privés et les forêts des collectivités locales et domaniales. Cette vision rejoint l'idée de Hoyt (1992), selon laquelle la conservation d'une espèce sauvage *in situ* demande d'abord un échantillonnage et une comparaison de sa diversité génétique dans toute son aire de distribution géographique et écologique afin de la domestiquer.

Aujourd'hui, la valorisation durable et la domestication de *D. microcarpum* se justifient davantage face aux besoins croissants provenant de la forte pression démographique et des changements climatiques.

4.2 Objectifs

Les objectifs spécifiques visent à identifier, évaluer et analyser les populations de *D. microcarpum* sur le plan morphologique (fruit, feuille), en vue de déterminer des descripteurs performants sur le plan végétatif pour les programmes de sélection et d'amélioration génétique ultérieurs afin de déboucher à la domestication de la plante.

4.3 Matériel et méthodes

L'étude de la variabilité morphologique de *D. microcarpum* a été réalisée dans les unités agro-écologiques sahélienne sud, soudanienne (nord et sud) et soudano-guinéenne du Mali où sont répartis ses peuplements naturels (PIRT, 1983; Boudet & Lebrun, 1986). Ces unités sont définies et caractérisées par PIRT (1983).

4.3.1 Choix des arbres

La combinaison des informations fournies par les communautés rurales maliennes, PIRT (1983) et les agents forestiers nous a permis de repérer les populations de *D. microcarpum* (tableau 15), où a été exécutée l'étude de caractérisation. Le choix de ces populations a été fait par unité agro-écologique en fonction de leur accessibilité. Cependant, la présence de plusieurs populations du sud du Mali est due au fait que l'étude a initialement couvert cette zone du Mali.

Au niveau de chacune des populations, nous avons choisi des individus qui n'avaient encore jamais été exploités et donc exempts de mutilation, et en cours de production des fruits.

Au niveau de chacune des populations, vingt cinq individus espacés d'au moins 20 mètres ont été sélectionnés afin de ne pas récolter du matériel sur des individus proches physiquement et génétiquement. Selon la littérature, la taille minimum de l'échantillon est de vingt cinq individus indépendants et supposés non apparentés, pour la récolte des graines en foresterie pour l'établissement des pépinières de production afin d'avoir les meilleures chances d'une diversité maximale (Graudal, 1998). A chaque emplacement, les individus sont numérotés de 1 à 25, puis marqués à la peinture au niveau de la hauteur de poitrine afin d'éviter qu'ils ne soient comptés doublement, et de dissuader les exploitants frauduleux à les toucher. Les

individus et les populations de *D. microcarpum* répertoriés ont été géographiquement référencés à l'aide d'un système GPS (*Geographical Positioning System*) modèle 315 Magellan (tableau 15). Au total, on a suivi 350 individus sur 14 sites, ce qui indique l'ampleur du travail fourni. Chaque population a été codifiée en utilisant le nom du site dans lequel elle se trouve.

Tableau 13: Caractéristiques éco-géographiques des populations de *Detarium microcarpum*

Population	Unité agro-écologique	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°W)
Lougourogombo (LG)	Sahélienne sud	468	14°25'16"	03°26'34"
Soutè (S)		468	12°51'42"	04°28'40"
Komé (K)	Soudanienne nord	448	12° 27'43"	04°32'54"
Mougna (M)		435	12°29'22"	04°37'30"
Néresso (N)		427	12°20'07"	04°43'19"
Feya (Fey)		374	12°57'04"	07°36' 09"
Farako (F)	Soudanienne sud	435	11°11'23"	05°25'49"
N'Gloklola (NGO)		444	11°57'47"	05°49'33"
Bougoumbala (B)	Soudano-guinéenne	357	11°33'32"	07°38'01"
Kafono (Ka)		327	10°34'20"	05°50'14"
Oualia (OU)		325	13°8'57"	03°26'34"
Yanfolila (Y)		399	11°07'01"	08°13'37"
Gouinso 1 (G1)		404	11°18'51"	08°04'59"
Gouinso 2 (G2)		378	11°15'44"	08°05'53"

4.3.2 Caractérisation pédologique des sites

La caractérisation sommaire des sols occupés par les quatorze populations de *D. microcarpum* a été réalisée au moyen d'une tarière pédologique, à proximité de tous les pieds des individus. Elle se justifie par le fait que la réussite de la domestication d'une espèce forestière est liée en grande partie à la qualité du sol qui sert de support.

Pour ce travail, on a décrit la texture et la profondeur des sols au niveau de la surface du sol jusqu'à 20 cm de profondeur, suivant des méthodes proposées par PIRT (1983):

- les classes de profondeur des sols sont les suivantes: (1) sol très peu profond (0-25 cm); (2) sol peu profond (25-50 cm); (3) sol moyennement profond (50-100 cm); et (4) sol profond (>100 cm);
- les classes de texture des sols sont les suivantes: (1) sableux; (2) argileux; (3) limoneux; (4) gravelleux; (5) grossier; et (6) fin; et
- le pourcentage de gravier: (1) gravelleux (15-50 % de gravier); et (2) très gravelleux (plus de 50 % de gravier).

La dénomination des sols a été faite en utilisant la classification CPCS.

4.3.3 Evaluation des descripteurs morphologiques

L'évaluation de la variabilité morphologique de *D. microcarpum* a été réalisée en créant un système de descripteurs qui s'est inspiré des descripteurs proposés par plusieurs auteurs (IBPGR, 1980; Zitan, 1995; Ouédraogo, 1995). Elle a concerné vingt cinq descripteurs choisis définitivement après des observations préliminaires sur le terrain.

Les mesures du tronc et du houppier ont été effectuées au mois de mars 2001, tandis que celles des fruits et des feuilles ont eu lieu aux mois de mai et juillet de la même année, respectivement.

Selon IBPGR (1980), la caractérisation d'une plante consiste à l'enregistrement de la variabilité des caractères qui sont très héréditaires, facilement visibles à l'œil et exprimés dans tous les environnements.

4.3.3.1 Descripteur morphologique du tronc (figure 11)



Figure 11: Niveau de mesure de la circonférence du tronc, encerclé en blanc (Photo: Kouyaté)

Le descripteur morphologique retenu au niveau du tronc est la (1) circonférence du tronc ($C_{1,30m}$) prise à 1,30 m du sol (figure 16) qui, exprimée en centimètre, a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban de couturier (± 1 mm). La mesure a concerné 25 individus par population, soit un total de 350 individus.

La circonférence est un paramètre physique facilement mesurable et à partir duquel, on peut faire des estimations de volume de bois ou de normes de catégories de bois ou de la production de fruits ou déterminer l'âge d'exploitabilité des parcelles de domestication.

4.3.3.2 Descripteur morphologique du houppier (figure 12)

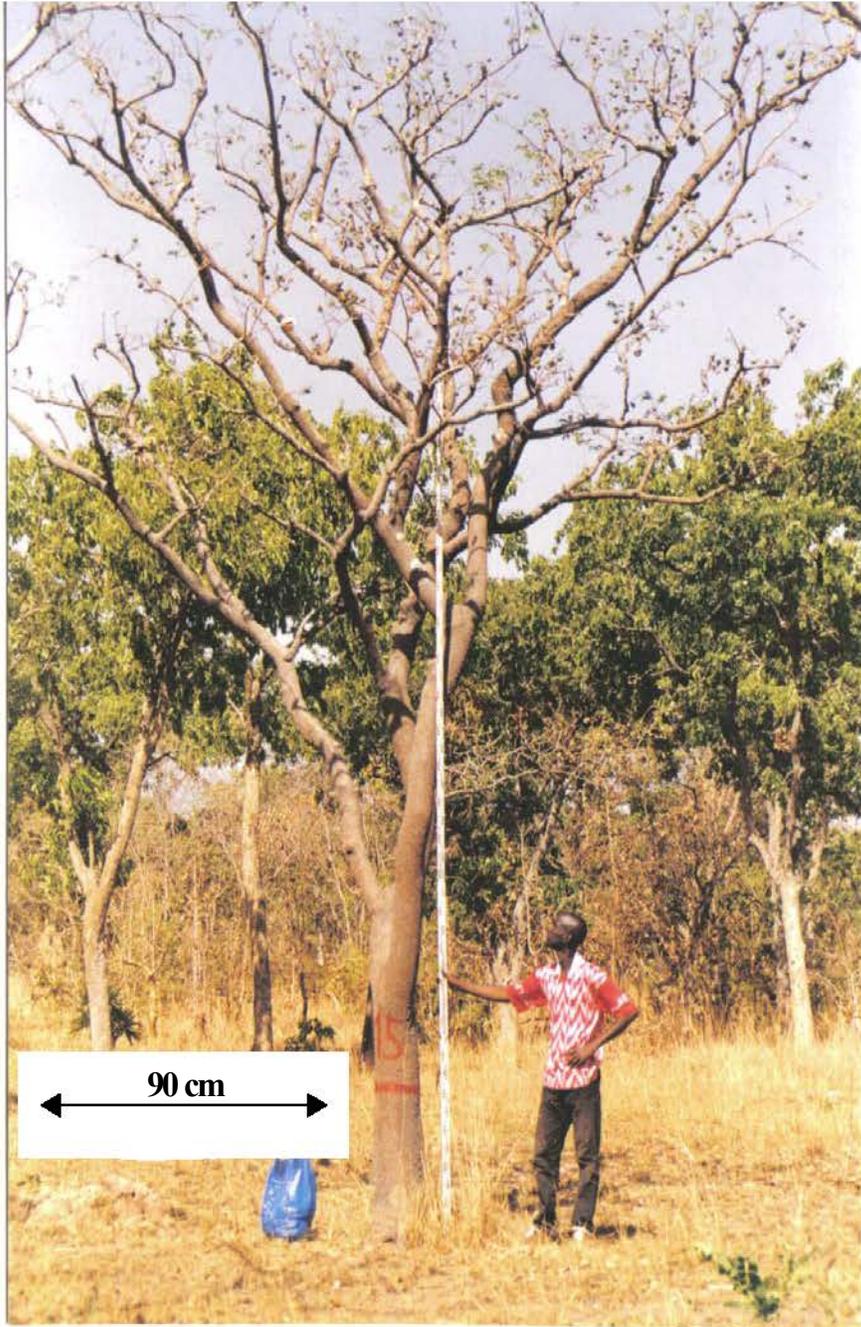


Figure 12: Niveau de mesure de la hauteur de la première ramification basale de *Detarium microcarpum* à l'aide d'une règle graduée (Photo: Kouyaté)

Le descripteur morphologique du houppier est la (2) hauteur de la première ramification (Hr) basale par rapport au sol. Exprimée en mètre, elle a été mesurée à l'aide d'une règle coulissante de 12 m. La mesure a concerné 25 individus par population, soit un total de 350 individus.

L'évaluation de ce paramètre physique est utile pour la domestication, car nos études antérieures montrent que le houppier représente plus de 70 % du volume des arbres des espèces forestières de savanes (Kouyaté, 1995). La mesure de la hauteur de la première ramification basale permet d'identifier des individus bas branchus pour lesquels la cueillette des fruits sera moins pénible, donc nécessaires pour les programmes de sélection et d'amélioration génétique pour la production de bois de service ou de fruits.

4.3.3.3 Descripteurs morphologiques foliaires (figure 13)

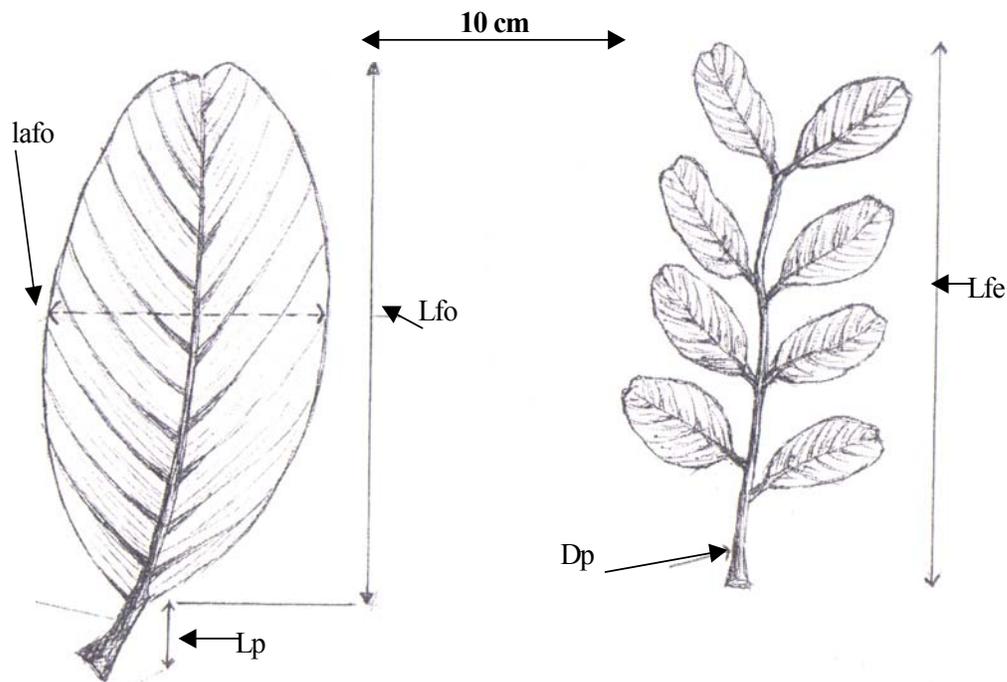


Figure 13: Mesure des dimensions d'une feuille et d'une foliole de *D. microcarpum* (Dessin: Kouyaté)

Les mesures descriptives sur les feuilles de *D. microcarpum* ont porté sur trois feuilles fraîches par individu, totalement développées et non parasitées, soit au total 1050 feuilles sur l'ensemble des quatorze populations. Les descripteurs alors mesurés ont été la (3) longueur des feuilles exprimée en cm (Lfe) à l'aide d'une règle graduée de 90 cm (± 1 mm), le (4) diamètre en cm des pétioles des feuilles (Dp) à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm, la

(5) longueur en cm (Lfo) des folioles et la (6) largeur en cm (lfo) des folioles les plus grandes, et la (7) longueur des pétioles en cm (Lp) à l'aide d'une règle graduée de 90 cm (± 1 mm). Nous avons déterminé le (8) nombre de folioles (Nfo) par simple comptage, à partir duquel on a catégorisé les feuilles: feuille paripennée et feuille imparipennée.

La longueur des feuilles composées est prise de la base du pétiole jusqu'à l'extrémité de la foliole terminale. La longueur des folioles est prise depuis le point d'insertion du pétiole jusqu'à l'extrémité de la foliole. La largeur des folioles est prise à partir de la moitié de la longueur des folioles. La longueur des pétioles est prise depuis la base du pétiole jusqu'au point d'insertion de la foliole (figure 13).

A partir des mesures ainsi effectuées, certains rapports qui sont utiles à la caractérisation de *D. microcarpum* sont calculés. Il s'agit (9) de la surface des folioles exprimée en cm² (Sfo) qui a été assimilée à celle d'un rectangle (produit entre la longueur et la largeur) suivant une méthode utilisée par Mosseddaq (1988), du rapport (10) entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles symbolisé par LFT; (11) du rapport entre la longueur et la largeur des folioles symbolisé par LFA qui est utilisé pour décrire la forme des folioles en s'inspirant des formes planes, entières et symétriques définies par SADT (1962); et (12) du rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles symbolisé par LPT. Chaque rapport spécifique est calculé à partir de 1050 mesures.

4.3.3.4 Descripteurs morphologiques des fruits (figure 14)

L'observation a concerné vingt cinq fruits frais et non parasités par individu, soit au total 8125 fruits sur l'ensemble des populations maliennes de *D. microcarpum*.

La population de Feya n'a pas assez fructifié pendant deux années successives pour nous permettre de faire l'observation sur les fruits, ce qui explique la réduction de la taille d'échantillonnage de quatorze à treize.

Les fruits sont récoltés, soit en secouant les branches, soit en utilisant une perche en bois munie d'un sécateur à son extrémité. La (13) longueur en mm (Lf) et (14) l'épaisseur en mm (laf) de chaque fruit sont mesurées à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm. La longueur est prise du point d'attache du fruit à la branche jusqu'à l'extrémité du fruit alors que l'épaisseur est mesurée au niveau du plus grand diamètre du fruit (figure 15). Le (16) poids du fruit (Pf) exprimé en gramme, a été déterminé à l'aide d'une balance Mettler (type PE 160, max = 160 g, min = 0,5 g $\pm 0,1$ g) au bureau quinze jours après la récolte. On a évalué aussi la forme des fruits à partir du (17) rapport longueur/épaisseur des fruits symbolisé par FL, en s'inspirant des formes planes, entières et symétriques définies par SADT (1962).

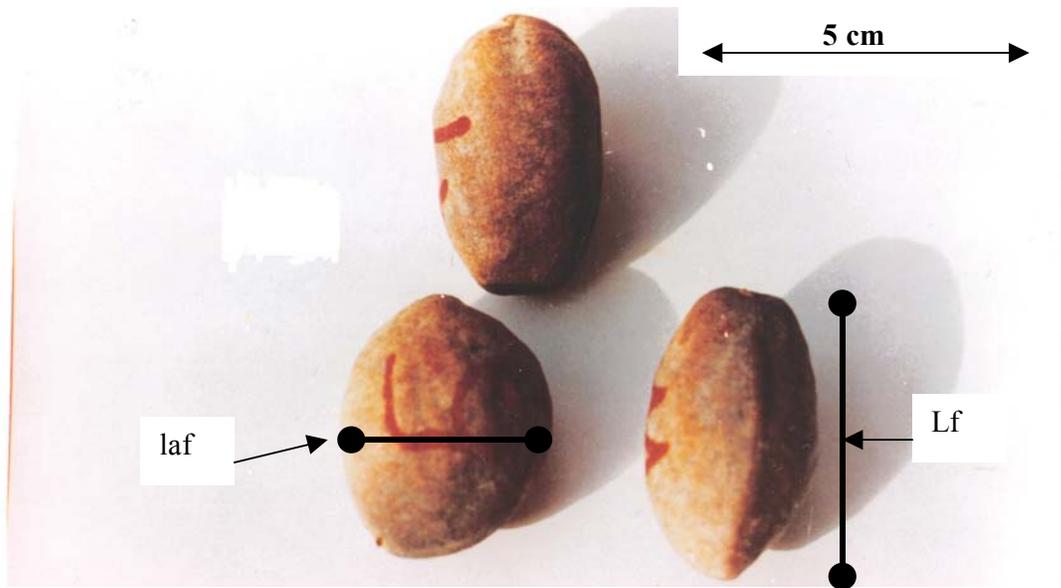


Figure 14: Mesure des dimensions des fruits de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

L'évaluation des descripteurs de la pulpe (mésocarpe), de l'endocarpe et de la graine de *D. microcarpum* a nécessité un travail d'extraction de ces parties. L'extraction de la pulpe est réalisée en s'inspirant de la fabrication du jus de *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon. (Apocynaceae). Elle a consisté à tremper les fruits de *D. microcarpum* dans l'eau distillée pendant une nuit, puis récupérer la pulpe par simple frotage avec une brosse. La pulpe ainsi obtenue est séchée à la température ambiante d'une chambre pendant deux heures puis conservée dans des sachets en plastique avant de les envoyer pour analyses aux Laboratoires maliens et belges. A partir de cette étape, on a procédé à l'évaluation biophysique de l'endocarpe. Ensuite, l'endocarpe a été concassé à l'aide d'un marteau pour extraire les graines.

4.3.3.5 Descripteurs morphologiques de l'endocarpe (figure 15)

Les descripteurs de l'endocarpe mesurés sont la (18) longueur en mm (Lc) et (14) l'épaisseur en mm (lac) à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm. La mesure a concerné 8125 endocarpes sur l'ensemble des treize populations. On a également calculé le (19) rapport entre la longueur et l'épaisseur symbolisé par KM.

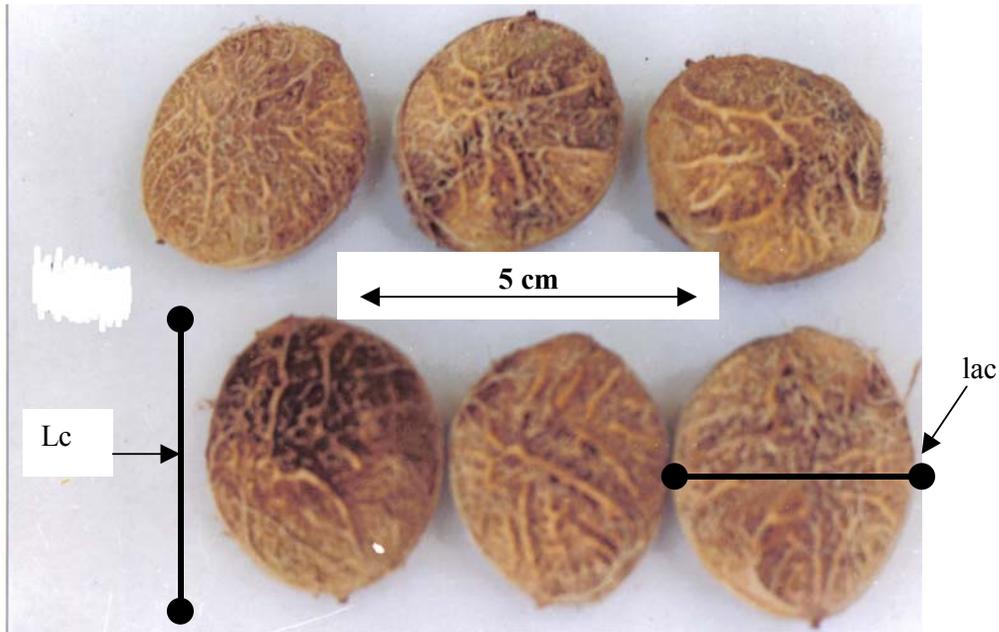


Figure 15: Mesure des dimensions de l'endocarpe de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

4.3.3.6 Descripteurs morphologiques des graines (figure 16)

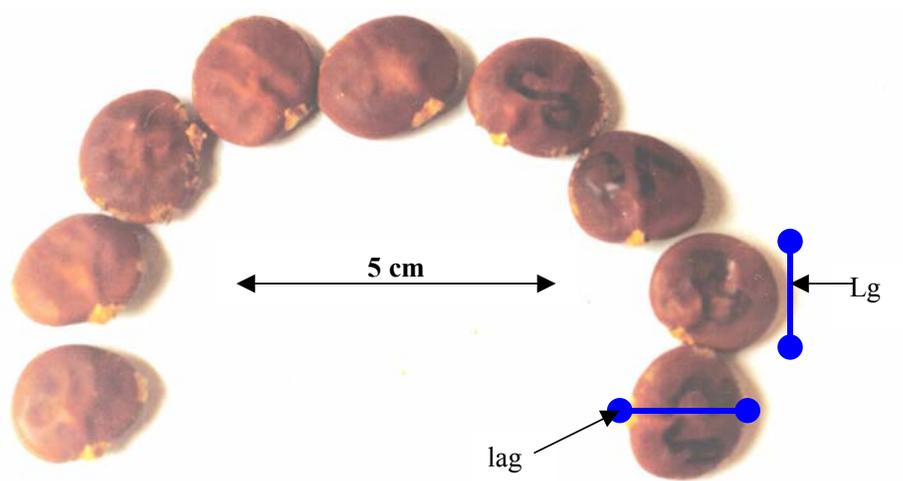


Figure 16: Mesure des dimensions des graines de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

Au niveau des graines séchées pendant une nuit à la température ambiante d'une chambre, on a mesuré leur (20) longueur en mm (L_g) et leur (21) épaisseur en mm (lag) à l'aide d'un pied à coulisse avec une précision de $\pm 0,1$ mm. Le (22) poids des graines exprimé en gramme (P_g) a été déterminé à l'aide d'une balance Mettler (type PE 160, max = 160 g, min = 0,5 g $\pm 0,1$ g). On a évalué aussi la forme des graines à partir du (23) rapport longueur/épaisseur

symbolisé par FLA, en s'inspirant des formes planes, entières et symétriques définies par SADT (1962).

4.3.3.7 Autres descripteurs morphologiques

A partir des mesures ainsi effectuées, certains rapports qui sont utiles à la caractérisation de *D. microcarpum* sont calculés. (24) le rapport entre le poids des fruits et celui des graines (PP). Chaque rapport spécifique est calculé à partir de 8125 mesures.

(25) L'épaisseur de la pulpe (Ep) exprimée en mm est déterminée après une déduction en utilisant la méthode proposée par Ferradous (1995):

$$Ep = \text{laf} - \text{lac} \quad (1),$$

avec:

Ep: épaisseur de la pulpe (mm)

laf: épaisseur du fruit (mm)

lac: épaisseur de l'endocarpe (mm).

Nous avons constaté, entre les différentes mensurations sur le terrain, la perte d'un individu de *D. microcarpum* au niveau de la population de Kafono. Ceci explique la variation de la taille de l'échantillon entre ces deux grandes catégories de descripteurs (348 pour les feuilles et les fruits, et 350 pour la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol et la hauteur de la première ramification basale).

4.3.5 Traitement et analyse des données

Pour l'ensemble des données morphologiques recueillies sur l'ensemble des quatorze populations maliennes de *D. microcarpum*, la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation sont calculés par population et pour l'ensemble des populations afin d'évaluer la variabilité entre et à l'intérieur des populations. La variation inter-populations sur le plan morphologique fournit des informations sur la variabilité due au milieu dans l'aire de l'espèce, tandis qu'elle informe sur le danger d'érosion génétique si on s'intéresse à la variabilité génétique.

Des classes de variation sont constituées en utilisant une échelle proposée et testée par Ouédraogo (1995) au moment de l'étude de la biosystématique des provenances ouest-africaines de *P. biglobosa*: (1) variation faible (CV= 0-10 %); (2) variation moyenne (CV= 10-15 %); (3) variation assez importante (CV= 15-44 %); et (4) variation importante (CV > 44 %).

Les données morphologiques ne sont pas traitées en analyse de variance (ANOVA), parce que la taille de l'échantillon par population est inférieure à 30, et en outre les conditions de normalité n'étaient pas vérifiées (annexe 2).

Le grand volume des données morphologiques justifie l'emploi d'un autre type d'analyse comme l'analyse multivariée. Nous sommes intéressés dans le cadre de la présente étude de différencier les individus, connaître les groupes de populations et analyser leur regroupement afin de déboucher à la détermination des descripteurs et des populations intéressants pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de la domestication de *D. microcarpum*. La nature quantitative de nos données morphologiques justifie l'emploi de l'analyse en composantes principales (ACP).

L'ACP permet de visualiser et d'analyser rapidement les corrélations entre les n variables et les m observations initialement décrites par les n variables sur un graphique à deux ou trois dimensions (Philippeau, 1986; Rakotoniaina, 1998; Johnson & Wichern, 1998; Ouédraogo, 2002; <http://www.xlstat.com/demo-pcaf.htm>).

Des corrélations sont établies entre des descripteurs morphologiques et des facteurs géographiques afin d'évaluer l'effet de l'environnement sur ces descripteurs afin de nous guider dans le choix des descripteurs intéressants.

Les analyses sont faites en utilisant le logiciel XLSTAT.

4.4 Résultats et discussion

Note préliminaire: le présent travail a été le premier de ce type à être mené sur *Detarium microcarpum*, ce qui fait qu'il y a donc très peu ou pas de points de comparaison. Néanmoins, nous avons comparé nos résultats avec ceux des essais similaires sur d'autres espèces pérennes du Sahel en Afrique de l'Ouest ou d'ailleurs.

4.4.1 Caractérisation pédologique des sites (tableau 14)

La caractérisation pédologique des sites révèle trois principaux types de sols colonisés par *D. microcarpum* dans la zone d'étude: (1) des sols peu évolués sur cuirasse; (2) des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions; et (3) des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés. Parmi les quatorze sites visités, les sols peu évolués représentent 50 %, tandis que les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions, et lessivés indurés occupent 28,57 % et 21,43 % du total, respectivement.

Au regard des résultats (tableau 14), on peut déduire que *D. microcarpum* se rencontre surtout sur des sols peu évolués moyennement profonds à profonds sur cuirasse. Ceci est corroboré par PIRT (1983) qui l'a classée parmi les espèces caractéristiques des terrains cuirassés d'une part, et par des informations fournies par la majorité des personnes interrogées

au moment de l'enquête ethnobotanique au sud du Mali (chapitre 3) d'autre part. Selon ces personnes (69,83 %), *D. microcarpum* se trouve sur des sols gravillonnaires, c'est-à-dire des sols peu évolués.

Tableau 14: Caractéristiques des sols à *Detarium microcarpum*

Site	Sol	Texture	Profondeur (cm)	% de gravillons à la surface du sol	Unité agro-écologique
LG	SFTLTC	Limono-sableuse et limono-argileuse	> 70	0	Sahélienne sud
S	SPE/cuirasse	Limono-sableuse	> 35	80	
K	SPE/cuirasse	Limono-sableuse	40	70	Soudanienne nord
M	SPE/cuirasse	Sableuse	50	60	
Fey	SPE/cuirasse	Limono-sableuse et sablo-limoneuse	> 35	70-80	
N	SPE/grès	Sableuse	50	25	
F	SFTLTC	Sableuse	100	3	Soudanienne sud
NGO	SPE/cuirasse	Limoneuse	40	80	
B	SFTLTC	Argileuse	100	0	Soudano-guinéenne
Ka	SFTLI/cuirasse	Sableuse	60	80	
OU	SPE/cuirasse	Limono-sableuse	> 45	2-5	
Y	SPE/cuirasse	Limoneuse	45	40	
G1	SFTLTC	Argileuse	100	0	
G2	SFTLI/cuirasse	Sableuse et argileuse	60	60	

SFTLTC: sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions; SPE: sols peu évolués; SFTLI: sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés; LG: Lougourogombo; S: Souté; K: Komé; M: Mougna; Fey: Feya; N: Néresso; F: Farako; NGO: N'Gloklola; B: Bougoumbala; Ka: Kafono; OU: Oualia; Y: Yanfolila; G1: Gouinso 1; G2: Gouinso 2

4.4.2 Descripteur morphologique du tronc (tableau 15)

Tableau 15: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol (N= 350)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	64,2	63,4	59	59,9	45,8	57,8	38,6	66,9	43,3	55	70,5	55,6	160,2	49,4
E.T	23	22	17	17	12	16	10	24	10	18	10	16	37	15
CV	35,8	34,7	28,8	28,4	26,2	27,7	25,9	35,9	23,1	32,7	14,2	28,8	23,1	30,4
Moy. pop.	63,56													
E.T.pop.	33,64													
CV.pop.	52,93													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

Les résultats de la caractérisation morphologique montrent que les populations maliennes de *D. microcarpum* mesurent $63,56 \pm 33,64$ cm de circonférence prise à 1,30 m du sol. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Kafono (39 ± 10 cm) et Lougourogombo ($C_{1,30m} = 160 \pm 37$ cm), respectivement. L'important écart entre la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol entre les populations de Kafono et de Lougourogombo est lié à l'âge, car les

individus de Lougourogombo qui se trouvent dans un champ sont protégés par les communautés *dogon*, et donc ont eu le temps nécessaire pour croître en circonférence. De plus, ce champ se trouve dans une vallée longitudinale, où ces individus ont dû bénéficier de meilleures conditions hydriques pour leur développement en circonférence.

On note une importante variation entre les populations maliennes (CV= 52,93 %) qui peut être expliquée par les conditions écologiques des sites.

La variation de la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol à l'intérieur des populations est faible (CV= 10 %) à Oualia et à assez importante pour le reste des populations ($20 \% \leq CV \leq 40 \%$). Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Oualia (CV= 10 %) et Komé (CV= 35,9 %), respectivement.

Lovett & Haq (2000) étudient la diversité de *V. paradoxa* dans les zones semi-arides du Ghana à partir de 294 individus répartis sur vingt quatre sites. Ils obtiennent une variation de 47,5 % entre les populations pour la circonférence, tandis que Ouédraogo (1995) enregistre 17,85 % de variation entre les populations ouest-africaines de *P. biglobosa* composées de 1663 individus répartis sur cinq pays (Sénégal, Mali, Burkina Faso, Niger et Tchad).

Il résulte que les populations maliennes de *D. microcarpum* (CV= 52,93 %) et les populations ghanéennes de *V. paradoxa* (CV= 47,5 %) appartiennent à une même classe de variation (variation importante). Cependant, il y a moins de variation entre les populations ouest-africaines de *P. biglobosa* (CV= 17,85 %) et les deux autres espèces. On avance l'hypothèse que la couverture géographique a influé sur la variabilité inter-populations de *P. biglobosa*.

En ce qui concerne la variation intra-populations, la caractérisation dendrométrique de six individus bien développés et isolés de *Acacia seyal* Del. (Fabaceae) et de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae) qui a été réalisée au sud du Sahel malien indique une variation de 27 % et 19,17 %, respectivement (Soumaré, 1996). La littérature indique une importante variation de la circonférence (CV= 81,47 %) à l'intérieur des populations ouest-africaines de *P. biglobosa* (Ouédraogo, 1995), ce qui est largement supérieur à la valeur de *D. microcarpum* (CV= 10-40 %). Ceci dénote que d'autres facteurs non environnementaux agissent au sein de ces populations. On suppose que les différences observées à l'intérieur de ces populations sont liées à des classes d'âge. Par ailleurs, l'étendue de l'aire géographique et écologique de l'étude de *P. biglobosa* peut expliquer la valeur élevée de sa variation intra-populations.

4.4.3 Descripteur morphologique du houppier (tableau 16)

Tableau 16: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la hauteur de la première ramification basale (N= 350)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	1,75	1,9	1,82	2,14	1,54	2,23	1,71	1,82	1,64	1,46	2,11	2,16	2,48	1,74
E.T	0,61	0,6	0,61	0,65	0,66	0,74	0,67	0,71	0,49	0,41	0,57	0,87	0,5	0,47
CV	34,9	31,6	33,5	30,4	42,9	33,2	39,2	39,0	29,9	28,1	27,0	40,3	20,2	27,0
Moy. pop.	1,89													
E.T.pop	0,67													
CV.pop	35,49													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

La hauteur moyenne de la première ramification basale des populations maliennes de *D. microcarpum* est de $1,89 \pm 0,67$ m. Elle varie entre $1,46 \pm 0,57$ m à Néresso et $2,48 \pm 0,57$ m à Lougourogombo. La différence observée entre Néresso et Lougourogombo est probablement liée aux soins apportés à *D. microcarpum* dans les parcs agroforestiers en milieu *dogon*.

On note une assez importante variation entre les populations (CV= 35,45 %), puisque la valeur du CV est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation intra-populations pour le même descripteur est comprise entre 20 % à Lougourogombo et 40 % à Bougoumbala.

Selon Lovett & Haq (2000), la variation entre les populations ghanéennes de *V. paradoxa* est de 46,7 %, contre 11,29 % au niveau des populations ouest-africaines de *P. biglobosa* (Ouédraogo, 1995). Ces résultats montrent que la variation inter-populations est assez importante au niveau de *V. paradoxa* et de *D. microcarpum* (CV= 35,45 %) et moyenne chez *P. biglobosa*. La variation entre ces espèces peut être expliquée par la diversité des conditions écologiques qui prédéterminent le comportement d'un végétal.

Selon Ouédraogo (1995), la hauteur de la première ramification basale est très variable à l'intérieur des populations ouest-africaines de *P. biglobosa*, soit 77,04 % de variation. Il résulte que la variation est moindre à l'intérieur des populations maliennes de *D. microcarpum*. Bien que l'architecture des individus de *P. biglobosa* et de *D. microcarpum* soit complètement différente, le caractère lui-même peut être considéré comme étant basé sur des fondements environnementaux.

Les résultats ainsi obtenus peuvent être intégrés dans le choix variétal des individus pour la production quantitative de bois de chauffe en vue de parvenir à la domestication de *D. microcarpum*, car les individus à première ramification basale moins distante du sol sont supposés avoir un long houppier, donc plus productifs en bois.

L'idée de Ksontini (1996) selon laquelle les exigences du milieu peuvent conditionner le changement de taille chez les végétaux confirme le développement en circonférence et en hauteur de *D. microcarpum*.

4.4.4 Descripteurs morphologiques des feuilles

4.4.4.1 Diamètre des pétioles (tableau 17)

Le diamètre des pétioles des feuilles de *D. microcarpum* mesure $0,23 \pm 0,03$ cm. Les valeurs minimale et maximale sont de $0,2 \pm 0,02$ cm à N'Gloklola et à Mougna, et $0,3 \pm 0,04$ cm à Gouinso 1, respectivement.

On note une variation moyenne entre les populations (CV= 13,04 %), puisque la valeur du CV est comprise entre 10 % et 15 %.

Tableau 17: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le diamètre des pétioles des feuilles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
E.T	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,06	0,04
CV	6,7	10,0	13,3	10,0	10,0	25,0	20,0	15,0	10,0	15,0	20,0	15,0	30,0	20,0
Moy.pop.	0,23													
E.T.pop.	0,03													
CV.pop.	13,04													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

La variation intra-populations est faible à Yanfolila (CV= 6,7 %), moyenne à Gouinso 2, N'Gloklola, Bougoumbala, Mougna et Gouinso 1 (CV= 10-13,3 %) et assez importante à Komé, Néresso, Soutè, Feya, Oualia, Kafono, Farako, Feya et Gouinso 1 (CV= 15-30 %). Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Yanfolila (CV= 6,7 %) et Lougourogombo (CV= 30,0 %), respectivement.

4.4.4.2 Longueur des feuilles (tableau 18)

Les feuilles de *D. microcarpum* mesurées au Mali sont longues de $17,32 \pm 3,00$ cm avec un minimum de $13,2 \pm 2,14$ cm à Feya et un maximum de $20,0 \pm 1,99$ cm à Bougoumbala. La petite dimension des feuilles à Feya peut être liée à la stratégie développée par l'espèce pour juguler les conditions difficiles au niveau de ce site qui se trouve sur des sols peu évolués sur cuirasse et sur de fortes pentes allant de 3° à 4°.

Tableau 18: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la longueur des feuilles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	18,9	18,1	18,4	16,6	20	17,5	18,4	17,5	17,2	16,2	16,3	17,1	16,7	13,2
E.T	2,08	3,96	3,1	2,32	1,99	2,87	3,13	3,0	2,24	2,51	1,58	1,99	2,52	2,14
CV	11	21,9	16,8	14	9,9	16,4	17	17,1	13	15,5	9,7	11,6	15,1	16,21
Moy. gle	17,32													
E.T.pop	3,00													
CV.pop	17,32													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

La variation inter-populations est assez importante (CV= 17,32 %), puisque la valeur du CV est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation à l'intérieur des populations est faible (CV= 9,7-9,9 %) à Oualia et Bougoumbala, moyenne (CV= 11-14 %) à Yanfolila, Soutè, Mougna et N'Gloklola, et assez importante (CV= 15,1-21,9 %) à Lougourogombo, Néresso, Feya, Farako, Gouinso 1, Kafono, Komé et Gouinso 2. Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Bougoumbala (CV= 9,9 %) et Gouinso 2 (CV= 21,9 %), respectivement. L'importante variation à l'intérieur de la population de Gouinso 2 pour la longueur des feuilles, laisse supposer l'existence des génomes.

Selon Geerling (1982), *D. microcarpum* a des feuilles longues de 15 cm dans les zones sahélienne et soudano-guinéenne du continent africain, ce qui est inférieur aux résultats de la présente étude. Les valeurs 8-12 cm de longueur dans les savanes sèches au Soudan (Vogt, 1995) et 5-13 cm au Nigeria (Keay, 1989) sont également inférieures à celles de la présente étude.

Au Ghana, Lovett & Haq (2000) observent une variation assez importante (CV= 15,0 %) entre les populations ghanéennes de *V. paradoxa* pour le descripteur longueur des feuilles. Bien qu'ayant des feuilles de physionomie différente, il ressort que la variation inter-populations des feuilles de *D. microcarpum* et de *V. paradoxa* est assez importante, et est du même ordre de grandeur.

Il résulte que les feuilles de *D. microcarpum* de la présente étude sont plus longues que celles fournies par la littérature. Ceci peut être lié à la prise en compte de toutes les niches écologiques de l'espèce au Mali.

4.4.4.3 Nombre de folioles par feuille (figure 17)

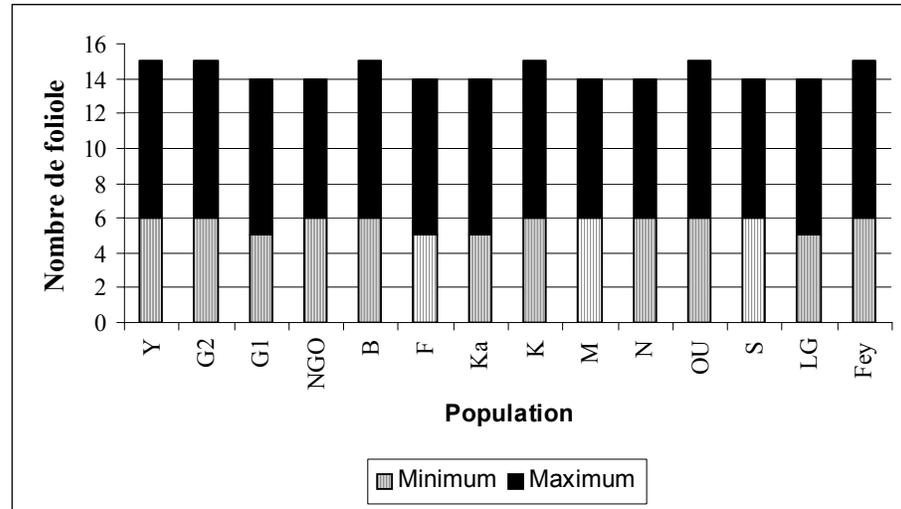


Figure 17: Comparaison du nombre de folioles des populations de *Detarium microcarpum*

Les résultats de la présente étude montrent que les feuilles de *D. microcarpum* mesurées au Mali renferment 5 à 9 folioles par feuille. Les valeurs minimales de 5 folioles par feuille sont observées à Gouinso 1, Farako, Kafono et Lougourogombo, tandis que le plus grand nombre de folioles, soit 9 folioles est observé à Yanfolila, Gouinso 1, Gouinso 2, Bougoumbala, Farako, Kafono, Komé, Oualia, Lougourogombo et Feya (figure 17).

La littérature rapporte 6 à 12 folioles par feuille de *D. microcarpum* (Berhaut, 1975; Geerling, 1982; Keay, 1989; De Wolf & Van Damme, 1994; Vogt, 1995), ce qui s'éloigne de nos résultats. D'autres sources décrivent *D. microcarpum* comme une espèce à feuilles paripennées (Berhaut, 1967; Adjanooun *et al.*, 1980), tandis qu'elles sont imparipennées pour Kerharo & Adam (1974) et Arbonnier (2000). Selon Malgras (1992), les feuilles sont paripennées ou imparipennées au sud du Mali.

Nos propres observations montrent que les trois feuilles décrites et analysées par individu sont paripennées ou imparipennées, et souvent paripennées et imparipennées. La présence de feuilles paripennées et imparipennées (figure 18) est rencontrée chez certains individus de l'ensemble des populations étudiées. Il ressort que les observations de Malgras (1992) confirment nos résultats, mais ne soulignent pas le cas des feuilles paripennées et imparipennées sur certains individus. Ceci révèle que la présente étude apporte une nouvelle donnée qui est la présence de feuilles paripennées et imparipennées sur certains individus.

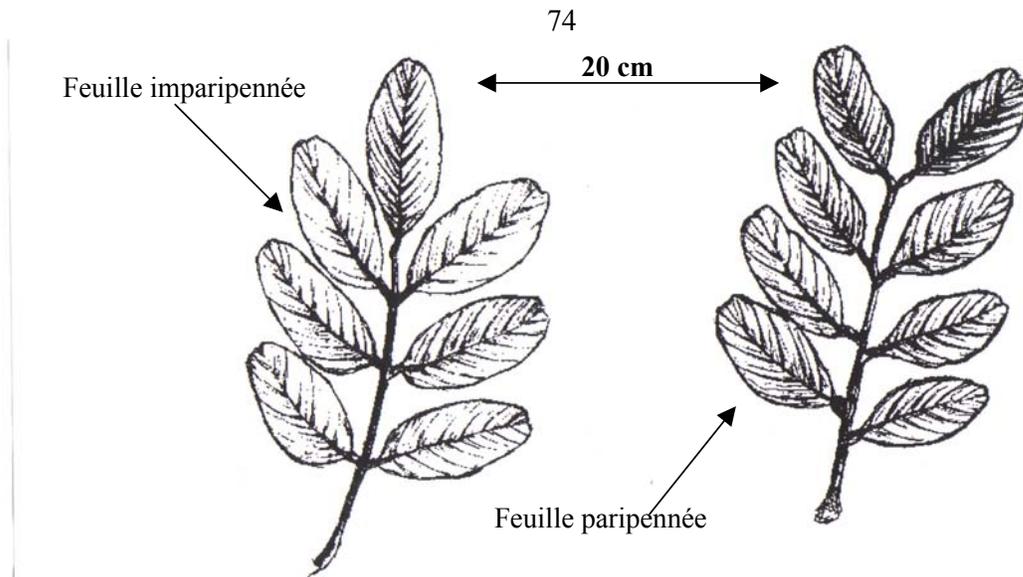


Figure 18: Types de feuilles de *Detarium microcarpum* (Dessin: Kouyaté)

4.4.4.4 Longueur des folioles (tableau 19)

Tableau 19: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la longueur des folioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	7,92	7,72	7,6	7,16	8	7,2	7,79	7,32	7,12	6,6	7,37	7,03	7,3	5,96
E.T	0,91	1,67	1,22	0,8	0,82	1,08	0,83	0,99	0,97	1,08	0,76	0,76	0,93	0,79
CV	11,5	21,6	16	11,2	10,2	15	10,6	13,5	13,6	16,4	10,3	10,8	12,7	13,2
Moy.pop	7,29													
E.T pop.	1,14													
CV. pop.	15,64													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

Les folioles de *D. microcarpum* mesurées au Mali sont longues de $7,29 \pm 1,14$ cm. Les folioles les plus longues ($Lfo = 8,0 \pm 0,82$ cm) sont rencontrées à Bougoumbala, tandis que les plus petites ($Lfo = 5,96 \pm 0,79$ cm) sont observées à Feya. La petite dimension des folioles à Feya est liée à la stratégie développée par l'espèce pour juguler les conditions difficiles au niveau de ce site qui se trouve sur des sols peu évolués sur cuirasse et sur de fortes pentes allant de 3° à 4° .

La variation inter-populations est assez importante pour la longueur des folioles, puisque la valeur du CV est comprise entre 15 % et 44 %.

Les valeurs du CV observées à l'intérieur des populations permettent de distinguer une variation moyenne (CV= 10,2-13,6 %) à Bougoumbala, Oualia, Kafono, Soutè, N'Gloklola, Yanfolila, Feya, Lougourogombo, Komé et Mougna, et une variation assez importante (CV= 15-

21,6 %) à Farako, Gouinso 1, Néresso et Gouinso 2. Il ressort que les valeurs la plus faible et la plus élevée du CV sont observées à Bougoumbala (CV= 10,2 %) et Gouinso 2 (CV= 21,6 %), respectivement. L'importante variation à l'intérieur de la population de Gouinso 2 pour la longueur des folioles laisse supposer l'existence des génomes.

Selon Berhaut (1975), Vogt (1995) et Arbonnier (2000), les folioles de *D. microcarpum* sont longues de 5 à 11 cm, ce qui confirme les résultats de la présente étude.

4.4.4.5 Largeur des folioles (tableau 20)

Tableau 20: Caractéristiques biométriques inter-et-intra-populations de *Detarium microcarpum* pour la largeur des folioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	3,76	3,90	3,92	3,67	4,12	3,76	3,88	3,8	3,68	3,40	3,89	3,53	4,34	3,09
E.T	0,44	0,81	0,64	0,58	0,44	0,52	0,74	0,65	0,56	0,58	0,53	0,45	0,75	0,44
CV	11,7	20,8	16,3	15,8	10,7	13,8	19,1	17,1	15,2	17,1	13,6	12,7	17,3	14,2
Moy.pop.	3,76													
E.T.pop	0,66													
CV.pop	17,55													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Les folioles de *D. microcarpum* mesurées au Mali sont larges de $3,76 \pm 0,66$ cm. Les folioles les plus larges (lafo= $4,34 \pm 0,75$ cm) sont rencontrées à Lougourogombo, tandis que les plus étroites (lafo= $3,09 \pm 0,44$ cm) sont observées à Feya. Les folioles les moins larges à Feya sont une stratégie développée par l'espèce pour juguler les conditions difficiles au niveau de ce site qui se trouve sur des sols peu évolués sur cuirasse et sur de fortes pentes allant de 3° à 4° .

On note une assez importante variation inter-populations (CV= 17,55 %) pour la largeur des folioles de *D. microcarpum*.

La variation intra-populations est moyenne (CV= 10-14,2 %) à Bougoumbala, Yanfolila, Soutè, Oualia, Farako et Feya, assez importante (CV= 15,2-20,8 %) à Mougna, N'Gloklola, Gouinso 1, Komé, Néresso, Lougourogombo, Kadiolo et Gouinso 2. Il résulte que les valeurs la plus faible et la plus élevée du CV sont observées à Bougoumbala (CV= 10,7 %) et Gouinso 2 (CV= 20,8 %), respectivement. L'importante variation à l'intérieur de la population de Gouinso 2 pour la largeur des folioles laisse supposer l'existence des génomes.

Selon Berhaut (1975) et Arbonnier (2000), les folioles de *D. microcarpum* sont larges de 3 cm à 5 cm en Afrique de l'Ouest, ce qui confirme les résultats de la présente étude.

4.4.4.6 Surface des folioles (tableau 21)

Les folioles de *D. microcarpum* mesurées au Mali ont une surface de $28,03 \pm 7,98 \text{ cm}^2$ pour l'ensemble des populations étudiées. Cette surface des folioles varie entre $20,3 \pm 5,25 \text{ cm}^2$ à Feya et $33,1 \pm 6,02 \text{ cm}^2$ à Bougoumbala.

Tableau 21: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la surface des folioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	29,9	30,4	30,2	26,6	33,1	27,5	29,4	28,3	26,5	22,9	28,9	25,0	32,3	20,3
E.T	5,74	7,86	8,78	6,79	6,02	7,23	10,4	8,27	6,85	7,71	6,46	5,38	9,6	5,25
CV	19,2	25,8	29,1	25,5	18,2	26,3	35,4	29,2	25,8	33,7	22,3	21,5	29,7	25,9
Moy.pop.	28,03													
E.T.pop.	7,98													
CV.pop.	28,47													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

La grandeur de la surface foliaire observée à Bougoumbala est probablement liée à la profondeur et la fertilité de ses sols, car ceux-ci sont profonds et ne contiennent pas d'éléments grossiers ni en surface ni dans leur profil. Les folioles à surface réduite à Feya sont liées à une stratégie développée par l'espèce pour réduire sa transpiration compte tenu des conditions difficiles au niveau de ce site qui se trouve sur des sols peu évolués sur cuirasse et sur de fortes pentes allant de 3° à 4° .

On note une variation inter-et-intra-populations assez importante pour la surface foliaire chez *D. microcarpum* (CV= 19,2-35,4 %). Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Yanfolila (CV= 19,2 %) et Kafono (CV= 35,4 %), respectivement.

4.4.4.7 Longueur des pétioles (tableau 22)

Tableau 22: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la longueur des pétioles des folioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	0,45	0,43	0,44	0,4	0,43	0,4	0,43	0,42	0,41	0,38	0,42	0,39	0,41	0,34
E.T	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CV	22	23	23	25	23	25	23	24	24	26	24	26	24	29
Moy.pop.	0,41													
E.T.pop	0,07													
CV.pop	17,07													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

La longueur moyenne des pétioles est de $0,41 \pm 0,07$ cm pour l'ensemble des populations étudiées. Elle varie entre $0,34 \pm 0,1$ cm à Feya et $0,45 \pm 0,1$ cm à Yanfolila. Les petits pétioles observés à Feya sont une stratégie développée par l'espèce pour juguler les conditions difficiles au niveau de ce site qui se trouve sur des sols peu évolués sur cuirasse et sur de fortes pentes allant de 3° à 4° .

La variation inter-et-intra-populations est assez importante (CV= 17,07-29 %). Les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Yanfolila (CV= 22 %) et Feya (CV= 29 %), respectivement. On peut déduire que la longueur des pétioles est très variable à l'intérieur de l'ensemble des populations étudiées. Ceci peut supposer que le développement en longueur des pétioles pourrait être lié à des génomes.

Une comparaison de nos résultats avec ceux de la littérature montre que la moyenne de la présente étude est du même ordre de grandeur que celle rapportée par Arbonnier (2000), mais inférieure à 0,5-0,6 cm donné par Berhaut (1975) sur la même espèce. Ces différences peuvent être liées à l'instrument de mesure utilisé.

4.4.4.8 Rapport entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles (tableau 23)

Tableau 23: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	2,4	2,3	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,2	2,4	2,3	2,0
E.T	0,18	0,48	0,33	0,21	0,21	0,3	0,26	0,25	0,21	0,2	0,18	0,19	0,16	0,2
CV	7,5	20,9	13,2	8,7	8,4	12,5	10,8	10,4	8,7	8,3	8,2	7,9	6,9	10,0
Moy.pop.	2,4													
E.T.pop	0,07													
CV.pop	17,1													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Le rapport moyen entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles des populations maliennes de *D. microcarpum* est de $2,4 \pm 0,07$. Il varie entre $2,0 \pm 0,2$ à Feya, et $2,5 \pm 0,33$ à Gouinso 1 et $2,5 \pm 0,2$ à Bougoumbala. La grandeur du rapport à Bougoumbala est probablement liée à la profondeur et la fertilité de ses sols, car ceux-ci sont profonds et ne contiennent pas d'éléments grossiers ni en surface ni dans leur profil.

La variation inter-populations est assez importante (CV= 17,7 %), puisque la valeur du CV est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation intra-populations est faible (CV= 6,9-10 %) à Lougourogombo, Yanfolila, Soutè, Oualia, Néresso, Bougoumbala et N'Gloklola, moyenne (CV= 10-13,5 %) à Feya, Komé,

Kafono, Farako et Gouinso 1, et assez importante (CV= 20,9 %) à Gouinso 2. Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Lougourogombo (CV= 6,9 %) et Gouinso 2 (CV= 20,9 %), respectivement. L'importante variation à l'intérieur de la population de Gouinso 2 pour le rapport entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles laisse supposer l'existence des génomes.

4.4.4.9 Rapport entre la longueur et la largeur des folioles (tableau 24)

Tableau 24: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre la longueur et la largeur des folioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	2,12	1,99	1,96	1,97	2,02	1,92	2,05	1,95	1,96	1,96	1,91	2,0	1,7	1,74
E.T	0,19	0,4	0,18	0,17	0,16	0,18	0,2	0,18	0,2	0,16	0,18	0,2	0,14	0,15
CV	8,9	20,1	9,3	8,6	7,9	9,4	9,8	9,2	10,2	8,2	9,4	10	8,2	8,6
Moy.pop.	1,94													
E.T.pop	0,28													
CV.pop	14,43													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

Le rapport moyen entre la longueur et la largeur des folioles est de $1,94 \pm 0,28$ pour l'ensemble des populations étudiées. Il varie entre $1,7 \pm 0,14$ à Lougourogombo et $2,12 \pm 0,19$ à Yanfolila.

Les résultats de la présente étude montrent que les rapports sont de types 2:1 et 3:2 suivant la classification SADT (1962). Ceci indique que les folioles ont une forme triangulaire-ovale, parce que leur plus grande largeur est déplacée vers le bas (figure 19).



Figure 19: Forme triangulaire-ovale des folioles de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

La variation inter-populations est moyenne (CV= 14,43 %) pour le rapport entre la longueur et la largeur des folioles de *D. microcarpum*, puisque la valeur du CV est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation à l'intérieur des populations est faible (CV= 7,9-10 %) à Bougoumbala, Néresso, Lougourogombo, Feya, N'Gloklola, Yanfolila, Gouinso 1, Komé, Farako, Oualia, Kafono, moyenne (CV= 10-10,2 %) à Soutè et Mougna, et assez importante (CV= 20,1 %) à Gouinso 2. Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Bougoumbala (CV= 7,9 %) et Gouinso 2 (CV= 20,1 %), respectivement. L'importante variation à l'intérieur de la population de Gouinso 2 pour la forme des folioles laisse supposer l'existence des génomes.

La forme des folioles de *D. microcarpum*, décrite pour la première fois de façon détaillée, est une extraordinaire contribution pour l'amélioration de la taxonomie de l'espèce.

4.4.4.10 Rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles (tableau 25)

Tableau 25: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles (N=348)

Variable	Population													
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG	Fey
Moy.	7,53	6,88	7,52	8,15	7,78	7,58	8,13	7,32	7,93	7,57	7,57	8,17	7,13	6,7
E.T	0,69	1,58	1,12	0,88	0,75	1,02	1,02	0,99	0,96	0,76	0,83	1,11	1,09	0,88
CV	9,2	22,9	14,9	10,8	9,6	13,4	12,5	13,5	12,1	10	11	13,6	15,3	13,1
Moy.pop.	7,57													
E.T.pop	1,08													
CV.pop	14,27													

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

Le rapport moyen entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles de *D. microcarpum* est de $7,57 \pm 1,08$ pour l'ensemble des populations étudiées. Il varie entre $6,7 \pm 0,88$ à Feya et $8,17 \pm 1,11$ à Soutè.

La variation inter-populations est moyenne (CV= 14,27 %) pour le rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles, puisque la valeur du CV est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation à l'intérieur des populations est faible (CV= 9,2-10 %) à Yanfolila et à Bougoumbala, moyenne (CV= 10-14,9) à Néresso, N'Gloklola, Oualia, Mougna, Kafono, Feya, Farako, Komé, Soutè et Gouinso 1, et assez importante (CV= 15,3-22,9 %) à Lougourogombo et à Gouinso 2. Il ressort que les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Yanfolila (CV= 9,2 %) et Gouinso 2 (CV= 22,9 %), respectivement. L'importante variation à l'intérieur de la population de Gouinso 2 pour le rapport entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles laisse supposer l'existence des génomes.

En résumé, les feuilles de *D. microcarpum* sont paripennées ou imparipennées, et souvent paripennées et imparipennées, et ses folioles ont une forme triangulaire-ovale. Il ressort de ces différents résultats que: (1) la population de Feya (sols peu évolués sur cuirasse, profonds de 50 cm et sur de fortes pentes de 3 % à 4 %) est caractérisée par des petites feuilles, des pétioles de faible diamètre, peu de folioles, des petites folioles, des petits pétioles, des folioles à surface réduite, un faible rapport entre la longueur de la foliole et la longueur du pétiole, et un faible rapport entre la longueur de la feuille et la longueur de la foliole; (2) la population de Bougoumbala est marquée par de longues feuilles, de longues folioles, des folioles à grande surface; et un rapport élevé entre la longueur de la feuille et la longueur de la foliole; (3) la

population de Gouinso 2 (sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur cuirasse) est caractérisée par des pétioles à grand diamètre et une grande variation pour l'ensemble des descripteurs foliaires; (4) la population de Lougourogombo (sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions) est caractérisée par des folioles plus larges et à plus grande surface; (5) les plus longs pétiolules sont rencontrés à Yanfolila (sols peu évolués sur cuirasse, profonds de 35 à 40 cm); (6) la population de Soutè (sols peu évolués sur cuirasse et profonds de 35 cm) est caractérisée par un nombre plus élevé de folioles et un rapport élevé entre la longueur de la foliole et la longueur du pétiolule.

4.4.5 Descripteurs morphologiques des fruits

4.4.5.1 Longueur des fruits (tableau 26)

Tableau 26: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la longueur des fruits (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	36	36,1	37	36,8	36,9	38,5	35,8	32,9	32,7	32,0	33,7	35,3	39,0
E.T	3,6	7,5	3,0	4,2	2,7	3,1	3,4	3,3	2,5	3,3	3,5	3,4	3,1
CV	10	20,8	8,1	11,4	7,3	8	9,5	10	7,6	10,3	10,4	9,6	7,9
Moy.pop.	35,61												
E.T. pop.	3,9												
CV.pop.	10,9												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Les fruits de *D. microcarpum* mesurent $35,61 \pm 3$ mm de long pour l'ensemble des populations maliennes étudiées. Les valeurs minimale et maximale sont $32,0 \pm 3,3$ mm à Néresso et $39,0 \pm 3,1$ mm à Lougourogombo. La présence de petits fruits à Néresso peut s'expliquer par la faible capacité de rétention en eau des sols peu évolués sur grès.

La variation inter-populations est moyenne (CV= 10,95 %), parce que la valeur du CV est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation à l'intérieur des populations est faible (CV= 7,3-10 %) à Bougoumbala, Mougna, Lougourogombo, Farako, Gouinso 1, Kafono et Soutè, moyenne (CV= 10-11,4) à Yanfolila, Komé, Néresso, Oualia et N'Gloklola, et assez importante (CV= 20,8 %) à Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Bougoumbala (CV= 7,3 %) et Gouinso 2 (CV= 20,8 %), respectivement. Cette grande variation de la longueur des fruits à Gouinso 2 serait liée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

L'effet de l'environnement sur la longueur des fruits de *D. microcarpum* est confirmé par Vogt (1995) au Soudan, où des petits fruits sont observés dans les savanes des zones sèches par rapport aux zones humides.

Des mesures similaires qui sont réalisées sur d'autres espèces savaniques au Sénégal (Soloviev *et al.*, 2004) montrent une variation inter-populations moyenne de 11,4 % chez *Adansonia digitata* L. (Bombacaceae), 3,4 % chez *T. indica* et 4 % chez *Balanites aegyptiaca* L. (Balanitaceae). On en déduit que la variation inter-populations est moyenne chez *D. microcarpum* au Mali et *A. digitata* au Sénégal.

4.4.5.2 Epaisseur des fruits (tableau 27)

Tableau 27: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour l'épaisseur des fruits (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	22,6	21,8	23,6	21,5	23,8	21,6	22,3	21,6	21,5	20,7	22	22,1	21,4
E.T	2,2	4,5	1,4	2,5	1,5	1,7	1,3	1,8	1,5	1,4	1,7	1,8	2,1
CV	9,7	20,6	5,9	11,6	6,3	7,9	5,8	8,3	7	6,8	7,7	8,1	9,8
Moy.pop.	22,05												
E.T. pop.	1,95												
CV.pop.	8,84												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Les fruits des populations maliennes de *D. microcarpum* mesurent $22,05 \pm 1,95$ mm d'épaisseur. Les valeurs minimale et maximale sont de $20,7 \pm 1,4$ mm à Néresso et $23,8 \pm 1,5$ mm à Bougoumbala. La différence entre ces deux populations qui ont en commun un même type de sols, est liée probablement à la pluviométrie, car Bougoumbala est situé dans la partie méridionale du sud du Mali qui reçoit en moyenne 1200 mm de pluie par an.

La variation inter-populations est assez importante parce que la valeur du CV (CV= 22,05 %) est comprise entre 15 % et 44 %.

L'examen du tableau 27 indique une variation intra-populations faible (CV= 5,8-9,8 %) à Kafono, Gouinso 1, Bougoumbala, Néresso, Mougna, Oualia, Farako, Soutè, Komé, Yanfolila et Lougourogombo, moyenne (CV= 11,6 %) à N'Gloklola et assez importante à Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus faible et la plus élevée sont observées à Kafono (CV= 5,8 %) et Gouinso 2 (CV= 20,6 %), respectivement. Cette grande variation de l'épaisseur des fruits à Gouinso 2 est liée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

La littérature rapporte que les fruits de *D. microcarpum* en Afrique de l'Ouest mesurent 25 à 50 mm (Arbonnier, 2000), 30 à 40 mm (Berhaut, 1975) et 30 à 80 mm (Baumer, 1995) de large.

4.4.5.3 Poids des fruits (tableau 28)

Tableau 28: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le poids des fruits (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	11,8	10,9	12,3	10,3	12,6	11,7	10,5	9,7	9,3	8,7	9,8	10,7	13,2
E.T	3,1	3,4	2	2,7	2,2	2	1,9	2,1	1,9	1,8	2,2	2,4	3,1
CV	26,3	31,2	16,3	26,2	17,5	17,1	18,1	21,6	20,4	20,7	22,4	22,4	23,5
Moy.pop.	10,89												
E.T. pop.	2,67												
CV.pop.	24,51												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Les fruits de *D. microcarpum*, séchés pendant deux semaines, pèsent en moyenne 10,89 ± 2,67 g. Le poids varie entre un minimum de 8,7 ± 1,8 g à Mougna et un maximum de 13,2 ± 3,1 g à Lougourogombo. La grandeur du poids à Lougourogombo est liée à l'humidité élevée de ses sols, puisque Lougourogombo se trouve dans une vallée.

La variation inter-populations de *D. microcarpum* est assez importante, parce que la valeur du CV est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation intra-populations est homogène et appartient à la classe de variation assez importante. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Gouinso 1 (CV= 16,3 %) et Gouinso 2 (CV= 31,2 %), respectivement. Cette grande variation du poids des fruits à Gouinso 2 est liée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Des mesures similaires sont effectuées sur des fruits de *A. digitata*, *T. indica* et *B. aegyptiaca* récoltés au Sénégal (Soloviev *et al.*, 2004), qui pèsent 269,6 ± 77,10 g, 8,82 ± 2,64 g et 4,04 ± 0,64 g, respectivement.

On en déduit que les fruits de *D. microcarpum* mesurés au Mali (Pf= 10,89 ± 2,67 g) sont plus lourds que ceux de *T. indica* et *B. aegyptiaca*, mais 25 fois plus légers que ceux de *A. digitata*.

4.4.5.4 Rapport entre la longueur des fruits et l'épaisseur des fruits (tableau 29)

Tableau 29: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre la longueur des fruits et l'épaisseur des fruits (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	1,61	1,66	1,58	1,73	1,56	1,8	1,62	1,53	1,53	1,56	1,53	1,6	1,83
E.T	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
CV	6,2	18,1	6,3	11,6	12,8	11,1	12,3	6,5	6,5	12,8	13,1	12,5	10,9
Moy.pop.	1,63												
E.T. pop.	0,18												
CV.pop.	11,04												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Le rapport moyen entre la longueur des fruits et l'épaisseur des fruits est de $1,63 \pm 0,18$. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Komé ($1,53 \pm 0,1$), Mougna ($1,53 \pm 0,1$) et Oualia ($1,53 \pm 0,2$), et Lougourogombo ($1,83 \pm 0,2$), respectivement.

Au sens SADT (1962), le rapport entre la longueur et l'épaisseur des fruits de *D. microcarpum* se situe dans la série 3 correspondant aux rapports 2:1 et 3:2. Ceci indique que les fruits sont de formes elliptique et biconvexe, ce qui n'a pas été signalé dans aucune littérature jusqu'à présent. C'est la forme biconvexe qui est plus répandue sur l'aire de répartition naturelle au Mali.

La variation inter-populations est moyenne, parce que la valeur du CV (CV= 11,04 %) est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation observée à l'intérieur des populations est faible (CV= 6,2-6,5 %) à Yanfolila, Gouinso 1, Komé et Mougna, moyenne (CV= 10,9-13,1 %) à Lougourogombo, Soutè, Oualia, Néresso, Kafono, Farako, Bougoumbala et N'Gloklola, et assez importante à Gouinso 2 (CV= 18,1 %) due à la présence des formes elliptique et biconvexe. Les valeurs du CV la plus petite et la plus grande sont observées à Yanfolila (CV= 6,2 %) et Gouinso 2 (CV= 18,1 %), respectivement. La grandeur de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Selon la littérature, les formes des fruits de *D. microcarpum* sont, soit aplaties (Kerharo & Adam, 1974; Adjanohoun *et al.*, 1980), soit ovoïdes ou globuleuses (Arbonnier, 2000).

Nos propres observations infirment les formes attribuées aux fruits de *D. microcarpum* par la littérature qui ne fournit pas, cependant, les méthodes de détermination de celles-ci.

On en déduit que les fruits des populations maliennes de *D. microcarpum* se détachent de la littérature à raison de ses formes elliptique et biconvexe, ce qui constitue un élément capital et innovateur pour la description botanique de l'espèce.

Il ressort des mesures effectuées sur les fruits de *D. microcarpum* que: (1) la population de Néresso renferme des fruits plus petits, plus légers et les moins épais; (2) la population de Lougourogombo renferme des fruits plus épais et les plus longs; (3) la population de Bougoumbala est caractérisée par des fruits très épais; et (4) la population de Gouinso 2 est caractérisée par une grande variation pour les dimensions des fruits (longueur, épaisseur et poids).

La description des fruits ainsi faite, constitue un élément précieux pour les futurs programmes de sélection variétale et clonale pour la production fruitière et la transformation technologique des fruits de *D. microcarpum*. La conjonction de ces résultats et la consommation des fruits crus ou cuits par les communautés maliennes justifient la nécessité de domestiquer *D. microcarpum* pour lutter contre la pauvreté par l'augmentation des revenus.

4.4.6 Descripteurs morphologiques de l'endocarpe

4.4.6.1 Longueur de l'endocarpe (tableau 30)

Tableau 30: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la longueur de l'endocarpe (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	33,1	31	33,9	32,7	33,8	35,5	32,5	28,5	29,8	28,2	30,8	32,7	36,7
E.T	3,6	6,9	3	4,4	2,4	2,8	3,4	3,4	2,6	3,1	3,1	3,1	3,1
CV	10,9	22,2	8,8	13,4	7,1	7,9	10,5	11,9	8,7	11	10,1	9,5	8,4
Moy.pop.	32,25												
E.T. pop.	4,00												
CV.pop.	12,4												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

L'endocarpe de *D. microcarpum* mesure $32,25 \pm 4,0$ mm de long. Cette longueur varie entre $28,2 \pm 3,1$ mm à Néresso et $36,5 \pm 3,1$ mm à Lougourogombo. L'observation de petits endocarpes à Néresso est liée aux facteurs environnementaux, puisque les plus petits endocarpes sont rencontrés surtout dans l'unité agro-écologique soudanienne nord représentée ici par Mougna, Komé et Néresso.

La variation inter-populations est moyenne, puisque la valeur du CV (CV= 12,4 %) est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation intra-populations est faible (CV= 7,1-9,5 %) à Bougoumbala, Farako, Lougourogombo, Gouinso 1 et Soutè, moyenne (CV= 10,1-13,4 %) à Oualia, Kafono, Yanfolila, Néresso, Komé et N'Gloklola, et assez importante (CV= 22,2 %) à Gouinso 2. Les valeurs du CV la petite et la plus élevée sont observées à Bougoumbala (CV= 7,1 %) et Gouinso 2 (CV= 22,2 %), respectivement. La grandeur de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

4.4.6.2 Epaisseur de l'endocarpe (tableau 31)

Tableau 31: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour l'épaisseur de l'endocarpe (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	14,1	10,9	14,5	12,3	14,3	13,7	13,7	11	13,1	11,2	13,8	13,4	13,9
E.T	1,6	3	1,4	2,1	1,1	1,2	1,1	1,4	1	1,6	1,3	1,1	1,0
CV	11,3	27,5	9,6	17,1	7,7	8,6	8	12,7	7,6	14,3	9,4	8,2	7,2
Moy.pop.	13,06												
E.T. pop.	1,8												
CV.pop.	13,78												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

L'endocarpe des populations maliennes mesure $13,06 \pm 1,8$ mm d'épaisseur. Cette épaisseur varie entre $10,9 \pm 3$ mm à Gouinso 2 et $14,5 \pm 1,4$ mm à Gouinso 1. Cette différence entre ces deux populations n'est pas liée aux facteurs agro-écologiques, car elles appartiennent toutes à l'unité agro-écologique soudano-guinéenne, mais dépendrait surtout des facteurs édaphiques.

La variation inter-populations est moyenne, puisque la valeur du CV (CV= 13,78 %) est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation intra-populations est faible (CV= 7,2-9,6 %) à Lougourogombo, Mougna, Bougoumbala, Kafono, Soutè, Farako, Oualia et Gouinso 1, moyenne (CV= 11,3-14,3 %) à Yanfolila, Komé et Néresso, et assez importante (CV= 17,1-27,5 %) à N'Gloklola et Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont rencontrées à Lougourogombo (CV= 7,2 %) et Gouinso 2 (CV= 27,5 %), respectivement. L'importance de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

4.4.6.3 Rapport entre la longueur et l'épaisseur de l'endocarpe (tableau 32)

Tableau 32: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre la longueur et l'épaisseur de l'endocarpe (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	2,4	2,8	2,3	2,7	2,4	2,6	2,4	2,6	2,3	2,6	2,2	2,5	2,6
E.T	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2
CV	8,3	21,4	13	11,1	12,5	11,5	8,3	11,5	8,7	15,3	9,1	12	7,7
Moy.pop.	2,49												
E.T. pop.	0,32												
CV.pop.	12,85												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Le rapport moyen entre la longueur et l'épaisseur de l'endocarpe est de $2,49 \pm 0,32$. Les valeurs minimale et maximale du rapport sont observées à Oualia (KM= $2,2 \pm 0,2$) et Gouinso 2 (KM= $2,8 \pm 0,6$), respectivement.

La variation inter-populations est moyenne, puisque la valeur du CV (CV= 12,85 %) est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation intra-populations est faible (CV= 7,7-9,1 %) à Lougourogombo, Yanfolila, Kafono, Oualia et Mougna, moyenne (CV= 11,1-13 %) à N'Glouklola, Farako, Komé, Soutè, Bougoumbala et Gouinso 1, et assez importante (CV= 15,3-21,4 %) à Néresso et Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Lougourogombo (CV= 7,7 %) et Gouinso 2 (CV= 21,4 %), respectivement. La grandeur de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Il ressort des mesures effectuées sur l'endocarpe que: (1) la population de Lougourogombo est caractérisée par un endocarpe plus long; (2) la population de Néresso est caractérisée par un endocarpe plus petit; (3) la population de Gouinso 1 est caractérisée par un endocarpe plus épais; et (4) la population de Gouinso 2 est caractérisée par une grande variation pour les dimensions de l'endocarpe (longueur, épaisseur et rapport KM).

4.4.7 Descripteurs morphologiques des graines

4.4.7.1 Longueur des graines (tableau 33)

Tableau 33: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour la longueur des graines (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	17,9	17,6	19	17,5	18,8	20,7	18,7	17,1	17,4	17,1	17,0	18	19,9
E.T	1,5	3,7	1,6	2,6	1,4	1,6	2	2,2	1,9	1,7	1,3	1,8	1,4
CV	8,4	21,0	8,4	14,9	7,4	7,7	10,7	12,9	10,9	9,9	7,6	10,0	7,0
Moy.pop.	18,21												
E.T. pop.	2,1												
CV.pop.	11,53												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.: coefficient de variation de la population (%)

Les graines des populations maliennes mesurent $18,21 \pm 2,1$ mm de long. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Oualia ($L_g = 17,0 \pm 1,3$ mm) et Farako ($L_g = 20,7 \pm 1,6$ mm), respectivement.

La variation inter-populations est moyenne, puisque la valeur du CV (CV= 11,53 %) est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation intra-populations est faible (CV= 7-9 %) à Lougourogombo, Bougoumbala, Oualia, Farako, Yanfolila, Gouinso 1 et Néresso, moyenne (CV= 10-14,9) à Soutè, Kafono, Mougna et N'Gloklola, et assez importante (CV= 21,0 %) à Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Lougourogombo (CV= 7,0 %) et Gouinso 2 (CV= 21,0 %). L'importance de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Selon Lovett & Haq (2000), la variation inter-populations pour la longueur des graines de *V. paradoxa* au Ghana est moyenne (CV= 11,7 %), tandis que celle de *P. biglobosa* en Afrique de l'Ouest (Ouédraogo, 1995) est assez importante (CV= 25 %). Il ressort que la longueur des graines de *D. microcarpum* mesurées au Mali (CV= 11,53 %) et de *V. paradoxa* mesurées au Ghana est presque du même ordre de grandeur. La différence de variation observée entre ces deux espèces et *P. biglobosa* peut être expliquée par la taille de l'échantillonnage, car l'étude de *P. biglobosa* a couvert cinq pays.

4.4.7.2 *Épaisseur des graines* (tableau 34)**Tableau 34:** Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour l'épaisseur des graines (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	8,1	7,1	7,9	6,7	8,3	7,6	7,6	7,5	8,0	7,5	7,9	7,8	7,9
E.T	1,1	1,8	0,8	1,6	0,9	0,7	0,7	1	0,4	0,7	0,7	0,7	0,8
CV	13,6	25,3	10,1	23,9	10,8	9,2	9,2	13,3	5,0	9,3	8,9	9	10,1
Moy.pop.	7,69												
E.T. pop.	0,99												
CV.pop.	12,87												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Les graines des populations maliennes mesurent $7,69 \pm 0,99$ mm d'épaisseur. Cette épaisseur varie entre $7,1 \pm 1,8$ mm à Gouinso 2 et $8,3 \pm 0,9$ mm à Bougoumbala.

La variation inter-populations est moyenne, puisque la valeur du CV (CV= 12,87 %) est comprise entre 10 % et 15 %.

La variation intra-populations est faible (CV= 5-9,3 %) à Mougna, Oualia, Soutè, Néresso, Kafono et Farako, moyenne (CV= 10,1-13,6 %) à Lougourogombo, Gouinso 1, Yanfolila, Bougoumbala et Komé, assez importante (CV= 23,9-25,3 %) à N'Gloklola et Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Mougna (CV= 5,0 %) et Gouinso 2 (CV= 25,3 %). L'importance de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Selon Ouédraogo (1995) et Lovett & Haq (2000), la variation inter-populations est surtout faible chez *P. biglobosa* en Afrique de l'Ouest (CV= 6,64 %) et *V. paradoxa* au Ghana (CV= 9,3 %), respectivement. Par contre, elle est moyenne chez *D. microcarpum* au Mali (CV= 12,87 %). Ceci dénote que l'épaisseur des graines de *D. microcarpum* est plus sujette à l'environnement que celle des deux autres espèces.

4.4.7.3 Poids des graines (tableau 35)

Tableau 35: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le poids des graines (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	2,0	1,8	1,9	1,7	2,0	2,0	1,9	1,7	1,7	1,5	1,7	1,7	2,1
E.T	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
CV	20,0	27,8	15,8	23,5	15,0	15,0	21,0	23,5	17,6	20,0	17,6	17,6	19,0
Moy.pop.	1,83												
E.T. pop.	0,39												
CV.pop.	21,31												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Les graines des populations maliennes pèsent $1,83 \pm 0,39$ g . Le poids des graines varie entre $1,5 \pm 0,3$ g à Néresso et $2,1 \pm 0,4$ g à Lougourogombo. La grandeur du poids des graines à Lougourogombo est liée à l'humidité élevée de ses sols, puisque Lougourogombo se trouve dans une vallée.

La variation inter-populations et intra-populations est assez importante, puisque la valeur du CV (CV= 21,31 %) est comprise entre 15 % et 44 %. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée à l'intérieur des populations sont observées à Bougoumbala et Farako (CV= 5,0 %), et Gouinso 2 (CV= 27,8 %), respectivement. L'importance de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

D'autres auteurs trouvent que les différences de poids des graines sont dues surtout aux effets de l'environnement (Roach & Wulff, 1987 cités par Diallo, 2001), et ceci s'accorde avec les résultats de la présente étude menée sur *D. microcarpum*.

4.4.7.4 Rapport entre la longueur des graines et l'épaisseur des graines (tableau 36)

Le rapport moyen entre la longueur et l'épaisseur des graines des populations maliennes est de $2,44 \pm 0,42$. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Oualia (FLA= $2,1 \pm 0,3$) et Farako (FLA= $2,8 \pm 0,4$), respectivement.

Au sens SADT (1962), le rapport entre la longueur et l'épaisseur des graines de *D. microcarpum* se situe aux niveaux de 2:1 et 3:1. Ceci nous amène à qualifier ces graines de forme ovale.

Tableau 36: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre la longueur des graines et l'épaisseur des graines (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	2,3	2,6	2,5	2,7	2,3	2,8	2,5	2,3	2,2	2,3	2,1	2,3	2,5
E.T	0,3	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
CV	13,0	23,1	16,0	22,2	17,4	14,3	12,0	13,0	13,6	13,0	14,3	17,4	12,0
Moy.pop.	2,44												
E.T. pop.	0,42												
CV.pop.	17,21												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)



Figure 20: Forme ovale des graines de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

La variation inter-populations est moyenne, puisque la valeur du CV (CV= 17,21 %) est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation intra-populations est moyenne (CV= 12-14,3 %) à Lougourogombo, Yanfolila, Kafono, Mougna, Komé, Néresso, Oualia et Farako, et assez importante (CV= 16-23,1 %) à Gouinso 1, Bougoumbala, Soutè, N'Gloklola et Gouinso 2. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Lougourogombo et Kafono (CV= 12 %), et Gouinso 2 (CV= 23,1 %). L'importance de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Il ressort des mesures effectuées sur les graines que: (1) la population de Oualia est caractérisée par des graines plus petites; (2) la population de Lougourogombo est caractérisée par des graines plus lourdes; (3) la population de Farako est caractérisée par des graines plus

longues; (4) la population de Bougoumbala est caractérisée par des graines plus épaisses; (5) la population de N'Gloklola est caractérisée par des graines les moins épaisses; (6) la population de Gouinso 2 est caractérisée par une grande variation pour les dimensions des graines (longueur, épaisseur, poids et forme).

Les résultats de la présente qui traitent pour la première fois la forme des graines de *D. microcarpum*, sont d'un apport considérable, car ils contribueront à renforcer les critères de description botanique de l'espèce.

4.4.8 Autres descripteurs

4.4.8.1 Rapport entre le poids des fruits et le poids des graines (tableau 37)

Tableau 37: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour le rapport entre le poids des fruits et le poids des graines (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	6,1	5,9	6,3	6,1	6,3	5,8	5,7	5,8	5,4	5,8	5,9	6,1	6,3
E.T	4,4	3,2	0,9	2	1,3	1	0,9	2,1	0,8	0,7	0,8	1,2	0,9
CV	72,1	54,2	14,3	32,8	20,6	17,2	15,8	36,2	14,8	12,1	13,6	19,7	14,3
Moy.pop.	5,97												
E.T. pop.	0,98												
CV.pop.	16,41												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

Le rapport moyen entre le poids des fruits et le poids des graines des populations maliennes est de $5,97 \pm 0,98$. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Mougna (PP= $5,4 \pm 0,8$), et Gouinso 1 (PP= $6,3 \pm 0,9$), Bougoumbala (PP= $6,3 \pm 1,3$), Lougourogombo (PP= $6,3 \pm 0,9$), respectivement.

La variation inter-populations est assez importante, puisque la valeur du CV (CV= 16,41 %) est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation intra-populations est moyenne (CV= 12,1-14,8 %) à Néresso, Oualia, Lougourogombo, Gouinso 1 et Mougna, assez importante (CV= 15,8-36,2 %) à Kafono, Farako, Soutè, Bougoumbala, N'Gloklola et Komé, et importante (CV= 54,2-72,1 %) à Gouinso 2 et Yanfolila. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Néresso (CV= 12,1 %) et Yanfolila (CV= 72,1 %), respectivement.

4.4.8.2 *Épaisseur de la pulpe* (tableau 38)**Tableau 38:** Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour l'épaisseur de la pulpe des fruits (N= 324)

Variable	Population												
	Y	G2	G1	NGO	B	F	Ka	K	M	N	OU	S	LG
Moy.	8,5	10,9	9,1	9,2	9,5	7,9	8,6	10,6	8,4	9,5	8,3	8,8	7,5
E.T	1,7	2,6	1,1	1,8	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,6	0,9	1,3	1,5
CV	20,0	23,8	12,1	19,6	11,6	13,9	13,9	10,4	14,3	16,8	10,8	14,8	20,0
Moy.pop.	8,99												
E.T. pop.	1,62												
CV.pop.	18,02												

Moy.: moyenne; E.T: écart-type; CV: coefficient de variation (%); Moy.pop.: moyenne de la population; E.T.pop.: écart-type de la population; CV.pop.:coefficient de variation de la population (%)

La pulpe des fruits des populations maliennes a une épaisseur de $8,99 \pm 1,62$ mm. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Lougourogombo ($Ep= 7,5 \pm 1,5$ mm) et Gouinso 2 ($Ep= 10,9 \pm 2,6$ mm), respectivement.

La variation inter-populations est assez importante, puisque la valeur du CV (CV= 18,02 %) est comprise entre 15 % et 44 %.

La variation intra-populations est moyenne (CV= 10,4-14,8 %) à Komé, Oualia, Bougoumbala, Gouinso 1, Farako, Kafono, Mougna et Soutè, et assez importante (CV= 16,8-23,8 %) à Néresso, Lougourogombo, N'Gloklola, Gouinso 2 et Yanfolila. Les valeurs du CV la plus petite et la plus élevée sont observées à Komé (CV= 10,4 %) et à Gouinso 2 (CV= 23,8 %). L'importance de la variation à l'intérieur de Gouinso 2 peut être attribuée à l'hétérogénéité topographique de ce site qui renferme des individus sur le bas, sur les versants et au sommet de la colline.

Il ressort des mesures effectuées sur la pulpe que: (1) la pulpe des fruits de Lougourogombo est la moins épaisse; et (2) celle de Gouinso 2 est la plus épaisse.

Les résultats montrent que l'épaisseur de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* ne sont pas liés ni aux sols ni à leur profondeur. Donc, d'autres facteurs non édaphiques expliquent son développement. Etant la seule partie comestible, elle constitue un critère de choix variétal pour la production et à la transformation de la pulpe. La mesure de ce descripteur justifie la mise au point de modèles de domestication de l'espèce pour assurer un approvisionnement constant de la pulpe en vue de lutter contre la faim.

4.4.9 Corrélations

Tableau 39: Corrélations entre les descripteurs morphologiques

	FL	KM	FLA	PP	Ep	dp	Lfe	Nfo	Lfo	lafo	Sfo
FL	1	0,5676	0,8180	0,2508	-0,4220	0,0743	-0,1389	-0,0106	-0,0506	0,3556	0,1994
KM	0,5676	1	0,6938	0,1762	0,4626	0,1903	-0,1690	-0,3798	-0,1892	0,0091	-0,0601
FLA	0,8180	0,6938	1	0,2797	-0,0141	0,1107	0,0402	-0,1578	0,0062	0,1297	0,0797
PP	0,2508	0,1762	0,2797	1	0,0888	0,4215	0,4841	0,4399	0,4824	0,2504	0,4205
Ep	-0,4220	0,4626	-0,0141	0,0888	1	0,3342	0,2264	-0,2951	0,1078	-0,2011	-0,0485
Dp	0,0743	0,1903	0,1107	0,4215	0,3342	1	0,7243	0,2827	0,7687	0,6094	0,7845
Lfe	-0,1389	-0,1690	0,0402	0,4841	0,2264	0,7243	1	0,4697	0,8611	0,3649	0,6382
Nfo	-0,0106	-0,3798	-0,1578	0,4399	-0,2951	0,2827	0,4697	1	0,3890	0,1352	0,2724
Lfo	-0,0506	-0,1892	0,0062	0,4824	0,1078	0,7687	0,8611	0,3890	1	0,6052	0,8419
lafo	0,3556	0,0091	0,1297	0,2504	-0,2011	0,6094	0,3649	0,1352	0,6052	1	0,9316
Sfo	0,1994	-0,0601	0,0797	0,4205	-0,0485	0,7845	0,6382	0,2724	0,8419	0,9316	1

Les chiffres en gras indiquent des corrélations significatives au seuil de 5 %.

Il se dégage que le nombre de folioles par feuille de *D. microcarpum* est significativement et négativement corrélé à l'épaisseur de la pulpe ($r = -0,29$). Nous interprétons que le nombre de folioles est inversement proportionnel à l'épaisseur de la pulpe. Ceci signifie que plus l'individu a beaucoup de folioles, moins la pulpe de ses fruits est moins épaisse.

Des corrélations significatives et positives sont observées entre le rapport entre le poids des fruits et le poids des graines, et certains descripteurs foliaires tels que le diamètre du pétiole ($r = 0,42$), la longueur des feuilles ($r = 0,48$), le nombre de folioles ($r = 0,44$), la longueur des folioles ($r = 0,48$) et la surface des folioles ($r = 0,42$).

4.4.10 Influence de l'environnement sur les descripteurs morphologiques (tableau 40)

Des corrélations significatives et positives sont observées entre les descripteurs la circonférence ($C_{1,30m}$), la hauteur de la première ramification basale (Hr), le rapport longueur des fruits/épaisseur des fruits (FL), le rapport longueur de l'endocarpe/épaisseur de l'endocarpe (KM) et le rapport longueur des feuilles/longueur des folioles (LFT), et l'altitude. Ceci signifie que ces descripteurs augmentent avec l'altitude. Tandis que l'épaisseur des fruits (laf) et de l'endocarpe (lac) est significativement et négativement corrélée à l'altitude, ce qui signifie que ces deux descripteurs augmentent quand l'altitude est faible.

Les résultats montrent des corrélations significatives et positives entre la circonférence ($C_{1,30m}$) et la hauteur de la première ramification basale (Hr), et la latitude. Ceci indique que ces deux descripteurs augmentent avec la latitude. Tandis que l'épaisseur des fruits (laf), le rapport longueur des graines/épaisseur des graines (FLA), l'épaisseur de la pulpe (Ep), le diamètre du pétiole (Dp), la longueur des feuilles (Lfe), la longueur du pétiolule (Lp), le rapport longueur des feuilles/longueur des folioles (LFT) et le rapport longueur des folioles/largeur des folioles (LFA)

sont significativement et négativement corrélés à la latitude. Ceci signifie que ces descripteurs augmentent quand la latitude est faible

Tableau 40: Corrélations entre les coordonnées géographiques des populations de *Detarium microcarpum* et les descripteurs morphologiques (N= 324-350)

Descripteur	Coordonnée géographique		
	Altitude	Latitude	Longitude
C _{1,30m}	0,33	0,56	-0,08
Hr	0,17	0,19	0,10
Lf	0,05	-0,06	-0,10
laf	-0,19	-0,17	-0,28
Pf	0,02	-0,01	-0,27
Lc	0,06	0,01	-0,10
Lac	-0,16	-0,03	-0,18
LG	0,08	-0,05	-0,01
Lag	-0,09	0,05	-0,22
Pg	-0,02	-0,08	-0,19
FL	0,20	0,07	0,12
FLA	0,11	-0,13	0,14
KM	0,23	0,02	0,07
PP	0,03	0,03	-0,15
Ep	-0,04	-0,17	-0,14
Dp	-0,07	-0,19	-0,21
Lfe	-0,06	-0,30	-0,02
Nfo	0,05	-0,07	0,02
Lfo	-0,13	-0,23	-0,05
lafo	-0,02	0,003	-0,04
Sfo	-0,09	-0,10	-0,08
Lp	-0,09	-0,19	-0,06
LFT	0,14	-0,18	0,12
LFA	-0,07	-0,31	0,08
LPT	0,04	-0,10	0,25
Altitude	1	0,40	0,33
Latitude	0,40	1	-0,05
Longitude	0,33	-0,05	1

Les chiffres en gras indiquent des corrélations significatives au seuil de 5 %.

Des corrélations significatives et positives sont observées entre le rapport longueur fruit/épaisseur fruit (FL), le rapport longueur des graines/épaisseur des graines (FLA), le rapport longueur des feuilles/longueur des folioles (LFT) et le rapport longueur des folioles/longueur des pétioles (LPT), et la longitude. Ceci indique que ces descripteurs augmentent avec la longitude. Tandis que l'épaisseur des fruits (laf), le poids des fruits (Pf), l'épaisseur de l'endocarpe (lac), l'épaisseur des graines (lag), le poids des graines (Pg), le rapport poids des fruits/poids des graines (PP), l'épaisseur de la pulpe (Ep) et le diamètre des pétioles (Dp) sont significativement et négativement corrélés à la longitude. Ceci indique que ces descripteurs augmentent quand la longitude est faible

Cependant, les résultats montrent des descripteurs qui ne sont pas corrélés aux coordonnées géographiques. Il s'agit de la longueur des fruits (Lf), la longueur de l'endocarpe (Lc), la longueur des graines (Lg), le nombre de folioles (Nfo), la longueur des folioles (Lfo), la largeur des folioles (lafo) et la surface foliaire (Sfo). Nous interprétons l'absence de corrélations par la prédominance des génomes.

4.4.11 Analyse en composantes principales (tableau 41)

Tableau 41: Valeurs propres et contribution relative des descripteurs à la formation des différents axes

Composante principale	Axe 1	Axe 2
Valeur propre	4,3799	2,9745
% de variabilité	0,3650	0,2479
Variabilité cumulative %	0,3650	0,6129
FL	0,0856	0,2222
KM	-0,0169	0,5395
FLA	0,0702	0,3925
PP	0,2941	0,0956
Ep	0,0153	0,3681
dp	0,4104	0,1448
Lfe	0,3955	-0,0222
Nfo	0,2329	-0,3079
Lfo	0,4382	-0,0352
lafo	0,3623	-0,0153
Sfo	0,4429	-0,0151

Nous avons retenu les deux premiers axes pour la description de la variabilité totale des populations maliennes de *D. microcarpum*, parce que les composantes principales ont des valeurs propres supérieures à 1. Les chiffres en gras sont supérieurs au seuil de 30 % fixé.

Chaque axe a été caractérisé par des descripteurs ayant une corrélation supérieure à 0,30 (en valeur absolue), car selon la littérature (Philippeau, 1986; Johnson & Wichern, 1998), un axe donné est caractérisé par des variables qui ont les plus forts coefficients de corrélation (en valeur absolue).

Les deux axes choisis de valeur propre supérieure à 1 représentent 61 % de la variabilité totale des populations de *D. microcarpum*.

L'axe 1 qui décrit 36 % de la variation totale, est défini par cinq descripteurs à savoir la longueur des feuilles (Lfe), le diamètre du pétiole (Dp), la longueur des folioles (Lfo), la largeur des folioles (lafo) et la surface des folioles (Sfo). Cet axe est celui des descripteurs foliaires.

Le deuxième axe qui décrit 25 % de la variation totale, est également défini par quatre descripteurs à savoir la forme de l'endocarpe (KM), la forme des graines (FLA), l'épaisseur de

la pulpe (Ep) et le nombre de folioles (Nfo). Cet axe est celui des rapports spécifiques des fruits qui varient en fonction du nombre de folioles par feuille de *D. microcarpum*.

La répartition des populations maliennes de *D. microcarpum* dans le plan défini par les axes 1 et 2 se trouve dans la figure 21.

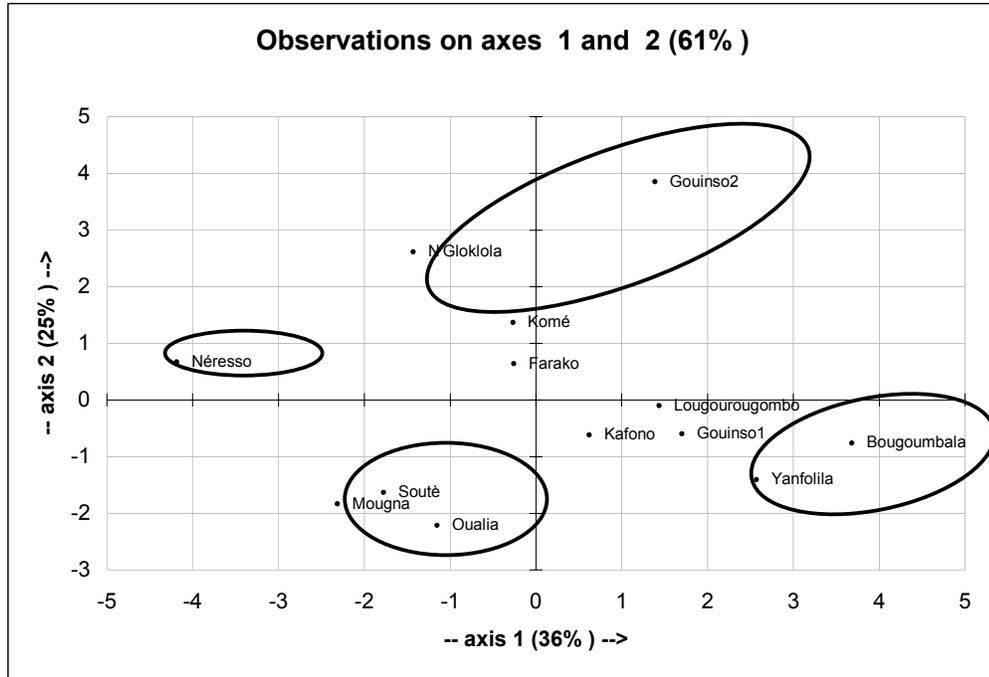


Figure 21: Répartition des populations de *Detarium microcarpum* dans le plan défini par les axes 1 et 2.

Au niveau de l'axe 1 (figure 21), les populations de Gouinso 2, Yanfolila et Bougoumbala renferment des descripteurs foliaires qui ont un développement végétatif plus vigoureux, tandis que ceux de Néresso et de Mougna sont moins vigoureux. Ceci dénote une forte manifestation de la vigueur des descripteurs foliaires dans la partie méridionale du sud du Mali, parmi l'ensemble des populations étudiées.

Au niveau de l'axe 2 (figure 21), on note une opposition entre les populations de Gouinso 2 et de N'Gloklola d'une part, et entre celles de Oualia, Mougna, Soutè et les populations de Bougoumbala et de Yanfolila, d'autre part. Il ressort que les populations de Gouinso 2 et de N'Gloklola sont caractérisées par des valeurs les plus élevées des descripteurs spécifiques des fruits et par des feuilles moins pourvues en folioles, tandis que celles de Oualia, Mougna, Soutè et Bougoumbala renferment des descripteurs spécifiques les moins vigoureux, mais elles sont plus pourvues en folioles.

L'examen de la répartition des populations de *D. microcarpum* dans le plan défini par les axes 1 et 2, permet de faire les regroupements suivants:

- un premier groupe composé des populations de Gouinso 2 et N'Gloklola: ces deux populations sont situées au sud du Mali, mais appartiennent à deux unités agro-écologiques différentes et occupent des sols différents (tableau 14). Cependant, elles ont des pétioles de même longueur et un même nombre minimal de folioles. Les résultats montrent que ce groupe ne suit pas son origine géographique, donc il est influencé par des facteurs liés au génome;
- un deuxième groupe constitué uniquement de la population de Néresso: ce groupe est le seul à occuper des sols peu évolués sur grès (tableau 14). Il est caractérisé par des petits fruits, les moins épais et les plus légers, des petits endocarpes et des graines plus légères. Il s'ensuit que ce groupe est tributaire des conditions édaphiques et corrobore les données du tableau 14;
- un troisième groupe composé des populations de Soutè, Mougna et Oualia: ces trois populations ont en commun le même type de sols (sols peu évolués sur cuirasse, peu profonds) et un même nombre minimal de folioles par feuille, des pétioles de même diamètre et des graines de même poids. Il ressort que ce groupe est tributaire des conditions édaphiques et corrobore les données du tableau 14; et
- un quatrième groupe composé des populations de Bougoumbala et Yanfolila: ces deux populations, situées au sud du Mali, appartiennent à une même unité agro-écologique, c'est-à-dire le soudano-guinéen (tableau 14). Elles sont caractérisées par un nombre élevé de folioles par feuille, des pétioles de même diamètre, des pétioles longs, et des graines épaisses et lourdes, .

Les résultats montrent que l'ensemble des groupes constitués suit l'origine géographique, à l'exception du groupe 1 composé de Gouinso 2 et N'Gloklola. Ce qui revient à dire que la variabilité morphologique de *D. microcarpum* est influencée par le génome et l'environnement.

Parmi les descripteurs discriminants sur les deux axes, ceux liés à la foliole (Sfo, Lfo, lafo et Nfo) ne sont pas corrélés à aucune des coordonnées géographiques (tableau 39). Ceci indique qu'ils sont régis par des mécanismes liés au génome.

La diversité morphologique ainsi mise en évidence se traduit par des différences de vigueur des feuilles et du nombre de folioles par feuille.

On peut conclure que le nombre de folioles, la longueur des folioles, la largeur des folioles, la surface foliaire et l'épaisseur de la pulpe sont d'intéressants descripteurs pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique de *D. microcarpum* en vue de déboucher à sa domestication.

4.5 Conclusions

La caractérisation pédologique des sols de la zone d'étude montre que *D. microcarpum* se rencontre surtout sur les sols peu évolués sur cuirasse, ce qui est intéressant pour le processus de domestication.

L'étude montre l'absence de corrélation entre les descripteurs morphologiques de la foliole et les coordonnées géographiques, et une assez importante variabilité inter-populations et intra-populations pour l'ensemble des descripteurs.

Les résultats montrent que les feuilles sont paripennées et/ou imparipennées avec des folioles de forme triangulaire-ovale, et des fruits de formes elliptique et biconvexe. Ils montrent que les individus à première ramification basale la plus proche du sol, à fruits les plus petits, les plus légers et les moins épais sont rencontrés à Néresso sur sols peu évolués sur grès et situé dans la partie septentrionale du sud du Mali. On rencontre les fruits avec une pulpe plus épaisse à Gouinso 2 qui est situé à l'extrême sud du Mali. Les individus à gros tronc sont observés à Lougourogombo.

Les descripteurs performants sur le plan végétatif sont la longueur de la foliole, la largeur de la foliole, la surface de la foliole, le nombre de foliole, l'épaisseur de la pulpe, la longueur des fruits, la longueur de l'endocarpe et la longueur des graines.

L'analyse en composantes principales révèle que l'ensemble des groupes de populations suit l'origine géographique, sauf le groupe composé de Gouinso 2 et N'Gloklola.

Nous connaissons maintenant les dimensions des caractéristiques dendrométriques, celles des feuilles, des fruits, de l'endocarpe et des graines des individus et des populations de *D. microcarpum* échantillonnés au Mali, sans oublier leur variation intra-et-inter-populations. La connaissance de la variation intra-populations est utile pour la sélection et l'amélioration génétique, parce qu'elle permet d'élargir l'échantillonnage des génomes.

Les résultats de la présente étude ont mis en évidence des caractéristiques recherchées pour la sélection d'individus performants. On peut citer en exemples la variation intra-populations, la taille des fruits, des feuilles, de l'endocarpe et des graines, et l'épaisseur de la pulpe

Ces informations issues des milliers de mesures, constituent donc un préalable pour entreprendre des programmes de sélection variétale et clonale, et d'amélioration génétique. Ces programmes viseront à mettre au point des variétés répondant à la préoccupation des communautés locales qui est entre autres la satisfaction des besoins en produits ligneux et non ligneux. Pour rendre ces variétés plus accessibles de façon durable et le plus près possible de ces communautés qui sont les principaux bénéficiaires, le seul moyen est de domestiquer *D.*

microcarpum en constituant des vergers ou des parcs ou des jardins de case ou en enrichissant les forêts privées, les forêts des collectivités locales et les forêts de l'Etat.

Ce travail présenté ici est capital pour les connaissances académiques, puisque c'est pour la première fois que *D. microcarpum* ait été suivie ou caractérisée de tellement près et de façon exhaustive et détaillée. Aussi, il peut constituer un élément d'une politique de développement socio-économique durable du Mali qui est fondée sur la lutte contre la pauvreté. Ici, nous entendons par durabilité, la recherche d'un compromis entre le social, l'économique et l'écologique. En d'autres termes, la satisfaction des besoins des populations maliennes en produits de *D. microcarpum* reposera sur l'accessibilité des marchés locaux à travers des filières bien organisées, le tout partant d'une exploitation rationnelle intégrée dans un processus d'aménagement participatif des formations forestières (naturelles et artificielles).

Le travail colossal réalisé ici, pourra avoir des influences positives notoires sur la conservation et l'utilisation durable de *D. microcarpum* et le niveau des conditions de vie quotidienne des communautés maliennes.

Le chapitre qui suit, présente les propriétés biochimiques de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* récoltés au Mali.

CHAPITRE 5

CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DE *DETARIUM MICROCARPUM*

5.1 Introduction

L'utilisation et la gestion durable des arbres demandent une caractérisation de leur matériel végétal sur le plan biochimique afin de différencier des individus performants. Selon Sounigo *et al.* (1997) et Zhang (2002), la description est nécessaire pour l'ensemble des activités d'amélioration génétique et de sélection variétale des plantes, car elle permet (1) de cibler les descripteurs biochimiques intéressants et (2) de connaître ceux qui sont liés aux facteurs environnementaux.

En Tunisie, la caractérisation des fruits de *Phoenix dactylifera* L. (Arecaceae) dans la région du Djérid a permis la sélection des variétés (Menakher, Boufagous) possédant de fortes teneurs en pulpe pour l'industrie dattière (Reynes *et al.*, 1994).

Malgré des études biochimiques réalisées sur *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae) rapportées par Woot-Tsuen (1968), Baumer (1975), Onweluzo *et al.* (1994), Onweluzo *et al.* (1995), Boffa (2000) et Akpata & Miachi (2001), celles portant sur la valeur Brix et le pH des pulpes sont rares. Les fruits (pulpes) étant la principale partie consommée crue ou cuite par les humains, on a donc analysé, dans ce qui suit, ses propriétés biochimiques pour contribuer à l'identification d'individus à partir de son aire de distribution géographique au Mali.

Par ailleurs, les ressources provenant des arbres et des forêts contribuent à la sécurité alimentaire et aux revenus des ménages en complétant les déficits agricoles saisonniers (Falconer & Arnold, 1988). Cependant, la composition biochimique, la valeur nutritive et les méthodes d'évaluation des parties comestibles restent méconnues pour la plupart des espèces soudano-sahéliennes du continent africain. Selon Leakey (1999), il y a une insuffisance d'informations sur la variation génétique de la valeur nutritive chez la plupart des espèces agroforestières comme base des programmes pour la sélection et l'amélioration génétique de ces espèces, en vue de les domestiquer.

Le travail de caractérisation biochimique de *D. microcarpum* présenté ici, permettra d'identifier des descripteurs clés et des populations prometteuses pour des programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de déboucher sur sa domestication pour le mieux-être des communautés maliennes.

5.2 Objectifs

Les objectifs spécifiques visent à identifier, évaluer et analyser les populations maliennes de *D. microcarpum* pour les programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de déboucher sur sa domestication.

5.3 Matériel et méthodes

L'évaluation des propriétés biochimiques de la pulpe des fruits comporte des tests organo-leptiques et des analyses biochimiques.

5.3.1 Evaluation sensorielle

Selon Claustrioux (2001), l'évaluation sensorielle permet de définir, de mesurer, d'analyser et d'interpréter les caractéristiques d'un produit par l'intermédiaire des organes de sens.

L'évaluation sensorielle de la pulpe a été réalisée au Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'Institut d'Economie Rurale basé à Bamako au Mali.

Partant du critère de différenciation paysan des individus de *D. microcarpum* lié au goût (chapitre 3), l'analyse sensorielle a porté sur un échantillon de trente pulpes prises sur des arbres plutôt petits ($30 \text{ cm} \leq C_{1,30\text{m}} < 60 \text{ cm}$) et sur de gros arbres ($60 \text{ cm} \leq C_{1,30\text{m}} \leq 120 \text{ cm}$). Ces échantillons sont pris sur des individus de Néresso (sols peu évolués sur grès), Gouinso 2 (sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur cuirasse) et Bougoumbala (sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions). Ces populations ont été choisies en fonction de la nature de leurs sols, en supposant que la nature du sol influe sur la qualité des fruits.

L'évaluation sensorielle est faite au moyen de la dégustation qui est exécutée par dix personnes choisies au hasard. Des notes sont attribuées en utilisant l'échelle hédonique suivante: (1) très sucré (7 points); (2) sucré (6 points); (3) moyennement sucré (5 points); (4) légèrement sucré (4 points); (5) acide (3 points); et (6) amer (2 points).

5.3.2 Evaluation des caractéristiques biochimiques de la pulpe

L'évaluation des caractéristiques biochimiques de la pulpe a concerné la matière sèche, la protéine, la valeur Brix, c'est-à-dire le taux de sucres solubles, la vitamine C et le pH. Le choix de ces descripteurs est guidé par les résultats de l'enquête ethnobotanique réalisée au sud du Mali (Chapitre 3) d'une part, et la littérature (Berhaut, 1975; Bergeret, 1990; Onweluzo *et al.*, 1994; Burkill, 1995; Schneider, 1996; Arbonnier, 2000; Dakouo, 2002; Garine, 2002) d'autre

part, qui trouvent que la pulpe est sucrée, riche en vitamine C et comestible. De plus, la plupart de ces descripteurs font partie des soixante éléments nutritifs essentiels proposés par Szolnoki (1985).

5.3.2.1 *Evaluation de la matière sèche et de la protéine*

L'évaluation de la matière sèche et de la protéine de la pulpe a été réalisée en 2001 au Laboratoire de Nutrition Animale de l'Institut d'Economie Rurale basé à Bamako au Mali, en utilisant la méthode proposée par Egan *et al.* (1981). L'azote est déterminé par la méthode de Kjeldhal qui est basée sur la combustion des échantillons frais par chauffage avec l'acide sulfurique concentré en présence du métal et d'autres catalyseurs pour permettre la réduction de l'azote organique dans un échantillon d'ammonium qui est conservé dans une solution comme le sulfate d'ammonium (Egan *et al.*, 1981). La protéine est déterminée en multipliant le poids total d'azote par le coefficient de transformation 6,25 qui est recommandé par la FAO pour tous les autres aliments, d'après Egan *et al.* (1981). La pulpe est séchée dans une étuve à 105° C pendant 4 heures pour obtenir la matière sèche (Egan *et al.*, 1981).

Cette évaluation a concerné un échantillon de trente pulpes prises sur des individus des populations de Gouinso 2, Bougoumbala et Néresso ci-dessus indiquées.

5.3.2.2 *Evaluation de la valeur Brix, du pH et de la vitamine C*

L'évaluation de la valeur Brix, du pH et de la teneur en vitamine C de la pulpe a été effectuée en 2003 au Laboratoire de Chimie Alimentaire de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie (ex-Faculté d'Agronomie et des Sciences Biologiques appliquées) de l'Université de Gand en Belgique. Elle a concerné des fruits récoltés en 2001, mais conservés dans des bocaux au niveau du Laboratoire de Nutrition Animale de l'Institut d'Economie Rurale au Mali, ce qui indique l'absence d'un effet année dû à l'irrégularité de la fructification de l'espèce.

La valeur Brix est déterminée, à l'aide d'un réfractomètre, dans un extrait aqueux à partir de la pulpe qui est purifiée par élimination et co-précipitation de la protéine avec du cyanure de zinc et du Cu Fe (CN)_6 en utilisant la méthode proposée par Southgate (1991).

Le pH de la pulpe est déterminé à l'aide d'un électrode mis dans une solution aqueuse de 10 % sans gaz carbonique (CO_2), en utilisant la méthode proposée par Egan *et al.* (1981).

La vitamine C est déterminée par extraction de H_3PO_3 et par titration de l'indophénol en utilisant la méthode proposée par Egan *et al.* (1981).

L'évaluation est faite à partir d'un échantillon de trente pulpes prises sur des individus de Néresso (sols peu évolués sur grès), Gouinso 2 (sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur

cuirasse), Bougoumbala (sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions), Oualia (sols peu évolués sur cuirasse), Lougourogombo (sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions) et Soutè (sols peu évolués sur cuirasse). Ces populations sont supposées être représentatives sur le plan édaphique pour l'ensemble de la zone d'étude.

5.3.3 Traitement et analyse des données

Les données de l'évaluation sensorielle sont analysées suivant un dispositif blocs complets randomisés, et les moyennes sont comparées en appliquant le test de Duncan au seuil de 5 %.

On a calculé la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation des descripteurs biochimiques analysés pour l'ensemble des populations de *D. microcarpum* étudiées ici, afin d'évaluer leur variabilité.

Des corrélations sont établies entre les descripteurs biochimiques et les facteurs géographiques.

5.4 Résultats et discussion

5.4.1 Evaluation sensorielle de la pulpe (tableau 42)

Tableau 42: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour l'évaluation sensorielle (n= 30)

Caractéristique	Population					
	Gouinso 2		Bougoumbala		Néresso	
Classes C _{1,30 m}	20-60	60-120	20-60	60-120	20-60	60-120
Moyenne	5,2ab	5,5ab	5,6ab	6,3a	3,9c	4,5bc
Moy.pop.	5,167					

La même lettre indique des moyennes significativement équivalentes; C_{1,30 m}: circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol

Les résultats de l'évaluation sensorielle montrent que le goût des dégustateurs est estimé à 5. Ce goût varie entre 4 à Néresso (arbres plutôt petits) et 6 à Bougoumbala (gros arbres). Ceci indique que le goût de la pulpe varie de légèrement sucré à sucré suivant l'échelle hédonique.

Des différences significatives sont observées entre les populations. Il résulte que la pulpe prise sur des individus à gros tronc dans la population de Bougoumbala a un goût significativement plus sucré que celle de Néresso prise sur tous les types d'individus. La dégustation ne met pas en évidence les goûts acide et amer de la pulpe.

Les résultats de la présente étude indiquent que le goût des dégustateurs n'est pas lié à la circonférence à 1,30 m des individus, car pour une population donnée (tableau 42), il ne varie pas significativement entre les classes de circonférence.

En résumé, on peut dire que le goût de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* est sucré selon les dégustateurs, ce qui s'accorde avec les résultats de l'enquête ethnobotanique réalisée au sud du Mali (Chapitre 3). Ces différents résultats sont confirmés par la littérature (Berhaut, 1975; Bergeret, 1990; Onweluzo *et al.*, 1994; Burkill, 1995; Schneider, 1996; Arbonnier, 2000; Dakouo, 2002; Garine, 2002), même si elle ne précise pas s'il y a eu des tests organoleptiques.

5.4.2 Caractérisation biochimique de la pulpe (tableau 43)

Tableau 43: Caractéristiques biométriques de *Detarium microcarpum* pour les descripteurs biochimiques (n= 30)

Descripteur	Moy.	E.T	Min.	Max.	CV (%)
Matière sèche (%)	89,11	1,46	88,14 (B)	89,62 (N)	1,64
Protéine (g/100g)	4,89	0,80	4,29 (B)	5,88 (N)	18,35
pH	5,37	0,33	4,87 (G2)	5,70 (OU, S)	6,14
Brix (g/100g)	64,47	2,00	61,80 (LG)	66,7 (N)	3,10
Vitamine C (mg/100 g)	3,23	0,89	2,40 (S)	4,6 (B)	27,55

B: Bougoumbala; G2: Gouinso 2; LG: Lougourogombo; S: Souté; N: Néresso; OU: Oualia; Moy: moyenne; E.T: écart-type; Min.: minimum; Max.: maximum; CV: coefficient de variation

5.4.2.1 Matière sèche

La pulpe analysée ici renferme $89,11 \pm 1,46$ % de matière sèche. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Bougoumbala (MS= 88,14 %) et Néresso (MS= 89,62 %), respectivement. Nous interprétons la teneur élevée en matière sèche de la pulpe de Néresso par la faible capacité de rétention en eau de ses sols qui sont du type peu évolué sur grès.

La teneur de $89,11 \pm 1,46$ % enregistrée indique que la pulpe contient moins d'eaux, donc se prête mieux à la conservation.

La variation inter-populations est faible, puisque la valeur du CV (CV= 1,64 %) est comprise entre 0 % et 10 %.

Soloviev *et al.* (2004) obtiennent une variation de 17,0 % entre les populations sénégalaises de *Adansonia digitata* L. (Bombacaceae) pour la teneur en matière sèche des fruits. Il résulte que la variation inter-populations de *D. microcarpum* (CV= 1,64 %) est moindre que celle de *A. digitata*. On suppose que cette différence de variation est due à l'état des fruits au moment des analyses.

5.4.2.2 Protéine

Les résultats de la présente étude montrent que la pulpe analysée ici renferme $4,89 \pm 0,8$ g de protéines/100 g. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Bougoumbala ($P= 4,29$ g de protéines/100 g) et Néresso ($P= 5,88$ g de protéines/100 g), respectivement. Les petites dimensions des fruits récoltés à Néresso (chapitre 4) expliquent la forte concentration de la protéine au niveau de leur pulpe.

La variation inter-populations est assez importante, puisque la valeur du CV ($CV= 18,35$ %) est comprise entre 15 % et 44 %.

Au Soudan, Nour *et al.* (1980) indiquent une variation de 11,5 % pour la teneur en protéines de *A. digitata*, ce qui est inférieur à 18,55 % enregistrés chez *D. microcarpum*. On suppose que cette différence de variation est due à l'espèce.

Les résultats de la présente étude menée sur *D. microcarpum* sont corroborés par Woot-Tsuen (1968), Kerharo & Adam (1977), et Boffa (2000) selon lesquels *D. microcarpum* renferme 4,9 g de protéines par 100 g.

Selon Hveem & Berge (1992), les fruits des espèces du Gourma malien telles que *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. (Capparaceae), *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. (Balanitaceae) et *Ziziphus mauritiana* Lam. (Rhamnaceae) contiennent 25,5 g/100 g, 9,5 g/100 g et 5,9 g/100 g de protéine, respectivement. Ces fruits sont plus riches en protéine que la pulpe de *D. microcarpum*.

Par ailleurs, il existe d'autres espèces dont les fruits renferment moins de protéine que la pulpe de *D. microcarpum*. On peut citer comme exemples les fruits frais de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (Sapotaceae) et les fruits secs de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae) qui renferment 1,9 g/100 g et 3,4 g/100 g, respectivement (Boffa, 2000). Danthu *et al.* (2002) au Sénégal indiquent une teneur en protéine de 3,0 g/100 g à 3,7 g/100 g pour les fruits de *Z. mauritiana*.

Selon Falconer & Arnold (1988), et Szolnoki (1985), la déficience en protéines est parmi les principales causes de malnutrition en Afrique tropicale et apparaît comme un problème majeur surtout chez les petits enfants.

La teneur en protéines de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* laisse croire que son importante capacité nutritionnelle sera d'un grand apport pour le Mali en matière de santé publique, où l'alimentation des populations à base de céréales, est généralement déficiente en protéines (FAO, 1970).

Les résultats ainsi obtenus justifient la mise au point des modèles de domestication de *D. microcarpum* à partir des programmes de sélection et d'amélioration génétique fondés sur ses

caractéristiques nutritionnelles, car l'un des résultats attendus de la domestication est d'assurer la sécurité alimentaire.

5.4.2.3 Valeur Brix

Les résultats de la présente étude montrent que la pulpe de *D. microcarpum* analysée ici contient $64,47 \pm 2,0$ g de sucre/100 g. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Lougourogombo (Brix= 61,80 g de sucre/100 g) et Néresso (Brix= 66,7 g de sucre/100 g), respectivement. Les petites dimensions des fruits récoltés à Néresso (chapitre 4) expliquent la forte concentration du sucre soluble dans la pulpe.

La variation inter-populations est faible, puisque la valeur du CV (CV= 3,10 %) est comprise entre 0 et 10 %.

Nour *et al.* (1980) trouvent, au Soudan, une variation de 2,6 % pour la valeur Brix de *A. digitata*, ce qui est du même ordre de grandeur que les 3,10 % chez *D. microcarpum*.

La valeur Brix de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* est supérieure aux valeurs données par Hveem & Berge (1992) pour *B. senegalensis* (6,6 g/100 g), *B. aegyptiaca* (20,4 g/100 g) et *Z. mauritiana* (37,6 g/100 g). Elle est supérieure également aux valeurs données par Nour *et al.* (1980) pour *A. digitata* au Soudan ($18,9 \text{ g/100 g} \pm 0,5 \text{ g/100 g}$), et par Soloviev *et al.* (2004) au Sénégal pour *Tamarindus indica* L. (Fabaceae) qui a une teneur de $16 \text{ g/100 g} \pm 1,44 \text{ g/100 g}$

L'appellation *sweet dattock* (Woot-Tsuen, 1968) donnée à *D. microcarpum* et l'utilisation de sa pulpe au Soudan comme substituant du sucre (Burkill, 1995) viennent confirmer les résultats de la présente étude au Mali.

La consommation de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* peut compenser la perte d'énergie des communautés paysannes pendant les mois de mars à juin où les températures sont très élevées et les besoins en énergie du corps humain sont importants. Ceci justifie la mise au point des modèles de domestication à partir des programmes de sélection et d'amélioration génétique pour contribuer à la sécurité alimentaire au Mali.

5.4.2.4 Vitamine C

Les résultats de la présente étude montrent que la pulpe de *D. microcarpum* analysée ici contient $3,23 \pm 0,89$ mg de vitamine C/100 g. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Soutè (Vit.C= 2,4 mg/100 g) et Bougoumbala (Vit.C= 4,6 mg/100 g), respectivement.

La variation inter-populations est assez importante puisque la valeur du CV (CV= 27,55 %) est comprise entre 15 % et 44 %. Cette variation de la teneur en vitamine C peut dépendre, entre autres, de l'état de maturité des fruits à la récolte, de la partie du fruit où se concentre la vitamine C et aux méthodes de conservation.

La littérature rapporte que *D. microcarpum* a une teneur de 32 mg de vitamine C par 100 g de poids total (Woot-Tsuen, 1968; Boffa, 2000), ce qui équivaut à 10 fois la valeur des échantillons du Mali. Bergeret (1990) et Arbonnier (2000) rapportent cette richesse des fruits de *D. microcarpum* en vitamine C, mais sans le chiffrer.

Nous expliquons le grand écart entre la littérature et le résultat de la présente étude menée sur *D. microcarpum* par le fait que la littérature a dû traiter une autre espèce de *Detarium* ou bien elle a analysé la pulpe avec l'épicarpe (peau), car cette partie du fruit est le lieu de concentration de la vitamine C.

Parmi les espèces dont les fruits renferment plus de vitamine C, on peut citer comme exemples *Detarium senegalense* J. F. Gmel. (Fabaceae) et *Terminalia ferdinandiana* Exell (Combretaceae) pour 1290 mg/100 g (Falconer, 1990) et 3150 mg de vitamine C/100 g (Ramberg *et al.*, 2003), respectivement. Selon Boffa (2000), les fruits secs de *P. biglobosa* et les fruits de *A. digitata* renferment 255 mg/100 g et 102 mg/100 g de vitamine C, respectivement. Vaugban & Geissler (1997) trouvent 37mg/100 g pour les fruits de *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae).

Partant de l'apport quotidien de 25 à 75 mg de vitamine C pour un adulte (Danthu *et al.*, 2002), on peut dire que l'échantillon du Mali est pauvre en vitamine C. Ceci vient infirmer la littérature (Bergeret, 1990; Arbonnier, 2000) qui a toujours cité l'espèce comme riche en protéine.

5.4.2.5 pH

La pulpe des fruits de *D. microcarpum* analysée a un pH de $5,37 \pm 0,33$. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Gouinso 2 (pH= 4,87), et Oualia et Soutè (pH= 5,7), respectivement.

La variation inter-populations est faible, puisque la valeur du CV (CV= 6,14 %) est comprise entre 0 % et 10 %.

A défaut de données bibliographiques sur le pH de *D. microcarpum*, nous comparons néanmoins nos résultats avec ceux obtenus sur d'autres espèces. Nono *et al.* (2001) enregistrent un pH de 5,33 à 5,55 chez *Musa acuminata* Colla. (Musaceae), 4,90 à 5,75 pour *M. indica* et 3,85 à 4,65 chez *Carica papaya* L. (Caricaceae) après 300 minutes de traitement par

déshydratation-imprégnation et par immersion dans une solution de saccharose initialement à 50° Brix en fonction de trois températures d'expérimentation (30° C, 50° C et 60° C).

Il ressort que le pH de la pulpe des fruits de *D. microcarpum* ($5,37 \pm 0,33$) est du même ordre de grandeur que celui de *M. indica*, supérieur à celui de *C. papaya* et inférieur au pH de *M. acuminata*.

5.4.3 Influence de l'environnement sur la composition biochimique de la pulpe

Tableau 44: Evolution des descripteurs biochimiques de la pulpe en fonction des coordonnées géographiques

Unité agro-écologique	Pop.	Sol	Alt. (m)	Lat. (m)	Long. (m)	Prot. g/100 g	MS %	Brix g/100 g	Vit. C mg/100 g	pH
Sahélienne sud	LG	SFTLTC	468	1594346	547728	-	-	61,8	2,6	5,55
	S	SPE/cuirasse	468	1422298	660357	-	-	66,4	2,4	5,70
Soudanienne nord	N	SPE/grès	427	1364230	687240	5,88	89,62	66,7	2,9	5,17
Soudano-guinéenne	B	SFTLTC	357	1278133	351006	4,29	88,14	65,5	4,6	5,24
	G2	SFTLI/cuirasse	378	1245125	401552	4,70	89,61	63,2	4,1	4,87
	OU	SPE/cuirasse	325	145674	547987	-	-	63,2	2,8	5,70

Pop.: population; LG: Lougourogombo; S: Soutè; N: Néresso; B: Bougoumbala; G2: Gouinso 2; OU: Oualia; Alt.: altitude; Lat.: latitude; Long: longitude; Prot: protéine; MS: matière sèche; Vit.C: vitamine C; SFTLTC: sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions; SPE: sols peu évolués; SFTLI: sols ferrugineux tropicaux lessivés à indurés

Les résultats de l'influence des facteurs environnementaux sur la composition biochimique de la pulpe montrent une augmentation de la teneur en protéine en fonction de l'altitude, tandis que la teneur en vitamine C plus élevée est observée avec les échantillons récoltés au sud du Mali.

Il se dégage que la quantité de protéine, la teneur en matière sèche et la valeur Brix les plus élevées sont enregistrées à Néresso sur sols peu évolués sur grès, la vitamine C à Bougoumbala sur sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions, et le pH le plus élevé à Soutè (sols peu évolués sur cuirasse) et à Oualia (sols peu évolués sur cuirasse).

L'explication des valeurs élevées de protéine, de matière sèche et de Brix à Néresso réside dans les petites dimensions des fruits qui favorisent une forte concentration de ces éléments.

Tableau 45: Corrélation entre les descripteurs biochimiques de la pulpe et les coordonnées géographiques

	Altitude	Latitude	Longitude	Protéine	Matière sèche	Brix	Vitamine C	pH
Altitude	1	0,78	0,58	0,99	0,73	0,15	-0,58	0,21
Latitude	0,78	1	0,07	0,87	0,25	0,21	0,05	-0,31
Longitude	0,58	0,07	1	0,99	0,62	0,38	-0,89	0,48
Protéine	0,99	0,87	0,99	1	0,70	0,58	-0,99	0,09
Matière sèche	0,73	0,25	0,62	0,70	1	-0,17	-0,73	-0,64
Brix	0,15	0,21	0,38	0,58	-0,17	1	0,02	-0,06
Vitamine C	-0,58	0,05	-0,89	-0,99	-0,73	0,22	1	-0,72
pH	0,21	-0,31	0,48	0,09	-0,64	-0,06	-0,72	1

Les chiffres en gras désignent les corrélations hautement significatives au seuil de 1 %

La matrice de corrélations indique une forte corrélation positive et significative entre l'altitude et la teneur en protéine ($r= 0,99$), ce qui corrobore l'augmentation de la teneur en protéines en fonction de l'altitude signalée dans le tableau 44.

Cependant, des corrélations non significatives sont observées entre les coordonnées géographiques et la matière sèche, la valeur Brix, et le pH. Ceci signifie que ces descripteurs sont régis par d'autres mécanismes non environnementaux, donc probablement des génomes.

La caractérisation biochimique de la pulpe révèle des descripteurs intéressants tels que la valeur Brix, la matière sèche et la protéine pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique de la plante en vue de sa domestication. La disponibilité des parcelles de domestication de *D. microcarpum* dans l'environnement immédiat des communautés paysannes est l'un des résultats attendus de la présente étude afin de contribuer à la sécurité alimentaire.

5.4.4 Autres propriétés biochimiques (littérature)

Selon la littérature, *D. microcarpum* possède d'autres propriétés biochimiques, qui n'ont pas été traitées par la présente étude menée au Mali. Selon Baumer (1995), le fruit possède une valeur énergétique de 310 kcal/kg contre 305 kcal/kg chez *T. indica*. Il a une teneur en glucides de 74,6 à 81,8 g/100 g de poids total (Woot-Tsuen, 1968; Baumer, 1995; Boffa, 2000).

Selon Onweluzo *et al.* (1994), la farine a une activité d'émulsion de $95,25 \pm 0,001$ %, et contient une teneur en eau de $6,49 \pm 0,11$ %, une teneur en matière grasse de $13,81 \pm 0,69$ %, une teneur en protéines brutes de $13,52 \pm 0,9$ %, une teneur en cendre total de $20 \pm 0,01$ %, une teneur en glucides de $64,26 \pm 1,04$ %, une teneur en sodium de 0,04 %, une teneur en potassium de 3,75 %, une teneur en calcium de 0,53 %, une teneur en fer de 0,01 %, et une teneur en magnésium de 0,50 %.

Selon Onweluzo *et al.* (1995), la gomme a une viscosité apparente de 115,05 cps à une concentration de 2 %, une capacité d'absorption d'eau de 16,24 g/100 g et une capacité d'absorption d'huile de 1,30 g/100 g.

Selon Akpata & Miachi (2001), la farine des graines renferme de l'eau et du cendre (3,5 %), des protéines brutes (2,9 %) et des glucides (39 %). Selon la même source, cette farine a une densité de 0,86 à 0,92 g/cm³ et une activité d'émulsion de 4,3 à 4,4 %. Woot-Tsuen (1968) indique que les fruits renferment une teneur en fibres de 6,6 g/100 g, une teneur en fer de 82 g/100 g et une teneur en phosphore de 84 g/100 g.

5.5 Conclusions

Les résultats montrent que la population de Néresso, située dans la partie septentrionale au sud du Mali, abrite les fruits dont la pulpe contient plus de sucre, de protéine et de matière sèche. Riche en protéine, la pulpe de *D. microcarpum* doit mériter une attention particulière surtout dans les zones du Mali où la viande et le poisson font défaut. Des mets de couscous pourront être améliorés en protéine et en énergie en y apportant de la farine de pulpe de *D. microcarpum*. La pulpe contenant moins d'eaux, pourra être conservée sous diverses formes pour être consommée. Sa transformation en confiture ou en jus peut être envisagée pour une large vulgarisation pour la consommation.

Les descripteurs biochimiques comme la valeur Brix, la matière sèche et la protéine peuvent constituer des éléments de base pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique afin de déboucher sur la domestication de *D. microcarpum*.

L'étude montre que la valeur Brix, la matière sèche, le pH sont indépendants du milieu, donc une identification d'individus performants par le biais des marqueurs moléculaires de type "fingerprinting" sera d'une grande utilité pour la domestication de *D. microcarpum*.

Les résultats montrent que *D. microcarpum* peut contribuer à la sécurité alimentaire, donc elle doit être domestiquée pour conserver durablement ses ressources génétiques.

Le chapitre qui suit, traite le comportement phénologique de *D. microcarpum* au sud du Mali.

CHAPITRE 6

PHENOLOGIE DE *DETARIUM MICROCARPUM*

6.1 Introduction

L'arbre joue un rôle capital dans les systèmes agricoles des pays en voie de développement. Son importance est capitale, particulièrement, dans les zones sèches d'Afrique au sud du Sahara, où l'arbre est considéré comme source de combustible et d'alimentation humaine et animale, et un élément régulateur des conditions agro-climatiques.

En effet, beaucoup d'espèces d'arbres sont peu connues et restent ainsi sous utilisées. Une bonne caractérisation de la biodiversité au niveau de ces espèces est un premier pas important vers une utilisation plus durable.

Aujourd'hui, il importe de valoriser les espèces forestières locales intéressantes pour l'alimentation et la pharmacopée traditionnelle sur les marchés local et régional face aux besoins croissants qui découlent de la pression démographique croissante, par la maîtrise de leur cycle phénologique en vue d'une meilleure connaissance et éventuellement une bonne programmation des périodes de récoltes des différents organes de ces espèces.

Par ailleurs, la caractérisation variétale repose entre autres sur l'utilisation des descripteurs phénologiques (Dosba & Saunier, 1998) comme la précocité et la nature de la fructification. Par ailleurs, la phénologie traduit les conditions écologiques récentes, et permet donc aussi de faire un monitoring de la situation environnementale. Selon la littérature, les cycles phénologiques des arbres tropicaux sont influencés par des facteurs biotiques, climatiques et édaphiques (Poupon, 1979; Kinnaird, 1992; Peres, 1994; Breman & Kessler, 1995; Sun *et al.*, 1996; Machado *et al.*, 1997; Chuine *et al.*, 2000). Cependant, ceux des ligneux des zones sèches africaines sont très peu connus. Les études les plus complètes sur la phénologie des espèces de ces zones sont réalisées dans le Félé-Olé au Sénégal (Poupon, 1979), dans la mare d'Oursi au nord du Burkina Faso (Grouzis & Sicot, 1980), dans les forêts classées de Farako et de Zangasso au sud du Mali (Sanogo, 1997), et dans la forêt dense sèche de la côte ouest de Madagascar (Rohner & Sorg, 1986).

Selon Free (1970), Boussard (1981) et Mossu *et al.* (1981), la fructification qui est l'une des phases phénologiques, est fonction au préalable de la pollinisation. Selon Chamberlain (1998), la nécessité de connaître les relations de dépendance entre une espèce et les agents visiteurs de ses fleurs s'impose pour une meilleure interprétation écologique de la variabilité génétique intra-spécifique. D'après Greatti *et al.* (1997), cette dépendance varie de 10 % (*Vitis vinifera* L. de la famille des Ampelidaceae, et *Beta vulgaris* L. de la famille des Chenopodiaceae) à 100 % (*Malus sylvestris* Mil de la famille des Rosaceae, *Pyrus communis* L.

de la famille des Rosaceae et *Prunus* spp. de la famille des Rosaceae). Selon Frankie *et al.* (1974), les vecteurs de pollinisation sont importants dans la reproduction des arbres tropicaux dans les zones forestières sèches.

La littérature rapporte que les études sur la reproduction et la pollinisation des arbres tropicaux sont actuellement nombreuses (Marcia, 2001). Doligez (1996) rapporte l'existence d'une diversité de mécanismes de pollinisation chez les arbres forestiers tropicaux. Des observations réalisées au Burkina Faso, au Ghana, au Nigeria, au Sénégal et au Cameroun montrent que la pollinisation de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae) est réalisée surtout par des chauves-souris et des chimpanzés (Ouédraogo, 1995). Au Costa Rica, la plupart des espèces sont pollinisées par des abeilles et des petits insectes (Doligez, 1996), excepté les palmiers qui semblent avoir une pollinisation anémophile. Selon cette dernière source, il existe un panel d'espèces végétales visitées par les mêmes pollinisateurs. Par ailleurs, la littérature rapporte l'utilisation fréquente des pièges pour la capture des insectes pollinisateurs, pour la simple raison que ces pièges sont reproductibles, réutilisables, bon marché, et ont un impact limité sur des habitats fragiles (Kearns & Inouye, 1995).

Aujourd'hui, il importe de quantifier la ressource fruits des produits de cueillette pour le bonheur des populations africaines en général et maliennes en particulier. Selon Boffa (2000), la production en fruits des espèces forestières et agroforestières en Afrique est très peu connue, ce qui pourrait constituer un frein pour la valorisation des produits de cueillette qui sont des revenus d'appoint pour les populations rurales africaines, voire leur domestication.

Le présent travail analyse le comportement de *Detarium microcarpum* Guill & Perr. (Fabaceae) suivant les phases de feuillaison, de floraison et de fructification. Il donne un aperçu sur les agents visiteurs des fleurs de *D. microcarpum*. Il est sous-tendu par l'idée que *D. microcarpum* a une phénologie variable en fonction des conditions écologiques, des fleurs peu visitées et une production fruitière liée à la grosseur du tronc.

6.2 Objectifs

Les objectifs spécifiques sont de:

- décrire et analyser les différentes phases phénologiques;
- analyser l'influence des facteurs écologiques sur le comportement phénologique;
- décrire et caractériser les fleurs;
- déterminer et analyser les principaux agents visiteurs des fleurs; et
- évaluer et analyser la production en fruits de *D. microcarpum*.

Les objectifs visés par la présente étude concourent à la planification des périodes de récolte des fruits (graines), des feuilles et des fleurs, laquelle planification est garante de la domestication de *D. microcarpum*.

6.3 Matériel et méthodes

6.3.1 Evaluation des phases phénologiques

6.3.1.1 Choix de la zone d'étude

L'étude phénologique de *D. microcarpum* est réalisée au sud du Mali à raison de sa grande variabilité agro-écologique (unités soudanienne nord, soudanienne sud et soudano-guinéenne) qui est reflétée par les sites de Komé, Farako et Gouinso 2 (figure 23), et par l'abondance de *D. microcarpum*. Le sud du Mali est situé dans la partie sud du territoire malien, entre 12°30' et 10°30' de latitude nord, et entre 8°30' et 5°30' de longitude ouest, et couvre une superficie de 71 790 km².

6.3.1.2 Présentation des sites d'étude

Le site de Komé est situé entre 12° 27' Nord et 04°32' Ouest. Il se trouve à une altitude de 448 m sur des sols peu évolués sur cuirasse et profonds de 40 cm (Amadou Malé Kouyaté, communication personnelle). Le site de Komé appartient à l'unité soudanienne nord caractérisée par une précipitation moyenne annuelle de 700 mm (PIRT, 1983). Selon AGRHYMET (1980), la température moyenne annuelle varie de 23,6° C (janvier) à 31,5° C (avril), tandis que la vitesse du vent varie entre 1,2 m/seconde (octobre) et 2,3 m/seconde (mai).

Le site de Farako est situé entre 11°11' Nord et 05°25' Ouest. Il se trouve à une altitude de 435 m sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions profonds de 50-100 cm (Amadou Malé Kouyaté, communication personnelle). Ce site relève de l'unité soudanienne sud caractérisée par une précipitation moyenne annuelle de 1000 mm (PIRT, 1983). Selon AGRHYMET (1980), la température moyenne annuelle oscille entre 23,6° C (décembre) et 30,7° C (avril), tandis que la vitesse du vent varie de 1,1 m/seconde (septembre, octobre) à 1,9 m/seconde (avril).

Le site de Gouinso 2 est situé entre 11°15' Nord et 05°25' Ouest. Il se trouve à une altitude de 378 m sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur cuirasse profonds de 40 à 60 cm (Amadou Malé Kouyaté, communication personnelle). Ce site appartient à l'unité

soudano-guinéenne au sud du Mali qui est caractérisée par une précipitation moyenne annuelle supérieure à 1000 mm (PIRT, 1983). Selon AGRHYMET (1980), la température moyenne annuelle varie entre 24,1° C (décembre) et 30,5° C (mars, avril), tandis que la vitesse du vent oscille entre 0,8 m/seconde (septembre, octobre) et 1,4 m/seconde (janvier, mars et avril).

Au niveau de chaque site, on distingue deux grandes saisons qui sont la saison sèche et la saison des pluies ou saison humide ou hivernage (juin à septembre). La saison sèche comporte deux variantes qui sont: (1) la saison sèche froide (octobre-février) caractérisée par une baisse de la température de l'air et un vent desséchant appelé harmattan ou alizé continental; (2) la saison sèche chaude (mars-juin) marquée par une hausse considérable de la température de l'air.

A défaut des stations synoptiques à proximité de nos sites d'étude ci-dessus, on a dû utiliser les données fournies dans la littérature (AGRHYMET, 1980). Les données sur la température et le vent recueillies dans les stations synoptiques de Sikasso, Koutiala et Bougouni ont été extrapolées à Farako (F), à Komé (K) et à Gouinso 2 (G2), respectivement.

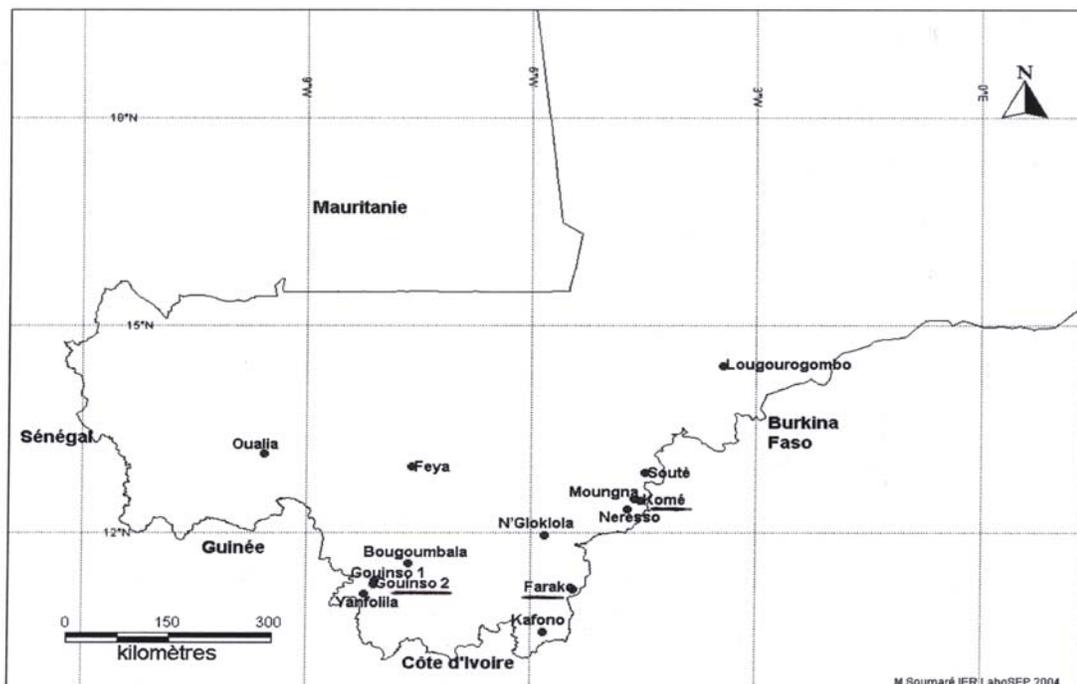


Figure 22: Localisation des sites d'étude phénologique au sud du Mali, en souligné (Soumaré, IER/LaboSEP, 2004)

Tableau 46: Caractéristiques climatiques des sites d'étude phénologique de *Detarium microcarpum* au sud du Mali (AGRHYMET, 1980; les valeurs représentent 30 ans de mesures de 1951 à 1980)

Site	Fc	Mois												Moy.
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
F	T	24,8	28,2	30,3	30,7	28,9	27,2	25,7	25,6	26,6	27,5	25,1	23,6	27,02
	V	1,7	1,8	1,8	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,3	1,4	1,47
G2	T	25,6	28,6	30,5	30,5	28,8	26,9	25,5	25,3	26,2	27	25,4	24,1	27,03
	V	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,8	0,8	1,0	1,2	1,15
K	T	23,6	27,0	30,0	31,5	29,9	27,8	25,9	25,7	26,8	27,6	24,6	27,7	27,34
	V	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,4	1,5	1,73

Fc: facteurs climatiques; F: Farako; G2: Gouinso 2; K: Komé; T: température (° C); V: vent (m/s); J: janvier; F: février; M: mars; A: avril; M: mai; J: juin; J: juillet; A: août; S: septembre; O: octobre; N: novembre; D: décembre; Moy.: moyenne

La température moyenne annuelle au niveau des trois sites varie entre 27,02° C à Farako et 27,34° C à Komé (tableau 46). Ceci indique que les températures moyennes annuelles sont homogènes au niveau des trois populations, malgré une différence d'appartenance écologique. La vitesse moyenne annuelle du vent varie de 1,15 m/s à Gouinso 2 à 1,73 m/s à Komé, en passant par 1,47 m/s à Farako (tableau 46). Il résulte que la vitesse du vent augmente au fur et à mesure que le climat devient plus sec, donc elle suit un gradient climatique sud-nord.

6.3.1.3 Méthodes

La caractérisation phénologique (feuillaison, floraison et fructification), par site, a été effectuée de septembre 2000 à janvier 2002, en s'inspirant des méthodes décrites par Grouzis & Sicot (1980) et Ouédraogo (1995).

Nous appelons feuillaison, la période allant de la formation des bourgeons foliaires à la défeuillaison totale (chute totale des feuilles). Elle est marquée par quelques stades clés telle que la pleine feuillaison qui correspond à un moment où les arbres portent plus de 50 % de feuilles vertes. La floraison s'étend de la formation des bourgeons floraux jusqu'à la fin de la floraison qui se manifeste par la fanaison et le brunissement des fleurs. Elle est marquée par quelques stades clés telle que la pleine floraison qui correspond à un moment où plus de 50 % des fleurs d'un arbre s'épanouissent. La fructification s'étend de la nouaison (début de la formation des fruits) jusqu'à la fin de la fructification (chute totale des fruits). Par maturation des fruits, nous entendons le moment où plus de 50 % des fruits d'un arbre mûrissent.

Par site, les observations ont concerné vingt cinq arbres encore jamais exploités et donc exempts de mutilation, et en cours de production de fruits. Elles sont effectuées dans la matinée à l'œil nu (observation visuelle et directe), et parfois à l'aide de jumelle pour la cime des arbres.

Compte tenu de l'éloignement des trois sites (415 km d'équidistance, en moyenne), chaque site a été visité une fois par mois pendant 17 mois, soit au total 1275 observations.

6.3.2 Analyse des fleurs

Deux échantillons de fleurs de *D. microcarpum* sont finement décrits à l'œil nu, et nous avons mesuré leurs dimensions (longueur et largeur) et compté le nombre de fleurs par panicule et le nombre d'étamines.

6.3.3 Inventaire des agents visiteurs des fleurs

Le suivi des agents visiteurs des fleurs de *D. microcarpum* a été réalisée dans la forêt classée de Farako, qui couvre une superficie de 15 400 km² (Schneider, 1996) et caractérisée par une végétation de type savane boisée. L'étude s'est déroulée au moment de la floraison de *D. microcarpum*, en saison des pluies, pendant un temps ensoleillé à couvert et les températures oscillaient entre 21° C et 31° C.

L'inventaire des agents visiteurs des fleurs est fait par capture à l'aide de deux engins qui sont le seau et le filet. Selon Cilas *et al.* (1987), le type de piège peut influencer significativement le nombre et la nature des insectes capturés. Les seaux, au nombre de 13, sont des récipients en plastique de 17 cm de diamètre, peints en jaune pour piéger les insectes. Pour des besoins d'expérimentation, ils sont remplis d'eau savonneuse et pendus sur les branches fleuries des arbres de *D. microcarpum* à une hauteur moyenne de 2,7 m ± 0,6 m au-dessus du niveau du sol suivant la méthode présentée par Kearns & Inouye (1995). L'eau savonneuse et la peinture jaune sont utilisées pour augmenter les chances de capture d'une plus grande diversité d'agents visiteurs.

Les seaux sont répartis sur le terrain en fonction de la toposéquence (6 au sommet de la colline, 4 sur le versant et 3 en bas de colline), à partir de l'idée que les facteurs environnementaux (microclimat, végétation, exposition au soleil) peuvent avoir une influence sur la répartition et l'activité des agents visiteurs. Pour remédier à la répartition des seaux en fonction de la toposéquence qui ne répondait à aucun critère, nous avons attribué des coefficients à partir du poids relatif de chaque observation: 1 pour le bas de colline (3 seaux), 0,75 pour le versant (4 seaux) et 0,5 pour le sommet (6 seaux).

Le second piège utilisé est un filet en entonnoir supporté par une manche en bois. Il a servi à la capture manuelle et instantanée des agents visiteurs des fleurs.

La collecte diurne des agents visiteurs des fleurs est effectuée à 9 h et à 16 h, soit deux fois par jour pendant six jours. Les observations nocturnes réalisées à 22 h sont faites dans des seaux illuminés par une lampe à pétrole et des seaux sans lampe servant de témoin.

Pour chacune de ces collectes, tous les agents sont placés immédiatement dans un bocal d'éthanol concentré à 70°, étiquetés puis ils sont récupérés à travers un tamis de 1 mm de diamètre.

Il importe de préciser que notre approche n'est pas d'étudier la biologie florale de *D. microcarpum* ni sa pollinisation au sens strict du terme, mais de déterminer les principaux agents visiteurs de ses fleurs. Force est de reconnaître que cet inventaire est loin d'être exhaustif, compte tenu des pièges retenus, mais il va permettre d'avoir des informations à titre indicatif sur les principaux agents visiteurs.

La connaissance des agents visiteurs est utile pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique en vue de déboucher sur la domestication de *D. microcarpum*, parce qu'elle peut servir de critère pour le choix des individus les plus visités.

6.3.4 Evaluation de la production en fruits

L'évaluation de la production en fruits de *D. microcarpum* a été réalisée en 2002 et a concerné un échantillon de 41 individus pris au niveau des populations de Yanfolila (unité agro-écologique guinéenne nord), Farako (unité agro-écologique soudanienne sud) et Komé (unité agro-écologique soudanienne nord). Ces individus ont été choisis au hasard parmi les 25 arbres caractérisés morphologiquement dans les populations ci-dessus, donc il s'agit des individus dont les caractéristiques dendrométriques (circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol; hauteur de la première ramification basale) sont déjà disponibles.

La production en fruits est déterminée en s'inspirant de la méthode présentée par Peters (1990, 1996a). Les fruits sont cueillis sur des individus numérotés, à l'aide d'une perche munie d'un sécateur. Des paysans ramassent les fruits au niveau du sol, les comptent (Nf) et les mettent dans les sacs en jute étiquetés. Chaque sac rempli de fruits est pesé (Pf) à l'aide d'un peson à ressort (*Scale and length 1 M/39 IN tape measure 22 kg 501 b*). Nous avons compté le nombre de fruits contenus dans un kilogramme de fruits (Nf/kg).

Nous avons analysé l'influence de la pluviométrie sur la production en fruits de *D. microcarpum*, et ceci est exécuté seulement à Yanfolila sur deux campagnes agricoles (2001-2002 et 2002-2003) où la production fruitière y était assez suffisante en vue de dégager l'effet année.

6.3.5 Traitement et analyse des données

Les données phénologiques sont présentées en pourcentage et sous forme de graphiques. Le pourcentage d'arbres feuillés ("feuillaison") et d'arbres dont les fruits sont mûrs ("maturation") est calculé à partir de la formule suivante:

$$f = n/N \times 100,$$

avec f: pourcentage d'arbres; n: nombre d'arbres feuillés ou d'arbres dont les fruits sont mûrs; et N: nombre total d'arbres observés.

Le comportement phénologique est analysé en fonction des facteurs écologiques, et comparé à d'autres résultats disponibles dans la littérature. Les résultats de l'étude phénologique sont présentés par phases phénologiques.

Nous avons calculé la fréquence absolue des agents visiteurs des fleurs à partir du nombre d'agents collectés multiplié par des coefficients définis ci-dessus. Ces agents ont été identifiés jusqu'au niveau de l'ordre taxonomique à l'aide des clés de détermination suivant la méthode présentée par Delvare & Aberlenc (1989) et classés. Les niveaux de la toposéquence ont été comparés en utilisant le test de Chi-2 pour les fréquences observées.

Partant de la production moyenne d'un arbre (P_u) et connaissant la densité de *D. microcarpum* (D) estimée à 268 arbres/ha (Koné, 1997), nous avons estimé la production de fruits dans un hectare de savanes boisées (PT). Ceci est un élément important pour justifier la domestication de *D. microcarpum*, car l'un des résultats attendus est la vulgarisation d'individus plus productifs en fruits.

$$PT = P_u * D$$

$$P_u = \sum p_i \frac{1}{N}$$

p_i : quantité de fruits récoltés sur l'arbre i
N: nombre total d'arbres où les fruits sont récoltés

$$D = \sum n_i \frac{1}{10000m^2}$$

n_i : effectif du *Detarium microcarpum* par placette d'inventaire
10 000 m² = 1 hectare

$$\text{Donc, } PT = \sum p_i \frac{1}{N} * \sum n_i \frac{1}{10000m^2}$$

Des corrélations entre les descripteurs de la production en fruits et ceux du tronc et du houppier ont été établies.

Des régressions linéaires entre les descripteurs physiques (circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol, hauteur de la première ramification basale) et ceux des fruits (poids des fruits, nombre de fruits) ont été analysées à partir du logiciel SPSS.

6.4. Résultats et discussion

6.4.1 Evaluation des phases phénologiques

Feuillaison

Le processus de feuillaison de *D. microcarpum* commence en février par l'apparition des bourgeons (fin de la saison sèche fraîche) et prend fin en janvier par la chute totale des feuilles (saison sèche fraîche) à Komé et Gouinso 2, tandis qu'elle s'étend de mars (début de la saison sèche chaude) à février (fin de la saison sèche fraîche) à Farako (figures 23, 24 et 25). Cependant, l'apparition des bourgeons a lieu plus tôt à Komé en zone soudanienne nord plus sèche qu'à Gouinso 2 en zone soudano-guinéenne plus humide, ce qui suppose que la pluviométrie n'est pas déterminante à ce stade. Ces résultats montrent que *D. microcarpum* attend la fin de la saison sèche fraîche pour entamer sa feuillaison.

Cependant, la durée de la pleine feuillaison est de 8 mois (avril-novembre) à Komé, et de 7 mois (avril-octobre) à Farako et Gouinso 2. Ceci indique que la pleine feuillaison est plus étalée à Komé en zone sèche qu'à Gouinso 2 en zone plus humide. Ces résultats montrent que les arbres, pour tous sites confondus, entrent en pleine feuillaison au mois d'avril qui est surtout caractérisé par une température moyenne mensuelle supérieure à 30° C. Par ailleurs, ils indiquent que la pleine feuillaison de *D. microcarpum* se situe entre avril (saison sèche chaude) et novembre (saison sèche fraîche), ce qui signifie que ce stade se déroule surtout dans la saison des pluies où l'espèce développe probablement des mécanismes pour profiter de l'humidité relative élevée de l'air qui est due à l'augmentation des températures et aux pluies. Cependant, *Faidherbia albida* Del. (*Fabaceae*) suit une logique contraire, car elle garde son feuillage pendant la saison sèche (Le Houérou, 1980). Selon Breman & Kessler (1995), le comportement particulier de *F. albida* en saison sèche est lié à la capacité de ses racines d'atteindre la nappe phréatique, donc elle profite de l'humidité du sol pour juguler les conditions d'abscission en saison sèche froide.

La figure 23 montre que le pourcentage d'arbres à l'état feuillé à Komé en zone plus sèche est de 100 % en novembre 2000 (début de saison sèche fraîche), contre 50 % en novembre 2001 pour une pluviométrie mensuelle de 0 mm.

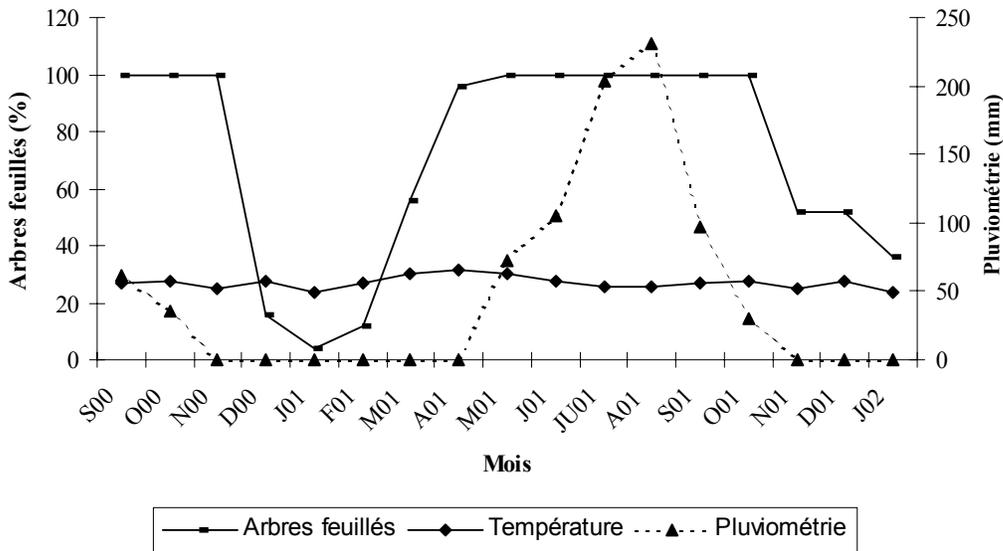


Figure 23: Influence de la pluviométrie et de la température dans le processus de feuillaison de *Detarium microcarpum* à Komé

A Farako en zone humide, le pourcentage d'arbres à l'état feuillé varie entre 100 % en octobre 2000 (61,2 mm de pluie), et 30 % en octobre 2001 pour une pluviométrie mensuelle de 0 mm (figure 24).

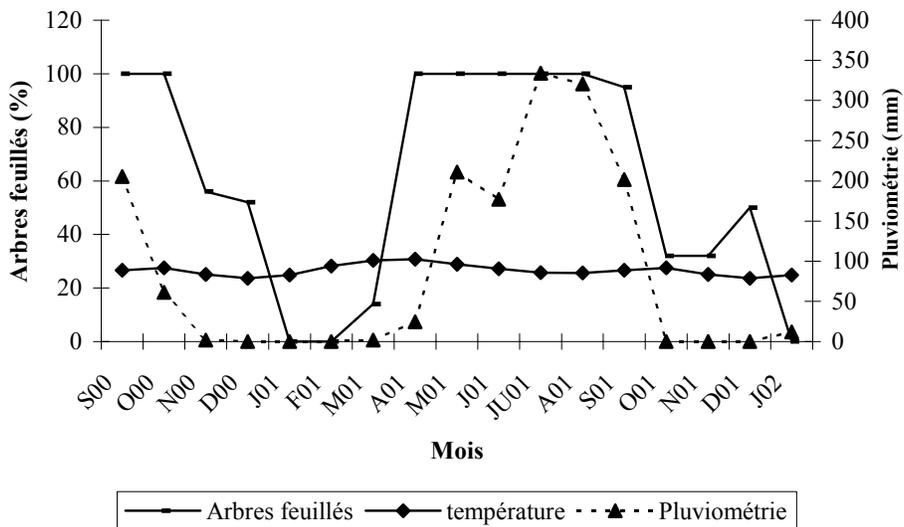


Figure 24: Influence de la pluviométrie et de la température dans le processus de feuillaison de *Detarium microcarpum* à Farako

Le pourcentage d'arbres à l'état feuillé à Gouinso 2 en zone plus humide varie entre 80 % en octobre 2000 (184,8 mm) et 100 % en octobre 2001 pour une pluviométrie mensuelle de 88,3 mm (figure 25).

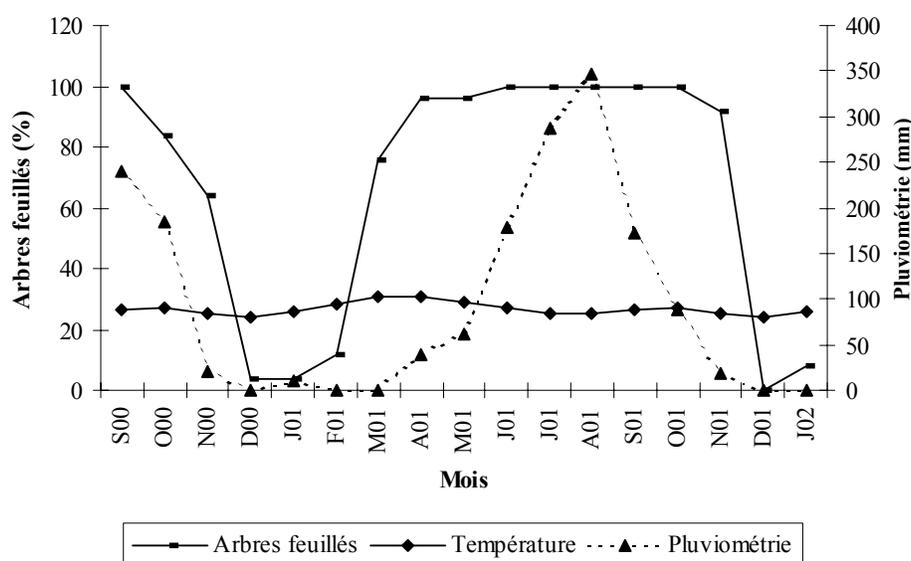


Figure 25: Influence de la pluviométrie et de la température dans le processus de feuillaison de *Detarium microcarpum* à Gouinso 2.

Les résultats présentés indiquent que l'influence de la pluviométrie n'est pas linéaire et que le nombre d'arbres à l'état feuillé pour des périodes d'observations similaires, pour l'ensemble des trois sites, est probablement lié à la somme des pluviométries annuelles.

Pour la période d'observation de référence, la défeuillaison (figures 23, 24 et 25) dure 3 mois (novembre-janvier) à Komé en zone plus sèche, 4 mois (novembre-février) à Farako en zone humide et 5 mois (septembre-janvier) à Gouinso 2 en zone plus humide. Ces résultats montrent, pour tous sites confondus, qu'elle se situe pendant la période septembre-février qui correspond à la saison sèche froide au Mali. Or, cette saison est marquée par des basses températures moyennes mensuelles (23,6-28,2° C). On suppose que la chute des feuilles chez *D. microcarpum* est une stratégie de l'espèce pour réduire sa transpiration. Cependant, nous observons la présence de 5 % d'arbres qui gardent leurs feuilles dans la saison sèche fraîche à Gouinso 2 (figure 25). Ces arbres sont situés dans le bas de colline qui est caractérisé par des sols plus profonds, ce qui explique cette diversité de comportement. Ceci implique une variabilité à l'intérieur de cette population qui est due à la diversité de sa topographie. Ces résultats permettent de considérer *D. microcarpum* comme une espèce caducifoliée ou semi-caducifoliée, tandis que d'autres sources le désignent comme une espèce caducifoliée précoce, c'est-à-dire une espèce qui perd très tôt ses feuilles dans la saison sèche (Breman & Kessler, 1995).

Au Costa Rica, Frankie *et al.* (1974) observent que la longueur de défeuillaison est plus courte en zone sèche qu'en zone humide, ce qui corrobore les résultats de la présente étude.

Des travaux réalisés dans plusieurs forêts tropicales révèlent que la plupart de ses espèces perdent leurs feuilles dans les périodes les plus sèches de l'année (Frankie *et al.*, 1974). On peut citer comme exemple le cas de *Caesalpinia eriostachys* Benth. (Fabaceae) au Costa Rica. Cependant, il existe des espèces savaniques maliennes qui ne perdent pas leurs feuilles après la fin de la saison des pluies (Sanogo, 1997). On peut donner comme exemples *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. DC. (Ebenaceae), *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. (Fabaceae) et *Tamarindus indica* L. (Fabaceae). On suppose que ces espèces développent d'autres mécanismes physiologiques pour supporter les conditions d'abscission en saison sèche froide.

Par ailleurs, la coïncidence de la période de défeuillaison de la plupart des espèces des savanes maliennes avec la fin de la saison des pluies, est rapportée par plusieurs auteurs (Clanet & Gillet, 1980; Sanogo, 1997). Les espèces citées sont: *Acacia seyal* Del. (Fabaceae), *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae), *Afzelia africana* Sm. (Fabaceae), *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (Combretaceae), *Burkea africana* Hook. (Fabaceae), *Daniellia oliveri* (Rolfé) Hutch. & Dalz. (Fabaceae), *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae), *Lannea acida* A. Rich. (Anacardiaceae), *Lannea microcarpa* Engl. et K. Krause (Anacardiaceae), *Pterocarpus erinaceus* Poir. (Fabaceae), *Terminalia laxiflora* Engl. (Combretaceae) et *Commiphora africana* (A. Rich.) Engl. (Burseraceae). Parmi ces espèces, quatre ont des affinités probables avec *D. microcarpum* et ce sont *A. seyal*, *B. africana*, *D. oliveri* et *P. erinaceus*, puisqu'elles appartiennent à la famille des Fabaceae.

Selon (Grouzis & Sicot, 1980), la défeuillaison des arbres en zone sahélienne du continent africain résulte de la diminution simultanée de l'humidité relative de l'air et de la réserve hydrique du sol. Ceci confirme nos propres observations.

Floraison

Le processus de floraison de *D. microcarpum* débute en juillet et prend fin en septembre au niveau des trois populations étudiées. Elle se déroule, donc dans la saison des pluies et dans la période de pleine feuillaison.

La pleine floraison proprement dite dure une semaine entre fin août et mi-septembre, période où la pluviosité est maximale et la température moyenne mensuelle est de 26,2-26,8° C. On suppose que la forte pluviosité et une légère augmentation de la température entraînent l'épanouissement total des fleurs.

Nos observations montrent que l'espèce fleurit une fois par an, tandis que d'autres espèces savaniques fleurissent plus d'une fois par an. Poupon (1979) et Seghieri (1990) citent comme exemples *Acacia senegal* (L.) Willd. (Fabaceae), et *A. leiocarpus* et *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. (Balanitaceae), respectivement.

Nos observations montrent que l'épanouissement total des fleurs de *D. microcarpum* et de *Monotes kerstingii* Gilg (Dipterocarpaceae) a lieu au même moment au sud du Mali. Le processus de floraison de *D. microcarpum* entre juillet et septembre au sud du Mali est corroboré par d'autres auteurs (Cuny *et al.*, 1997; Arbonnier, 2000). Cependant, certains travaux situent son processus de floraison entre juillet et novembre (Adjanohoun *et al.*, 1981), ce qui est infirmé par la présente étude réalisée au sud du Mali. Cependant, nos observations personnelles, au niveau de la population de Lougourogombo dans le Plateau de Bandiagara (situé au centre-est du Mali), s'accordent avec les informations fournies par la littérature ci-dessus. Nous supposons que la littérature ci-dessus a recueilli ses informations dans des conditions analogues à Lougourogombo. Nous interprétons le comportement de *D. microcarpum* entre le sud (plus humide) et le centre-est du Mali (plus sec) par un mécanisme qu'elle développe pour adapter sa longueur de floraison en fonction des facteurs agro-climatiques (température et humidité dans le sol).

Abbad & Benchaabane (2004) et Breman & Kessler (1995) indiquent que la température élevée et la pluviosité influent positivement sur l'épanouissement total des fleurs, ce qui corrobore les résultats de la présente étude. D'autres sources expliquent la floraison des espèces en saison des pluies par l'inhibition de l'initiation florale à cause d'un stress hydrique en saison sèche (Murali & Sukumar, 1994).

Sur la base de nos propres résultats, on peut dire que *D. microcarpum* est une espèce à floraison tardive, puisqu'elle intervient en saison des pluies. Selon Fournier (1991), *M. kerstingii* est une espèce à floraison tardive, ce qui confirme nos propres observations sur le terrain car cette espèce fleurit à la même période que *D. microcarpum*. A l'opposé, il existe des espèces à floraison dite précoce, c'est-à-dire qui fleurissent en saison sèche froide (novembre-janvier). On peut citer comme exemples *L. acida* et *S. birrea*.

Fructification (figure 26)

Le processus de fructification de *D. microcarpum* couvre 6 mois à Komé, et 7 mois à Farako et Gouinso 2 (figure 26). La courte longueur de la période de fructification enregistrée à Komé est probablement liée à la cueillette précoce des fruits sur les arbres par les femmes et les enfants pour approvisionner les marchés locaux, car Komé est l'un des lieux de commerce

florissant des fruits de *D. microcarpum* au Mali. Le phénomène ainsi observé au niveau de ce site, donc, n'est pas naturel, mais lié à l'effet cueillette.

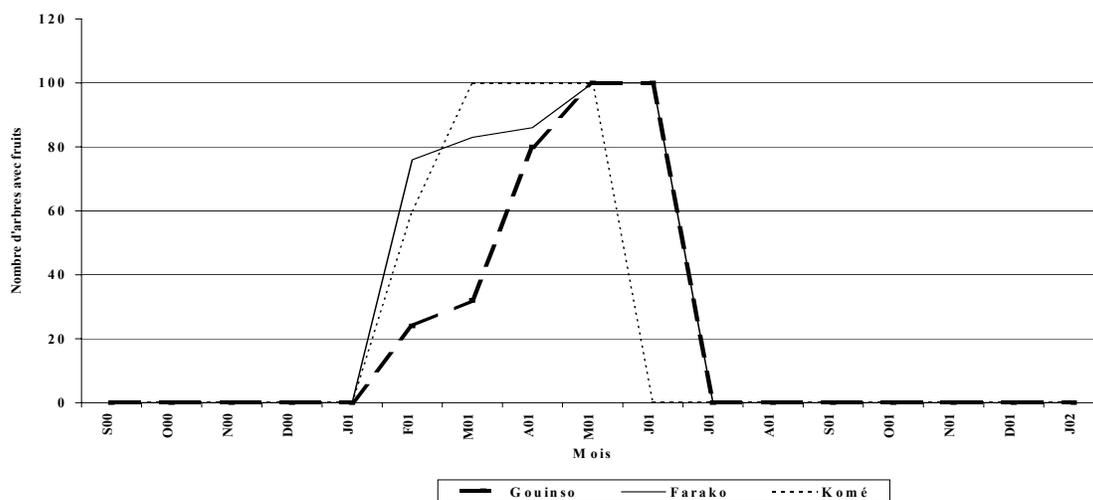


Figure 26: Evolution dans la fructification de *Detarium microcarpum* à Komé, Farako et Gouinso 2

La figure 26 montre que les fruits mûrissent entre mars et mai, tandis que ceux de Farako et de Gouinso 2 sont prêts à récoltés entre mai et juin. Il ressort que la maturité des fruits est plus précoce à Komé en zone plus sèche. Ces résultats indiquent que la maturité des fruits intervient au moment où apparaissent de nouvelles feuilles et où les températures sont maximales (en moyenne 30 °C).

Selon Sanogo (1997), la plupart des fruits des espèces savanicoles arrivent à maturité pendant la saison sèche chaude (mars-mai). On peut donner comme exemples *Adansonia digitata* L. (Bombacaceae), *Bombax costatum* Pellegr. & Vuillet (Bombacaceae), *B. africana*, *Combretum fragrans* F. Hoffm. (Combretaceae), *D. oliveri*, *Erythrina senegalensis* DC. (Fabaceae), *K. senegalensis*, *L. acida*, *L. microcarpa*, *Lophira lanceolata* Van Tiegh. ex Keay (Ochnaceae), *P. biglobosa*, *Pteleopsis suberosa* Engl. & Diels (Combretaceae), *P. erinaceus* et *S. birrea*.

Nos observations montrent que les fruits frais de *D. microcarpum* sont relativement charnus, contrairement à la majorité des autres espèces savanicoles fructifiant en saison sèche au Mali.

Les résultats montrent que la maturation des fruits de *D. microcarpum* est courte. Cette courte maturation des fruits est observée chez *P. erinaceus*, *D. oliveri*, *C. fragans*, *Lannea* spp. et *B. costatum* (Sanogo, 1997).

Des essais de conservation des graines des espèces forestières locales, réalisés au Mali, indiquent que les graines de *D. microcarpum* se conservent bien à la température ambiante, dans des sacs en jute pendant cinq ans, mais leur germination nécessite souvent un prétraitement pour

lever la dormance. La technique mise au point au Mali et applicable par les populations locales consiste à ébouillanter les graines pendant 7 minutes suivi d'un trempage dans l'eau tiède pendant 24 heures (Sanogo, 2000).

6.4.2 Fleurs

La description macroscopique des fleurs de *D. microcarpum* montre qu'elles sont apétales et groupées en panicules axillaires de 15 à 25 cm de long et de 6 à 10 mm de large. On dénombre 3 à 60 fleurs dans une panicule, et 9 à 10 étamines de couleur blanc-crème, libres et protubérantes. L'ovaire est sessile et couronné par un seul style. Sur la base de cette description, on considère *D. microcarpum* comme une plante monoïque, avec des fleurs hermaphrodites. Les travaux de Watson & Dallwitz (1993) indiquent que les espèces de la tribu *Detarieae* à laquelle appartient *D. microcarpum*, sont hermaphrodites, ce qui corrobore les résultats de la présente étude.

Le nombre, les dimensions et la couleur des étamines fournis dans la littérature (Berhaut, 1975; Berhaut, 1975; Adjanohoun *et al.*, 1981; Keay, 1989; Cuny *et al.*, 1997) confirment les résultats de la présente étude. La description de l'ovaire est confirmée par Berhaut (1975) et Arbonnier (2000). Cependant, notre description, contrairement à la littérature, fournit pour la première fois le nombre de fleurs présentes dans une panicule.

6.4.3 Piégeage des agents visiteurs des fleurs dans les seaux

6.4.3.1 Evolution du nombre total d'agents visiteurs des fleurs (figure 27)

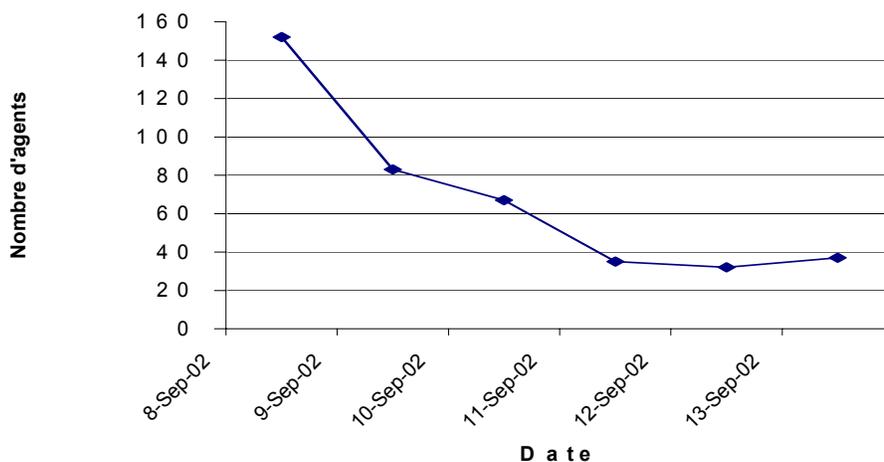


Figure 27: Evolution du nombre total d'agents visiteurs des fleurs de *Detarium microcarpum* piégés dans les seaux

Les résultats du suivi des fleurs montrent que 150 agents en moyenne ont pu être piégés dans les seaux placés auprès des fleurs de *D. microcarpum* dans la forêt de Farako (au sud du Mali) entre le 8 septembre 2002 et le 13 septembre 2002 à partir duquel les fleurs ont commencé à se faner et à brunir.

Le nombre d'agents piégés est passé de 150 le premier jour à 40 le dernier jour, soit une diminution de 3,75 fois. Ceci signifie que les fleurs sont surtout visitées au début de la pleine floraison, ce qui revient à dire que la fanaison et le brunissement des fleurs influent négativement sur le nombre de visiteurs.

En résumé, la durée de la pleine floraison de *D. microcarpum* est d'une semaine à Farako où le nombre de visiteurs piégés diminue drastiquement avec le temps.

6.4.3.2 Répartition par ordre taxonomique des agents visiteurs des fleurs (figure 28)

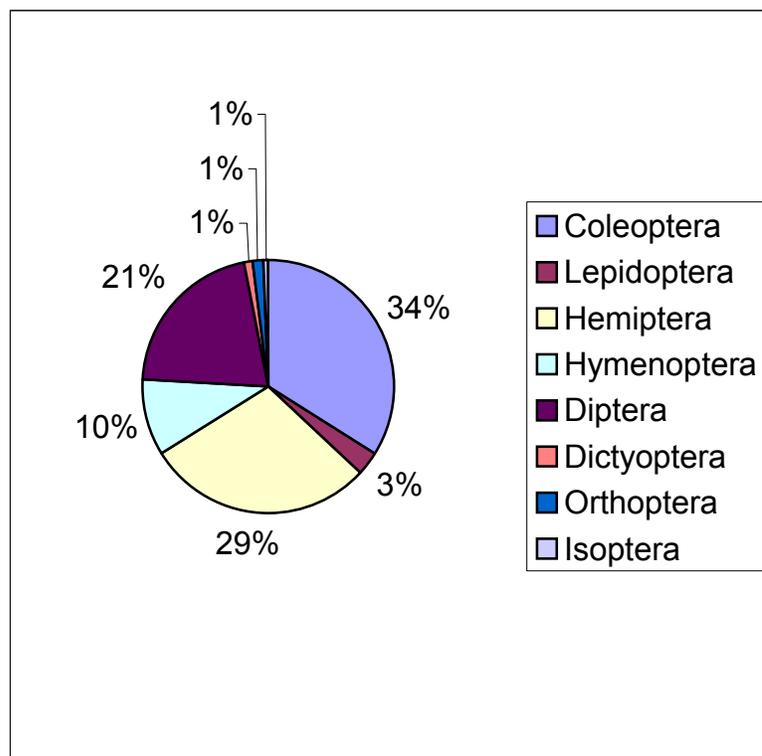


Figure 28: Répartition par ordre taxonomique des agents visiteurs des fleurs de *Detarium microcarpum* dans les seaux

Les agents visiteurs des fleurs de *D. microcarpum* piégés dans les seaux sont répartis entre huit ordres qui sont: (1) les Coléoptères (34 %); (2) les Hémiptères (29 %); (3) les Diptères (21 %); (4) les hyménoptères (10 %); (5) les Lépidoptères (3 %); et (6) les Orthoptères, les Isoptères et les Dictyoptères (1 %), respectivement. Parmi ces ordres, le pollen a été observé sur le corps des Coléoptères dont quelques-uns sont visibles sur les fleurs. Leur pourcentage élevé

dans les seaux et leur longue durée de présence sur les fleurs permettent de les considérer comme des visiteurs constants. Les Hémiptères piégés au niveau des fleurs sont constitués surtout d'Homoptères de type Cercopidés. Leur pourcentage élevé dans les seaux permet de les considérer comme des visiteurs fréquents des fleurs. Les Diptères collectés sont surtout des mouches de petites tailles, dont la majorité (90 %) est collectée pendant les deux premiers jours de la pleine floraison. On peut supposer que cet ordre visite les fleurs à un moment où la quantité de nourriture est disponible. Parmi les 29 % d'Hémiptères piégés, la majorité appartient à la famille des Formicidés (fourmis). Cependant, nous n'observons pas, au niveau des fleurs, un transport direct du pollen par des fourmis. Selon nos observations directes sur le terrain, de nombreuses abeilles (*Apis mellifera* var. *Adansonii*) étaient présentes sur les fleurs de *D. microcarpum* (figure 29), malgré leur faible taux de présence estimé à 9 % des Hyménoptères piégés et 0,8 % des 150 agents piégés. Ceci laisse entrevoir certaines limites de l'engin utilisé, c'est-à-dire les seaux. Parmi les 3 % des Lépidoptères piégés (papillons), plus de la moitié est collectée la nuit, ce qui implique probablement l'ouverture nocturne des fleurs de certains individus de *D. microcarpum*. Au niveau des Dictyoptères (1 %), le faible effectif des blattes piégées et leurs pièces buccales de type rongeur en font d'improbables pollinisateurs. Une mante religieuse (*Manta* spp.) considérée comme une espèce prédatrice, est également piégée. Au niveau des Isoptères (1 %), nous notons quelques termites.

Parmi ces ordres d'insectes piégés, la littérature se prononce sur leur efficacité dans la pollinisation, chose qui n'a pas été traitée par la présente étude. On peut citer comme exemples le cas des Coléoptères considérés comme des pollinisateurs occasionnels chez *P. biglobosa* en Afrique de l'Ouest (Ouédraogo, 1995). Selon Cilas *et al.* (1987), certains insectes de la famille des Aphididés (Homoptères) sont des pollinisateurs occasionnels chez *Theobroma cacao* L. (Sterculiaceae), et transportent très peu de pollen sur leur corps (Lucas, 1981; Oni, 1991). Selon Jaeger & Després (1998), les mouches représentent 90 % des visites des fleurs de *Trollius europaeus* L. (Ranunculaceae) dans le nord des Alpes françaises. L'efficacité des Diptères dans la pollinisation est également signalée par plusieurs auteurs (Free, 1970; Lucas, 1981; Oni, 1991; Jaeger & Després, 1998; Castaneda-Vildoloza *et al.*, 1999). Selon Lucas (1981), les fréquents nettoyages corporels des fourmis enlèvent le pollen éventuellement présent, donc ne les permettent pas d'être des pollinisateurs peu efficaces. Cependant, leur efficacité dans la pollinisation des Solanaceae cultivées au Ghana est rapportée par Amaoko & Yeboah-Gyan (1991), et chez *Theobroma ivorensis* (Oni, 1991). Par contre, les fourmis sont connues comme des pollinisateurs occasionnels chez *T. cacao* (Boussard, 1981; Lucas, 1981). Johnson *et al.* (2004) indiquent une forte pollinisation des plantes africaines par des papillons, ce qui sous-entend qu'ils peuvent être des visiteurs intéressants.

Nous avons senti d'impressionnante odeur parfumée des fleurs de *D. microcarpum*, ce qui est confirmé par d'autres auteurs (Keay, 1989; Burkill, 1995 et Vogt, 1995). L'espèce est prisée pour la production de miel de bonne qualité par les populations riveraines de la forêt de Farako, ce qui est confirmé par Schneider (1996) . Le nectar sucré des fleurs de *D. microcarpum* signalé par Burkill (1995) pourrait expliquer la forte présence des abeilles, mais la présente étude ne peut ni l'infirmier ni le confirmer, car ce n'était pas l'objet visé.

L'importance des abeilles dans la pollinisation des espèces est révélée par plusieurs sources. Selon Boussard (1981), elles constituent 90 % de la faune pollinisatrice dans les régions tempérées. Par contre, elles interviennent dans les tropiques, pour la pollinisation du genre *Prosopis* (Pasicznic, 2001) et des espèces telles que *P. biglobosa* (Ouédraogo, 1995), *V. paradoxa* (Bonkougou, 1987), *B. africana* (Arbonnier, 2000), *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae) selon Amoako & Yeboah-Gyan (1991), et pour la plupart des *Papilionoideae* (Etchevery, 2001). Johnson *et al.* (2004) indiquent une forte pollinisation des plantes africaines par des papillons.

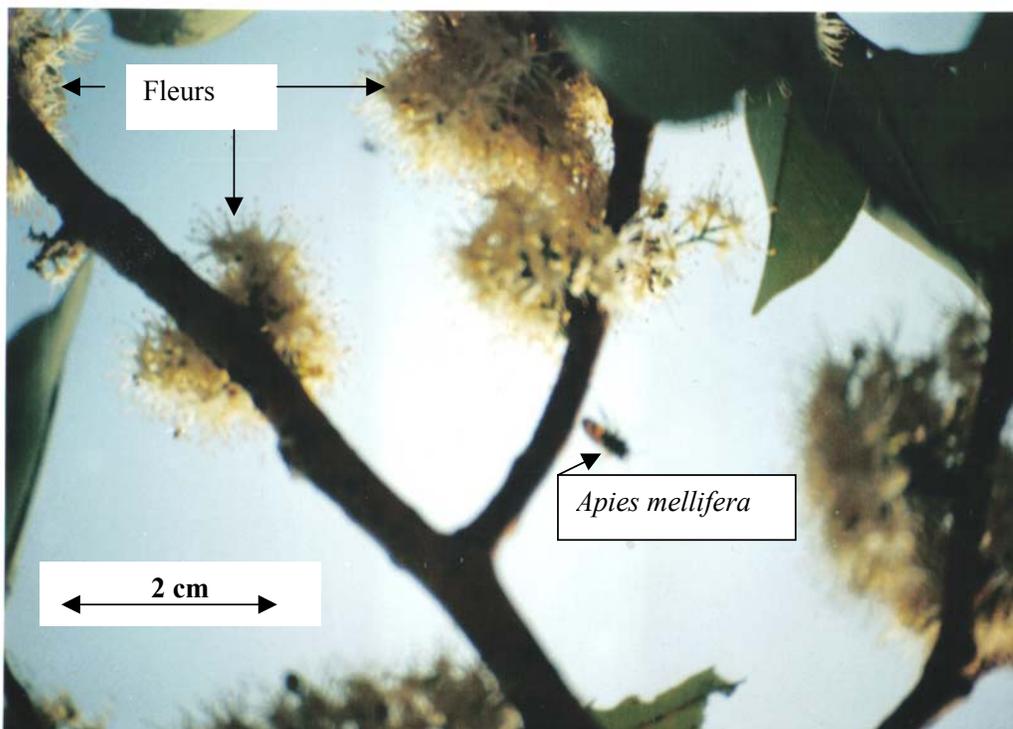


Figure 29: *Apis mellifera* visitant les fleurs de *Detarium microcarpum* (Photo: Kouyaté)

En résumé, on peut dire que beaucoup d'insectes visitent les fleurs de *D. microcarpum*, ce qui constitue un atout majeur pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique afin d'aboutir à la domestication de cette plante.

6.4.3.3 Influence de la période de la journée sur le piégeage des agents visiteurs (figure 30)

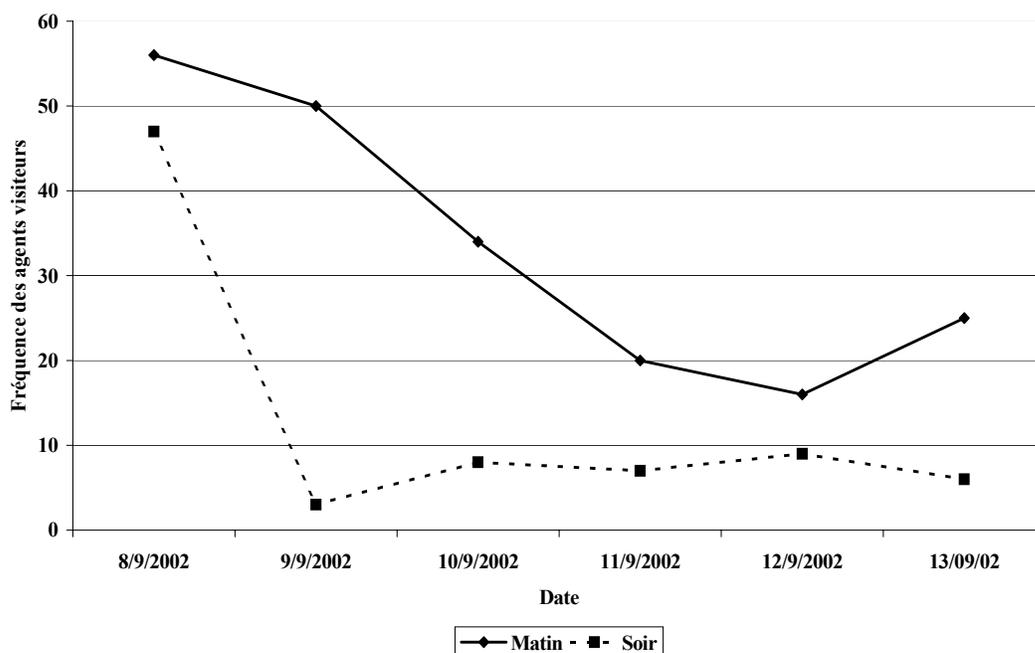


Figure 30: Evolution de la fréquence des agents visiteurs en fonction des périodes de la journée

La figure 30 montre que le nombre de visiteurs des fleurs dans la matinée diminue progressivement jusqu'au 5^e jour, puis remonte légèrement au 6^e jour qui correspond au début de la fanaison et du brunissement des fleurs. On observe, par contre dans l'après-midi, une baisse drastique de l'effectif des agents visiteurs dès le 2^e jour, et cet effectif n'atteint plus 10 jusqu'à la fin du suivi.

La relance observée au 6^e jour, dans la matinée, est probablement l'œuvre d'agents visiteurs occasionnels. Par ailleurs, nous interprétons l'intense activité des agents dans la matinée par la faiblesse du rayonnement solaire.

La littérature rapporte que les insectes pollinisateurs sont plus actifs dans la matinée (Bonkougou, 1987; Ouédraogo, 1995; Waites & Agren, 2004), ce qui corrobore les résultats de la présente étude. Kearns & Inouye (1995) expliquent la forte activité matinale par l'ouverture des anthères, donc la disponibilité de nourritures, et par la baisse des températures.

6.4.3.4 Influence de la lumière sur le piégeage nocturne des agents visiteurs (figure 31)

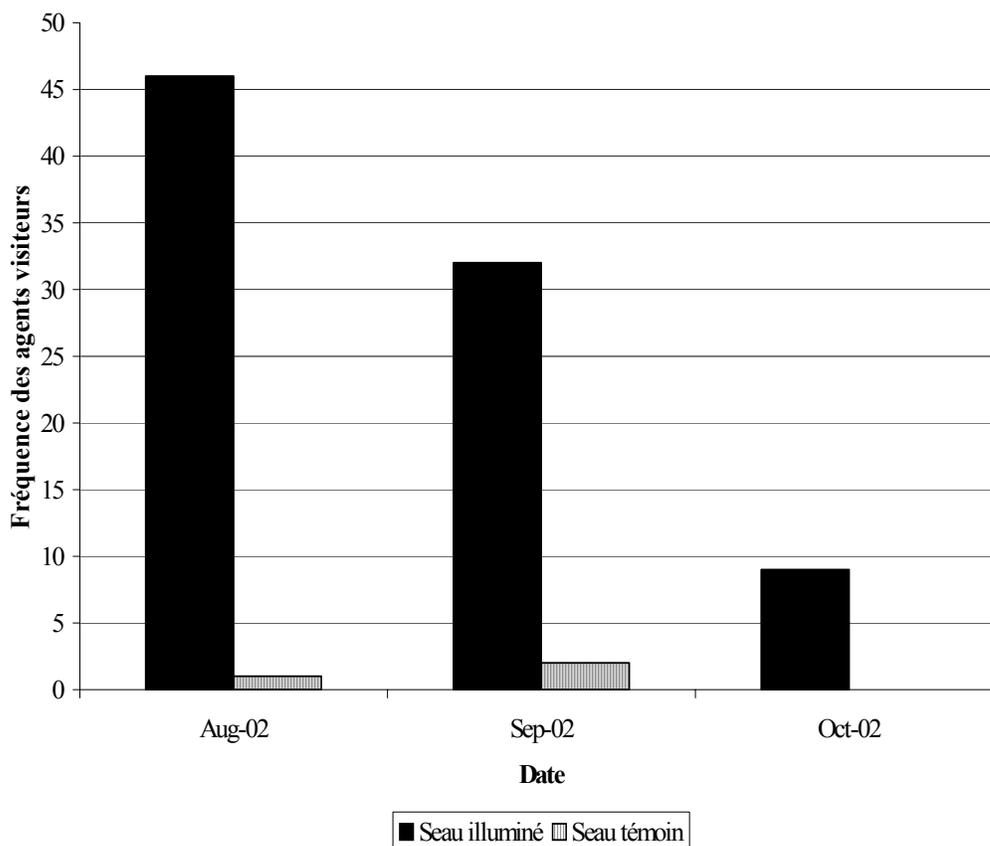


Figure 31: Evolution de la fréquence des agents visiteurs sous l'effet de la lumière

La figure 31 montre une diminution progressive du nombre d'agents visiteurs entre le début et la fin des observations dans les seaux illuminés, tandis que nous observons le contraire dans les seaux témoins en dépit des effectifs très faibles

Parmi les agents capturés la nuit, 63 % sont des hémiptères. Nous supposons que cette forte présence de cet ordre est liée à une phototaxie positive, c'est-à-dire une attraction exercée par la source lumineuse ou à leurs intenses activités en début de nuit.

6.4.3.5 Influence de la toposéquence sur le piégeage des agents visiteurs (tableau 47)

Les résultats montrent que 46 agents en moyenne sont capturés sur la toposéquence, qui sont répartis comme suit: 23 sur le versant; 15 sur le sommet; et 8 au bas de colline. Le test de Chi-2 montre que le nombre moyen d'agents capturés sur le versant ($p= 0,000$) est significativement différent à ceux du sommet ($p= 0,67$) et du bas de colline ($p= 0,67$).

Tableau 47: Fréquence des agents visiteurs en fonction de la toposéquence

Toposéquence	Durée	Moyenne
	(jour)	
Sommet	6	15
Versant	6	23
Bas de colline	6	8

Nous expliquons la fréquence élevée des agents au niveau du versant par son microclimat peu ombragé dû à la répartition éparse des individus de *D. microcarpum* qui ont un houppier peu large, car selon Kearns & Inouye (1995), les "taches de soleil" sont importantes pour l'activité des pollinisateurs.

6.4.4 Piégeage des agents visiteurs des fleurs dans les filets

Le nombre d'agents visiteurs des fleurs de *D. microcarpum* piégés à l'aide des filets est très faible pour donner une représentation statistique fiable. C'est pourquoi, nous n'avons pas pu faire de comparaisons entre les deux engins.

Nos propres observations révèlent que le type de piège influe grandement sur la capture des agents visiteurs, ce qui est confirmé par Cilas *et al.* (1987).

En résumé, les fleurs de *D. microcarpum* sont intensément visitées surtout dans la matinée par plusieurs ordres dont les plus nombreux sont les Coléoptères, les Hémiptères et les Diptères. Des visiteurs nocturnes sont également identifiés dont la majorité est constituée d'hémiptères, ce qui laisse croire que ces fleurs s'ouvrent autant dans la matinée que dans la nuit.

Les résultats obtenus sur les agents visiteurs des fleurs sont d'une grande importance pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique, pour les raisons suivantes: premièrement, *D. microcarpum* a une fructification irrégulière et deuxièmement c'est une plante hermaphrodite. La connaissance de ces agents s'avère indispensable pour stimuler la pollinisation, et par conséquent augmenter et régulariser la production fruitière pour que les communautés paysannes tirent le maximum de profit économique des individus qui seront domestiqués. Par ailleurs, la forte présence des abeilles observée sur le terrain dans les fleurs de *D. microcarpum* implique une dynamisation des activités d'apiculture pour rentabiliser les futurs vergers ou les forêts de *D. microcarpum* domestiquée.

6.4.5 Rendement en fruits

Tableau 48: Caractéristiques biométriques des descripteurs de la production fruitière de *Detarium microcarpum*

Descripteur	N	Moy.	Min.	Max.
Circonférence du tronc à 1,30 m du sol (cm)	41	54,61	28	100
Hauteur de la première ramification basale (m)	41	2,115	0,7	8,2
Nombre de fruits	41	574,85	77	3146
Poids des fruits (kg)	41	5,94	1	27
Nombre de fruits par kilo	41	97,78	60	240

N: effectif; Moy.: moyenne; Min.: minimum; Max.: maximum

Les résultats de la présente étude montrent que la production fruitière de *D. microcarpum* est de 574,85 fruits, pesant 5,94 kg. Les valeurs minimale et maximale observées sont de 77 fruits et 3146 fruits, respectivement. Il résulte qu'un kilogramme de fruits renferme 97,78 de fruits, soit une production de 154 060 fruits par hectare et par an.

A défaut de littérature sur la production fruitière de *D. microcarpum*, nous comparons nos résultats avec le peu de données existant sur quelques espèces savanicoles. Selon Boffa (2000), un arbre de *B. aegyptiaca*, *Z. mauritiana* et *T. indica* produisent 100 à 150 kg, 80 à 130 kg et 150 à 200 kg, respectivement. Le Houérou (1980) indique que *F. albida* produit 6,0 (émondé)-10,0 kg (non émondé) de gousses, tandis que *C. africana* dans le Sahel sénégalais fournit 0,09 kg de fruits.

Il résulte que *D. microcarpum* est une espèce très productive en fruits. La conjonction de ces résultats et ceux de l'enquête ethnobotanique qui montrent que les fruits sont l'un des produits les plus commercialisés et constituent le seul produit consommé au Mali, justifie les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique pour déboucher sur la domestication de l'espèce. Celle-ci permettra une amélioration des conditions de vie des communautés paysannes à travers une filière bien organisée.

Tableau 49: Corrélation entre les descripteurs de la production fruitière de *Detarium microcarpum*

	$C_{1,30\text{ m}}$	Hr	Nf	Pf	Nf/kg
$C_{1,30\text{ m}}$	1	-0,079	0,510	0,556	-0,090
Hr	-0,079	1	-0,125	-0,099	-0,042
Nf	0,510	-0,125	1	0,938	0,307
Pf	0,556	-0,099	0,938	1	0,034
Nf/kg	-0,090	-0,042	0,307	0,034	1

Les chiffres en gras désignent les corrélations hautement significatives au seuil de 1 %; $C_{1,30\text{ m}}$: circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol (cm); Hr: hauteur de la première ramification basale (m); Nf: nombre de fruits; Pf: poids des fruits (kg); Nf/kg: nombre de fruits par kilo

La matrice des corrélations montre que la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol est positivement et significativement corrélée au nombre des fruits ($r= 0,51$) et au poids des fruits ($r= 0,56$), alors que le nombre et le poids des fruits sont positivement et significativement corrélés ($r= 0,94$).

La corrélation significative et positive entre la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol et la production fruitière est confirmée par Le Houérou (1980) et Breman & Kessler (1995) au Sahel (au sud du Sahara).

Tableau 50: Régression linéaire entre la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol, la hauteur de la première ramification basale, et certains descripteurs des fruits

Equation de régression	Effectif	Coefficient de détermination	Probabilité	Signification
$Pf= 0,1976 C_{1,30\text{ m}}-4,852$	41	0,309	0,000	***
$Nf= 20,368 C_{1,30\text{ m}}-537,415$	41	0,261	0,001	***
$Pf=6,813-0,414\text{ hr}$	41	0,010	0,537	NS
$Nf= 699,050-58,718\text{ hr}$	41	0,016	0,435	NS

***: hautement significatif au seuil de 1 %; NS: non significatif; $C_{1,30\text{ m}}$: circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol (cm); Hr: hauteur de la première ramification basale (m); Nf: nombre de fruits; Pf: poids des fruits (kg)

Les résultats de l'analyse de variance montrent que la régression est significative pour le poids des fruits et la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol d'une part, et pour le nombre des fruits et la circonférence d'autre part, malgré les faibles valeurs des coefficients de détermination. Par contre, elle ne l'est pas pour la hauteur de la première ramification basale, et le nombre ($p= 0,43$) et le poids ($p= 0,54$) des fruits.

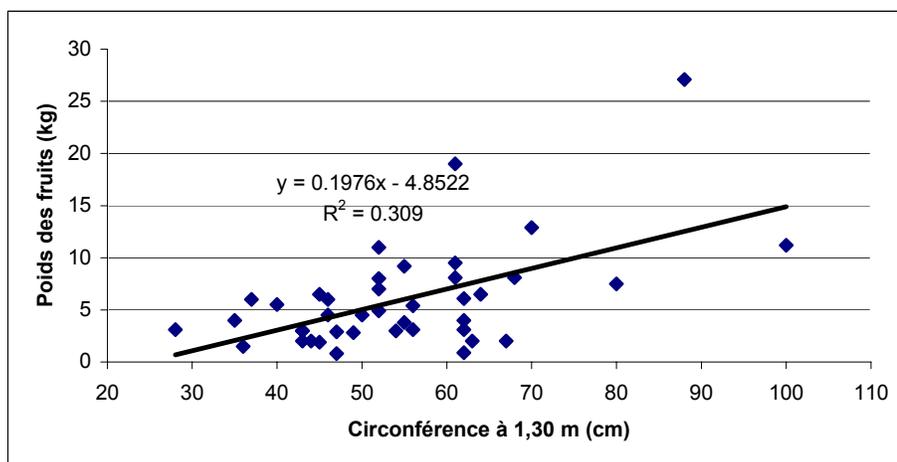


Figure 32: Relation entre le poids des fruits et la circonférence du tronc de *D*.

microcarpum prise à 1,30 m du sol

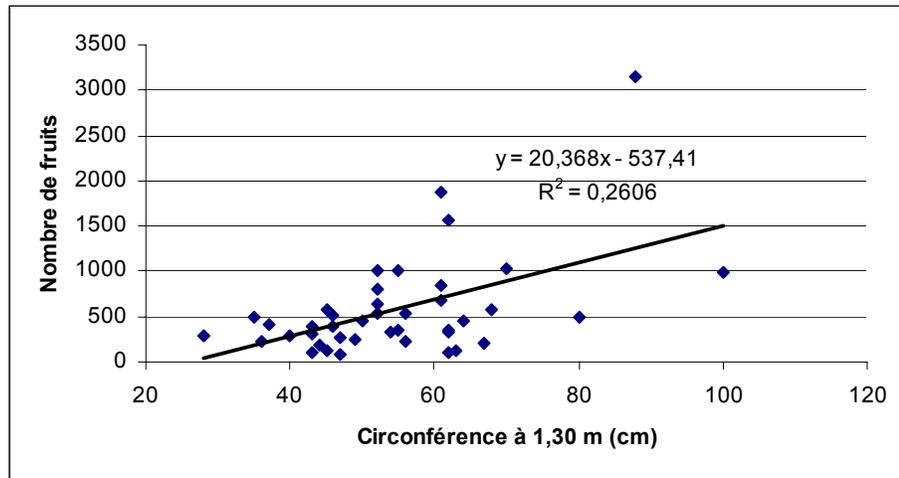


Figure 33: Relation entre le nombre de fruits et la circonférence du tronc de *D. microcarpum* prise à 1,30 m du sol

Les droites de régression ci-dessus indiquent un faible coefficient de détermination, bien que les régressions soient hautement significatives. Y et x représentent le poids ou le nombre de fruits, et la circonférence du tronc prise à 1,30 m du sol, respectivement.

Pour réussir l'appropriation de la domestication de *D. microcarpum* par les communautés paysannes, il importe de mettre à la disposition des organisations d'encadrement du monde rural un outil d'estimation basé sur des mesures simples. Les équations ainsi établies permettront d'évaluer la productivité des individus domestiqués, donc de connaître indirectement leur valeur monétaire.

Tableau 51: Evolution de la production fruitière de *D. microcarpum* en fonction de la saisonnalité au niveau de la population de Yanfolila (N=26)

Variable	Campagne agricole							
	2001-2002				2002-2003			
Descripteur	Nf	Pf (kg)	Nf/kg	P (mm)	Nf	Pf (kg)	Nf/kg	P (mm)
Moy.	344	3,73	83	1154	983	9,97	100	1016,2

La production en fruits de *D. microcarpum* déterminée à Yanfolila varie entre 344 fruits (2001-2002) et 983 fruits (2002-2003). Ici, il est intéressant de souligner l'irrégularité de la production fruitière de l'espèce qui est fournie pour la première fois avec des données chiffrées.

L'influence de la pluviométrie n'étant pas linéaire, il est très délicat de lier l'irrégularité de la fructification à la pluviométrie. D'autres mécanismes expliqueraient cette irrégularité, par exemple l'avortement des fleurs ou une faible activité des agents pollinisateurs.

Cette irrégularité dans la fructification est confirmée par Sanogo (1997), mais sans données chiffrées. On peut donner d'autres exemples d'espèces soudano-sahélienne et soudano-guinéenne du Mali qui observent l'irrégularité dans leur fructification: *Azelia africana* Sm. (Fabaceae), *Erythrophleum africanum* (Benth.) Harms (Fabaceae), *Isobertinia doka* Craib & Stapf (Fabaceae), *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. (Meliaceae), *V. paradoxa* et *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon (Apocynaceae). Les variations temporelles, spatiales, inter-et intra-spécifiques pour la phase de fructification chez les arbres tropicaux sont signalées par d'autres études phénologiques (Muhanguzi *et al.*, 2003).

Les résultats sur l'irrégularité dans la fructification sont très importants pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique pour déboucher à la domestication de *D. microcarpum*, car l'irrégularité sera l'un des critères de sélection pour la production d'individus performants.

6.5 Conclusions

Les résultats de l'étude phénologique de *D. microcarpum* montrent une variabilité inter-populations pour la longueur du processus de feuillaison, de défeuillaison et de fructification. Ils montrent une variabilité chez *D. microcarpum* pour la longueur de la pleine feuillaison (7-8 mois) et de celle de la défeuillaison (3-5 mois). Une variabilité à l'intérieur de la population de Gouinso 2 est observée pour la capacité des arbres à perdre leurs feuilles après la saison des pluies: 95 % des arbres perdent leurs feuilles, contre 5 % qui ne les perdent pas.

Les résultats de l'étude phénologique de *D. microcarpum* révèlent que la longueur de la pleine floraison de *D. microcarpum* couvre seulement une semaine (7 jours situés entre fin août et mi-septembre). Les fruits de *D. microcarpum* sont complètement mûrs et prêts à être récoltés entre mars et mai (saison sèche chaude) en zone plus sèche, et entre mai et juin (saison sèche chaude et début de la saison des pluies) en zone humide. Ils montrent que la floraison et la fructification se déroulent pendant le processus de feuillaison.

La variabilité phénologique observée chez *D. microcarpum* semble être tributaire des conditions climatiques telles que l'humidité relative de l'air, l'humidité du sol et la pluviométrie.

L'évaluation de la production fruitière indique une irrégularité dans la fructification de l'espèce, bien qu'elle produit en moyenne 574,85 fruits par arbre, pesant 5,94 kg.

L'étude d'identification des agents visiteurs des fleurs montre que les ordres d'insectes les plus nombreux dans le piège utilisé sont des Coléoptères, des Hémiptères, des Diptères et des Hyménoptères. Nos observations directes mettent en évidence le rôle des abeilles et des

Coléoptères pour le transport du pollen sur les fleurs de *D. microcarpum*, ainsi que les limites des engins utilisés.

Les résultats de la présente étude permettent de planifier les périodes de récolte des différentes parties de *D. microcarpum* sans porter préjudice à sa pérennité. On peut citer comme exemple la coupe de bois de chauffe qui ne doit pas être effectuée au moment où l'arbre est en fleurs ou porte des fruits, car cela entraîne autrement la disparition des organes de reproduction, donc une perte génétique. Ces résultats contribuent à l'élaboration des statistiques propres à *D. microcarpum* qui assureront sa domestication.

Bien que les résultats intéressants pour la phénologie de *D. microcarpum* soient obtenus, d'autres recherches plus détaillées sur l'influence des facteurs édapho-climatiques sur la phénologie de l'espèce méritent d'être poursuivies sur plusieurs années.

Le chapitre qui suit, traite de la fertilité des sols à *D. microcarpum* et le processus de minéralisation de l'azote de ses branches feuillées.

CHAPITRE 7**ETUDE DE LA FERTILITE DES SOLS A *DETARIUM MICROCARPUM*****7.1. Introduction**

L'épuisement et la dégradation des sols sont des problèmes énormes qui contribuent à la faim et à la pauvreté en Afrique subsaharienne, entraînant une baisse de la fertilité des sols qui résulte d'une mise en culture excessive et de surpâturage. Selon la FAO (2003), les sols dans la plupart des pays de cette partie de l'Afrique présentent une baisse de fertilité, une faible restitution des éléments nutritifs exportés, et une productivité limitée par l'aridité et l'acidité. Selon la même source, le déclin de la fertilité du sol est une détérioration de ses propriétés chimiques, physiques et biologiques qui est causée principalement par le déboisement, le surpâturage, l'agriculture itinérante et la mauvaise utilisation des ressources en sol et en eau. Cependant, d'autres facteurs agissent indirectement sur ce déclin tels que l'augmentation de la population, le manque de terre, le régime foncier et la pauvreté.

Le terme fertilité représente les concentrations d'éléments nutritifs disponibles pour les plantes, sans intrants artificiels (Breman & Kessler, 1995).

Dans la zone soudano-sahélienne, plus de 40 % des revenus des paysans proviennent d'une exploitation abusive de la fertilité du sol (Van Der Pol, 1992 cité par Soumaré, 1996).

Au Mali, les ressources naturelles constituent la base des systèmes de production, mais elles sont sous l'influence des aléas climatiques et de la croissance démographique humaine et animale qui exercent une forte pression entraînant leur surexploitation. Selon le MDR (2002), la dégradation des sols caractérisée par une baisse de leur fertilité, donc de la baisse des rendements des cultures, est devenue une contrainte majeure dans tous les écosystèmes et une grande préoccupation aussi bien des producteurs que des autorités maliennes.

Cependant, de nombreuses techniques ont été toujours utilisées pour pallier la baisse de la fertilité des sols. Autrefois, de nombreux agriculteurs africains conservaient au sol sa fertilité en pratiquant la culture sur brûlis ou en épandant des engrais chimiques et des herbicides dans les champs. Aujourd'hui, il existe de nouvelles méthodes pour restaurer la fertilité des sols telle que l'utilisation des légumineuses arborescentes, des plantes de couverture, du compost, des débris végétaux, des engrais organiques, de la sciure du bois, de la biomasse, etc.

Selon Gottle & Sene (1997), pour les terres de culture, des systèmes de forêts-parcs ont été développés, non seulement pour assurer le maintien de la fertilité des sols, mais également pour protéger les hommes et les animaux. Ces types de formation prévalent depuis les formations du type *Campo* de l'Europe Ibérique, jusqu'aux forêts-parcs dominées par des légumineuses des zones subhumides à sèches de l'Afrique de l'Ouest et du Sud. De nombreux

auteurs mentionnent l'influence biophysique des arbres sur les sols et les cultures (Kellman, 1979; Belsky *et al.*, 1989; Kater *et al.*, 1992; Breman & Kessler, 1995; Jaiyeoba, 1996; Soumaré, 1996; Gottle & Sene, 1997; Boffa, 2000). On peut donner comme exemple, le cas de *Faidherbia albida* Del. (Fabaceae) des zones sèches en Afrique au sud du Sahara qui fournit des nutriments naturels aux cultures.

Au Mali, les paysans utilisent les caractéristiques de la végétation (densité, couleur du feuillage) pour identifier les sols fertiles pour la culture (Bagnoud, 1992; Kanté & Defoer, 1995; Kanté & Bengaly, 1997). Le cas de *Detarium microcarpum* Guill & Perr. (Fabaceae) est posé au moment de l'évaluation des connaissances ethnobotaniques sur la même espèce au sud du Mali (chapitre 2), où seulement 48 % des personnes interrogées l'indiquent comme un excellent fertilisant. De plus, les feuilles de *D. microcarpum* sont utilisées par les femmes *minianka* comme fumure organique dans les champs de *Zingiber officinale* Rosc. (Zingiberaceae), *Cyperus esculentus* L. (Cyperaceae) et *Dioscorea* spp. (Dioscoreaceae).

Le présent travail sur la fertilité des sols à *D. microcarpum* est initié pour valider les connaissances locales. Il revêt un grand intérêt pour un pays comme le Mali dont l'économie est principalement à vocation agropastorale, et pour la domestication de *D. microcarpum* qui est très présente dans les jachères.

7.2. Objectif

L'objectif spécifique visé est d'évaluer et d'analyser les propriétés chimiques des sols à *D. microcarpum* en vue de déterminer leur niveau de fertilité pour le processus de domestication.

7.3. Matériel et méthodes

7.3.1 Aperçu sur la zone d'étude

L'évaluation de la fertilité des sols a été réalisée sur les sites de Farako et de Kafono qui ont fait l'objet de l'étude de caractérisation morphologique de *D. microcarpum*.

Le site de Farako est situé dans l'unité agro-écologique soudanienne sud et se trouve sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions, moyennement profonds avec 3 % de gravillons à la surface du sol. Ce site est caractérisé par des termitières cathédrales qui sont des monticules qui peuvent atteindre souvent six mètres de haut sur cinq mètres de diamètre. Le système de rotations culturales annuel à Farako est caractérisé par l'association *Zea mays* L. (Poaceae) et *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Poaceae) ou *Z. mays* et *Pennisetum americanum*

(L.) Leeke (Poaceae) ou *Z. mays* seul. Une partie des résidus de récolte est destinée à l'alimentation des animaux parqués, et l'autre partie reste dans le champ pour être enfouie dans le sol lors du prochain labour.

Le site de Kafono se trouve dans l'unité agro-écologique soudano-guinéenne sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur cuirasse, moyennement profonds avec 80 % de gravillons à la surface du sol. Le système de rotations est marqué par l'association *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae) et *Z. mays* (première et deuxième années), *P. americanum* ou *S. bicolor* (3^e année) et jachère (4^e année) pendant au moins quatre ans. Au niveau de ce site, les résidus de récolte sont transportés hors du champ pour le compostage en vue de les réutiliser comme fumure organique.

7.3.2 Echantillonnage des sols

Le prélèvement des sols est réalisé sous trente individus de *D. microcarpum* isolés pour éviter d'interférence avec d'autres espèces, soit quinze par site. Nous nous sommes inspirés des méthodes présentées par Kater *et al.* (1992) sur *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (Sapotaceae) et *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (Fabaceae) au sud du Mali, et Soumaré (1996) sur *Acacia seyal* Del. (Fabaceae) et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae) dans le Sahel malien. La méthode consiste à délimiter deux cercles d'échantillonnage avec l'arbre comme le centre des cercles. Le premier cercle représente sous le houppier où l'emplacement de l'échantillon est à trois mètres de l'arbre, tandis que le second qui représente le hors houppier a un rayon de six mètres, soit deux fois celui du premier cercle. On prélève quatre échantillons de sols sous et en dehors du houppier dans les vingt premiers centimètres à l'aide d'une petite tarière pédologique, suivant les directions nord-sud et ouest-est dont le cheminement est effectué au moyen d'une boussole suunto. Pour des besoins d'analyse, les échantillons pris à une même distance sont mélangés pour constituer un seul échantillon.

Les sols collectés sont séchés sur une bâche étalée à la température ambiante d'une chambre bien aérée pendant deux nuits. Ils sont ensuite conservés dans des sachets en plastique étiquetés et envoyés pour analyses en laboratoire au Département de Gestion du Sol de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand en Belgique.

7.3.3 Analyse des sols

Au niveau du laboratoire, chaque échantillon a fait l'objet d'un tri à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre. Les caractéristiques physico-chimiques déterminées sont: le (1) pH-KCL à

l'aide d'un pH-mètre de type Orion 420 A⁺, Del.; (2) le carbone total (C_t) en utilisant la méthode présentée par Walkey & Black; (3) l'azote total (N_t) à l'aide du "*CNS elemental analyser*" (un appareil automatique pour la détermination quantitative du carbone, de l'azote et du soufre, variomax CNS, Elementar, Gelemagne); et (4) le phosphore total (P_t) en utilisant la méthode proposée par Scheel (1936).

7.3.4 Minéralisation de l'azote

La minéralisation de l'azote comporte trois phases à savoir la décomposition de la matière organique, la minéralisation proprement dite et la nitrification.

7.3.4.1 Echantillonnage des feuilles

Les travaux de minéralisation de l'azote sont réalisés avec des petites branches feuillées de *D. microcarpum* qui sont prises sur cinq arbres à Farako et Kafono, en s'inspirant de la pratique paysanne en milieu *minianka* qui consiste à épandre les petites branches feuillées de l'espèce sur les cultures de *Z. officinale*, *C. esculentus* et *Dioscorea* spp.

Les petites branches feuillées sont séchées à la température ambiante d'une chambre bien aérée pendant deux nuits, puis finement broyées au Laboratoire de Technologie Animale de l'Institut d'Economie Rurale basé à Bamako au Mali. Ensuite, les échantillons sont étiquetés et envoyés pour analyses en laboratoire au Département de Gestion du Sol de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand en Belgique.

7.3.4.2 Echantillonnage des sols

Au niveau de chaque site, nous avons choisi trois champs cultivés qui se trouvent sur le même type de sols que *D. microcarpum*, en vue de refléter la vérité terrain en laboratoire.

Au niveau de chaque champ, douze échantillons de sols sont prélevés au hasard dans les vingt premiers centimètres à l'aide d'une petite tarière pédologique. Ensuite, les trente six échantillons des sols par site (3 x 12 échantillons de sols) sont mélangés pour en faire un unique échantillon. Ce dernier est étalé sur une bâche à la température ambiante d'une chambre bien aérée pendant un jour et deux nuits. Les échantillons, une fois séchés, sont conservés dans des sachets en plastique étiquetés et envoyés pour analyses en laboratoire au Département de Gestion du Sol de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand en Belgique.

7.3.4.3 *Expérience en laboratoire*

La composition chimique du broyat des petites branches feuillées de *D. microcarpum* est déterminée en laboratoire. Les caractéristiques chimiques analysées sont le polyphénol (PP), l'hémicellulose (Hce), la cellulose (Ce), la lignine (L), le carbone total (C_t) et l'azote total (N_t).

Le polyphénol est déterminé suivant la méthode Folin-Denis présentée par King & Heath (1967), tandis que l'hémicellulose, la cellulose et la lignine sont déterminées en utilisant la méthode proposée par De Neve & Hofman (1996). L'azote et le carbone dans les différentes fractions sont déterminés à l'aide du "*CNS elemental analyser*".

Le fractionnement a été fait comme suit: six grammes de matériel végétal séché et broyé sont pesés et portés à ébullition pendant 2 heures. Le matériel est filtré à l'aide d'un filtre Büchner. Le filtrat est transposé dans une coupelle d'incinération. Après évaporation, il est séché à 100° C et refroidi et pesé (1). Ensuite, le résidu est incinéré dans une coupelle et repesé (2). La différence entre (1) et (2) donne la fraction soluble dans l'eau. On retire 0,5 g du résidu laissé sur le filtre, après extraction de l'eau afin de pouvoir déterminer la teneur en cendres. Le restant est placé dans un récipient et on y ajoute 300 ml de HCl (2 %). Ce mélange est mis à ébullition durant cinq heures. Ensuite, le résidu est filtré à l'aide d'un filtre Büchner, puis transposé avec le filtre papier dans un bocal, et séché à 100° C. Il est refroidi, puis pesé. La perte de poids de l'extraction de HCl donne la fraction d'hémicellulose, après correction de la quantité de cendres. Du résidu restant après extraction de HCl, on retire 0,5 g afin de pouvoir déterminer la teneur en cendres. Le restant est mis, après pesée, dans un flacon avec 20 ml de H₂SO₄ (80 %), puis après deux heures et demies on y ajoute 200 ml d'eau. Ce mélange est mis à ébullition durant 5 heures. Puis, on le filtre dans un filtre Büchner. Le résidu est placé, avec le filtre papier, dans un flacon et après évaporation et séchage à 100° C. Il est refroidi et pesé. La perte de poids durant l'extraction de H₂SO₄ donne une fraction de cellulose après correction de la quantité de cendres. Le restant après les séquences d'extraction de H₂SO₄ donne la teneur en lignine.

7.3.4.4 *Incubation*

Les restes organiques peuvent former une source importante d'azote pour les cultures et/ou la végétation. La libération de l'azote attendue peut être prédite de façon précise grâce à des expériences d'incubation. Pour cela, on mesure la libération de l'azote sous des circonstances contrôlées durant une certaine période.

La minéralisation de l'azote du broyat des branches feuillées de *D. microcarpum* est effectuée dans un incubateur en utilisant la méthode proposée par De Neve & Hofman (1996). L'incubation est faite, pour chaque type de sol (Farako et Kafono), avec des petits tubes en plastique de 46 mm de diamètre. Les tubes sont remplis de la même quantité de sol, en acceptant pour chaque type de sol, une densité de 1,3 g/cm³ qui se rapproche de la réalité, car il y avait beaucoup de graviers dans les échantillons des sols de Kafono. Ensuite, on ajoute de l'eau afin d'obtenir une teneur en humidité de 15 % tout en tenant compte des différentes quantités d'humidité restées dans les deux types de sols séchés à l'air libre. Par gravimétrie, nous estimons cette teneur comme la moyenne de l'humidité du sol sur les deux sites à la fin de la saison des pluies au moment où *D. microcarpum* entame sa défeuillaison dans la zone d'étude. On apporte 2 mg du broyat par gramme de sol. Cependant, pour répliquer les pratiques des femmes *minianka* (épandage des branches feuillées de *D. microcarpum* sur les cultures de *Z. officinale*, *C. esculentus* et *Dioscorea* spp), nous avons épandu seulement le broyat sur les échantillons de sols. Ensuite, on couvre les tubes avec une couche de parafilm afin d'éviter la perte d'eau, puis ceux-ci sont pesés. Les tubes sont incubés à 25° C, car cette température représente les températures moyennes diurne et nocturne au sud du Mali de février à avril. Chaque type de sol incubé est associé à un témoin, c'est-à-dire un sol sans broyat. Tous les échantillons sont pesés régulièrement afin de contrôler la teneur en humidité.

Les composés NH₄⁺-N et NO₃⁻-N sont déterminés suivant la méthode Berthelo et par réduction du nitrate en nitrite, à l'aide d'un *continuous flew auto-analyser* (CFAA).

7.3.5 Traitement et analyse des données

Les données physico-chimiques sous et en dehors du houppier du *D. microcarpum* ont fait l'objet d'analyse de variance (ANOVA) suivant le logiciel Sp-plus. On a comparé la valeur F calculée à la valeur F théorique, c'est-à-dire le seuil de signification fixé à 5 %. Le test F est dit non significatif, si F calculé est inférieur à 5 % ou la probabilité retour est supérieure à 5 %. Il est dit significatif, si F calculé est supérieur à 5 % ou la probabilité retour est inférieure à 5 %, et hautement significatif si F calculé est supérieure à 1 % ou la probabilité retour est inférieure à 1 %.

Pour des besoins d'ANOVA, les teneurs en azote, phosphore et carbone ont subi une transformation logarithmique afin d'obtenir la normalité.

D'autres rapports sont calculés pour permettre de comprendre le processus de minéralisation de l'azote des feuilles. Il s'agit: (1) le rapport carbone/azote (C/N); (2) le rapport

lignine/azote (L/N); (3) le rapport polyphénol/azote (PP/N); et (4) le rapport lignine+polyphénol/azote (L+PP)/N.

La revue de la littérature ne fait point allusion à la composition chimique des sols à *D. microcarpum*. C'est pourquoi, les résultats de la présente étude sont comparés à des travaux qui sont réalisés sur d'autres espèces végétales. Ceci indique que c'est pour la première fois qu'on s'intéresse à la composition chimique des sols à *D. microcarpum*.

7.4. Résultats et discussion

7.4.1 Statut des éléments physico-chimiques des sols

Le statut des éléments physico-chimiques des sols sous et hors houppier de *D. microcarpum* se présente comme suit:

pH-KCl

Le pH-KCl moyen sous le houppier varie entre $4,20 \pm 0,04$ à Farako et $4,45 \pm 0,05$ à Kafono, contre $4,14 \pm 0,04$ à Farako et $4,41 \pm 0,04$ à Kafono hors houppier (tableau 53). Il résulte que les valeurs minimales sous et hors houppier sont observées à Farako.

On note que les sols prélevés sous le houppier ont un pH-KCl légèrement élevé, ce qui peut freiner l'exploitation des nutriments par les racines pivotantes de *D. microcarpum*.

Carbone total

Le taux de carbone total varie entre $0,52 \pm 0,06$ % à Kafono et $0,65 \pm 0,03$ % à Farako sous le houppier, contre $0,46 \pm 0,06$ % à Kafono et $0,63 \pm 0,03$ % à Farako hors houppier (tableau 53).

Les résultats pour l'ensemble des deux sites montrent que le taux de carbone total est plus élevé sous le houppier qu'en dehors du houppier. Ceci s'explique par la qualité de la litière sous le houppier qui est composée de feuilles, de fientes d'oiseaux et de rameaux.

Azote total

Le taux d'azote varie entre $0,04 \pm 0,003$ % à Kafono et $0,05 \pm 0,002$ % à Farako sous le houppier, contre $0,03 \pm 0,003$ % à Kafono et $0,05 \pm 0,002$ % à Farako hors houppier (tableau 53).

Il ressort que, quel que soit le lieu de prélèvement des sols, la concentration d'azote est élevée sous le houppier. Ceci s'explique par la qualité de la litière sous le houppier qui est composée de feuilles, de fientes d'oiseaux et de rameaux.

Phosphore total

La quantité de phosphore total varie entre $93,2 \pm 8,1$ mg/kg à Kafono et $122,8 \pm 7,9$ mg/kg sous le houppier, contre $89,5 \pm 7,4$ mg/kg à Kafono et $122,3 \pm 8,1$ mg/kg à Farako hors houppier (tableau 53).

Il ressort que, quel que soit le lieu de prélèvement des sols, la quantité de phosphore total est élevée particulièrement sous le houppier.

La forte concentration du carbone et d'azote, et la quantité importante de phosphore sous le houppier et à Farako peuvent être l'œuvre des termites qui sont de véritables remueurs des sols améliorant leur structure et stimulant la transformation du matériel organique.

Pour l'ensemble des éléments physico-chimiques analysés, on n'observe pas de différence significative entre les sols pris sous et hors houppier au niveau de chaque site considéré séparément (tableau 52).

Les résultats de l'analyse de variance montrent que les sols pris sous et hors houppier à Farako sont hautement et significativement différents de ceux de Kafono, pour le carbone, l'azote et le phosphore total (tableau 53). Ils montrent que les sols pris sous et hors houppier à Kafono sont hautement et significativement différents de ceux de Farako, pour le pH-KCl (tableau 53).

Au Mali, selon Breman & Kessler (1995), le taux d'azote est de 0,061 % sous le houppier et 0,04 % hors houppier des arbres des parcs agroforestiers (900 mm de pluie, horizon de 0-20 cm), tandis que celui du carbone est de 0,66 % sous le houppier et 0,41 % hors houppier.

Tableau 52: Caractéristiques biométriques des éléments physico-chimiques des sols à *D. microcarpum*

Site	Farako												Kafono											
	pH-KCl			Carbone			Azote			Phosphore total			pH-KCl			Carbone			Azote			Phosphore total		
Variable	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T	N	Moy.	E.T
Sous le houppier	31	4,20	0,04	31	0,65	0,03	31	0,05	0,002	31	122,8	7,9	30	4,45	0,05	32	0,52	0,06	32	0,04	0,003	31	93,2	8,1
Hors houppier	31	4,14	0,04	31	0,63	0,03	32	0,05	0,002	31	122,3	8,1	30	4,41	0,04	30	0,46	0,06	30	0,03	0,003	30	89,5	7,4
Signification statistique	p>0,05			p>0,05			p>0,05			p>0,05			p>0,05			p>0,05			p>0,05			p>0,05		

N: nombre d'échantillons de sols; Moy.: moyenne; E.T: écart-type

Tableau 53: Tableau comparatif des sites en fonction de l'emplacement

Descripteur	Variable	Sous houppier		Signification	Hors houppier		Signification
		Farako	Kafono		Farako	Kafono	
pH-KCl	N	31	30	p<0,01	31	30	p<0,01
	Moy.	4,2	4,45		4,14	4,41	
	E.T	0,04	0,05		0,04	0,04	
Carbone (%)	N	31	32	p<0,01	31	30	p<0,01
	Moy.	0,65	0,52		0,63	0,46	
	E.T	0,03	0,06		0,03	0,06	
Azote (%)	N	31	32	p<0,01	32	30	p<0,01
	Moy.	0,05	0,04		0,05	0,03	
	E.T	0,002	0,003		0,002	0,003	
Phosphore total (mg/kg)	N	31	31	p<0,01	31	30	p<0,01
	Moy.	122,8	93,2		122,3	89,5	
	E.T	7,9	8,1		8,1	7,4	

N: nombre d'échantillons de sols; Moy.: moyenne; E.T: écart-type

En zone sahélienne malienne, Soumaré (1996) obtient un taux de 0,02 % d'azote total dans les 20 premiers centimètres des sols forestiers sous le houppier de *S. birrea* et de *A. seyal*, contre 0,01 % hors houppier pour les deux espèces. Selon la même source, le taux de carbone total varie de 0,16 % sous le houppier à 0,14 % hors houppier de *A. seyal*. Par contre, il oscille entre 0,20 % sous le houppier et 0,19 % hors houppier de *S. birrea*. Le même auteur trouve une quantité de phosphore total de 14,40 mg/g sous le houppier et 14,20 mg/g hors houppier de *A. seyal*, contre 18,60 mg/g sous le houppier et 16,40 mg/g hors houppier de *S. birrea*.

Selon Breman & Kessler (1995), des études réalisées au Sénégal donnent un taux de carbone de 0,37 % sous le houppier et 0,27 % hors houppier de *F. albida* dans les 20 premiers centimètres (670 mm de pluie). Le taux d'azote atteint 0,04 % sous le houppier et 0,03 % hors houppier. Selon les mêmes auteurs, au Togo sous 1180 mm de précipitations, on enregistre 1,27 % et 1,37 % de carbone sous le houppier de *Acacia auriculiformis* A. Cunn. (Fabaceae) et *Cassia siamea* Lam. (Fabaceae), respectivement.

Nos propres observations et celles de Soumaré (1996), malgré la différence agro-écologique, se sont déroulés sur des sols forestiers. A la lumière de ces résultats, la concentration des nutriments (carbone, azote et phosphore) est plus élevée sous et hors houppier de *D. microcarpum* que *A. seyal* et *S. birrea*.

Breman & Kessler (1995) rapportent une synthèse des résultats obtenus sur un certain nombre d'espèces. Il ressort que la concentration en carbone et en azote est moindre sous les sols à *D. microcarpum* que dans les parcs agroforestiers au Mali rapportés par Breman & Kessler (1995). Ceci peut être lié aux soins culturaux d'une part, et au séjour post-cultural des bovins dans ces parcs, qui contribuent significativement à l'amélioration de la qualité de la litière sous les arbres d'autre part.

Nos propres observations indiquent que *D. microcarpum* a un taux de carbone plus élevé que *F. albida*, alors que les sols prélevés sous et hors houppier des deux espèces ont une même concentration en azote. Cependant, le taux de carbone enregistré sous *A. auriculiformis* et *C. siamea* est plus de deux fois supérieur à celui de *D. microcarpum*. Cette importante différence peut être liée à la capacité des racines de *A. auriculiformis* et *C. siamea* de fixer l'azote atmosphérique et d'améliorer la remontée biologique des éléments nutritifs des sols.

Malgré les faibles valeurs enregistrées des nutriments chez les ligneux sahéliens (Veldkamp *et al.*, 1991; Soumaré, 1996; Breman & Kessler, 1995), on peut dire que, quelles que soient les conditions d'expérimentation, la concentration en nutriments est plus élevée sous le houppier que hors houppier.

En conclusion, la présente étude sur *D. microcarpum*, qui est une première, montre que l'espèce n'est pas aussi pauvre en nutriments si l'on se réfère à d'autres ligneux au Mali. Etant

donné que la présente étude n'a pas été élargie aux autres types de nutriments tel que le potassium, on peut dire que les sols à *D. microcarpum* ont une faible fertilité par rapport à l'azote, le carbone et le phosphore total. En croisant ces résultats avec la vision paysanne recueillie au moment de l'enquête ethnobotanique, il ressort que les 48 % des personnes interrogées confondent la forte présence de l'espèce sur les terres de culture nouvellement mises en repos et le retour de la fertilité, car *D. microcarpum* fait partie des espèces pionnières qui s'installent rapidement dans une terre de culture mise en repos. De plus, ces personnes n'épargnent pas l'espèce au moment de l'ouverture de nouvelles friches, ce qui dénote que leur perception ne repose pas sur des bases solides.

La connaissance de la composition chimique des sols à *D. microcarpum* ainsi faite est un élément justificatif de l'emploi des mycorhizes dans le processus de domestication de l'espèce, car l'efficacité de ces mycorhizes est plus perceptible dans les habitats infertiles.

7.4.2 Composition chimique des branches feuillées et minéralisation de l'azote

7.4.2.1 Composition chimique des branches feuillées (tableau 54)

Tableau 54: Composition chimique des branches feuillées

Site	N _t	C _t	Hce	Ce	L	PP	C/N	L/N	PP/N	(L+PP)/N
	g/kg									
Farako	15,1	443,7	222,5	8,8	540,8	11,0	29,4	35,84	0,73	36,57
Kafono	10,8	417,9	201,5	7,6	514,6	9,2	38,6	47,56	0,85	48,41
Moyenne	13,0	430,8	212,0	8,2	527,7	10,1	34,0	40,73	0,78	41,51

Dans ce qui suit, nos résultats portent sur des branches feuillées, et non les feuilles sous le houppier de *D. microcarpum*.

Azote

Les branches feuillées de *D. microcarpum* pour l'ensemble des deux sites renferment une quantité d'azote de 13 g/kg, soit 1,3 % d'azote. Cette dernière varie entre 10,8 g/kg à Kafono et 15,1 g/kg à Farako. La quantité d'azote contenue dans les branches feuillées prises à Farako peut être expliquée par la concentration élevée de l'azote sous le houppier de l'espèce discutée dans le paragraphe 7.4.1.

Le taux de 1,3 % d'azote qui est inférieur à la teneur critique de 1,5 % (Seneviratne, 2000), implique qu'on doit s'attendre à une immobilisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum*.

Des travaux réalisés sur d'autres espèces de Fabaceae montrent que la quantité d'azote dans les feuilles de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud (Fabaceae), *Leucaena leucocephala* Lam. (Fabaceae) et *A. auriculiformis* est de 36,0 g/kg, 35,5 g/kg et 22,9 g/kg, respectivement (Tian *et al.*, 1992). Il ressort que la quantité mesurée chez *D. microcarpum* est inférieure à celle de ces espèces. L'explication réside dans le fait que *G. sepium*, *L. leucocephala* et *A. auriculiformis* ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique et de le mettre à la disposition des plantes.

Carbone

Les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent en moyenne 430,8 g de carbone/kg. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Kafono (C= 417,9 g/kg) et Farako (C= 443,7 g/kg), respectivement. L'importante quantité de carbone contenue dans les branches feuillées prises à Farako peut être expliquée par la concentration élevée du carbone sous le houppier de l'espèce discutée dans le paragraphe 7.4.1.

La littérature indique une quantité de carbone de 473 g/kg et 455 g/kg au niveau des feuilles de *G. sepium* et *L. leucocephala*, respectivement (Tian *et al.*, 1992). On peut dire que les feuilles de *D. microcarpum* renferment moins de carbone que les deux espèces citées par la littérature.

Hémicellulose

Les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent en moyenne 212,0 g de hémicellulose/kg. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Kafono (Hce=201,5 g/kg) et Farako (Hce=222,5 g/kg), respectivement.

Selon Tian *et al.* (1992), les feuilles de *G. sepium* et *L. leucocephala* contiennent 122 g/kg et 135 g/kg d'hémicellulose, respectivement.

Il importe de préciser que la quantité d'hémicellulose varie en fonction de la technique d'extraction utilisée, mais aussi du matériel utilisé comme c'est le cas de la présente étude.

Cellulose

Les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent en moyenne 8,2 g de cellulose/kg. Les valeurs minimale et maximale sont observées à Kafono (Ce= 7,6 g/kg) et Farako (Ce= 8,8 g/kg), respectivement. La faible quantité de cellulose peut être liée au fait que l'analyse n'a pas porté sur les feuilles ramassées par terre, mais surtout des branches feuillées qui sont lignifiées.

Selon Tian *et al.* (1992), les feuilles de *G. sepium* et *L. leucocephala* contiennent 194 g de cellulose/kg et 211 g de cellulose/kg, respectivement.

Il importe de préciser que la quantité de cellulose varie en fonction de la technique d'extraction utilisée, mais aussi du matériel utilisé comme c'est le cas de la présente étude.

Polyphénol

La présente étude montre que les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent 10,1 g de polyphénol/kg. Les valeurs minimale et maximale sont de 9,2 g/kg à Kafono et 11,0 g/kg à Farako, respectivement.

Selon Tian *et al.* (1992), les feuilles de *G. sepium*, *L. leucocephala* et *A. auriculiformis* contiennent 16,2 g/kg, 50,2 g/kg et 101 g/kg de polyphénol, respectivement. Ces valeurs sont largement supérieures à celle de *D. microcarpum* (PP=10,1 g/kg).

Lignine

Les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent 527,7 g de lignine/kg, soit une teneur de 52,77 %. La concentration en lignine varie entre 514,6 g/kg à Kafono et 540,8 g/kg à Farako. Cette importante quantité en lignine est liée au fait que nous avons analysé un broyat composé de branches et de feuilles, et ceci suppose que la quantité de branches était importante dans le broyat. Cette importante quantité de lignine explique aussi la faible quantité de cellulose.

Selon Tian *et al.* (1992), les feuilles de *G. sepium*, *L. leucocephala* et *A. auriculiformis* contiennent 116 g/kg, 134 g/kg et 108 g/kg de lignine, respectivement. Ces valeurs sont largement inférieures à celle de *D. microcarpum* (L=527,7 g/kg). On suppose que les conditions d'expérimentation expliquent la quantité très élevée de lignine chez *D. microcarpum*.

Rapport C/N

Le rapport C/N des branches feuillées de *D. microcarpum* est de 34,0 pour l'ensemble des deux sites. Il varie entre 29,4 à Farako et 38,6 à Kafono. La valeur élevée du rapport C/N à Kafono signifie que les branches feuillées contiennent moins d'azote que celles de Farako, ce qui confirme le résultat ci-dessus.

Les valeurs critiques du rapport C/N mentionnées dans la littérature varient entre 25 (Myers *et al.*, 1994) et 27 (Seneviratne, 2000), ce qui indique que les moyennes de la présente

étude sont supérieures au seuil de référence. Ceci suppose que l'on doit s'attendre à une immobilisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum*.

Selon Tian *et al.* (1992), le rapport C/N au niveau des feuilles de *G. sepium* et de *L. leucocephala* est de 13,1 et 12,8, respectivement. Ces valeurs sont largement inférieures à celle de *D. microcarpum* (C/N=34,0).

(Polyphénols + lignine)/azote

Le rapport polyphénol et lignine/azote est de 41,51, avec un minimum de 36,57 à Farako et un maximum de 48,41 à Kafono.

Fox *et al.* (1990) déterminent le rapport (polyphénol+lignine)/azote pour certaines espèces de *Fabaceae* comme *Medicago sativa* L. (rapport= 1,48). Il résulte que ce rapport est très élevé chez *D. microcarpum*, et cela est lié à l'utilisation des branches feuillées dans le cadre de la présente étude.

Lignine/azote

Le rapport lignine/azote est de 40,7 avec un minimum de 35,8 à Farako et un maximum de 47,5 à Kafono.

Polyphénol/azote

Le rapport polyphénol/azote est de 0,7 avec un minimum de 0,7 à Farako et un maximum de 0,8 à Kafono.

La valeur élevée de ces deux rapports à Kafono s'explique par le fait que les branches feuillées de ce site sont moins riches en azote et contiennent peu de lignine et de polyphénol que Farako.

Les résultats de la composition chimique montrent que les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent beaucoup de lignine (L= 527 g/kg), d'hémicellulose (Hce= 212,0 g/kg), et très peu de cellulose (Ce= 8,2 g/kg), de polyphénol (P= 10,1 g/kg) et d'azote (N= 13,0 g/kg). Les différents nutriments analysés sont prédominants à Farako par rapport à Kafono. Par contre, les valeurs élevées des rapports spécifiques sont observées à Kafono.

La faible quantité d'azote, l'importante quantité de lignine, et la valeur élevée du rapport C/N permettent de conclure que les branches feuillées de *D. microcarpum* sont de mauvaise qualité chimiquement en rapport avec ces éléments.

7.4.2.2 Minéralisation de l'azote

Sols témoins

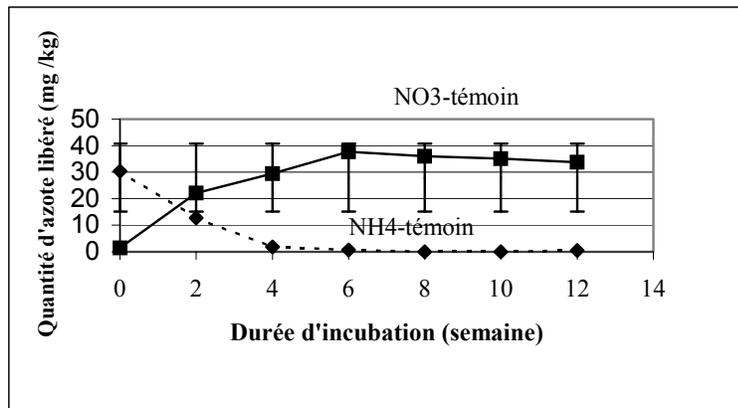


Figure 34: Libération de l'azote dans les sols témoins de Farako

La quantité d'azote libérée atteint 30 mg/kg au début de l'incubation pour atteindre 0 mg/kg et rester stationnaire à partir de la 6^e semaine. La figure indique que la quantité d'azote libéré à la 12^e semaine d'incubation est de 5 mg/kg.

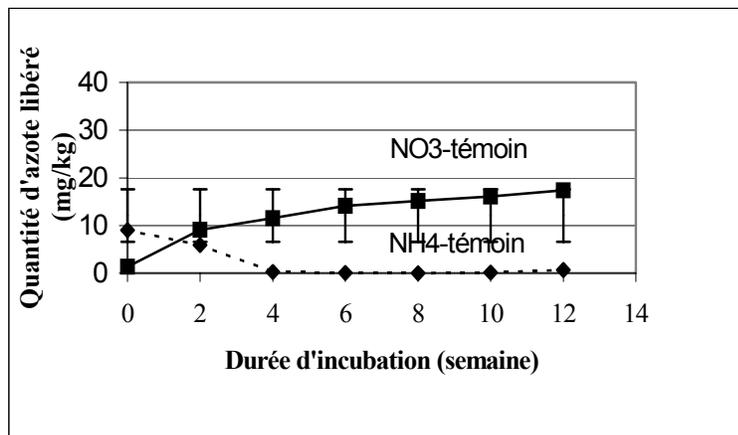


Figure 35: Libération de l'azote dans les sols témoins de Kafono

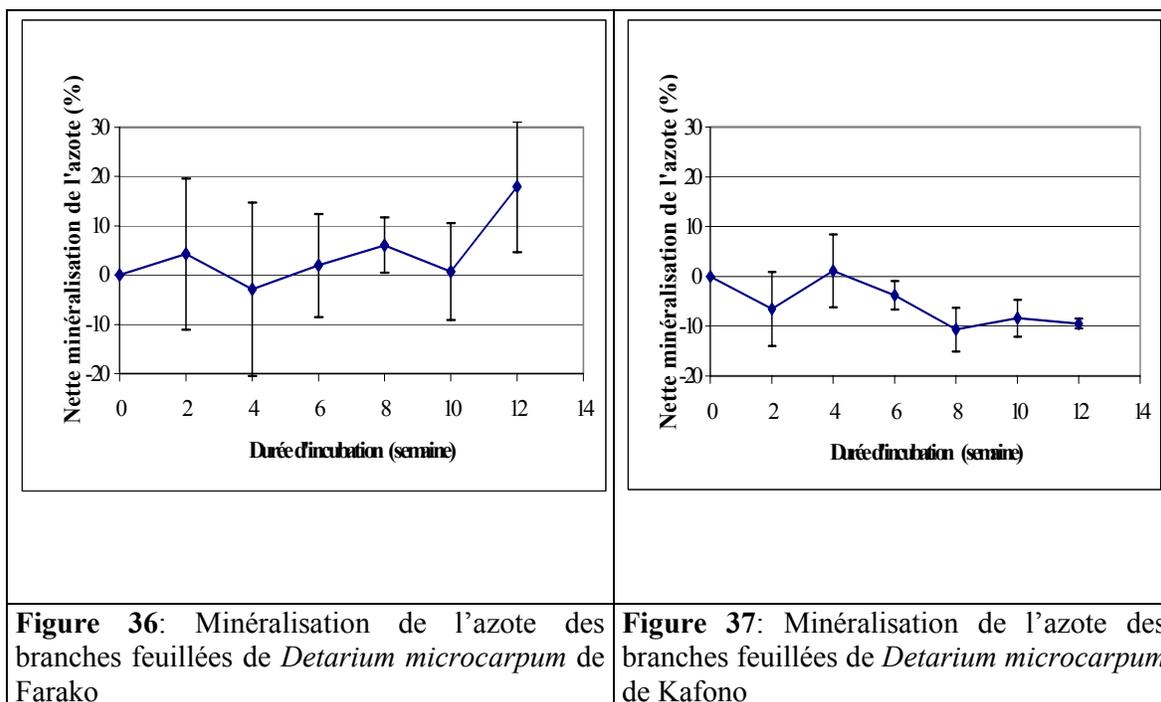
A Kafono, la quantité d'azote libéré au début d'incubation est de 10 mg/kg, soit le tiers de celle observée avec les échantillons de Farako. On observe qu'à partir de la 4^e semaine d'incubation, la quantité d'azote libéré est nulle, ce qui reste stationnaire jusqu'à la 12^e semaine. La figure 35 indique une libération de 9 mg d'azote/kg.

A la lumière de ces deux figures, il résulte que les sols témoins de Kafono libèrent plus d'azote à la 12^e semaine d'incubation que ceux de Farako. Ceci peut être lié à la pratique

paysanne à Kafono qui consiste à enfouir des composts à base de résidus de culture au moment du labour, ce qui améliore la qualité du sol.

Les figures ci-dessous donnent le processus de minéralisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum* prises à Farako et Kafono.

Epandage des branches feuillées sur les sols



Les figures 36 et 37 indiquent une minéralisation de 17,9 % d'azote des branches feuillées de Farako après douze semaines d'incubation, tandis qu'elle est de -9,5 % à Kafono. En d'autres termes, on note une libération de +5,4 mg d'azote/kg à Farako, contre -2,9 mg d'azote/kg à Kafono. Il résulte une immobilisation presque totale de l'azote des branches feuillées prises à Kafono, ce qui peut être expliqué par la valeur élevée du rapport C/N ($C/N=38,6$) le fort taux de cailloux contenus dans les sols de ce site. La minéralisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum* prises à Farako peut être considérée comme faible.

On suppose que la lenteur de la minéralisation de l'azote des branches feuillées est influencée par l'épandage du broyat sur les sols, ce qui est confirmé par Corbeels (2003) qui stipule que la durée de l'immobilisation augmente avec l'épandage. Elle peut être liée à l'importance de la quantité de lignine qui ralentit la décomposition du matériel organique, ce qui entraîne une libération très lente de l'azote.

Les résultats de la présente étude montrent que la minéralisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum* est lente à court terme. Ils laissent penser qu'une longue incubation

est nécessaire pour la minéralisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum*. Cependant, il n'est pas exclu d'observer des effets positifs de l'épandage après des années dans les expériences au champ. Force est de constater que la pratique d'épandage chez les femmes *minianka* au sud du Mali peut être expliquée par ses avantages qui sont la suppression des mauvaises herbes, l'amélioration de l'infiltration et la diminution de l'érosion. Effectivement, Kayuki & Wortmann (2001), après application du matériel organique de faible qualité de *Aspilia kotschyi* (Sch. Bip. ex Hochst.) Oliv. (Asteraceae) sur *Zea mays*, observent des effets positifs sur le rendement après trois saisons agricoles.

7.5 Conclusion

Les résultats montrent que les branches feuillées de *D. microcarpum* contiennent beaucoup de lignine (L= 527 g/kg) et d'hémicellulose (Hce= 212,0 g/kg), peu de cellulose (Ce= 8,2 g/kg), de polyphénol (P= 10,1 g/kg) et d'azote (N= 13,0 g/kg). Ces différents nutriments analysés sont plus dominants à Farako qu'à Kafono. Il ressort que la concentration en nutriments (azote, carbone et phosphore) est plus élevée sous le houppier que hors houppier.

Les résultats montrent que les branches feuillées se caractérisent par un rapport C/N élevé. Ces branches feuillées renferment une importante quantité de lignine, d'hémicellulose et une faible quantité de cellulose et de polyphénols. Sur la base des résultats d'analyse de la composition chimique des branches feuillées de *D. microcarpum*, on peut conclure qu'elles ne sont pas de bonne qualité chimique. Donc, *D. microcarpum* n'est pas un bon fertilisant des sols par rapport à l'azote.

Sur la base du mode d'application adopté (épandage), la minéralisation de l'azote des branches feuillées de *D. microcarpum* est lente. D'autres expériences complémentaires sont nécessaires pour comparer la vitesse de minéralisation de l'azote des feuilles en fonction de deux modes d'application à savoir l'épandage et l'incorporation.

Le chapitre qui suit, présente les conclusions générales et les recommandations de l'étude consacrée aux aspects ethnobotaniques et à l'étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *D. microcarpum* au Mali.

CHAPITRE 8

CONCLUSIONS GENERALES

Les recherches sur les connaissances ethnobotanique, morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Fabaceae) au Mali ont démarré en 2000. Elles visent le développement des stratégies de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques par la voie de la domestication afin de contribuer à l'amélioration des conditions de vie du peuple malien. Spécifiquement, il s'agissait de: (1) analyser les valeurs socioculturelle, religieuse, écologique, socio-économique, alimentaire et médicinale; (2) identifier et analyser les critères de différenciation paysans des individus; (3) identifier, évaluer et analyser les populations sur les plans morphologique et biochimique; (4) décrire et analyser les différentes phases phénologiques; (5) décrire et caractériser les fleurs, et ses principaux visiteurs; (6) évaluer et analyser la production en fruits; et (7) évaluer et analyser les propriétés chimiques des sols à *D. microcarpum*.

Pour atteindre ces objectifs, une revue documentaire a été réalisée pour faire l'état des connaissances sur l'espèce et le sujet traité, et des travaux ont été menés sur le terrain au Mali et en laboratoires au Mali et en Belgique.

Une enquête ethnobotanique a été réalisée auprès de 244 personnes appartenant aux ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing* des cercles de Sikasso, Koutiala et Yorosso au sud du Mali. A partir des résultats de cette enquête, une caractérisation morphologique de quatorze populations de *D. microcarpum* a concerné 350 individus sur l'ensemble de son aire de répartition naturelle, à partir de 25 descripteurs. Sur la base des résultats de l'enquête et de la caractérisation morphologique, on a procédé à la caractérisation biochimique de la pulpe qui a été réalisée dans les laboratoires d'analyse malien et belge, à partir de cinq descripteurs qui sont la protéine, la valeur Brix, la vitamine C, la matière sèche et le pH, et suivant des tests organoleptiques. A partir des résultats de l'enquête ethnobotanique, un réseau d'observations phénologiques a été installé au sud du Mali pour décrire et analyser les phases de feuillaison, floraison et fructification. Une évaluation de la production en fruits de *D. microcarpum* et un inventaire des agents visiteurs de ses fleurs ont été effectués sur le terrain au Mali. A partir des résultats de l'enquête ethnobotanique, des analyses des échantillons de sols prélevés sous et hors houppier du *D. microcarpum*, et des feuilles ont été faites au Laboratoire du Département de Gestion du Sol de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand en Belgique.

La méthodologie adoptée révèle que les activités menées sont liées les unes des autres.

La revue documentaire révèle d'énormes études taxonomiques réalisées sur *D. microcarpum* dans son aire de répartition naturelle africaine d'une part, un panel de travaux

ethnologiques effectués au Mali, et un manque de connaissances ethnobotaniques et de travaux de caractérisation détaillée sur les plans morphologique et phénologique de *D. microcarpum*.

L'enquête ethnobotanique montre que les personnes interrogées sont conscientes: (1) des sols colonisés par *D. microcarpum* à savoir les sols peu évolués (un taux de réponses de 69,83 %); (2) des différents modes de reproduction à savoir les voies végétative (un taux de réponses de 60,5 %) et générative (un taux de réponses de 39,5 %); (3) de la valeur marchande de certains produits tels que le bois-énergie (un taux de réponses de 33,17 %) et les fruits (un taux de réponses de 39,5 %); (4) de l'existence de différents types d'individus; et (5) de la variabilité du niveau de fertilité des sols à *D. microcarpum* (un taux de réponses allant de 19-43 %). Les ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing* utilisent les parties de l'espèce (sauf les fleurs) pour soigner neuf, seize et six maladies et symptômes, respectivement. Il a été dénombré vingt maladies et symptômes soignés avec *D. microcarpum*. Les résultats mettent en évidence des utilisations vétérinaires des feuilles et des racines en milieu *minianka*, notamment pour soigner la diarrhée chez les bovins. Les *Sénoufo* et les *Minianka* (un taux de réponses de 100 %) sont conscients des utilisations de *D. microcarpum* pour l'alimentation humaine et la cuisson des aliments, tandis que les femmes *minianka* (un taux de réponses de 50 %) sont conscientes de l'utilisation des feuilles pour le paillage des toitures et comme fumure organique dans les champs de *Zingiber officinale* Rosc. (Zingiberaceae), *Cyperus esculentus* L. (Cyperaceae) et *Dioscorea* sp. (Dioscoreaceae).

Les résultats de l'enquête ethnobotanique mettent en évidence les connaissances des ethnies *sénoufo*, *minianka* et *bobofing* sur ses rôles écologique, environnemental, socio-économique, socioculturel, religieux, alimentaire et médicinal.

L'évaluation des descripteurs morphologiques montre que les populations maliennes mesurent $63,56 \pm 33,64$ cm de circonférence et les premières branches basales sont distantes de $1,89 \pm 0,67$ m du sol. Les feuilles sont longues de $17,32 \pm 3,00$ cm avec des pétioles de $0,23 \pm 0,03$ cm de diamètre. Les folioles au nombre de 5 à 9 par feuille, sont de forme triangulaire-ovale, longues de $7,29 \pm 1,14$ cm, larges de $3,76 \pm 0,66$ cm, et avec une surface foliaire de $28,03 \pm 7,98$ cm² et un pétiolule long de $0,41 \pm 0,07$ cm. Les fruits de formes biconvexe et elliptique mesurent $35,61 \pm 3$ mm de long et $22,05 \pm 1,95$ mm d'épaisseur avec un poids moyen de $10,89 \pm 2,67$ g. La pulpe mesure $8,99 \pm 1,62$ mm d'épaisseur. L'endocarpe mesure $32,25 \pm 4,0$ mm de long et $13,06 \pm 1,8$ mm d'épaisseur, tandis que les graines de forme ovale mesurent $18,21 \pm 2,1$ mm de long et $7,69 \pm 0,99$ mm d'épaisseur avec un poids moyen de $1,83 \pm 0,39$ g. La même évaluation montre que les individus à gros troncs et aux premières branches basales les plus distantes du sol se trouvent au nord de la zone d'étude (Lougourogombo), tandis que des fruits très épais et lourdes, et à pulpe plus épaisse, d'épais endocarpes, des graines très épaisses et

lourdes, des folioles à long pétiole, des longues feuilles, et des pétioles de grand diamètre sont observés dans la partie méridionale du sud du Mali. Elle montre que les valeurs élevées des rapports entre la longueur des feuilles et la longueur des folioles d'une part, et entre la longueur des folioles et la longueur des pétioles sont rencontrés à l'ouest du Mali. Elle indique que certains descripteurs tels que le nombre de folioles, la longueur, la largeur, la surface des folioles, la longueur des fruits, la longueur de l'endocarpe et la longueur des graines sont indépendants de l'environnement. Les données morphologiques traitées par analyse en composantes principales indiquent que l'ensemble des populations suit leur origine géographique, à l'exception du groupe Gouinso 2 et N'Gloklola.

L'évaluation des descripteurs biochimiques montre que la pulpe renferme $89,11 \pm 1,46$ % de matière sèche, $4,89 \pm 0,80$ g de protéine/100 g, $64,47 \pm 2,00$ g de Brix/100 g et 3,23 mg de vitamine C/100 g et un pH de $5,37 \pm 0,33$. Elle montre que la matière sèche, la valeur Brix, et le pH des pulpes des fruits sont indépendants des facteurs environnementaux.

L'évaluation de la phénologie montre une variabilité au niveau des durées de pleine feuillaison (7 mois au soudano-guinéen et soudanien sud; 8 mois au soudanien nord) et de défeuillaison (5 mois au soudano-guinéen avec 5 % d'arbres qui perdent pas leurs feuilles; 4 mois au soudanien sud et 3 mois au soudanien nord). Elle indique que l'espèce est caducifoliée ou semi-caducifoliée, et sa floraison couvre les mois de juillet à septembre avec une période de pleine floraison d'une semaine entre fin août et mi-septembre.

L'évaluation biophysique des fleurs montre qu'elles sont hermaphrodites, ce qui fait de *D. microcarpum* une plante monoïque. Ces fleurs sont visitées par plusieurs ordres dont les plus représentatifs sont les Coléoptères (34 %), les Hémiptères (29 %) et les Diptères (21 %), et les visiteurs sont plus nombreux dans la matinée que l'après-midi.

L'évaluation de la production moyenne en fruits montre que *D. microcarpum* produit en moyenne 574,85 fruits par arbre, pesant $5,94 \text{ kg} \pm 4,995 \text{ kg}$.

L'étude de la fertilité des sols à *D. microcarpum* montre que les sols de Farako et de Kafono contiennent en moyenne $0,54 \pm 0,04$ % à $0,58 \pm 0,04$ % de carbone, $0,03 \pm 0,003$ % à $0,04 \pm 0,002$ % d'azote, et $105,9 \pm 7,75$ mg de phosphore total/kg à 108 ± 8 mg de phosphore total/kg. Ce sont des sols acides, puisque le pH-KCL varie entre $4,27 \pm 0,04$ et $4,32 \pm 0,04$. L'étude de la fertilité indique que les branches feuillées sont de mauvaise qualité chimiquement, à cause de la forte quantité de lignine ($L = 527 \text{ g/kg}$) et de la valeur élevée du rapport C/N ($C/N = 34,0$). On aboutit à la conclusion que *D. microcarpum* n'est pas un bon fertilisant des sols pour les nutriments azote, carbone et phosphore total.

Les pratiques paysannes et les descripteurs nombre de folioles, longueur des folioles, largeur des folioles, surface des folioles, longueur des fruits, longueur de l'endocarpe, longueur

des graines, l'épaisseur des pulpes, la valeur Brix et la protéine des pulpes constituent des éléments intéressants pour les futurs programmes de sélection, d'amélioration génétique et de domestication de *D. microcarpum* au Mali.

Les résultats de l'évaluation des connaissances ethnobotaniques, morphologique, biochimique et phénologique montrent qu'il existe désormais des données sur les connaissances des communautés paysannes, sur les populations de *D. microcarpum* dans son aire de répartition au Mali, sur son évaluation et sur sa phénologie. Ces informations sont des éléments nécessaires pour la sélection et l'amélioration génétique afin de valoriser la gamme de produits, d'améliorer le rendement, d'augmenter le revenu des ménages et de lutter contre la pauvreté.

Le potentiel alimentaire et commercial de *D. microcarpum* justifie davantage sa domestication pour le bonheur des familles maliennes.

Les résultats de la présente étude confirment l'hypothèse de départ qui stipule que l'utilisation de *D. microcarpum* par les populations locales est fondée sur des savoirs traditionnels développés pour guérir des maladies, pour la cuisson des aliments, pour la construction et la confection d'outils de travaux champêtres, pour des expressions culturelles liées à la religion et aux croyances traditionnelles, pour l'alimentation humaine et animale. En outre, les savoirs locaux qui concernent les classifications des individus de *D. microcarpum* selon leurs aspects morphologiques et les endroits où on les rencontre, nous ont aidés à mieux caractériser la biodiversité, comprendre le matériel végétal de l'espèce et connaître son impact sur la fertilité des sols.

Les savoirs paysans recensés ici, peuvent constituer un gage pour le développement de stratégies de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques de *D. microcarpum*, car l'une des voies pour mieux valider nos résultats auprès des populations rurales est de tenir compte de leurs savoirs, et cela favorise la valorisation de leurs riches expériences et l'adoption des technologies développées. Ils sont utiles pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration en vue d'aboutir à la domestication de *D. microcarpum*, car domestiquer revient à augmenter la plus-value à partir du matériel végétal amélioré. La diversité des produits de *D. microcarpum* constitue une assurance pour promouvoir sa conservation et son utilisation durable. Les résultats de la présente étude menée sur *D. microcarpum* doivent faire l'objet de fiches techniques pour permettre une meilleure utilisation de ce travail précieux par les utilisateurs directs (populations, services étatiques ou privés d'encadrement du monde rural, les organisations non gouvernementales).

Comme suite à donner à ce travail sur *D. microcarpum*, les études pourront être focalisées sur les aspects suivants: (1) la formalisation des propriétés des parties médicinales, nutritionnelles, et calorifiques du bois-énergie de *D. microcarpum*; (2) l'étude de la filière *D.*

microcarpum (fruits, bois, plantes médicinales) en vue de valoriser l'espèce; (3) l'approfondissement des recherches sur la régénération générative par plantation de *D. microcarpum* en vue de constituer des vastes boisements énergétiques (conservation *in situ* et *ex-situ*) y compris la mycorhization; (4) l'approfondissement de l'étude des phénophases; (5) l'étude de la biologie de la reproduction florale de *D. microcarpum* en vue de mieux préciser son système de reproduction; (6) l'évaluation au champ de l'effet des feuilles de *D. microcarpum* sur les cultures de *Z. officinale*, *C. esculentus* et *Dioscorea. spp.*; (7) la sélection variétale et l'amélioration génétique; et (6) le développement des modèles de domestication de *D. microcarpum* suivant une démarche de recherche participative.

Références bibliographiques

- Abbad, A. & Benchaabane, A. (2004). The phenological study of *Atriplex halimus* L. Notes and recors. African Journal of Ecology. 69-73.
- Abreu, P. M., Rosa, V. S., Araujo, E. M., Canda, A. B., Kayser, O., Bindseil, K-U., Siems, K. & Seeman, A. (1998). Phytochemical analysis and antimicrobial evaluation of *Detarium microcarpum* bark extracts. Pharma. Pharmacol. 107.
- Abreu, P. & Relva, A. (2002). Carbohydrates from *Detarium microcarpum* bark extract. Carbohydrate Research. Elsevier.1663-1666.
- Adjanohoun, E. J., Ahyi, A. M. R., Aké, L. A., Dicko, L. D., Daouda, H., Delmas, M., De Souza, S., Garba, M., Guinko, S., Kayonga, A., N'Golo, D., Raynal, J.- L. & Saadou, M. (1980). Médecine traditionnelle et pharmacopée. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques au Niger. ACCT. Paris. 250 p.
- Adjanohoun, E. J., Assi A. L., Floret J. J., Guinko, S., Koumaré, M., Ahyi, A. M. R. & Raynal, J. (1981). Médecine traditionnelle et pharmacopée. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques au Mali. ACCT. 3^{ième} édition. 291 p.
- AFRISTAT. (2004). Cheptel du Mali. (<http://www.afristat.org/mali/stats/tab 14.htm>)
- Agboire, S., Wada, A. C. & Ishaq, M. N. (2000). Evaluation and characterisation of sugar Cane germplasm accessions for their breeding values in Nigeria. Plant Genetic Resources Newsletter. 20-22.
- AGRHYMET. (1980). Atlas agroclimatique des pays de la zone du CILSS. Programme Agrhymet. 1951-1980). Vol. 8.
- Aké Assi, L. (1997). Présentation de la diversité des plantes médicinales en Côte d'Ivoire. In: les plantes médicinales, l'accès aux ressources génétiques et le partage équitable des bénéfices tirés de l'exploitation des ressources biologiques. Rapport du séminaire ouest-africain. Adiopodoumé, 19 et 20 juin 1997. Côte d'Ivoire. 9 p.
- Akpata, M. I. & Miachi, O. E. (2001). Proximate composition and selected functional properties of *Detarium microcarpum*. Plant Foods for Human Nutrition. Kluwer Academic Publishers. 297-302.
- Alexiades, M. N. (1996). Selected guidelines for Ethnobotanical Research. A field manual. The New York Botanical Garden. 306 p.
- Ambé, G. A. (2001). Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte d'Ivoire. Etat de la connaissance par une population locale, les *Malinké*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 43-58.
- Amoako, J. & Yeboah-Gyan K. (1991). Insect pollination of three solanaceous vegetable crops in Ghana with special reference to the role of African honey bee (*Apis mellifera adansonii*) for fruit set. Acta Horticultura. 255-259.

- Anderson, J., Kouyaté, A. M., Koné, J., Senou, O., Thienta, S., Coulibaly, F., Cissé, A. & Tangara, M. (1992). Gestion en taillis des essences locales. Résultats campagne 1991-1992. OAPF. UTS. Mali. 11 p.
- Arbonnier, M. (2000). Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Cirad. MNHN. UICN. Montpellier. France. 541 p.
- Aubreville, A. (1950). Flore forestière soudano-guinéenne. AOF. Cameroun. AEF. 244 p.
- Avertin, G., Koné, B., Joly, H. I. & Babin, D. (1998). Quelle gestion *in situ* des ressources phytogénétiques pour la pharmacopée au Mali. Poster présenté à l'atelier sous-régional IPGRI sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahéenne tenu à Ouagadougou du 22 au 24 Septembre 1998, Burkina Faso.
- Bagnoud, N. (1992). Aspects du rôle socio-économique des arbres dans les parcs à Karité et Néré de la zone du Mali-Sud et conséquences pour l'évolution future. Exemple des villages de Pourou, Guetele et N'Tossoni. Travail de diplôme. ETH-Zentrum Zürich, Suisse. Opération Aménagement et Reboisement de Sikasso, Mali. 68 p.
- Balakrishnan, V., Ratheesh, N. M. K. & Anil, K. N. (2003). Ethnotaxonomy of *Discorea* among the *Kattunaikka* people of Wayanad District, Kerala. India. Plant Genetic Resources Newsletter. 24-32.
- Banque mondiale. (1999/2000). Partenariat Mali-Banque mondiale. Bureau de la Banque mondiale au Mali, 77 p.
- Bationo, B. A., Ouédraogo, J. S., Alexandre, D.Y. & Guinko, S. (2001a). Statut hydrique de quatre espèces ligneuses soudanaises dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso. Science et changements planétaires/Sécheresse. 87-94.
- Bationo, A. B., Ouédraogo, J. S. & Guinko, S. (2001b). Stratégie de régénération naturelle de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. dans la forêt classée de Nazinon (Burkina Faso). Fruits. 271-285.
- Baumer, M. (1995). Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique occidentale. ENDA. CTA. Dakar. Sénégal. 260 p.
- Bawa, K. S. (1997). Conservation in situ des forêts tropicales. Bulletin de l'IPGRI FORGEN. (sous presse).
- Bazile, D. (1998). La gestion des espèces ligneuses dans l'approvisionnement en énergie des populations. Cas de la zone soudanienne du Mali. Thèse. Univ. de Toulouse le Mirail. Volume 1. 339 p.
- Bellefontaine, R. (1997). Synthèse des espèces des domaines sahéien et soudanien qui se multiplient naturellement par voie végétative, it: d'Herbès, J. M., Ambouta, J. M. K. & Peltier, R.(eds). Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéiens. John Libbey Eurotext. 95-104.
- Bellefontaine, R., Gaston, A. & Petrucci, Y. (1997). Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches. Cahier FAO. Conservation 32. 316 p.

- Belsky, A. J., Amundson, R. G., Duxbury, J. M., Riha, S. J., Ali, A. R. & Mwongo, S. M. (1989). The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology*. 1005-1024.
- Benjaminsen, T. A. (1996). Bois-énergie, déboisement et sécheresse au Sahel. Le cas du Gourma malien. *Sécheresse*. 179-185.
- Bergeret, A. (1990). L'arbre nourricier en pays sahélien. Paris. Min. Coop. Ed. Maison des Sc. De l'homme. 237 p.
- Berhaut, J. (1975). Flore illustrée du Sénégal. Tome IV. Gouvernement du Sénégal. Dakar. Clairafrique. 625 p.
- Blaser, J. & Rajoelison, G. (1995). Cours post-universitaire. Sylviculture tropicale. Les modules de base. Modules 1, 2 et 3 du cours de 3^e cycle. ESSA-FORETS. Université d'Antananarivo. Madagascar. 3-20.
- Boffa, J. M., Yaméogo, G., Nikiéma, P. & Taonda, J. B. (1996b). What future for the shea tree? *Agroforestry today*. 5-9.
- Boffa, J. M. (2000). Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. *Cahier FAO. Conservation* 34. 42-190.
- Bonkougou, E.G. (1987). Monographie du karité *Butyrospermum paradoxum*, espèce agroforestière à usages multiples. IRBET, CNRST. Burkina Faso. 69 p.
- Bonkougou, E. G., Djimé, M., Ayuk, E. T., Zoungrana, I., Tchoundjeu, Z., Niang, A., N'Diaye, S., Mayaki, A., Ouédraogo, J. S. & Yossi, H. (2002). L'agroforesterie. Un outil performant pour la gestion des ressources naturelles et la lutte contre la désertification au Sahel. Bilan de dix années d'expérience en recherche-développement et perspectives. Les monographies sahéliennes. N° 11. INSAH. 88 p.
- Boudet, G. & Lebrun, J. P. (1986). Catalogue des plantes vasculaires du Mali. Etudes et synthèse de l'IEMVT. 486 p.
- Boussard, B. (1981). Etude bibliographique. Pollinisation. Arbres fruitiers et Cacoyer. *Café. Cacao. Thé*. 297-304.
- Breman, H. & Kessler, J.- J. (1995). Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions with emphasis on the sahelian countries. *Advanced series in agricultural sciences* 23. Paris. Springer-Verlag. 340 p.
- Burkill, H. M. (1995). The useful plants of west tropical Africa. Royal Botanic Gardens Kew. Edition 2. 857 p.
- Capron, J. (1973). Communautés villageoises Bwa. Mali-Haute Volta. Institut d'Ethnologie. Musée de l'homme. Paris. 380 p.
- Castaneda-Vildoloza, A., Equihua-Martinez, A., Valdes-Carrasco, J., Barrientos-Priego, A. F., Isham, G. & Gazit, S. (1999). Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacan. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 122 -136.

Chamberlain, J. R. (1998). Genetic processes and structure of genetic diversity in forest tree populations. Proceedings of the training workshop on Conservation and Sustainable Use of Forest Genetic Resources in Eastern and Southern Africa, 6-11/12/1999. Nairobi. Kenya. 268 p.

Chuine, I., Belmonte, J. & Mignot, A. (2000). A modelling analysis of the genetic variation of phenology between tree populations. *Journal of Ecology*. 561-570.

CIA. (2004). <http://www.gesource.ac.uk/worldguide/html/951people.html>

Cilas, C., Mississo, E., Dufour, B & Amefula, Y. K. (1987). Etude des variations de la pollinisation naturelle du cacaoyer au Togo. Influence sur le remplissage en graines des cabosses. *Café. Cacao. Thé*. 283-290.

Clanet, J. C. & Gillet, H. (1980). Le *Commiphora africana*. Véritable arbre fourrager sahélien. In: Les fourrages ligneux en Afrique. Etat actuel des connaissances. Colloque sur les fourrages ligneux en Afrique. Addis Ababa, 8-12 avril 1980. Ethiopie. ILCA/CIPEA. 431-433.

Claustrioux, J. J. (2001). Considérations sur l'analyse statistique des données sensorielles. *Biotechnol. Agrono.Soc.Environ*. 155-158.

CMDT. (1995). Maintien du potentiel productif et développement rural en zone CMDT. Indicateurs agro-écologiques pour les régions de la zone CMDT. Annexe B.11 p.

Corbeels, M., O'Connell, Grove, A. M., Mendham, D. S. & Rance, S. J. (2003). Nitrogen release from *Eucalyptus* leaves and legume residues as influenced by their biochemical quality and degree of contact with soil. *Plant and Soil*. 15-28.

Cotton, C. M. (1996). *Ethnobotany. Principles and Applications*. John Wiley & Sons. 424 p.

Coulibaly, A. (2003). Profil fourrager Mali. In: FAO. Grassland and Pasture crops. Country pasture. (<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/Mali/maliFR.htm>)

Coulibaly, A., Hilhorst, T., Konaté, A., Sanogo, A. K. & Coulibaly, M'Bè. (1997). Diagnostic participatif sur la zone sylvo-pastorale de Sougoula. Projet de recherche aménagement et gestion simplifiés des ressources sylvo-pastorales des terroirs villageois. Cercle de Sikasso. CRRA Sikasso. Mali. 31 p.

Coulibaly, S. (1978). *Le paysan sénoufo*. Les nouvelles éditions africaines. 245 p.

Coulibaly, Y. (1973). *Les Sénoufo et les Minianka*. Des hommes près de la terre. *Revue études maliennes*. 1-15.

Couteron, P. & Bergeret, A. (1995). Quel avenir pour un territoire pastoral au Nord-Yatenga? (Burkina Faso). Modalités de régulation possibles des systèmes soudano-sahéliens perturbés. Programme Environnement du CNRS.

CPS. (1998). Recueil des statistiques du secteur rural malien. Ministère du Développement Rural et de l'Eau. Cellule de Planification et de Statistique. République du Mali. 88 p.

CPS (2000). Situation du secteur du développement rural et évaluation de la mise en œuvre du S.D.D.R. 1992-2000. MDR/Mali. Version provisoire. 110 p.

CPS. (2001). Stratégie de développement et orientations stratégiques. Schéma directeur du Développement rural. Actualisation 2000-2010. MDR. 50 p.

Cronquist, A. (1988). The Evolution and classification of flowering plants. Allen Press. Lawrence, Kansas. 555 p.

Cunningham, A. B. (1997). Revue de documentation ethnobotanique relative à l'Afrique orientale et australe. Bulletin du réseau africain d'ethnobotanique. 23-87.

Cuny, P., Sanogo, S. & Sommer, N. (1997). Arbres du domaine soudanien. Leurs usages et leur multiplication. IER/Programme Ressources Forestières. IC Suisse. Mali. 47-50.

Dakouo, J. M. (2002). Impact de l'aménagement participatif sur la végétation des forêts de la zone soudanienne nord du Mali. Cas de la forêt classée de Dioforongo (Ségou). Thèse de doctorat. Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille. Aix-Marseille III. 175 p.

Dalziel, J. M. (1937). The useful plants of west tropical Africa. The crown agents for the colonies. 4. Millbank, Westminster. London. SW1. 612 p.

Danthu, P., Soloviev, P., Totté, A., Tine, E., Ayessou, N., Gaye, A. & Niang, T. D. (2002). Caractères physico-chimiques et organoleptiques comparés de jujubes sauvages et des fruits de la variété Gola introduite au Sénégal. Fruits. 173-182.

Delvare, G. & Aberlenc, H. P. (1989). Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. CIRAD. GERDAT. Montpellier. France. 302 p.

Dembélé, N. U. (1977). Société traditionnelle *minianka*. Philosophie et rites de la mort. Etudes maliennes. M.E.N. Mali. 1-49.

De Neve, S. & Hofman, G. (1996). Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. Soil. Biol. Biochem. 1451-1457.

Devineau, J. L., Fournier, A. & Kaloga, B. (1997). Les sols et la végétation de la région de Bondoukuy (Ouest Burkina Faso). Présentation générale et cartographie préliminaire par télédétection satellitaire (Spot). Editions ORSTOM. 111 p.

De Wolf, J. & Van Damme, P. (1994). Inventaire et modelage de la gestion du couvert végétal pérenne dans une zone forestière du sud du Sénégal. Rapport final. Etude phytosociologique. Université de Gent. 112 p.

Diabaté, D. (1986). Analyse des mécanismes de mutations socio-économiques au sein des sociétés rurales *Sénoufo* du Sud du Mali. Thèse de Doctorat de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales. Paris. 537 p.

Diallo, B. (1980). Population. In: Traoré, M. & Monnier, Y. Atlas du Mali. Les éditions J.A. 64 p.

Diallo, D. (1994). "Contribution à l'étude de la médecine traditionnelle au Mali. Résultats d'une enquête ethnobotanique faite dans le Gourma Malien". *Proceeding papers from 7th International Congress on Traditional Medicine*.

Diallo, D., Hveem, B., Mahmoud, M. Ag., Berge, G., Paulsen, B. S. & Maiga, A. (1998). "An Ethnobotanical Survey of Herbal Drugs of Gourma District, Mali". *Pharmaceutical Biology*. 1-12.

- Diallo, D. & Mahmoud, M. A. (1992). Quelques méthodes d'utilisation des plantes médicinales dans le Gourma malien. Projet de recherche SSE. Environnement et Développement au Mali. Rapport d'étape. Plantes sauvages. 51 p.
- Diallo, O. B. (2001). Biologie de reproduction et évaluation de la diversité génétique chez une légumineuse *Tamarindus indica* L. (*Ceasalpinioideae*). Thèse de doctorat. Université de Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc. 119 p.
- Dione, F. G. B. (2001). Etude des facteurs de la germination et de la multiplication végétative chez *Detarium senegalense* Gmel. et *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. Mémoire de DEA. Biologie végétale. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 63 p.
- Doligez, A. (1996). Evolution de la diversité génétique intra-population et de sa structure. Etude d'un modèle de simulation spatialisé de la gestion des ressources génétiques forestières tropicales. Institut National Agronomique Paris-Grignon. CIRAD-Forêt. 273 p.
- Dosba, F. & Saunier, R. (1998). La caractérisation variétale fruitière en France. C.R. Acad. Agric. Fr. 1-236.
- DPF/INERA. (1999). Bilan de recherche 1995-1999. INERA. Burkina Faso. 190 p.
- Egan, H., Kirk, R. S. & Sawyer, R. (1981). Pearson's chemical analysis of foods. Eighth edition. Churchill Livingstone. 2-21.
- Empilli, S., Castagna, R. & Brandolini, A. (2000). Morpho-agronomic variability of the diploid wheat *Triticum monococcum* L. Plant Genetic Resources Newsletter. 36-40.
- Eromosele, I. C. & Eromosele, C. O. (1993). Studies on the chemical composition and physico-chemical properties of seeds of some wild plants. Plant Foods for Human Nutrition. 251-258.
- Essor. (1999). Mali 2000. 250 p.
- Etcheverly, A. V. (2001). Floral biology and pollination in *Crotolaria stipularia* (Fabaceae). Proceedings 8th Pollination Symposium. Acta Horticultura. N° 561.
- Falconer, J. (1990). Appendix 3. Commonly consumed forest and farm tree foods in the West African Humid Zone. In: Koppell, C. R. S. (Editor). The major significance of minor forest products. The local use and value of forests in the West African Humid Forest Zone. CF Note 6. FAO.
- Falconer, J. & Arnold, J. E. M. (1988). Forests, trees and household food security. Social forestry Network. Network paper 7a. 27 p.
- FAO. (1970). Table de composition des aliments à usage en Afrique. Rome. FAO. 218 p.
- FAO. (2001). Situation des forêts du monde. 181 p.
- FAO. (2002a). Profil des pays. Résumé sur le Mali. (<http://www.FAO.org/forestry/site/18307/fr>).
- FAO. (2003). Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome. 63 p.

- FAO. (2004). Information sur l'aménagement des pêches dans la république du Mali. (<http://www.FAO-Country-Profiles>).
- Ferradous, A. (1995). Diversité génétique du fruit et de la graine d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Thèse. Fac. Sci. Univ. Ibnou Zohr. Agadir. Maroc. 190 p.
- Ford, R. I. (1978). Ethnobotany. Historical diversity and synthesis. In: Ford, R. I.(ed). The nature and status of ethnobotany. Anthropological papers. Museum of Anthropology. University of Michigan. Ann. Arbor. Michigan. 33-50.
- FOSA. (2003). Forestry outlook study for Africa subregional report West Africa. 82 p.
- Fournier, A. (1991). Phénologie, croissance et productions végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique. ORSTOM. Collection études et thèses. Paris. 312 p.
- Fox, R. H., Myers, R. J. K. & Vallis, I. (1990). The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant and Soil*. 160. 237-248.
- Frankie, G. W., Baker, H. G. & Opler, P. A. (1974). Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. *The Journal of Ecology*. 881-919.
- Free, J. B. (1970). Insect pollination of crops. Academic Press. London & New York. 544 p.
- Gakou, M., Force, J. E. & MCLauhlin, W. J. (1994). Non-timber forest products in rural Mali. A study of village use. *Agroforestry systems* 28. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 213-226.
- Gampiné, D. & Boussim, J. I. (1995). Etude des contraintes à la régénération naturelle de quelques espèces locales de Combretaceae et *Caesalpinaceae* au Burkina Faso. *Etudes flor. Vég. Frankfurt/Ouagadougou*. Verlag Natur & Wissenschaft. Solingen. Burkina Faso 2: 33-41.
- Garine, I. de. (2002). Nourriture de brousse chez les Muzey et les Masa du Nord-Cameroun. Méga. Tchad. 13 p.
- Gausson, H., Leroy, J.-F. & Ozenda, P. (1982). Précis de botanique. Végétaux supérieurs. 2^e édition. Masson. 579 p.
- GDRN. (1999). Plan d'Opération. Intercooperation Suisse. 100 p.
- Geerling, C. (1982). Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano-guinéens. Université agronomique. Wageningen (NL). Netherlands. 340 p.
- Gelfand, M., Mavi, S., Drummond, R. B. & Ndemera, B. (1985). The traditional medical practitioner in Zimbabwe. Mambo Press. 411 p.
- Gottle, A. & Sene, E. M. (1997). Les fonctions de protection et écologiques des forêts . Vol. 2. Thème 10. XI Congrès Forestier Mondial, 13-22 octobre 1997, Antalya, Turquie.
- Goudiaby, A., Ba, A. T. & Sambou, B. (2001). La flore ligneuse du site de Dindéfello au sud-est du Sénégal. *Ann. Bot. Afr.* 21-33.

- Gouvernement du Mali. (2002). Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté au Mali. Rapport final. 129 p.
- GRASE. (1999). Rapport d'enquête sur les espèces forestières en voie de disparition dans les cercles de Sikasso, Kadiolo, Koutiala et Yorosso. Mali. 35 p.
- Graudal, L. (1998). Elaboration d'une stratégie nationale et d'un plan d'action pour la conservation des ressources génétiques forestières. Communication à l'atelier régional de formation sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques forestières. Ouagadougou, Burkina Faso. 16-27.
- Greatti, M., Zoratti, M. L. & Trouillier, J. (1997). Une autre ressource pour l'apiculteur. L'aide à la pollinisation. L'abeille de France. N° 829.
- Grouzis, M. & Sicot, M. (1980). Une méthode d'étude phénologique de populations d'espèces ligneuses sahéliennes. Influence de quelques facteurs écologiques. In: Les fourrages ligneux en Afrique. Etat actuel des connaissances. Colloque sur les fourrages ligneux en Afrique. Addis Ababa, 8-12 avril 1980. Ethiopie. ILCA/CIPEA. 231-237.
- Guillaume-Gentil, A. (2001). Le karité, un produit d'exception aux larges perspectives de développement. Dossier Karité. Marchés tropicaux. 385-387.
- Gupta, S., Gupta, S. R., Dikshit, H. K. & Singh, R. A. (2001). Variability and its characterization in Indian collections of blackgram (*Vigna mungo* (L.) Hepper.). Plant Genetic Resources Newsletter. 20-24.
- Harshberger, J. W. (1896). The purposes of ethnobotany. Botanical Gazette. 146-154.
- Hedberg, I. & Staugard, F. (1989). Traditional medicinal plants. Traditional medicine in Botswana. Ipeleng Publishers. 324 p.
- Hirose, S. & Wakatsuki, T. (2002). Restoration of Inland Valley Ecosystems in West Africa. Chapter 4. People and Forests in Guinea Savanna. Association of Agriculture & Forestry Statistics. 572 p
- Höft, R. & Höft, M. (1997). Un profil d'ethnobotanique en Afrique. Résultats d'une enquête à l'échelle continentale. Bulletin du réseau africain d'ethnobotanique. 5-22.
- Hoyt, E. (1992). La conservation des plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées. IBPGR. UICN. WWf. BRG. 49 p.
- Hveem, B. & Berge, G. (1992). Valeur nutritionnelle de quelques plantes alimentaires sauvages dans le Gourma malien. Rapport d'étapes plantes sauvages. 26 p.
- Hveem, B., Diallo, D., Berge, G., Mahmoud, M. Ag & Maiga, A. (1996). The dependency on local plant resources in the Malian Sahel. Ethnobotany of the Gourma presented at the conference Plants for Food and Medicine, London, July 1996.
- Hveem, B. & Gunnvor, B. (1995). "Ethnobotanical findings from Gourma, Northern Mali", In: The Sahel. Ethnobotany, agricultural and pastoral strategies. Development Aid Strategies. Proceedings of the 7th Danish Sahel Workshop, 4-6 January 1995.

- IBPGR. (1980). Working group to review the tropical fruit descriptors and strategy for collection, evaluation, utilization and conservation. Bangkok. Thailand. 14-15 July. 8 p.
- ICRAF. (1994). Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Conclusions et recommandations du symposium international de Ouagadougou. Coordination du réseau SALWA. 22 p.
- Ikhiri, K. & Ilagouma, A. T. (1995). Constituants of *Detarium microcarpum* Ba. *Fitoterapia*. 274-274.
- IPGRI. (1999). Vers une approche régionale des ressources génétiques forestières en Afrique sub-saharienne. Actes du premier atelier régional de formation sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques forestières en Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale et Madagascar, 16-27 Mars 1998. Burkina Faso. 299 p.
- Iwu, M. M. (1993). Handbook of African medicinal plants. CRC Press Inc. Boca Raton. Ann. Arbour. London. Tokyo.
- Jaeger, N. & Després, L. (1998). Obligate mutualism between *Trollius europaeus* and its seed-parasite pollinators *Chiastoceta* flies in the Alps. *C. R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la vie/ Life Sciences*. 789-796.
- Jaiyeoba, I. A. (1996). Amelioration of soil fertility by woody perennials in cropping fields. Evaluation of three tree species in the semi-arid zone of Nigeria. *Journal of Arid Environments*. 473-482.
- Jendoubi, R., Neffati, M. Henchi, B. & Yobi, A. (2001). Système de reproduction et variabilité morpho-phénologique chez *Allium roseum* L. *Plant Genetic Resources Newsletter*. 29-34.
- Johnson, R. A. & Wichern, D. W. (1998). Applied multivariate statistical analysis. Chapter 8. Principal Components. Prentice-Hall, Inc. 458-497.
- Johnson, S. D., Neal, P. R., Peter, C. I. & Edwards, T. J. (2004). Fruiting failure and limited recruitment in remnant populations of the hawkmoth-pollinated tree *Oxyanthus pyriformis* subsp. *Pyriformis* (Rubiaceae). *Biological Conservation*. 31-39.
- Jonckers, D. (1981a). Organisation socio-économique des Minyanka du Mali. Thèse de Doctorat en Sciences Sociales. Faculté des sciences sociales, politiques et économiques. Université Libre de Bruxelles. 110 p.
- Jonckers, D. (1981b). Organisation socio-économique des Minyanka du Mali. Thèse de Doctorat en Sciences Sociales. Faculté des sciences sociales, politiques et économiques. Université Libre de Bruxelles. 218 p.
- Kakudidi, E. K. (2004a). Folk plant classification by communities around Kibale National Park. Western Uganda. *African Journal of Ecology*. 57-63.
- Kakudidi, E. K. (2004b). Cultural and social uses of plants from and around Kibale National Park. Western Uganda. *African Journal of Ecology*. 114-118.
- Kalis, S. (1997). Médecine traditionnelle, religion et divination chez les *Seereer Siin* du Sénégal. La connaissance de la nuit. L'Harmattan. 335 p.

- Kamaté, C. (1980). Climat. In: Traoré, M. & Monnier, Y. Atlas du Mali. Les éditions J.A. 64 p.
- Kanté, S. & Bengaly (1997). Critères de classification des terres et stratégies. Sikasso. Mali. 16 p.
- Kanté, S. & Defoer, T. (1995). Comment les paysans classent et gèrent leur terre?. Dossier stratégies paysannes et dynamiques foncières. Les cahiers de la Recherche-Développement. 45-61.
- Kater, L. J. M., Kanté, S. & Budelman, A. (1992). Karité (*Vitellaria paradoxa*) and Néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in South Mali. Agroforestry systems. 89-105.
- Kayuki, K. C. & Wortmann, C. S. (2001). Plant materials for soil fertility management in subhumid tropical areas. Agron. J. 929-935.
- Kearns, C. A. & Inouye, D. W. (1995). Techniques for pollination biologists. University of Colorado. USA. 500 p.
- Keay, R. W. J. (1958). Flora of West Tropical Africa. Second edition. Volume one. Part two. 828 p.
- Keay, R. W. J. (1989). Trees of Nigeria. Oxford Science Publications. 476 p.
- Kéita, B. (2002). Les sols dominants du Mali. In: FAO. (eds.) Quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. Abomey, Bénin, 9-13 oct. 12 p.
- Kellman, M. (1979). Soil enrichment by neotropical savanna trees. Journal of Ecology. 565-577.
- Kemp, R. H. (1992). La conservation des ressources génétiques des forêts tropicales aménagées. In FAO: Développement durable. Unasylva. Vol. 43/2.
- Kerharo, J. & Adam, J. G. (1974). La pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques. Edition Vigot Frères. Paris. 1011 p.
- King, H. C. & Heath, G. W. (1967). The chemical analysis of small samples of leaf material and the relationship between the disappearance and composition of leaves. Pedobiologica. 192-197.
- Kinnaird, F. M. (1992). Phenology of flowering and fruiting of an East African Riverine forest ecosystem. Biotropica. 187-194.
- Konaté, G. (2000). La revue et l'amélioration des données relatives aux produits forestiers au Mali. Projet GCP/INT/679/EC. Programme de partenariat CE-FAO (1998-2001).
- Konaté, G. (2001). Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA). Document national du Mali. Direction Nationale de la Conservation de la Nature. Ministère de l'Equipement, de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisme, Mali. 79 p.

- Koné, S. (1997). Etude comparative de deux méthodes d'estimation de volume dans les formations savanicoles. Cas du terroir villageois de Déh. Mémoire de fin d'études. Cycle Ingénieur des Eaux et Forêts. IPR/IFRA. Université du Mali. 36 p.
- Köppen, W. (1932). Die Klimate der Erde. G.Fischer. Berlin und Leibzig. Allemagne.
- Kouyaté, A. M. (1995). Contribution à l'étude de méthodes d'estimation rapide du volume dans les formations savanicoles. Cas du terroir villageois de Siani au Mali. Mémoire de DEA de Sciences Forestières. Université d'Antananarivo. Madagascar. 48 p.
- Kouyaté, A. M. (1999). Enrichissement par plantation du terroir de Kaniko (cercle de Koutiala). Comité de programme IER. 8 p.
- Ksontini, M. (1996). Etude écophysiological des réponses à la contrainte hydrique du chêne liège (*Quercus suber*) dans le nord tunisien. Comparaison avec le chêne kermès (*Quercus coccifera*) et le chêne zeen (*Quercus faginea*). Thèse de doctorat. Université Paris XII, Val de Marne. 157 p.
- Kumar, K. (1987). Conducting group interviews in developing countries. AID. Program design and evaluation methodology report. 46 p.
- Leakey, R. R. B. (1999). Potential for novel food products from agroforestry trees. A review. Food chemistry. 66. 1-14.
- Le Houérou, H. N. (1980). Techniques agroforestières pour la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols dans les zones arides et semi-arides. In: Les fourrages ligneux en Afrique. Etat actuel des connaissances. Colloque sur les fourrages ligneux en Afrique. Addis Ababa, 8-12 avril 1980. Ethiopie. ILCA/CIPEA. 421-424.
- Letouzey, R. (1982). Manuel de botanique forestière. Afrique tropicale. Tome 1. Botanique générale. CTFT. France. 193 p
- Lewis, G. P., Schrire, B. D., Mackinder, B. A. & Lock, J. M. (eds.). Legumes of the world. (en prep.). RBG. Kew. UK.
- Lock, J. M. (1989). Legumes of Africa. A check-list. Royal Botanic Gardens Kew. 619 p.
- Louppe, D. & Ouattara, N. (1996). Résultats des mensurations de 1996. Station Kamonon Diabaté. Institut des Forêts. Korhogo. Côte d'Ivoire. 54 p.
- Lovett, P. N. & Haq, N. (2000). Diversity of the sheanut tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Ghana. Genetic Resources and Crop Evolution. Kluwer Academic Publishers. 293-304.
- Lucas, P. (1981). Etude des conditions de pollinisation du cacaoyer au Togo. Café. Cacao. Thé. 68-75.
- Mabberley, D. J. (1981). The plant-book. Cambridge university press. 321-322.
- Machado, I. C. S., Barros, L. M. & Sampaio, E. V. S. B. (1997). Phenology of *Caatinga* species at Serra Tahada, PE, north-eastern Brazil. Biotropica. 57-68.
- Maïga, A. (1999). Ressources forestières naturelles et plantations au Mali. Programme de partenariat CE-FAO. 19 p.

- Maïga, A. S. (2001). Situation des ressources génétiques forestières du Mali. Atelier sous-régional FAO/IPGRI/ICRAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne (Ouagadougou, 22-24 sept. 1998). Document FGR/9F. FAO. Rome. Italie. 13 p.
- Malgras, D. (1992). Arbres et arbustes guérisseurs des savanes maliennes. ACCT. Karthala. Paris. 478 p.
- Marcia, M. M. (2001). Importance of the floral biology and pollinators on the sustainability of forest management. Proceedings of the 8th pollination symposium. Acta Horticultura n° 561.
- Mariott, F. H. C. (1990). A dictionary of statistical terms. Fifth edition. Longman. 223 p.
- Mars, M. & Marrakchi, M. (2000). Etude de la variabilité intra-arbre chez le grenadier (*Punica granatum* L.). Application à l'échantillonnage des fruits. Fruits. 347-355.
- Martin, G. J. (1995). Ethnobotany. A methods manual. Royal Botanic Gardens, Kew, UK. Chapman & Hall. 268 p.
- MDR (2002). Plan national pour la gestion intégrée de la fertilité des sols au Mali. République du Mali. 57 p.
- Meyer, A. (2001). Rôle socio-économique et écologique de *Detarium microcarpum* au sud du Mali. Rapport de fin de cycle d'ingénieur. EPFZ. Zürich. IER. Sikasso. Mali. 49 p.
- Michel, P. (1980). Relief. In: Traoré, M. & Monnier, Y. Atlas du Mali. Les éditions J.A. 64 p.
- Mosseddaq, F. (1988). Comparaison de quelques méthodes de mesure de la surface foliaire sur blé (*Triticum aestivum* L.). Actes Inst.Agron. Vét. 29-34.
- Mossu, G., Paulin, D. & de Reffye, P. (1981). Influence de la floraison et de la pollinisation sur les rendements du cacaoyer. Café. Cacao. Thé. 155-168.
- Moustapha, A., Mahaman, L., Zeinabou, H., Attikou, A., Bagnou, M. & Daouda, S. (2003). Rapport d'activités 2001-2002. Projet Régional AIEA CT RAF/05/48. Lutte contre la désertification dans le Sahel. République du Niger. 30 p.
- Muhanguzi, H. D. R., Obua, J., Oryem-Origa, H. & Vetaas, O. R. (2003). Tree fruiting phenology in Kalinzu Forest, Uganda. African Journal of Ecology. 171-178.
- Mula, R. P. (1992). Farmers' indigenous knowledge of Sweetpotato production and utilization in the Phillipine Cordillera Region. UPWARD. Working paper Series. 40 p.
- Murali, K. S. & Sukumar, R. (1994). Reproductive phenology of a tropical dry forest in Mudumalai. Southern India. Journal of Ecology. 759-767.
- Murphy, J. & Sprey, L. H. (1984). Introduction aux enquêtes agricoles en Afrique. ILRI. The Netherlands. 134 p.
- Myers, R. J. K., Palm, C. A., Cuevas, E., Gunatilleke, I. U. N. & Brossard, M. (1994). The synchronization nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Wooster, P. L., Swift, M. J. (eds). The biological management of tropical soil fertility. Wiley. Chichester. UK. 81-116.

- N'Diaye, B. (1970). Groupes ethniques au Mali. 479 p.
- Neuwinger, H. D. (1996). African Ethnobotany. Poisons and drugs. Chemistry. Pharmacology. Toxicology. Chapman & Hall. 941 p.
- Njoku, O.U., Obioma, U. & Frank, E. U. (1999). Bull. Chim. Farm. 165-168.
- Nono, Y. J., Nuadje, G. B., Raoul-Wack, A. L. & Giroux, F. (2001). Comportement de certains fruits tropicaux traités par déshydratation-imprégnation par immersion dans une solution de saccharose. Fruits. 75-83.
- Nour, A. A., Magboul, B. I. & Kheiri, N. H. (1980). Chemical composition of baobab fruit (*Adansonia digitata*). Tropical science. 383-388.
- Okafor, J. C. (1980b). Edible indigenous woody plants in the rural economy of the Nigerian forest zone. Forest. Ecol. Management 3.
- Okafor, J. C. (1998). The use of farmer knowledge in non-wood forest product research. In The Non-Wood Forest Products of Central Africa. Current research issues and prospects for conservation and development. The proceedings of an international expert meeting on Non-Wood Forest Products in Central Africa. 10-15 May 1998, Limbe, Cameroon.
- Oni, O. (1991). Insect pollinators of the West African hardwood *Terminalia ivorensis*. Acta Horticulturae. 88-92.
- Onweluzo, J. C., Obanu, Z. A. & Onuoha, K. C. (1994). Composition of some lesser known tropical legumes. J. Food Sci. Technol. 307-310.
- Onweluzo, J. C., Onuoha, K. C. & Obanu, Z. A. (1995). Certain functional properties of gums derived from lesser known tropical legumes (*Afzelia africana*, *Detarium microcarpum* and *Mucuna flagellipes*). Plant Foods for Human Nutrition. 55-63.
- Onweluzo, J. C., Vijayalakshmi, M. R., Vijayanand, P. & Eipeson, W. E. (1999). *Detarium microcarpum* polysaccharide as a stabilizer in processed fruit products. Lebensm.-Wiss. U-Technol. 521-526.
- Ouattara, M. (1991). Le parc à *Faidherbia albida* au Mali. Communication à l'atelier sur l'agroforesterie. Tabakoro du 08 au 13 juillet. Mali. 22 p.
- Ouédraogo, A. S. (1995). *Parkia biglobosa* (Fabaceae) en Afrique de l'Ouest. Biosystématique et amélioration. Thèse. Univ. agron. Wagening. Inst. For. Nat. Res. IBN-DLO. Netherlands. 205 p.
- Ouédraogo, D. (2002). Analyse socio-économique des pratiques de gestion de la trypanosomose animale et les facteurs associés au développement de la chimiorésistance dans la province du KénéDougou. Burkina Faso. Thèse de doctorat. Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 210 p.
- Parkan, J. (1974b). Identification des essences forestières locales de la zone du projet. Fiche technique 3. Projet FAO./GCP/Mli/019/NET. Aménagement forestier et reboisement villageois de Koulikoro. Mali.

- Pasiecznik, N. M. (2001). The *Prosopis juliflora* – *Prosopis pallida* complex, A monograph. HRDA. Coventry. United Kingdom. 162 p.
- Peres, C. A. (1994). Primate responses to phenological changes in an Amazonian Terra Firme forest. *Biotropica*. 98-112.
- Perron, M. (1933). Situation économique et agricole du pays *sénoufo*. Bulletin de l'agence générale des colonies. 65-83.
- Peters, C. M. (1990). Population ecology and management of forest fruit trees in Peruvian Amazonia. In: Alternatives to deforestation. Steps towards sustainable use of the Amazon rain forest. Anderson A. B. (ed.). Columbia University Press. 86-98
- Peters, C. M. (1996a). The ecology and management of non-timber forest resources. World Bank Technical Paper number 322. World Bank. Washington. 157 p.
- Philippeau, G. (1986). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales?. ITCF. Service des études statistiques. STATITCF. 57 p.
- PIRL. (1988). Inventaire des ressources ligneuses du Mali. Rapport de synthèse. CTFT/SCET-Agri. 196 p.
- PIRT. (1983). Les ressources terrestres au Mali. Rapport technique. Volume II. Gouvernement de la République du Mali. USAID/TAMS. B3-B41.
- PNUD. (1997). Esquisse du schéma national et des schémas régionaux d'aménagement du territoire au Mali. Rapport final. Projet PNUD/DAES/MLI/94/003. République du Mali. 359 p.
- PNUD. (2003). Rapport sur la situation sociale et économique du Mali. 9 p.
- Poupon, H. (1979). Etude de la phénologie de la strate ligneuse à Fété Olé (Sénégal septentrional) de 1971 à 1977. *Bull Inst Fondam Afr Noire (IFAN)*. 44-91.
- Rakotoniaina, S. (1998). Analyse en composantes principales d'une image multispectrale de télédétection. *Mada-Géo. Journal des Sciences de la Terre*. 4 p.
- Ramberg, J., Le, L., McAnalley, K., C. M., Vennum, E. & McAnalley, B. (2003). Why are whole-food dietary supplements better than single-nutrient supplements? A review based on the vitamin C literature. *Glycoscience & Nutrition*. 1-8.
- Reynes, M., Bouabidi, H., Piombo, G. & Risterucci, A. M. (1994). Caractérisation des principales variétés de dattes cultivées dans la région du Djérid en Tunisie. *Fruits*. 289-298.
- Reynes, M. & Odoux, E. (1999). La transformation de la mangue pour le compte du Centre Agro-Entreprise (CAE). Rapport de mission au Mali (mission du 7 au 15 Décembre 1999). Cirad-flhor. MREO/NM/657. 17 p.
- Rietkerki, M., Blijdorp, R. & Slingerland, M. (1998). Cutting and resprouting of *D. microcarpum* and herbaceous forage availability in semi-arid environments in Burkina Faso. *Agroforestry systems*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 201-211.
- Roach, D. A. & Wulff, R. D. (1987). Maternal effects in plant. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 209-235.

- Rodin, R. J. (1985). The ethnobotany of the kwanyama ovambos. Missouri Botanical Garden. 163 p.
- Rohner, U. & Sorg, J. - P. (1986). Observations phénologiques en forêt dense sèche. Tome 1. Fiche technique. Centre de formation professionnelle forestière "Fofampiala". Morondava. Madagascar. 129 p.
- Rondeau, C. (1980a). La société *sénoufo* du sud du Mali de 1870-1950. De la Tradition à la dépendance. Thèse de doctorat 3^e cycle. Université de Paris VII. UER de Géographie et de Sciences de la Société. Département d'Histoire. 134 p.
- Rondeau, C. (1980b). La société *sénoufo* du sud du Mali de 1870-1950. De la Tradition à la dépendance. Thèse de doctorat 3^e cycle. Université de Paris VII. UER de Géographie et de Sciences de la Société. Département d'Histoire. 270 p.
- SADT. (1962). Terminology of simple symmetrical plane shapes. Chart 1a. Reprinted from taxon 11(5). 145-156.
- Sanogo, A. K. (2000). Techniques simples de production des plants. Fiche technique. IER. Intercooperation. 12 p.
- Sanogo, S. (1997). Observations phénologiques dans le sud du Mali. Bilan des cinq premières années d'observations. Document ARFS n° 96/5. MDRE-IER-CRRAS-ARFS. 16 p.
- Sanou, H., Kambou, S., Teklehaimanot, Z., Dembélé, M., Yossi, H., Sina, S., Djindia, L. & Bouvet, J.-M. (2004). Vegetative propagation of *Vitellaria paradoxa* by grafting. Agroforestry Systems. 93-99.
- Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannins. Phytochemistry. 3875-3883.
- Scheel, K. C. (1936). Colorimetric determination of phosphoric acid in fertilizers with the Aulfrich photometer. Zeitschrift für analytische chemie. 256-259.
- Schmidt, L. (2000). Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. Danida Forest Seed Centre. 511 p.
- Schmitz, A. (1996). Contrôle et utilisation du feu en zones arides et subhumides africaines. FAO. Rome. 65-72.
- Schneider, P. (1996). Sauvegarde et aménagement de la forêt classée de Farako avec la participation et au profit des populations riveraines. Région de Sikasso. Mali-Sud. Thèse de Doctorat. EPFZ. Zürich. 356 p.
- Sebbenn, A. M., Pontinha, A. A. S., Giannotti, E. & Kageyama, P.Y. (2003). La Conservation *ex situ* de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze dans l'Etat de Sao Paulo. Brésil. FAO. Ressources génétiques forestières. 16-20.
- Seghieri, J. (1990). Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au nord Cameroun. Thèse. Acad. Montpellier. Univ. Montpellier II. 200 p.
- Seneviratne, G. (2000). Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture. A synthesis. Biol. Fertil. Soils. 60-64.

- Senou, O. (2000). Les peuplements de karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans le cercle de Koutiala, au sud du Mali. Répartition, structure et parasitisme par les *Tapinanthus*. Mémoire de D.E.A. Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales. Université de Ouagadougou. Burkina Faso. 84 p.
- Sidibé, M. (1996). Arbres du terroir pour l'alimentation. Projet GCP/RAF/303/ITA. Forêt et sécurité alimentaire en Afrique sahélienne, Sikasso. Document de travail n°1. Série forestière et pastorale. 40 p.
- Sidibé, M., Scheuring, J. F., Tembely, D., Sidibé, M. M., Hofman, P. & Frigg, M. (1996). Baobab—homegrown vitamin C for Africa. *Agroforestry Today*. 13-15.
- Sigaud, P. & Eyog-Matig, O. (2001). Situation des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne et nord-soudanienne. Plan d'action sous-régional pour leur conservation et utilisation durable. Note thématique sur les ressources génétiques forestières. Document de travail FGR/2F. FAO. 111 p.
- Sivakumar, M. V. K., Konate, M. & Virmani, S. M. (1984). Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest. Le Mali. ICRISAT. Bulletin d'information. 294 p.
- SNPA/DB. (2001). Deuxième rapport du Mali sur la diversité biologique. Min. Equip. Amén. Terr. Environ. Urban. Mali. 25-26.
- Soloviev, P., Niang, T. D., 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*. 109-119.
- Sorg, J.- P. (1995). Cours de phytogéographie. Cycle DEA en Sciences Forestières. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Université d'Antananarivo. Madagascar. 1-5.
- Soumaré, A. (1996). Utilisation des éléments nutritifs par deux arbres du Sahel. *Acacia albida* et *Sclerocarya birrea*. *Rapports PSS*. 7-31.
- Sounigo, O., Bekele, F., Bidaisee, G., Christopher, Y. & Unaharan, R. (1997). Comparison between genetic diversity data obtained from morphological, biochemical and molecular studies. Cocoa Research Unit. Report. Trinidad. 20-29.
- Southgate, D. A. T. (1991). Determination of Food Carbohydrates. 2ed. Elsevier applied science. IX. 232 p.
- Spichiger, R.-E., Savolainen, V. V., Figeat, M. & Jeanmonod, D. (2002). Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. Presses polytechniques et universitaires romandes. 413 p.
- STP/CIGQE. (2002). Examen décennal de l'agenda 21 au Mali. Ministère de l'Equipement, de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisme. Mali, 168 p.
- Sun, C., Kaplin, B. A., Krostensen, A. K., Munyaligago, V., Vukiyumwami, J., Kanyonyo, K. K. & Moermond, T. C. (1996). Tree phenology in a tropical montane forest in Rwanda. *Biotropica*. 668-681.

- Szolnoki, T. W. (1985). Food and fruit trees of the Gambia. Stiftung Wald. In Africa and Bund. Für Forst-und Holz. 132 p.
- Tailfer, Y. (1989). La forêt dense d'Afrique centrale. Identification des principaux arbres. Tome 2. Approche botanique et systématique. 692-735.
- Thiam, A. T. (2001). Etude prospective des filières d'exploitations forestières porteuses pour l'amélioration du niveau de revenu des populations et l'accroissement des capacités d'autofinancement des chantiers forestiers du projet PNUD/BIT-MLI/98/M01/NOR et MLI/97/009). 63 p.
- Tian, G., Kang, B. T. & Brussard, L. (1992). Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions-decomposition and nutrient release. Soil. Biol. Biochem. 1051-1060.
- Touré, A. I. (1980). Hydrographie. In: Traoré, M. & Monnier, Y. Atlas du Mali. Les éditions J. A. 64 p.
- Touré, I. O. (2000). Revue des données du bois-énergie au Mali. Projet GLP/NT/679/EC. Programme de partenariat CE-FAO (1998-2002). Bamako. 20 p.
- Traoré, M. (1980). Energie, mines, industries. In: Traoré, M. & Monnier, Y. Atlas du Mali. Les éditions J. A. 64 p.
- Tucker, S. C. (2002). Comparative floral ontogeny in *Detarieae* (Leguminosae: *Caesalpinioideae*). Zygomorphic taxa with petal and stamen suppression. American journal of botany. 888-907.
- Van Damme, P. (1993). Plantensystematiek. Cursus. Universiteit Gent. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen. 250 p.
- Vandebroek, I., Van Damme, P., Van Puyvelde, L., Arrazola, S. & De Kimpe, N. (2004). A comparison of traditonnel healers' medicinal plant knowledge in the Bolivian Andes and Amazon. Social Science & Medicine. 837-849.
- Van den Eynden, V., Van Damme, P. & De Wolf, J. (1994). Inventaire et modelage de la gestion du couvert végétal pérenne dans une zone forestière du sud du Sénégal. Rapport final. Partie C Etude ethnobotanique. Université de Gent, Belgique. 33-99.
- Van Der Pol, F. (1992). Soil mining. An unseen contributor to farm income in southern Mali. Bulletin 325. Royal Tropical Institute Amsterdam. 48 p.
- Van Wingham, J., Van Damme, P. & De Wolf, J. (1994). Inventaire et modélage de la gestion du couvert végétal pérenne dans une zone forestière du sud du Sénégal. Rapport final. Etude écologique de l'impact du bétail sur la végétation. 17 p.
- Vaugban, J. G. & Geissler, C. (1997). The new oxford book of food plants. Oxford University Press. 239 p.
- Veldkamp, W. J., Traoré, A., N'Diaye, M. K., Kéita, M. K., Kéita, B. & Bagayoko, M. (1991). Fertilité des sols du Mali. Mali-Sud/Office du Niger. Interprétation des données analytiques des sols et des plantes. 112 p.

- Vogt, K. (1995). A field worker's guide to the identification, propagation and uses of common trees and shrubs of dryland Sudan. SOS Sahel International. UK. 167 p.
- Waites, A. R. & Agren, J. (2004). Pollinator visitation, stigmatic pollen loads and among-population variation in seed set in *Lythrum salicaria*. *Journal of Ecology*. 512-526.
- Watson, L. & Dallwitz, M. J. (1993 onwards). The genera of *Leguminosae-Caesalpinioideae* and *Swartzieae*. information retrieval. (<http://www.biodiversity.uno.edu/delta/>).
- Watt, J. M. & Breyer-Brandwijk, M. G. (1962b). The medicinal and poisonous plants of southern and eastern Africa. Second edition. Part 2. 1457 p.
- Wentholt, W., Dembélé, A. R. K. & Diallo, M. (2001). Genre et recherche agricole au Mali. IER. KIT Publishers. The Netherlands. 141 p.
- White, F. (1983). The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa. *Natural Resour. Res.* 1-356.
- Wickens, G. E. (1990). What is economic botany? *Economy Botany*. 12-28.
- Wiersum, K. F. & Slingerland, M. (1996). Use and management of two multipurpose tree species (*Parkia biglobosa* and *Detarium microcarpum*) in agrosylvopastoral land-use systems in Burkina Faso. Wageningen. Pays-Bas. 29 p.
- Wittig, R. & Guinko, S. (1998). Plantes médicinales et leurs usages chez les Mossis de Sampodogo et Ouéguédo. *Etudes flor. Vég. Burkina Faso* 4. Verlag natur & wissenschaft. Solingen. 44 p.
- Wong, J. L. G., Thornber, K. & Baker, N. (2001). Evaluation des ressources en produits forestiers non ligneux. Expérience et principes de biométrie. FAO. PFNL. 137 p.
- Woot-Tsuen, W. L. (1968). Food composition table for use in Africa. Bethesda, United States. 306 p. (<http://www.fao.org/docrep/003/x6877e/X6877E00.htm>).
- Zech, W. (1984). Etudes sur l'écologie des ligneux d'intérêt forestier dans l'Afrique de l'Ouest semi-aride. 384 p.
- Zewge, T. (1999). Improved management of agroforestry parkland systems in Sub-Saharan Africa. Final Project Report. *Farmed parklands in Africa*. 9 p.
- Zhang, D. (2002). Marqueurs moléculaires. Outils de choix pour le génotypage des plantes. In (eds.): Les apports de la biologie moléculaire en arboriculture fruitière. 12^e colloque sur les recherches fruitières. 30-31 Mai 2002. Bordeaux. 3 p.
- Zitan, L. (1995). Analyse des caractères morphologiques pour l'évaluation de la variabilité génétique du chêne-liège (*Quercus suber* L.). *Mém. 3 cycle Agron. Inst. Agron. Vét. Hassan II. Maroc*. 30-39.

Annexe 1**Questionnaire de test**

Cercle.....Zone agroécologique.....

Village..... Nombre d'habitants

Profession..... Ethnie.....

Age..... Sexe..... Nombre de personnes..... Date.....

- [1] Selon vous, que représente *Detarium microcarpum* ?
- [2] Quels sont les produits de *Detarium microcarpum* ?
- [3] Quelles sont les différentes utilisations des produits dans votre village ?
- [4] Dans quel site on trouve des peuplements de *Detarium microcarpum* (topographie, sol, fertilité, zones de cultures) ?
- [5] Quelle apparence ont les arbres selon les sites ? (taille, dimension du tronc, estimation de l'âge) ?
- [6] L'accès au fruit de *Detarium microcarpum* est – il limité ?
- [7] Est-ce que quelques produits font l'objet d'un commerce ?
- [8] Comment se déroule ce commerce (acteurs et intermédiaires, lieu de vente, produits, quantité, période de vente, prix) ?
- [9] Comment coupez - vous le bois ?
- [10] Quelles sont les utilisations et les qualités du bois ?
- [11] Est-ce que *Detarium microcarpum* est fréquent dans votre région ?
- [12] Quel est l'état de santé des peuplements dans votre zone ?
- [13] Est-ce que l'espèce est en voie de disparition ? Si oui, pourquoi ?
- [14] Comment fonctionne la reproduction de *Detarium microcarpum* (végétative et sexuée; drageons, rejets, semis, plantations) ?
- [15] Est-ce qu'il y a un rapport entre la dimension de l'arbre et la qualité des fruits ?

- [16] Existe-t-il plusieurs variétés de *Detarium microcarpum*? Si oui, comment les distinguez-vous?
- [17] *Detarium microcarpum*, a t- il une signification spirituelle pour vous ?
- [18] Généralement, les ressources naturelles sont sous une forte pression dans la région. Qu'est-ce que vous proposez comme solution pour les sauver ? Est-ce qu'il y a des actions déjà réalisées?

Annexe 2

Test Shapiro-Wilk de normalité

Test	--Statistic---	-----p Value-----
C	W 0.763252	Pr < W <0.0001
Hr	W 0.969878	Pr < W <0.0001
Lf	W 0.909292	Pr < W <0.0001
laf	W 0.992006	Pr < W 0.0794
Pf	W 0.9899	Pr < W 0.0250
Lc	W 0.965734	Pr < W <0.0001
lac	W 0.972349	Pr < W <0.0001
Lg	W 0.989757	Pr < W 0.0231
lag	W 0.887173	Pr < W <0.0001
Fg	W 0.991155	Pr < W 0.0498
FL	W 0.979553	Pr < W 0.0001
FLA	W 0.329302	Pr < W <0.0001
KM	W 0.584018	Pr < W <0.0001
PP	W 0.986279	Pr < W 0.0037
Ep	W 0.050219	Pr < W <0.0001
Lfe	W 0.982662	Pr < W 0.0006
Nfo	W 0.8051	Pr < W <0.0001
Lfo	W 0.479859	Pr < W <0.0001
Lafo	W 0.413257	Pr < W <0.0001
Sfo	W 0.968107	Pr < W <0.0001
Lp	W 0.06269	Pr < W <0.0001
LFT	W 0.294192	Pr < W <0.0001
LFA	W 0.226161	Pr < W <0.0001
LT	W 0.888102	Pr < W <0.0001

Conclusion: une seule des 25 variables est normale, donc une analyse de la variance est impossible.

CURRICULUM VITAE

Nom et Prénoms	KOUYATE Amadou Malé
Nationalité	Malienne
Sexe	Masculin
Corps	Eaux et Forêts
Date de Naissance	28 Août 1960
Lieu de Naissance	Ségou
Situation de Famille	Marié, père de trois enfants
Date d'entrée en service	10 Juillet 1984
Adresse professionnelle	Institut d'Economie Rurale B.P 258 Bamako MALI
E-mail	Amadoumkouyate@yahoo.fr; Kouyate01@hotmail.com; Amadou.Kouyate@ier.ml
Tél (bur.)	00 223 2 620 073 ou 00 223 2 620 107
Tél (dom.)	00 223 2 621 605
Tél (gsm)	00 223 345 71 90
Fax	00 223 2 620 349

ETUDES UNIVERSITAIRES

1994-1996: Sciences Forestières, option Aménagement et Sylviculture

Diplôme obtenu: Diplôme d'Etudes Approfondies

Lieu et date: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Madagascar

Thème : Contribution à l'étude de méthode d'estimation rapide du volume dans les formations savaniques. Cas du terroir villageois de Siani, Mali.

1979-1983: Foresterie

Diplôme obtenu: Maîtrise Eaux et Forêts

Lieu et date: Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs de Salé, Royaume du Maroc

Thème: Etude socio-économique et des systèmes pastoraux de la commune rurale de Ben-Slimane, Maroc.

STAGES DE FORMATION

1999

- Rédaction scientifique

Lieu: Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

Source de financement: Institut d'Economie Rurale.

1996

- Analyse Genre dans la Recherche Agricole

Lieu: Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso, Mali

1994

- Suivi-évaluation des projets dans la recherche agronomique

Lieu: Centre Africain d'Etudes Supérieures en Gestion (CESAG), Dakar, Sénégal

1992

- Informatique (windows, word 5.5 sous windows, wordperfect 5.1 sous windows, Excel sous Windows)

Lieu: CEFIB, Bamako, Mali.

1990

- Rédaction de demande de financement en matière de recherche

Lieu: Bamako, Mali.

1986

- Statistiques appliquées à la foresterie, Théorie et Pratique

Lieu: CNEARC, Montpellier, France.

- Méthodes d'enquêtes et de Traitement des données

Lieu: CIRAD, Montpellier, France.

ENCADREMENT DES STAGIAIRES

2004

Nom de l'étudiant: Sarah Goyens (Belge)

Diplôme obtenu: Master of Science

Thème: Etude de la fertilité des sols à *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au sud du Mali

Lieu de soutenance: Faculté des Sciences Bio-Ingénieurs, Université de Gand, Belgique

2003

Nom de l'étudiant: Jean Hugé (Belge)

Diplôme obtenu: Master of Science

Thème: Etude de la variabilité génétique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au sud du Mali

Lieu de soutenance: Faculté des Sciences Agronomiques et Biologie appliquée, Université de Gand, Belgique

2001

Nom de l'étudiant: Andreas Meyer (Suisse)

Diplôme obtenu: Diplôme d'Ingénieur

Thème: Rôle socio-économique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au sud du Mali

Lieu de soutenance: Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich, Suisse

1999

Noms des étudiants: Sidi Koné et Diakaridia Dembélé (Maliens)

Diplôme obtenu: Ingénieur des Eaux et Forêts

Thème: Comparaison de deux méthodes d'inventaire forestier

Lieu de soutenance: Institut Polytechnique Rural de Katibougou, Koulikoro, Mali

1998

Nom de l'étudiant: Hamidou Diawara (Malien)

Diplôme obtenu: Technicien Supérieur des Eaux et Forêts

Thème: Importance socio-économique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. dans les cercles de Sikasso, Koutiala et Yorosso, Mali.

Lieu de soutenance: Institut Polytechnique Rural de Katibougou, Koulikoro, Mali

1997

Nom de l'étudiant: Alou Mariko (Malien)

Diplôme obtenu: Technicien Supérieur des Eaux et Forêts

Thème: Test de gestion des taillis d'*Eucalyptus camaldulensis* dans le cercle de Yorosso/Région de Sikasso, Mali.

Lieu de soutenance: Institut Polytechnique Rural de Katibougou, Koulikoro, Mali

Atelier et Symposium

2004

- Communication orale sur l'agriculture en zones arides du Mali au séminaire international sur l'aridoculture et cultures oasiennes à Djerbah en Tunisie du 22-25 novembre 2004.

- Communication orale sur l'étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénotypique chez *Detarium microcarpum* au Mali, à la journée des jeunes botanistes tenue le 18/11/2004 à Vrije Universiteit Brussel, Belgique.

- Présentation d'un poster sur l'étude de la diversité morphologique chez *Detarium microcarpum* au "10th Symposium on Applied Biological Sciences", à Gent, Belgique.

- Présentation d'un poster sur "*Medicinal uses of Detarium microcarpum in southern in Mali*" présenté au *Ninth international congress of Ethnobiology*, à Canterbury, Angleterre.

- Communication orale sur la variabilité morphologique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali, à l'atelier régional sur la domestication des espèces forestières locales organisé par l'ICRAF à Samanko au Mali du 17 au 19 Mars 2004.

2002

- Présentation d'un poster sur "*Morphological characterization of Detarium microcarpum Guill. & Perr. in southern Mali*" au "*First PROTA, International workshop in Nairobi, Kenya*".

2000

- Participation au 4^e atelier sous-régional sur le partenariat entre la recherche, la vulgarisation et les organisations paysannes tenu du 22 au 26 Février 2000 à Ouahigouya, Burkina Faso.

1998

- Communication orale sur *Anthocleista kerstingii* Gilg. au Mali, au premier atelier régional de formation/IPGRI sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques forestières tenu à Ouagadougou du 16 au 27 Mars 1998, Burkina Faso.

- Participation à l'atelier sous-régional IPGRI sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahéenne tenu à Ouagadougou du 22 au 24 Septembre 1998, Burkina Faso.

- Participation à la 2^e Assemblée Générale du Réseau Forêts du Comité des Responsables de Recherche Agronomique d'Afrique Francophone (CORAF) tenue du 14 au 16 Décembre 1998 à Yaoundé, Cameroun.

- Participation à la 9^e session de la rencontre tripartite des Structures de Recherche Forestière du Burkina Faso, du Nord de la Côte d'Ivoire et du Sud du Mali sur l'avenir du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) en zone soudano-sahéenne, tenue à Sikasso, Mali.

1997

- Participation à la réunion nationale d'auto-diagnostic de la recherche-développement en agroforesterie tenue du 9 au 10 septembre 1997 à Bamako, Mali.

- Participation à l'atelier sur la jachère et le maintien de la fertilité des sols tenu du 1^{er} au 4 Octobre 1997, Bamako au Mali.

- Participation à la révision du Plan Stratégique de la Recherche Agronomique du Mali au niveau de la région de Sikasso, Mali.

- Participation à la 7^e session de la rencontre tripartite des Structures de Recherche Forestière du Burkina Faso, du Nord de la Côte d'Ivoire et du Sud du Mali sur l'agroforesterie, à Sikasso, Mali.

1994

- Participation à l'atelier du CORAF sur l'aménagement forestier à Pointe-Noire, Congo Brazzaville.

- Participation à l'atelier IUFRO/SPDC sur la planification et la gestion de la recherche forestière à Ouagadougou, Burkina Faso.

- Participation au Séminaire international IUFRO/SPDC sur la relecture des modules du cours d'auto-apprentissage en matière de planification et de gestion de la recherche forestière à Minneapolis/St Paul, Minnesota, Etats-Unis.

- Participation à la rencontre tripartite des Structures de Recherche Forestière du Burkina Faso, du Nord de la Côte d'Ivoire et du Sud du Mali sur la recherche forestière, à Koudougou, Burkina Faso.

1993

- Communication orale sur le karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. f.) et le néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don) dans les exploitations agricoles de la région de Sikasso/République du Mali, au symposium international sur les parcs agroforestiers, 25-27 Octobre 1993, à Ouagadougou, Burkina Faso.

- Participation à la rencontre tripartite des structures de Recherche Forestière du Burkina Faso, du Nord de la Côte d'Ivoire et du Sud du Mali sur la recherche forestière, à Sikasso, Mali.

1992

- Participation à la rencontre tripartite des Structures de Recherche Forestière du Burkina Faso, du Nord de la Côte d'Ivoire et du Sud du Mali sur la recherche forestière, à Korhogo, Côte d'Ivoire.
- Participation à l'étude de la biodiversité (inventaire de la flore) des forêts classées du Soudan et des Monts Mandingues, Mali.
- Participation à la mission d'identification, dans la région de Sikasso, des sites expérimentaux du projet Productions Soudano-Sahéliennes du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Niono, Mali.

1991

- Participation à l'atelier du CORAF sur l'aménagement des forêts naturelles à Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Communication orale sur la problématique de la sécheresse pour *Gmelina arborea* Roxb dans les forêts classées de l'Opération Aménagement et Productions Forestières, à l'atelier international sur l'adaptation à la sécheresse chez les arbres, Physiologie, Techniques et Méthodes, 12-15 Novembre 1991 à Pobé, Bénin.
- Participation au séminaire sur le plan à long terme de la recherche agronomique du Mali à Bamako.

1989

- Participation au séminaire de diffusion des résultats de la Station de Recherche Forestière de N'Débougou, à Bamako, Mali.

**EXPERIENCE PROFESSIONNELLE AU SEIN DE L'INSTITUT
D'ECONOMIE RURALE**

Depuis 2001

- Chef du projet de recherche sur la variabilité morphologique et génétique de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au Mali.

1997-2000

- Responsable du Programme Ressources Forestières au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso, Mali.
- Responsable du Projet Appui à la Recherche Forestière Participative/Gestion Durable des Ressources Naturelles dans la région de Sikasso, Mali.

1998-2000

- Membre du Collège Scientifique Régional du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso/Mali.

1996-1997

- Chercheur au Programme Ressources Forestières au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso/Sud du Mali.

1994-1996

- Formation 3^e Cycle DEA à Madagascar

1993-1994

- Chef de la Station de Recherche Forestière dans la région de Sikasso, Mali.

- Co-gestionnaire du Projet Appui à la Recherche Forestière Appliquée dans la région de Sikasso, Mali.

- Chef du Sous-Programme Productions Ligneuses de l'Institut d'Economie Rurale, Mali.

1992-1993

- Chef de la Section Développement des Techniques Forestières de l'Opération Aménagement et Reboisement de Sikasso, Mali.

1989-1990

- Analyste des données au niveau du Volet Recherche d'Accompagnement de l'Unité Technique Spéciale/Opération Aménagement et Productions Forestières de Bamako, Mali.

1990-1992

- Chef du Volet Recherche d'Accompagnement de l'Unité Technique Spéciale/Opération Aménagement et Productions Forestières de Bamako, Mali.

1986-1989

- Directeur-Adjoint de la Station de Recherche Forestière de N'Débougou, Zone Office du Niger, Région de Ségou, Mali.

1984-1986

- Chercheur à la Division de la Recherche Forestière et Hydrobiologique de l'Institut National de la Recherche Zootechnique, Forestière et Hydrobiologique, Bamako, Mali.

EXPERIENCES PROFESSIONNELLES EXTERIEURES A L'INSTITUT D'ECONOMIE RURALE
--

Depuis 2003

- Membre de l'Association pour l'Etude Taxonomique de la Flore d'Afrique Tropicale (AETFAT)

1998

- Participation à la mise en place du réseau Programme Africain Sub-Saharien de Recherche sur les Ressources Génétiques Forestières (SAFORGEN).

1994-2000

- Correspondant National du Réseau Forêts du CORAF.

- Représentant de l'Afrique francophone à la relecture des modules du cours d'auto-apprentissage sur la planification et la gestion de la recherche forestière à Mineapolis/St Paul, Minnesota, Etats-Unis.

DEPUIS 1991

- Membre du groupe de Recherche sur l'adaptation des arbres à la sécheresse en Afrique.

- Membre du Réseau Arbres Tropicaux.

LISTE DES PUBLICATIONS

ARTICLES PARUS DANS DES JOURNAUX AVEC COMITE DE LECTURE

Kouyaté, A. M. & Van Damme, P. (2004). Etude de la diversité morphologique chez *Detarium microcarpum* Comm. Appl. Biol. Sci. Ghent University. Belgique. 69/2. 161-164.

Kouyaté, A. M. & Van Damme, P. (2004). Etude de la variabilité morphologique, biochimique et phénotypique chez *Detarium microcarpum* Comm. Journée des Jeunes Botanistes. Vrije Universiteit Brussel. 16 p.

Picard, N., Kouyaté, A. M. & Dessard, H. (sous presse). Tree density estimations using a distance method in Mali savanna. Forest Science.

Kouyaté, A. M. & Ogier, M. (2003). Vers une démarche de recherche forestière participative au sud du Mali. Recherche et Développement. Liaison Energie-Francophonie. IEPF. 4^e trimerstre. N°61. 60-63.

Kouyaté, A. M. & Van Damme, P. (2002). Caractères morphologiques de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. au sud du Mali, Fruits, 57 (4), 231-238.

Kouyaté, A. M., Meyer, A. & Van Damme, P. (2002). Perceptions paysannes de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. dans le sud du Mali, Fruits, 57 (5/6), 305-312.

Kouyaté, A. M. & Ogier, M. (2002). Vers une démarche de recherche forestière participative. Enjeux et perspectives. In: Socio-économie et agro-sylvo-pastoralisme au Sahel. Etudes et Recherches sahéliennes. INSAH. N° 6-7: 36-44.

Kouyaté, A. M. & Sorg, J.- P. (2002). Comparaison de deux méthodes d'estimation du volume des arbres forestiers. In: Socio-économie et agro-sylvo-pastoralisme au Sahel. Etudes et Recherches sahéliennes. INSAH. N° 6-7: 45-48.

Kouyaté, A. M. & Van Damme, P. (2001). *Detarium microcarpum*, un avenir certain pour les communes rurales au sud du Mali. Plant Genetic Resources Newsletter. 129. 58.

Yossi, H. & Kouyaté, A. M. (2001). Les arbres hors forêts. Le cas du Mali. In Bellefontaine, R., Petit, S., Pain-Orcet, M., Deleporte, P. & Bertault, J.- G. (eds.). Les arbres hors forêt. Vers une meilleure prise en compte. Cahier FAO. Conservation 35. 171-177.

Kouyaté, A. M. & Ogier, M. (2001). Le programme gestion durable des ressources naturelles appuie la commission régionale des utilisateurs des résultats de recherche de Sikasso. Exemple de partenariat. Coraf-action. N° 21.

Kouyaté, A. M. & Sorg, J.- P. (1999). Modernisation d'un programme de recherche sur la forêt et l'arbre au Mali. ETFRN. News 28.

Cuny, P. & Kouyaté, A. M. (1998). Recherche forestière participative sur les espèces locales au sud du Mali. Journal forestier suisse. 169-182.

Cuny, P. & Kouyaté, A. M. (1995). Recherche forestière appliquée au Sud du Mali. Bulletin de liaison des membres du réseau arbres tropicaux. Flamboyant. N° 33. 22-23.

Kouyaté, A. M. (1995). Contribution à l'étude de méthode d'estimation rapide du volume dans les formations savaniques. Cas du terroir villageois de Siani au Mali. Mémoire de D.E.A. de sciences forestières. Université d'Antananarivo. Madagascar. 48 p.

FICHES TECHNIQUES

Kouyaté, A. M. (2000). Conduite des taillis de *Eucalyptus camaldulensis*. IER/Intercooperation suisse. Fiche technique. 10 p.

Fané, J. & Kouyaté, A. M. (1999). Techniques de production et modes d'installation des haies vives à base de *Lawsonia inermis*. Fiche technique. PRF/IER. 9 p.

RAPPORTS DE RECHERCHE

Kouyaté, A. M. (2001). Conduite des taillis de *Eucalyptus camaldulensis*. Rapport final. PRF. IER. 16 p.

Djouara, A. & Kouyaté, A. M. (2000). Problématique de la coupe du karité dans le cercle de Koutiala (Région de Sikasso). Rapport technique. IER. Sikasso. 10 p.

Fané, J. & Kouyaté, A. M. (1999). *Lawsonia inermis* dans le secteur CMDT. de Sikasso. Rapport technique. PRF. IER. Sikasso. 24 p.

Kouyaté, A. M. (1999). Enrichissement par plantation du terroir de Kaniko (cercle de outiala). Rapport technique. Comité de Programme. IER. 8 p.

Bagnoud, N. & Kouyaté, A. M. (1996). Estimation du volume des bois des formations savaniques de la zone soudanienne (Cercle de Sikasso). Tarifs de cubage pour quelques espèces ligneuses et relations dendrométriques pour le bois de feu. Document ARFS. N° 96/3. IER. 16 p.

Kouyaté, A. M., Kelly, B. A. & Kéita, I. (1994). Etude des causes du mauvais taux de germination de *Jatropha curcas* dans la région CMDT de Bougouni. Rapport technique. Station de Recherche Forestière de Sikasso. 20 p.

Anderson, J., Yossi, H., Kouyaté, A. M. & Senou, O. (1992). Essai de provenances de *Eucalyptus camaldulensis* dans la forêt classée de la Faya. UTS/OAPF. Rapport technique. 10 p.

Anderson, J., Yossi, H., Kouyaté, A. M. & Senou, O. (1992). Essai de provenances de *Gmelina arborea* dans la forêt classée de la Faya. UTS/OAPF. Rapport technique. 10 p.

Kouyaté, A. M., Anderson, J., Cissé, A., Thienta, S. & Koné, J. (1992). Etude de la gestion en taillis des espèces locales dans les forêts classées des Monts Mandingues et de la Faya. UTS/OAPF. Rapport technique. 15 p.

Kouyaté, A. M., Anderson, J., Cissé, A., Thienta, S. & Koné, J. (1992). Aperçu sur la lecture des cernes et l'accroissement de quelques espèces locales. UTS/OAPF. Rapport technique. 8 p.

Kouyaté, A. M., Anderson, J., Cissé, A., Thienta, S. & Koné, J. (1992). Détermination du volume de l'écorce de quelques espèces locales. UTS/OAPF. Rapport technique. 10 p.

Kouyaté, A. M., Anderson, J., Cissé, A., Thienta, S., Senou, O. & Koné, J. (1992). Réseau d'observations dans les plantations de *Gmelina arborea*. UTS/OAPF. Rapport technique. 15 p.

Kouyaté, A. M., Anderson, J., Cissé, A., Thienta, S., Senou, O. & Koné, J. (1992). Etude phénologique de quelques espèces locales. UTS/OAPF. Rapport technique. 15 p.

Kouyaté, A. M., Anderson, J. & Senou, O. (1992). Essai d'élimination des espèces dans la forêt classée de la Faya. UTS/OAPF. Rapport technique. 10 p.

Kouyaté, A. M., Cissé, A. & Anderson, J. (1989). Etude de la période d'exploitation de *Gmelina arborea* dans la forêt classée des Monts Mandingues. UTS/OAPF. Rapport technique. 10 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiéno, S. (1989). Techniques de production des plants en pépinière. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. INRZFH. Rapport technique. 12 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiéno, S. (1989). Test d'élimination des espèces en zone irriguée. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. INRZFH. Rapport technique. 9 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiéno, S. (1989). Choix des terres de reboisement. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. INRZFH. Rapport technique. 10 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiéno, S. (1989). Essai dimension des trous de Plantation. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. INRZFH. Rapport technique. 10 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiéno, S. (1989). Essai taille des plants de reboisement. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. INRZFH. Rapport technique. 15 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiéno, S. (1989). Choix des périodes de plantation. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. INRZFH. Rapport technique. 12 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiénou, S. (1989). Choix du mode d'apport d'eau aux plants. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. Rapport technique. INRZFH. Rapport technique. 10 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiénou, S. (1989). Effets du désherbage sur le comportement de *Eucalyptus camaldulensis*. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. Rapport technique. INRZFH. 12 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiénou, S. (1989). Périodes d'exploitation de *Eucalyptus camaldulensis*. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. Rapport technique. INRZFH. 15 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiénou, S. (1989). Traitement en taillis de *Eucalyptus camaldulensis*, de *Gmelina arborea* et de *Leucaena glauca*. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. Rapport technique. INRZFH. 17 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiénou, S. (1989). Etude de la production forestière en zone irriguée. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. Rapport technique. INRZFH. 20 p.

Dakouo, J. M., Kouyaté, A. M., Sylla, Y. & Tiénou, S. (1989). Tarif de cubage de *Eucalyptus camaldulensis*. Station de Recherche Forestière de N'Débougou. Rapport technique. INRZFH. 12 p.

LANGUES, LOISIRS ET VOYAGES

LANGUES

Bambara: lu et parlé (très bien).

Français: lu, parlé, et écrit (très bien).

Anglais: lu (assez bien), écrit et parlé (passablement).

LOISIRS

Télévision, scrabble, lecture, et musique.

PAYS VISITES DANS LE MONDE

Burkina Faso, Sénégal, Niger, Côte d'Ivoire, Bénin, Togo, Congo Brazzaville, Afrique du Sud, Madagascar, France, Suisse, USA et Belgique.