

Importance Socio-Economique et Etude de la Variabilité Ecologique, Morphologique, Génétique et Biochimique du Baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin

Ir. Achille Ephrem ASSOGBADJO

Importance Socio-Economique et Etude de la Variabilité Ecologique, Morphologique, Génétique et Biochimique du Baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin

Ir. Achille Ephrem ASSOGBADJO

2006

ISBN 90-5989-137-6



FACULTEIT BIO-INGENIEURSWETENSCHAPPEN

Promotors:

Prof. dr. ir. Patrick VAN DAMME
Department of Plant Production, Laboratory of Tropical and Subtropical
Agriculture and Ethnobotany, Faculty of Bioscience Engineering,
University of Ghent, Belgium

Prof. dr. ir. Brice SINSIN
Département d'Aménagement et de Gestion des Ressources Naturelles,
Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Dean:

Prof. dr. ir. H. VAN LANGENHOVE

Rector:

Prof. dr. Paul Van CAUWENBERGE

Ir. Achille Ephrem ASSOGBADJO

Importance Socio-Economique et Etude de la Variabilité Ecologique,
Morphologique, Génétique et Biochimique du Baobab (*Adansonia digitata* L.)
au Bénin

Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur (PhD) en
Sciences Biologiques Appliquées:
Section Agronomie

Socio-Economisch Belang en Studie van de Ecologische, Morfologische, Genetische en Biochemische Variabiliteit van de Baobab (*Adansonia digitata* L.) in Benin

Citation:

Assogbadjo, A. E. (2006). Importance socio-économique et étude de la variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. Thèse de doctorat. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Belgium. 213 p.

ISBN 90-5989-137-6

L'auteur et les promoteurs 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.

Je dédie ce travail à:

Mon feu père Lucien Assogbadjo
Ma mère Philomène Sodédji
Ma très chère épouse Flora Chadaré
Ma très chère fille Sèlomè Assogbadjo

REMERCIEMENTS

Mes remerciements à Dieu tout Puissant pour ses bienfaits et pour m'avoir inspiré tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier solennellement Prof. Dr. ir. Patrick Van Damme et Prof. Dr. ir. Brice Sinsin qui n'ont ménagé aucun effort pour assurer la direction de cette thèse avec beaucoup de disponibilité, de rigueur scientifique et de compréhension. Qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

J'exprime toute ma reconnaissance au Prof. Dr. ir. Jean T. C. Codjia qui a été le premier à me mettre en contact avec Prof. Dr. ir. Patrick Van Damme. Qu'il en soit spécialement remercié.

J'adresse tous mes remerciements à la Fondation Internationale pour la Science (IFS), au Réseau Africain pour la Recherche en Foresterie (AFORNET), au Centre Mondial pour l'Agroforesterie (ICRAF) et à "*Vlaamse Interuniversitaire Raad*" (VIIR) pour leurs appuis financiers qui ont permis la réalisation de ce travail.

Mes remerciements sincères s'adressent aux membres de la commission d'examen de cette thèse en l'occurrence Prof. Dr. Godelieve Gheysen, Prof. Dr. Paul Goetghebeur, Prof. Dr. Niels De Pauw, Prof. Dr. ir. Robert De Wulf, Prof. Dr. François Malaisse et, Prof. Dr. ir. Bart Muys. Leurs observations et suggestions visant à l'amélioration qualitative de cette thèse ont été d'un apport inestimable. Encore une fois, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements à:

- Dr. ir. Tina Kyndt pour son appui scientifique et technique dans la réalisation des analyses moléculaires. Qu'elle trouve ici toute ma reconnaissance.
- Dr. ir. Romain Glèlè-Kakaï pour ses conseils et appuis en biométrie.
- M. Mathias Chadaré, pour avoir lu et corrigé le style général du document.
- ir. Emmy De Caluwe et ir. Pauline Sitske De Groote pour avoir aidé à la collecte des données dans le cadre de ce travail.
- Dr. ir. Amadou M. Kouyaté pour ses conseils pratiques.

A la Faculté des Sciences Agronomiques du Bénin, je voudrais remercier le Doyen Mathurin Nago et tout le personnel.

A la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand (Belgique), je tiens à remercier ir. Eva De Clercq du Laboratoire de Gestion Forestière et de Techniques d'Information Spatiale qui a aidé à la réalisation des cartes qui se trouvent dans le document. Qu'elle trouve ici toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont à l'endroit de tout le personnel du Laboratoire de Génétique de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi en particulier ir. Blandine Fatondji et Dr. Agbangla Clément.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les collègues du Département de Biotechnologie Moléculaire de la Faculté des Sciences en Bio-Ingénierie de l'Université de Gand (Belgique), en l'occurrence Sofie Deschynkel et à tous ceux du Laboratoire de Phytopathologie de la même faculté particulièrement Maaïke Perneel.

Je dis merci aux collègues du Laboratoire des Sciences du Sol de la Faculté des Sciences Agronomiques du Bénin spécialement aux docteurs Guillaume Amadji et Pascal Houngnandan pour leurs conseils.

Je dis grand merci à:

- Mes amis du Laboratoire d'Agronomie Tropicale et Subtropicale et d'Ethnobotanique pour leurs collaborations. Il s'agit de Annita Goethals, Tinneke Dirckx, Celine Termote, Wouter Vanhove, Thomas Evert, Marleen Delanoy, Sofie Ruyschaert, Sidi Sanogo, Bernard Lelou, Vahid Roohi, Hamid Reza Karimi, Mohammad Rafieiohossaini, Pejman Tahmasebi, Claire Delvaux, Sara Sabbe, Johan Geirnaert, Riziki Shemdoe et Charles Ssekyewa.
- Tous mes amis du Laboratoire d'Ecologie Appliquée de la Faculté des Sciences Agronomiques du Bénin et plus particulièrement à Marius R. M. Ekué, Orou Gaoué Gandé, Nourou S. Yorou et à Sylvain Gbohayida.
- Mes amis Eunice Nago, Arthur Koukoubou, Pierre Akponikpè, Yvon Hountondji, Honoré Biaou, Roger Sodjinou, Akim Soulé, Roland Yêmadjè, Herman Lokoutodé et son épouse, Eugène Gbaguidi et son épouse, Vihotogbé Romaric, Sossa Carole et, Charles Kouchika et son épouse.
- Mes cousins Evaryste Sossou, Biososessi S. Séto, Firmin Séto, Hugues Sétho et leurs épouses respectives.
- Mes neveux Isaac Sossou et ses frères.
- Dr. Koudandé, son épouse et ses enfants.
- Dr. Fanou Luc, son épouse et ses enfants.
- Aux membres de la famille Sodédji et Hounbadji.
- A tout le personnel de CECODI-ONG particulièrement à Dieu-Donné Konnon et son épouse.

J'adresse mes chaleureux remerciements au Dr. ir. Guy A. Mensah qui m'a fait profiter de sa longue expérience en matière de recherche. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance pour les services déployés. J'adresse aussi mes sincères remerciements à son épouse et à ses enfants pour leur soutien indéfectible.

Je tiens particulièrement à remercier Dr. Oscar Eyog Matig et Dr. Raymond Vodouhê de l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI) pour leurs conseils pratiques.

Mes remerciements les plus distingués vont à l'endroit de tous les paysans du Bénin en l'occurrence ceux de Boukoumbé, Karimama, Malanville, Batia, Tanougou, Porga, Kandi, Dassa, Covè, Pobè, Comè, Bohicon et Kétou qui n'ont ménagé aucun effort à nous fournir toutes les informations dont ils disposent pour l'accomplissement de ce travail.

Je remercie le père Charles de Hemptine, Isabelle Mrozowski, Marleen Van Stappen, Françoise Claeys Bouuaert, Anémie Derbaix et tous les travailleurs et locataires de l'OBSG pour leur accueil à Gand (Belgique).

Une pensée profonde pour mes frères et sœurs Constance, Yvon, Bénoîte, Eliane, Houéfa et Olympe Assogbadjo, leurs épouses, époux et enfants, à ma belle-mère Christine Hounbadji, à mon beau frère Vital Chadaré et son épouse, à mes belles sœurs Aubierge, Bernice et Murielle Chadaré et leurs époux, pour leur soutien moral tout au long de ce travail.

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

SIGLES ET ACRONYMES

A.	<i>Adansonia</i>
ACP	Analyse en Composante Principale
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphism
AMOVA	Analyse Moléculaire de la Variance
ANOVA	Analyse de variance
AOAC	Association of Official Analytical Chemist
ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
CIAA	Chloroforme IsoAmine Alcool
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna
cm	Centimètre
CNRP	Comité National des Ressources Phytogénétiques
CV	Coefficient de variation
DDL	Degré de liberté
DIST	Distance taxonomique moyenne
dNTP	Désoxyribo Nucleoside Tri Phosphate
DS	Dissimilarité génétique
EDTA	Ethylenediaminetetraacetic acid
ETP	Evapotranspiration potentielle
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
FSA	Faculté des Sciences Agronomiques
GPS	Global Positioning System
HR	Humidité relative
Ind.	Individu
INSAE	Institut National de Statistique et d'Analyse Economique
IPGRI	International Plant Genetic Resources Institute
Kg	Kilogramme
Km	Kilomètre
Km ²	Kilomètre carré
LEA	Laboratoire d'Ecologie Appliquée
LFMSIT	Laboratoire de Gestion Forestière et de Techniques d'Information Spatiale
MATAB	Mixed Alkyl Trimethyl Ammonium Bromide
MEHU	Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
Min.	Minute
NJ	Neighbor Joining
NTFPs	Non Timber Forest Products
NTSYS	Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis system
PAGE	Polyacrylamide Gel Electrophoresis
PCO	Principal Co-ordinates Analysis
PCR	Polymerase Chain reaction
PEG	Poly ethylene glycol
RAPD	Random Amplified Polymorphic DNA
SIMQUAL	Similarity for Qualitative data
SSR	Simple Sequence Repeat
UAC	Université d'Abomey-Calavi
UGent	Université de Gand
UPGMA	Unweighted Pair-Group Method Analysis

TABLE DES MATIÈRES

	Page
DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
SIGLES ET ACRONYMES	iv
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	xii
LISTE DES PHOTOS	xv
RESUME-SAMENVATTING-ABSTRACT	xvi
CHAPITRE 1: INTRODUCTION GENERALE	1
1.1 Problématique et justification du sujet	2
1.2 Objectifs	4
1.3 Questions de recherche	5
1.4 Organisation de la thèse	6
CHAPITRE 2: MILIEU D'ETUDE	7
2.1. Situation géographique	8
2.2 Données physiques	8
2.2.1 Relief	8
2.2.2 Climat, sol et végétation	10
2.2.2.1 La zone guinéenne	10
2.2.2.2 La zone soudano-guinéenne	11
2.2.2.3 La zone soudanienne	12
2.2.3 Réseau hydrographique	14
2.3 Données socio-économiques	14
2.3.1 Population	14
2.3.1.1 Composition de la population	14
2.3.1.2 Répartition spatiale	14
2.3.2 Alimentation et Santé	15
2.3.2.1 Alimentation et nutrition	15
2.3.2.2 Santé	15
CHAPITRE 3: REVUE BOTANIQUE, BIOGEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DU GENRE ADANSONIA	16
3.1 Description botanique et morphologique des espèces du Genre <i>Adansonia</i>	17
3.1.1 <i>Adansonia digitata</i>	17
3.1.2 Description sommaire des autres espèces de baobab	18
3.1.2.1 <i>Adansonia gibbosa</i>	18
3.1.2.2 <i>Adansonia grandidieri</i>	18
3.1.2.3 <i>Adansonia madagascariensis</i>	20
3.1.2.4 <i>Adansonia perrieri</i>	20
3.1.2.5 <i>Adansonia rubrostipa</i> (fony)	20
3.1.2.6 <i>Adansonia suarezensis</i>	21
3.1.2.7 <i>Adansonia za</i>	21
3.2 Nomenclature des espèces du genre <i>Adansonia</i>	24
3.3 Ecologie et Biogéographie de <i>Adansonia digitata</i>	24
3.3.1 <i>A. digitata</i> en Afrique	24
3.3.2 Diversité régionale et distribution d' <i>A. digitata</i>	26
3.4 Agroécologie	26

3.5 Noms vernaculaires du baobab africain	28
3.6 Autres études sur <i>A. digitata</i>	29
3.6.1 Importance alimentaire, médicinale et socio-économique	29
3.6.2 Etude morphologique et génétique sur <i>A. digitata</i> et autres espèces de la famille des Bombacaceae	30
CHAPITRE 4: ASPECTS ETHNOBOTANIQUE ET IMPORTANCES SOCIO-CULTURELLE ET ECONOMIQUE DU BAOBAB AU BENIN	31
4.1 Introduction	32
4.2 Matériel et méthodes	34
4.2.1 Choix des localités d'enquête et des ménages	34
4.2.2 Choix des marchés pour l'étude de cas	35
4.2.3 Enquête ethnobotanique	35
4.2.4 Enquête sur les marchés	37
4.3 RESULTATS	39
4.3.1 Techniques endogènes de cueillette des feuilles et des fruits de baobab	39
4.3.2 Utilisations alimentaires et technologies traditionnelles de transformation des organes du baobab	40
4.3.2.1 Consommation et transformation des feuilles	41
4.3.2.2 Extraction, consommation et transformation de la pulpe	42
4.3.2.3 Consommation et transformation des graines	45
4.3.2.4 Consommation et transformation des fleurs	49
4.3.2.5 Transformation des capsules, de l'écorce du tronc et des branches	49
4.3.3 Utilisation thérapeutique des organes de baobab	50
4.3.4 Autres utilisations des organes de baobab	53
4.3.5 Conservation des différents organes	54
4.3.6 Critères endogènes de différenciation des individus de baobab	54
4.3.7 Pressions sur les individus de baobab	56
4.3.8 Valeurs symboliques et culturelles du baobab au Bénin	57
4.3.9 Valeur économique et commercialisation des produits du baobab	58
4.3.9.1 Acteurs concernés par la commercialisation des différents produits de baobab	59
4.3.9.2 Circuit de commercialisation des produits	59
4.3.9.3 Revenus issus des ventes des produits de baobab	61
4.3.9.4 Fluctuation des quantités et des prix sur le marché	64
4.4 DISCUSSION	66
4.4.1 Impacts des techniques de cueillette sur la viabilité du baobab	66
4.4.2 Pertinence et impacts des critères de différenciation des individus de baobab	66
4.4.3 Impacts des croyances pour le baobab sur sa protection ou destruction dans les localités	67
4.4.4 Utilisations alimentaires des produits de baobab	68
4.4.5 Utilisations médicinales du baobab	69
4.4.6 Commercialisation des produits de baobab	69
CHAPITRE 5 : DIVERSITÉ ÉCOLOGIQUE ET ÉVALUATION DES PRODUCTIONS EN AMANDE, PULPE ET GRAINES DES POPULATIONS DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) AU BÉNIN	70
5.1 Introduction	71
5.2 Matériel et méthodes	72
5.2.1 Evaluation de la diversité écologique du baobab au Bénin	72
5.2.1.1 Distribution et abondance de l'espèce	72
5.2.1.2 Caractérisation des habitats naturels et des individus	74

5.2.2	Phénologie du baobab au Bénin	75
5.2.3	Rendements moyens en pulpe, en amande et en graines des individus de baobab	76
5.2.3.1	Echantillonnage	76
5.2.3.2	Mensuration des capsules et extraction de différents organes	76
5.2.3.3	Evaluation des rendements en pulpe, graines et amande	76
5.2.4	Corrélations entre variables environnementales et variables dendrométriques et de production	77
5.3	Résultats	77
5.3.1	Distribution, abondance et caractéristiques des habitats à baobab au Bénin	77
5.3.2	Phénologie du baobab au Bénin	81
5.3.3	Variations des caractéristiques dendrométriques et de production du baobab selon les zones climatiques	82
5.3.4	Relations entre les paramètres de production, les paramètres dendrométriques et les variables de l'habitat	87
5.6	Discussion	89
	CHAPITRE 6: CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET PRODUCTION DES CAPSULES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) EN FONCTION DES ZONES CLIMATIQUES DU BENIN	92
6.1	Introduction	93
6.2	Matériel et méthodes	94
6.2.1	Echantillonnage	94
6.2.2	Mensurations des capsules et extraction de la pulpe, des graines et de l'amande	97
6.2.3	Évaluation des productions en pulpe, graines et amande et analyse des résultats	97
6.3	Résultats	98
6.3.1	Distribution spatiale des différentes formes de capsule et corrélation entre les paires de variables	98
6.3.2	Discrimination des formes de capsules à partir de leurs variables morphométriques	104
6.3.3	Discrimination des zones climatiques à partir des variables morphométriques des capsules	106
6.3.4	Modélisation de la production moyenne de pulpe, graines et amande par capsule	109
6.4	Discussion	111
	CHAPITRE 7 : STRUCTURE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET MORPHOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) AU BÉNIN	113
7.1	Introduction	114
7.2	Matériels et Méthodes	115
7.2.1	Echantillonnage	115
7.2.2	Evaluation de la diversité et de la structure génétique des populations de baobab	118
7.2.2.1	Extraction d'ADN	118
7.2.2.2	Analyses AFLP	118
7.2.2.3	Analyse des données génétiques	120
7.2.2.4	Evaluation et analyses des données morphométriques des populations de baobabs	122
7.2.2.5	Corrélation entre les variables morphologiques et de production, et les données génétiques	123
7.3	RESULTATS	123
7.3.1	Polymorphisme des bandes AFLP	123
7.3.2	Analyse du dendrogramme UPGMA et du PCO	124
7.3.3	Structuration génétique	127
7.3.4	Diversité génétique	128
7.3.5	Corrélation spatiale	129

7.3.6 Données morphologiques et productivité des populations de baobab	129
7.3.7 Corrélation entre variables morphologiques/production et les données AFLP	130
7.4 DISCUSSION	131
7.4.1 Partition de la variation génétique	131
7.4.2 Différentiation génétique suivant les zones climatiques	133
7.4.3 Relations entre les données morphologiques et de production, et la variation génétique	134
7.4.4 Conséquences pour la conservation et la domestication	134
CHAPITRE 8 : CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES FEUILLES, PULPE ET GRAINES DE BAOBAB SUIVANT SA PROVENANCE GENETIQUE ET LA NATURE DU SOL	136
8.1 Introduction	137
8.2 Matériel et méthodes	138
8.2.1 Echantillonnage	138
8.2.2 Caractérisation biochimique de la pulpe, des feuilles et des graines de baobab	138
8.2.3 Caractérisation physico-chimique des sols	143
8.2.4 Analyse statistique des données	143
8.3 Résultats	144
8.3.1 Composition biochimique de la feuille, de la pulpe et des graines suivant leurs régions de provenance	144
8.3.2 Comparaison des 3 zones climatiques suivant les caractéristiques physico-chimiques des sols	147
8.3.3 Relations entre les caractéristiques biochimiques des organes et la composition physico-chimique du sol	148
8.4 Discussion	151
CHAPITRE 9: OBSERVATIONS PRELIMINAIRES SUR LA GERMINATION ET L'EVOLUTION DES PLANTULES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i>) AU BENIN	155
9.1 Introduction	156
9.2 Matériel et méthodes	157
9.2.1 Zones de provenance des graines	157
9.2.2 Milieu d'expérimentation	157
9.2.3 Facteurs et traitements étudiés	160
9.2.4 Déroulement de l'essai	161
9.2.5 Analyse et traitement des données	161
9.3 Résultats	164
9.3.1 Germination des graines suivant différents traitements	164
9.3.2 Interactions des différents facteurs sur la germination des graines	165
9.3.3 Influence des différents facteurs sur la croissance en diamètre des plantules	168
9.3.4 Influence des différents facteurs sur la croissance en hauteur des plantules	169
9.3.5 Durée et délais de germination des graines selon différents traitements	171
9.3.6 Influence des différents facteurs étudiés sur la mortalité des plantules	172
9.4 Discussion	173
CHAPITRE 10: CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	176
10.1 Discussion générale et conclusions	177
10.1.1 Valorisation des produits de baobab	177
10.1.2 Conservation des ressources génétiques d' <i>A. digitata</i> au Bénin	178
10.1.3 Conditions écologiques et restauration du baobab	184
10.2 Recommandations	187
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	189
CURRICULUM VITAE	203

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
CHAPITRE 3	REVUE BOTANIQUE, BIOGEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DU GENRE ADANSONIA
Tableau 3.1	Caractéristiques comparées des espèces du genre <i>Adansonia</i> 22
Tableau 3.2	Nomenclature des espèces du genre <i>Adansonia</i> 24
Tableau 3.3	Croissance du baobab en relation avec les zones climatiques de l'Afrique 27
Tableau 3.4	Noms vernaculaires connus pour le baobab africain 28
CHAPITRE 4	ASPECTS ETHNOBOTANQUES ET IMPORTANCES SOCIO-CULTURELLE ET ECONOMIQUE DU BAOBAB AU BENIN
Tableau 4.1	Caractéristiques des échantillons interviewés par zone et par localité de même que les groupes socio-linguistiques concernées pour l'enquête ethnobotanique sur le baobab 39
Tableau 4.2	Pourcentage de personnes utilisant différents organes de baobab à divers usages alimentaires au Nord-Bénin 41
Tableau 4.3a	Utilisations thérapeutiques des organes de baobab signalées au niveau paysan sans une posologie formelle 51
Tableau 4.3b	Matrice de similarité (coefficients de Jaccard) entre zones explorées selon les utilisations des produits d' <i>A. digitata</i> par les populations 51
Tableau 4.4	Vertus et utilisations thérapeutiques des organes de baobab en milieu paysan au Bénin 52
Tableau 4.5	Pourcentage de personnes utilisant les organes de baobab pour diverses autres utilisations au Nord-Bénin 53
Tableau 4.6	Critères de différenciations des individus de baobabs dans les systèmes agroforestiers traditionnels du Nord-Bénin 55
Tableau 4.7	Causes (%) de mutilation des baobabs au Bénin 56
CHAPITRE 5	DIVERSITÉ ÉCOLOGIQUE ET ÉVALUATION DES PRODUCTIONS EN AMANDE, PULPE ET GRAINES DES POPULATIONS DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) AU BÉNIN
Tableau 5.1	Caractéristiques physico-chimiques des sols sur lesquels se rencontrent les populations de baobab 79
Tableau 5.2	Variations des caractéristiques dendrométriques et de productions selon les zones climatiques 85
Tableau 5.3	Variations des caractéristiques dendrométriques et de production selon différentes classes de diamètre dans la zone soudanienne 85
Tableau 5.4	Variations des caractéristiques dendrométriques et de production selon différentes classes de diamètre dans la zone guinéenne 86
Tableau 5.5	Variations des caractéristiques dendrométriques et de production selon différentes classes de diamètre dans la zone soudano-guinéenne 86
Tableau 5.6	ACP sur les variables abiotiques 87
Tableau 5.7	Corrélation entre les variables abiotiques et les facteurs (Zi) retenues 88
Tableau 5.8	Coefficients de corrélation entre les composantes principales Z1, Z2 et Z3 issues de l'ACP et les variables morphologiques et de production 88

CHAPITRE 6	CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET PRODUCTION DES CAPSULES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) EN FONCTION DES ZONES CLIMATIQUES DU BENIN	
Tableau 6.1	Analyse canonique pas à pas sur les données dendrométriques permettant de déterminer les variables les plus discriminantes pour comparer les fruits de différents baobabs	104
Tableau 6.2	Tests univariés effectués sur les caractéristiques des capsules étudiées en fonction de leurs différentes formes	105
Tableau 6.3	Analyse canonique discriminante effectuée sur les variables morphométriques des capsules de baobabs et de quatre différentes formes qui les caractérisent	105
Tableau 6.4	Caractéristiques moyennes des capsules de baobabs présentées par forme de capsule	105
Tableau 6.5	Analyse discriminante pas à pas sur les variables morphométriques des capsules de différents baobabs, suivant les zones climatiques	107
Tableau 6.6	Résultats d'analyses inférentielles effectuées sur les variables morphométriques des capsules de baobabs, suivant les zones climatiques	107
Tableau 6.7	Analyse canonique discriminante sur les variables morphométriques des capsules et les zones climatiques	108
Tableau 6.8	Caractéristiques des capsules selon les zones climatiques	108
Tableau 6.9	Modélisation des productions moyennes des différents organes des capsules de baobab suivant les zones climatiques	110
CHAPITRE 7	STRUCTURE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET MORPHOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) AU BÉNIN	
Tableau 7.1	Caractéristiques des populations collectées dans les trois zones climatiques du Bénin	116
Tableau 7.2	Combinaison d'amorces et polymorphisme au sein de l'espèce	124
Tableau 7.3	Proportions de pool de gène inférées pour chacune des 6 populations de baobab	127
Tableau 7.4	Diversité génétique au sein des six populations	128
Tableau 7.5	AMOVA de 137 individus provenant de six populations de baobab, obtenue avec 217 marqueurs AFLP	128
Tableau 7.6	Différentiation génétique (F_{ST} , sous la diagonale) entre populations, calculée avec le ' <i>Bayesian method</i> ' avec le logiciel AFLPsurv 1.0., et la distance moyenne (km) entre paire de populations (au dessus de la diagonale)	129
Tableau 7.7a	Caractéristiques morphologiques et production moyenne par individu de baobab dans les six populations étudiées	130
Tableau 7.7b	Corrélation entre les valeurs de dissimilarité génétique et les variables morphologiques	131
CHAPITRE 8	CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES FEUILLES, PULPE ET GRAINES DE BAOBAB SUIVANT SA PROVENANCE GENETIQUE ET LA NATURE DU SOL	

Tableau 8.1	Moyennes et écart-types des paramètres biochimiques (base sèche) des organes de baobab suivant les différentes climatiques	146
Tableau 8.2	Moyennes et écart-types des paramètres physico-chimiques des sols à baobab	147
Tableau 8.3	Valeurs propres de la matrice de corrélation	148
Tableau 8.4	Corrélations entre les caractéristiques biochimiques des organes, les caractéristiques physico-chimiques du sol et les 2 axes retenus	149
CHAPITRE 9	OBSERVATIONS PRELIMINAIRES SUR LA GERMINATION ET L'EVOLUTION DES PLANTULES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i>) AU BENIN	
Tableau 9.1	Conditions climatiques durant la période de l'essai (septembre 2003- février 2004)	158
Tableau 9.2	Caractéristiques physico-chimiques du sol pour les essais de germination	160
Tableau 9.3	Pourcentages moyens de germination en fonction des différents traitements et des zones de provenances des graines	164
Tableau 9.4	ANOVA sur les pourcentages de germination des graines suivant les traitements et les zones de provenance	166
Tableau 9.5	ANOVA sur les diamètres moyens des plantules de 6 mois suivant différents traitements et les zones de provenance	168
Tableau 9.6	ANOVA sur les hauteurs moyennes des plantules de 6 mois suivant les traitements et les zones de provenance	170
Tableau 9.7	Durée et délais de germination des graines selon différents traitements et par zone de provenance	172
Tableau 9.8	Paramètres de viabilité liés aux plantules selon les divers traitements et les régions de provenance	173
CHAPITRE 10	CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	
Tableau 10.1	Synthèse des résultats de l'étude	185

LISTE DES FIGURES

	PAGE
CHAPITRE 2 MILIEU D'ETUDE	
Figure 2.1 Carte de la République du Bénin montrant ses limites géographiques et ses principales villes	9
Figure 2.2 Carte du Bénin montrant les climatogrammes selon les différentes zones climatiques	13
CHAPITRE 3 REVUE BOTANIQUE, BIOGEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DU GENRE ADANSONIA	
Figure 3.1 Distribution du baobab (<i>Adansonia digitata</i>) en Afrique et dans les régions voisines	25
Figure 3.2 Climatogrammes des régions du continent africain dans lesquelles <i>Adansonia digitata</i> a été cartographiée par Wickens	27
CHAPITRE 4 ASPECTS ETHNOBOTANIQUE ET IMPORTANCES SOCIO-CULTURELLE ET ECONOMIQUE DU BAOBAB AU BENIN	
Figure 4.0 Principaux groupes socio-linguistiques étudiés	38
Figure 4.1 Diagramme de transformation des feuilles de baobab	42
Figure 4.2 Diagramme d'extraction de la pulpe et des graines de baobab à partir des capsules	44
Figure 4.3 Diagramme de fabrication de "mantofaman" partir des graines du baobab	47
Figure 4.4 Diagramme de fabrication de "Mougou-mougou"	47
Figure 4.5 Diagramme des techniques endogènes de transformation des produits issus des capsules de baobab	48
Figure 4.6 Procédé d'extraction de la potasse et du nectar à partir des fleurs	49
Figure 4.7 Contribution des divers organes du baobab dans le traitement des maladies	53
Figure 4.8 Répartition des différents acteurs en fonction des organes commercialisés	59
Figure 4.9 Circuit de distribution des produits de baobab des marchés du Nord-Bénin vers les pays voisins du Bénin	60
Figure 4.10 Gain journalier généré par un sac de produits de baobab sur le marché urbain de Malanville et le marché rural de Sakanwa	63
Figure 4.11 Ressources financières générées par les quantités totales de produits recensés pendant cinq mois à Malanville	63
Figure 4.12 Variation en fonction des mois des prix (fcfa/kg) des produits sur le marché de Malanville	65
Figure 4.13 Quantité des produits de baobab relevés au cours des cinq mois d'investigation à Malanville, Guéné, Sakanwa et Garou	65
Figure 4.14 Evolution annuelle des quantités de pulpe et de graines enrobées de pulpes exportées du Bénin vers le Niger de 1997 à 2003	65
CHAPITRE 5 DIVERSITÉ ÉCOLOGIQUE ET ÉVALUATION DES PRODUCTIONS EN AMANDE, PULPE ET GRAINES DES POPULATIONS DE BAOBAB (ADANSONIA DIGITATA L.) AU BÉNIN	
Figure 5.1 Schéma donnant une idée de la disposition des transects et les bandes d'observation des individus de baobab pour une localité explorée	73

Figure 5.2	Distribution et densité d' <i>A. digitata</i> au Bénin	80
Figure 5.3	Densité moyenne des individus de baobab selon leurs éloignements des habitations	81
Figure 5.4	Diagramme phénologique du baobab de mars 2003 à mars 2004 toutes zones confondues	82
Figure 5.5	Répartitions des fréquences des individus de baobab par classe de hauteur selon les zones climatiques	84
Figure 5.6	Répartitions des fréquences des individus de baobab par classe de diamètre selon les zones climatiques	84
CHAPITRE 6	CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET PRODUCTION DES CAPSULES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) EN FONCTION DES ZONES CLIMATIQUES DU BENIN	
Figure 6.1	Carte montrant les localités d'échantillonnage dans les zones climatiques du Bénin	95
Figure 6.2	Distribution des 4 formes de baobab suivant les 3 zones climatiques	99
Figure 6.3	Relation entre le poids total pulpe-graines (y) et le poids total (x) d'une capsule	100
Figure 6.4	Relation entre le poids total des graines (y) et le poids total (x) d'une capsule	100
Figure 6.5	Relation entre le poids total de pulpe (y) et le poids total (x) d'une capsule	101
Figure 6.6	Relation entre le poids total d'amande (y) et le poids total (x) d'une capsule	101
Figure 6.7	Relation entre le nombre de graines (y) et le poids total (x) d'une capsule	102
Figure 6.8	Relation entre le poids total (y) et la longueur (x) d'une capsule	102
Figure 6.9	Relation entre le poids total (y) et la largeur (x) d'une capsule	103
Figure 6.10	Relation entre la largeur (y) et la longueur (x) d'une capsule	103
Figure 6.11	Distribution de quatre formes de capsules de baobab dans un système d'axes discriminants	106
Figure 6.12	Distribution des zones selon les caractéristiques des capsules dans le système d'axes discriminant	109
CHAPITRE 7	STRUCTURE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET MORPHOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i> L.) AU BÉNIN	
Figure. 7.1	Populations étudiées et les principales villes du Bénin	117
Figure 7.2	Principe de la technique d'AFLP	119
Figure 7.3	Dendrogramme UPGMA, obtenu à partir du coefficient de similarité de Jaccard, des 137 individus échantillonnés dans 6 populations de baobab	125
Figure 7.4	PCO, basé sur le coefficient de similarité de Jaccard, entre les 137 individus échantillonnés dans les 6 populations de baobab	126
Figure 7.5	Répartitions des populations de baobab suivant les pools de gènes	127
CHAPITRE 8	CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES FEUILLES, PULPE ET GRAINES DE BAOBAB SUIVANT SA PROVENANCE GENETIQUE ET LA NATURE DU SOL	
Figure 8.1	Carte montrant les zones de provenances des feuilles, graines et pulpe de baobab	141
Figure 8.2	Positionnement des différents organes du baobab des 3 zones climatiques dans le système d'axes des paramètres biochimiques et de sol	150

CHAPITRE 9	OBSERVATIONS PRELIMINAIRES SUR LA GERMINATION ET L'EVOLUTION DES PLANTULES DE BAOBAB (<i>ADANSONIA DIGITATA</i>) AU BENIN	
Figure 9.0	Carte montrant les zones de provenances des graines de baobab	159
Figure 9.1	Facteurs étudiés et leurs niveaux	163
Figure 9.2a	Diagramme d'interaction 'durée de conservation * zone' sur le pourcentage moyen de germination après 6 mois d'essai	167
Figure 9.2b	Diagramme d'interaction 'scarification * zone' sur le pourcentage moyen de germination après 6 mois d'essai	167
Figure 9.2c	Diagramme d'interaction 'scarification * durée de conservation' sur le pourcentage moyen de germination après 6 mois d'essai	168
Figure 9.3	Diagramme d'interaction 'scarification * zone' sur le diamètre moyen des plantules après 6 mois d'essai	169
Figure 9.4a	Diagramme d'interaction 'scarification * zone' sur la hauteur moyenne des plantules après 6 mois d'essai	170
Figure 9.4b	Diagramme d'interaction 'scarification * durée de conservation' sur la hauteur moyenne des plantules après 6 mois d'essai	171

LISTE DES PHOTOS

	PAGE
CHAPITRE 3	REVUE BOTANIQUE, BIOGEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DU GENRE ADANSONIA
Photo 3.1	Vue d'ensemble, fleur, feuille, fruit, pulpe et graines de baobab 19
Photo 3.2	<i>Adansonia gibbosa</i> 23
Photo 3.3	<i>Adansonia grandidieri</i> 23
Photo 3.4	<i>Adansonia madagascariensis</i> 23
Photo 3.5	<i>Adansonia perrieri</i> 23
Photo 3.6	<i>Adansonia rubrostipa</i> 23
Photo 3.7	<i>Adansonia suarezensis</i> 23
Photo 3.8	<i>Adansonia za</i> 23
CHAPITRE 4	ASPECTS ETHNOBOTANIQUE ET IMPORTANCES SOCIO-CULTURELLE ET ECONOMIQUE DU BAOBAB AU BENIN
Photo 4.1	Elagage des branches principales favorisant chez le baobab la production de 40 feuilles de bonne qualité
Photo 4.2	Elagage des branches tertiaires favorisant chez le baobab une plus grande 40 production de fruits au détriment de la production de feuilles de bonne qualités
Photo 4.3	Paysan Otamari fabricant une boisson rafraîchissante à base de la pulpe de 44 baobab
Photo 4.4	Diagramme de la fabrication d'une pâte acide fermentée à base de la pulpe de 45 baobab
Photo 4.5	Processus d'extraction d'amande de baobab à partir des graines de baobab 46
Photo 4.6	Extraction de la potasse à partir des coques de capsules de baobab 50
Photo 4.7	Variabilité des baobabs suivant la couleur des écorces 55
Photo 4.8	Variabilité morphologique des capsules de baobab 56
Photo 4.9	Fabrication de cordage à partir de l'écorce de baobab 57
Photo 4.10	Pression sur l'écorce des pieds de baobab 58
Photo 4.11	Pression sur les branches de baobab 58
Photo 4.12	Instruments locaux de mesure des produits du baobab 62
Photo 4.13	Sacs de graines enrobées (a) de pulpe et de pulpe (b) sur le marché de 62 Malanville
CHAPITRE 6	CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET PRODUCTION DES CAPSULES DE BAOBAB (ADANSONIA DIGITATA L.) EN FONCTION DES ZONES CLIMATIQUES DU BENIN
Photo 6.1	Différentes formes de capsules de baobab observées dans les zones 96 climatiques au Bénin
CHAPITRE 9	OBSERVATIONS PRELIMINAIRES SUR LA GERMINATION ET LA CROISSANCE DES PLANTULES DE (ADANSONIA DIGITATA) AU BENIN
Photo 9.1	Emergence des plantules de baobab au cours de l'expérimentation 165

RESUME - SAMENVATTING - ABSTRACT

RESUME

La présente étude porte sur la caractérisation morphologique, écologique, génétique et biochimique du baobab africain (*Adansonia digitata*) au Bénin. Son but a été de contribuer à la domestication de cette espèce au Bénin. Spécifiquement, les objectifs ont été de: (i) évaluer l'importance socio-économique du baobab en milieu rural; (ii) évaluer la diversité morphologique et écologique du baobab suivant les zones climatiques du Bénin; (iii) évaluer la productivité moyenne en pulpe, graines et amandes par capsule et par individu de baobab dans chaque zone climatique du Bénin; (iv) évaluer la diversité génétique du baobab dans les zones climatiques du Bénin; (v) faire une caractérisation biochimique des organes (feuilles, pulpe et amande) du baobab en fonction de leur zone de provenance et enfin; (vi) effectuer des observations préliminaires sur la germination des graines de baobab selon leur provenance.

Pour atteindre ces objectifs, il a été effectué des enquêtes ethnobotaniques et socio-économiques (chapitre 4), des études de terrain pour la caractérisation morphologique et écologique de l'espèce (chapitre 5 et chapitre 6), des analyses de laboratoire pour la caractérisation génétique et biochimique (chapitre 7 et chapitre 8) puis enfin des essais en station sur la germination des graines (chapitre 9).

Il ressort des travaux qu'*A. digitata* est une espèce à usages multiples au Bénin. Chaque partie de l'arbre (racine, pulpe, écorce, feuille, fleurs, graine, etc.), seule ou en association avec d'autres espèces végétales, est d'une utilité certaine pour les populations dans maints domaines. En dehors des utilisations thérapeutiques et alimentaires, le baobab est considéré comme un arbre fétiche, sacré et déifié. Plusieurs critères permettent aux communautés rurales de différencier les individus de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels. Ils sont relatifs aux caractéristiques des fruits (couleur et taille des graines, précocité de la maturité, productivité des arbres, forme des capsules, goût de la pulpe), de l'écorce (couleur et structure) et des feuilles (couleur, goût et forme). En outre, les produits d'*A. digitata* font l'objet d'une transaction sous-régionale et leur commercialisation constitue une source de revenus pour les populations locales. Une étude de cas sur le marché de Malanville pendant une période de 5 mois a montré que 200 tonnes de graines enrobées pulpe, 10 tonnes de pulpe et 1 tonne environ de poudre de feuilles vertes ont été commercialisées et ont généré respectivement 15 millions de FCFA (US\$ 30,000), 400000 FCFA (US \$ 800) et 200000FCFA (US \$400) aux 139 commerçants impliqués dans la vente de ces différents produits.

L'étude a aussi montré que le baobab est distribué à des densités variables dans toutes les zones climatiques du Bénin. Dans les zones soudanienne et guinéenne, *A. digitata* se développe sur des sols à texture sableuse alors que dans la zone de transition soudano-guinéenne, il est rencontré sur des sols sablo-argileuse. Les caractères morphologiques et la productivité des baobabs varient d'une population à une autre ($p < 0,001$). Une comparaison des trois zones climatiques du Bénin a montré que les baobabs ayant les plus grandes hauteurs (> 25 m) sont ceux de la zone guinéenne. En termes de production, les baobabs de la zone guinéenne produisent généralement des quantités de pulpe ($\approx 2,5$ kg / arbre), d'amandes (≈ 2 kg / arbre) et de graines (≈ 5 kg / arbre) moins élevées que ceux des deux autres zones (chapitre 5). Dans la zone soudanienne, se trouvent des baobabs ayant les plus gros diamètres (> 5 m). Les baobabs de la zone soudano-guinéenne quant à eux sont souvent moins gros que ceux de la zone soudanienne et souvent plus gros que ceux de la zone guinéenne (chapitre 5 et

chapitre 7). En terme de production, les baobabs de la zone soudano-guinéenne produisent généralement des quantités plus élevées de graines (≈ 27527 graines / arbre), de pulpe (≈ 6 kg / arbre) et d'amandes (≈ 4 kg / arbre) que ceux des 2 autres zones. Les corrélations entre les variables de l'environnement et celles biotiques (production et variables dendrométriques) ont révélé que les zones de fortes valeurs d'évapotranspiration potentielle, d'humidité relative, de température et de pluviométrie ou celles présentant des caractéristiques de sols limoneux ou argileux sont celles dans lesquelles se trouvent des baobabs produisant de petites quantités de graines, de pulpe et d'amandes. Les sols ayant un rapport C/N [carbone / azote] élevé favorisent la production des graines et défavorisent la production de pulpe, d'amande et le bon développement des baobabs.

Par ailleurs, les études génétiques ont montré un regroupement des individus en 6 pools de gènes. Généralement, des individus échantillonnés dans les mêmes zones climatiques appartiennent à un même pool de gènes indiquant que la diversité génétique des individus de baobab est corrélée avec leur région de provenance. L'analyse moléculaire de la variance a montré que près de 82,37 % de la variation totale se trouve au sein des populations et 17,63 % entre les populations. A trois niveaux, la partition a révélé 14,70 % de la variation entre les 3 zones climatiques et 5% de la variation génétique entre les populations à l'intérieur des zones. La corrélation entre la matrice de diversité obtenue sur l'ensemble des variables morphologiques et les coefficients de dissimilarité génétique de Jaccard n'est pas globalement significative: $r = 0,036$ ($P = 0,327$). Cependant, en analysant chaque variable morphologique prise isolément, il a été remarqué des corrélations significatives ($P < 0,05$) entre la diversité génétique des individus et trois caractéristiques morphologiques: (1) la hauteur des arbres, (2) le nombre de branches et (3) l'épaisseur des capsules.

L'étude sur la caractérisation biochimique des organes d'*A. digitata* a montré qu'en dehors de la teneur en vitamine C, la composition biochimique des organes n'a pas varié en fonction des provenances des arbres. Par contre, il a été mis en évidence l'influence des caractéristiques physico-chimiques des sols sur les différents teneurs en éléments nutritifs des organes de baobab. Les sols basiques (pH élevé) riches en carbone, argile, limon fin et matière organique, favorisent une accumulation de fer, potassium, vitamine C, glucide, zinc, protéines et lipides dans les feuilles, pulpe et graines du baobab et défavorisent pour ces mêmes organes l'accumulation du magnésium, du calcium, de la vitamine A et des fibres. Par contre, les sols à forte teneur de limons grossiers ou de sable ont un effet contraire sur ces mêmes paramètres biochimiques des organes.

Des essais de germination ont permis de comparer des graines d'*A. digitata* des trois zones de provenance pour trois durées de conservation (0, 3 et 12 mois) suivi de la scarification manuelle ou non de leur péricarpe. D'une façon générale, cette étude a montré pour l'ensemble des traitements que les pourcentages moyens de germination les plus élevés ont été obtenus avec les graines scarifiées avant semis. De plus, il a été montré qu'une durée de conservation de plus de 3 mois des graines de baobab quelle que soit leur provenance a eu un impact négatif sur leur germination.

SAMENVATTING

Deze studie handelt over de morfologische, ecologische, genetische en biochemische karakterisatie van de Afrikaanse Baobab (*Adansonia digitata*) of apenbroodboom, en wil bijdragen tot de domesticatie van deze soort in Benin. De specifieke onderzoeksdoelstellingen waren : (1) de evaluatie van het socio-economisch belang van baobab op het platteland; (2) het inschatten van de morfologische en ecologische diversiteit van baobab naargelang de klimaatzones van Benin; (3) het onderzoeken van de gemiddelde productiviteit van pulp, zaad en pitten per kapsel en per individu in elke klimaatzone; (4) de evaluatie van de genetische diversiteit in deze zones; (5) de biochemische karakterisatie van de organen (bladeren, pulp, pit) van baobab naargelang het herkomstgebied; (6) het (preliminair) vergelijken van de kieming van baobab-zaden van verschillende oorsprong.

Om deze doelen te kunnen bereiken, werden verschillende analyses uitgevoerd: etnobotanische en socio-economische enquêtes (hoofdstuk 4), terreinstudies om de soort morfologisch en ecologisch te karakteriseren (hoofdstuk 5 en 6), laboratoriumanalyses voor de genetische en biochemische karakterisatie (hoofdstuk 7 en 8) en tenslotte veldtesten om de kieming te evalueren (hoofdstuk 9).

A. digitata heeft vele toepassingen in Benin. Elk deel van deze boom (wortel, pulp, schors, blad, bloemen, zaden, etc.) is, alleen of in combinatie met andere gewassen, van een zeker therapeutisch en/of nutritioneel belang voor de plaatselijke bevolking, die deze boom bovendien verafgood als een heilige boom. Verschillende criteria worden door de agrarische bevolking gebruikt om de baobab-individueen van elkaar te onderscheiden: kenmerken van de vruchten (kleur en grootte van de zaden, vroegrijpheid, productiviteit, kapselvorm, smaak van de pulp), de schors (kleur en structuur) en de bladeren (kleur, smaak en vorm). De producten van *A. digitata* worden verhandeld op subregionaal gebied, en hun commercialisatie is een bron van inkomsten voor de lokale bevolking. Een case-study op de markt van Malanville gedurende een periode van 5 maanden, heeft aangetoond dat er 200 ton met pulp bedekte zaden, 10 ton pulp en ca. 1 ton bladpoeder werden verhandeld. De verkoop van deze producten bracht in totaal respectievelijk 15 miljoen FCFA (US \$ 30,000), 400 000 FCFA (US \$ 800) en 200 000 FCFA (US \$ 400) op voor de 139 handelaars.

Deze studie heeft eveneens aangetoond dat er een verschillende densiteit aan baobab-bomen voorkomt in de verschillende klimaatzones van Benin. In de Sudanese en Guinese zones groeit *A. digitata* op gronden met zanderige textuur terwijl deze soort in de Sudano-Guinese transitiezone voorkomt op zand-kleibodems. De morfologische kenmerken en de productiviteit van baobab verschillen van populatie tot populatie ($P < 0.001$). Een vergelijking tussen de drie klimaatzones van Benin heeft aangetoond dat de hoogste baobab-bomen (> 25 m) in de Guinese zone voorkomen. Op het gebied van productiviteit scoren de baobabs van deze zone echter gemiddeld lager dan die uit de andere zones. Baobabs uit de Guinese zone produceren gemiddeld ca. 2,5 kg pulp, ca. 2 kg pitten en ca. 5 kg zaden per boom (hoofdstuk 5).

In de Sudanese zone vinden we de baobab-bomen met de grootste diameter (> 5 m).

De baobabs van de Sudano-Guinese zone zijn gemiddeld minder dik dan deze van de Sudanese zone maar dikker dan de bomen uit de Guinese zone (hoofdstuk 5 en 7). De Sudano-Guinese baobabs produceren gemiddeld meer zaden (ca. 27527 zaden/boom), pulp (ca. 6 kg/boom) en pitten (ca. 4 kg/boom) dan de baobabs uit de andere zones. Uit de correlatie tussen omgevingsfactoren en biotische

factoren (productie en dendrometrische kenmerken) blijkt dat de baobab-bomen met de laagste productie aan zaden, pulp en pitten groeien in zones met een hoge potentiële evapotranspiratie, relatieve vochtigheid, temperatuur en neerslag of de zones met een klei- of siltbodem. Een bodem met een hoge verhouding C/N (koolstof/stikstof) heeft een positieve invloed op de zaadproductie, maar een negatieve invloed op de productie van pulp, pit en de algemene ontwikkeling van de boom.

De genetische analyses, met behulp van de AFLP-techniek, hebben aangetoond dat de individuen, gecollecteerd in de drie klimaatzones van Benin, tot 6 'gene pool' behoren. In het algemeen behoren individuen die gecollecteerd werden in hetzelfde gebied tot dezelfde 'genepool', wat erop wijst dat de genetische samenstelling van de baobab-bomen gelinkt is met hun herkomstregio. Uit een analyse van de moleculaire variantie (AMOVA) bleek dat 82.37% van de totale genetische variantie toegeschreven kon worden aan variantie binnen de gecollecteerde populaties, en slechts 17.63% aan variantie tussen de populaties. Wanneer bij deze analyse drie niveaus in beschouwing werden genomen (tussen de drie regio's; tussen de populaties binnen de 3 regio's; binnen populaties) bleek dat slechts 5% van de variantie bepaald werd door de genetische variantie tussen de populaties binnen de 3 klimaatzones, en 14.70% van de variantie tussen deze zones. Er bleek geen significante correlatie te bestaan tussen de totale morfologische diversiteit en de genetische dissimilariteit (Jaccard coefficient) van de geanalyseerde stalen ($r = 0.036$, $P = 0.327$). Wanneer echter elk morfologisch kenmerk op zich geanalyseerd werd, bleken drie kenmerken significant gecorreleerd met de genetische dissimilariteit: (1) de hoogte van de bomen, (2) het aantal takken, en (3) de dikte van de kapsels.

Een analyse van de biochemische kenmerken van de organen van *A. digitata* toonde aan dat, met uitzondering van de concentratie aan vitamine C, de samenstelling van deze organen niet varieert naargelang de herkomst van de stalen. Er werd echter wel een duidelijke invloed van de fysico-chemische kenmerken van de bodem op de concentratie aan voedingsbestanddelen in de organen van baobab vastgesteld. Basische bodems (hoge pH), rijk aan koolstof, klei, fijn silt en organisch materiaal, bevorderen een accumulatie van ijzer, kalium, vitamine C, koolhydraten, zink, eiwitten en vetten in de bladeren, pulp en zaden van baobab en hebben een negatieve invloed op hun concentratie aan magnesium, calcium, vitamine A en vezels. Bodems met een hoge concentratie aan grof silt of zand hebben een tegengesteld effect op deze bestanddelen.

Een vergelijkende kiemttest tussen *A. digitata*-zaden van verschillende herkomstzones werd uitgevoerd na verschillende bewaringstijden (0, 3 en 12 maanden), en na het al dan niet inkerven van de pericarp. In het algemeen hebben deze testen aangetoond dat de hoogste kiempercentages bekomen worden met zaden die voor het zaaien ingekerfd worden. Bovendien werd vastgesteld dat een bewaring van meer dan 3 maanden een negatieve impact heeft op de kieming van deze zaden, en dit onafhankelijk van hun herkomst.

ABSTRACT

The present study explores the ecological, genetic and biochemical characteristics of African baobab (*Adansonia digitata*) in Benin and aims at contributing to the species domestication in this country. The specific objectives of the study were: (i) assessing the socio-economical importance of baobab in rural areas; (ii) assessing the morphological and the ecological diversity of baobab according to the climatic zones of Benin; (iii) assessing for baobab tree and capsule, the mean productivity in pulp, seeds and kernels in each climatic zone of Benin; (iv) assessing the genetic diversity of baobab in climatic zones of Benin; (v) making a biochemical characterization of baobab organs (leaves, pulp and kernels) according to their origin and finally; (vi) set up preliminary germination tests with seeds from different origins.

In order to reach these objectives, socio-economical and ethnobotanical surveys (chapter 4), fieldwork for the ecological and morphological characterization of the species (chapter 5 and chapter 6), laboratory analyses for its genetic and biochemical characterization (chapter 7 and chapter 8) and finally seed germination tests (chapter 9) were performed.

The study showed that *A. digitata* is a multipurpose tree species in Benin. Each part of the tree (roots, pulp, bark, leaves, flowers, seeds, etc.), alone or in association with other plant species, is certainly useful for populations in several areas. Apart from its therapeutic and food uses, baobab is considered as a fetish tree, sacred, deified and full of mystery. In Benin, rural populations use several criteria to differentiate baobab individuals in traditional agro forestry systems: the characteristics of the fruits (color and seed size, precocity in maturity, tree productivity, capsule shape, taste of the pulp); of the bark (color, structure) and of the leaves (color, taste and shape). Moreover, baobab products are marketed from Benin to other west African's countries and provide incomes to local populations. A five months market investigation in Malanville (north of Benin), showed that 200 tons of baobab seeds coated with pulp, 10 tons of baobab pulp and 1 ton of baobab leave powder were commercialised and generated up to 15 millions FCFA (US\$ 30,000), 400000 FCFA (US \$ 800) and 200000FCFA (US \$400) for 139 rural populations involved in that business.

The study also revealed that the density of baobab varies from one climatic zone to another in Benin. Baobab populations occur on sandy soils in the Sudanian and Guinean zones and on sandy-clayey soils in the Sudano-Guinean zone. The morphology and productivity of individual baobabs varies significantly from one zone to another ($p < 0,001$). A comparison of the three climatic zones showed that the tall baobab individuals are found in the Guinean zone (> 25 m). Baobabs in this zone are generally less productive. They bear only a small number of fruits with a low amount of pulp ($\approx 2,5$ kg / tree), seeds (≈ 5 kg / tree) and kernels (≈ 2 kg / tree). In the Sudanian zone, the baobabs have large girths (> 5 m). Baobab trees in the Sudano-Guinean zone are smaller than those from the Sudanian zone and often larger than those from the Guinean zone. Baobab individuals in the Sudano-Guinean zone produce the highest yields in pulp (≈ 6 kg / tree), seeds (≈ 27527 seeds / tree) and kernels (≈ 4 kg / tree). The correlation between environmental and biotic characteristics (production and dendrometric variables) showed that the zones with high values of potential evapotranspiration, rainfall, relative humidity, temperature, percentage of clay and fine silt are associated with a low seed and fruit pulp production. In contrast, high values of C/N (Carbon / Nitrogen) ratio were shown to be negatively

associated with pulp and kernel production as well as with the development (morphological traits) of baobab individuals.

In addition, genetic studies showed a clustering of all genotypes sampled in three climatic zones of Benin into six gene pools. Generally, samples collected in the same climatic zone belong to the same gene pools indicating that the genetic structuring of the sampled individuals is correlated with their geographic origin. A two-level AMOVA revealed 82.37% of the total variation within (intra) populations and 17.63% among (inter) populations. Three-level AMOVA partitioned 14.70% among the three regions and 5% of genetic variation among populations within regions. The correlation between the diversity matrix based on all morphological features and the Jaccard's genetic dissimilarity coefficients was not significant ($r = 0.036$, $P = 0.327$). However, when analysing each morphological characteristic individually, statistically significant correlations ($P < 0.05$) were detected between the observed patterns of genetic variation and three morphological features: (1) height of the trees, (2) number of branches, and (3) thickness of the capsules.

Concerning the biochemical characterization of baobab organs, the study showed that the biochemical composition of the organs does not vary according to the provenance of the trees, except for the vitamin C content. On the other hand, it was shown that the physico-chemical characteristics of the soil have an influence on the nutritive value of baobab organs. Highly basic soils (high pH value), rich in carbon, clay, fine silt and organic matter positively affect the organs contents in iron, potassium, vitamin C, carbohydrates, zinc, proteins and lipids and negatively affect their contents in magnesium, calcium, vitamin A and fibres. In contrast, soils rich in crude silt and sand have an opposite effect on these same biochemical parameters of the organs.

Germination tests allowed comparing baobab seeds from the three climatic zones. The impact of the storage period (0, 3 and 12 months) and the influence of manual scarification of the pericarp (before sowing) was investigated. In general, the analysis showed that the best mean percentage of seed germination was obtained with the seeds scarified before sowing. Moreover, it was shown that a storage duration of more than 3 months negatively affects seed germination whatever their provenance.

CHAPITRE 1
INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 1- INTRODUCTION GENERALE

1.1 Problématique et justification

Les macro-écosystèmes forestiers africains font partie des plus importants et des plus riches en terme d'abondance et de diversité d'espèces de plantes (IPGRI, 1999). Au Bénin, 3000 espèces de plantes ont été inventoriées dans les écosystèmes forestiers (MEHU, 2002). Parmi ces espèces de plantes identifiées au Bénin, 172 sont consommées par les populations locales comme plantes alimentaires (Codjia *et al.*, 2003) et 814 comme plantes médicinales (Sinsin & Owolabi, 2001). De nos jours, ces espèces d'une grande utilité pour les communautés rurales sont menacées au Bénin dans leurs habitats naturels par la déforestation, les feux de végétations, le pâturage extensif des bovins, la production du charbon de bois, l'utilisation abondante de bois de chauffe, la culture itinérante sur brûlis, l'exploitation illégale de bois et, le mouvement incontrôlé du matériel génétique pour l'établissement des plantations (FAO, 1999). De 1990 à 1995, le Bénin a perdu 298000 ha de sa couverture forestière (0,53 % de la superficie totale du pays) ce qui correspond à une disparition moyenne d'environ 60000 ha de forêt par an (FAO, 1999). Selon Agbahungba & Depommier (1989), 3% de la superficie totale du Bénin sont utilisées chaque année à des fins agricoles. En 1996, la consommation de bois énergie a été estimée à 5 753 000 m³ (FAO, 1999). Par ailleurs, le taux moyen d'exploitation de bois d'œuvre (4 m³ à l'hectare) est l'un des plus faibles en Afrique (FAO, 1999), le Bénin n'étant pas un pays à grande couverture forestière.

Pour prévenir, la disparition totale de la diversité génétique d'espèces de plantes ou de communautés écologiques, le Bénin a créé le Comité National des Ressources Phytogénétiques (CNRP) en collaboration avec l'Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI). L'une des missions du CNRP est entre autre la mise en œuvre des conventions internationales (biodiversité, lutte contre la désertification, changements climatiques, Ramsar, CITES) et des lois relatives à la protection des ressources génétiques (MEHU, 2002). Au Bénin, il n'existe pas spécifiquement de dispositions législatives et réglementaires en faveur des espèces ligneuses alimentaires. Toutefois, il convient de noter que la politique forestière nationale s'est assignée comme objectifs (i) d'assurer la pérennité du patrimoine forestier par une gestion durable et une exploitation rationnelle des ressources du domaine forestier (sol, eau, flore, faune) et (ii) d'intégrer la gestion et la conservation des ressources forestières aux politiques environnementale et de développement rural. Il est évident que ces objectifs prennent en compte la meilleure connaissance du potentiel national en espèces ligneuses alimentaires ainsi que leur valorisation. Dans ce contexte, 10 espèces ligneuses alimentaires méritant une attention soutenue et des actions prioritaires au Bénin ont été identifiées en se basant sur leur importance socio-économique, la pression qui s'exerce sur elles en ce qui concerne leur utilisation et conservation, les risques d'extinction et l'existence ou non d'un programme de recherche ou de développement les concernant (Eyog Matig *et al.* 2002). Il s'agit de l'anacardier (*Anacardium occidentale*), du karité, (*Vitellaria paradoxa*), du néré (*Parkia biglobosa*), de la pomme sauvage (*Irvingia gabonensis*), du tamarinier noir (*Dialium guineense*), de l'arbre à beurre (*Pentadesma butyracea*), de l'arbre à pain (*Artocarpus altilis*), de la pomme étoile blanche (*Chrysophyllum albidum*), du baobab africain (*Adansonia digitata*) et du tamarinier (*Tamarindus indica*). Parmi ces espèces prioritaires, Codjia *et al.*

(2003) ont identifié avec les populations rurales, *A. digitata* comme une espèce à domestiquer. En effet, le baobab représente pour les communautés rurales du Bénin, une espèce à usage multiple utilisée à des fins alimentaire, médicinale, socio-culturelle et économique (Codjia *et al.*, 2001). Il occupe d'ailleurs une place de choix dans la culture Otamari, un groupe ethnique du Nord-Bénin (Fonton-Kiki, 2001). *A. digitata* fait aussi partie des dix espèces agroforestières classées prioritaires en fonction de leur disponibilité sur le marché, de la facilité d'accès à leurs produits, par les populations du Bénin, Burkina-Faso, Mali, Sénégal, Niger (Eyog Matig *et al.*, 2002) pour leur développement socio-économique. Malgré l'importance reconnue à l'espèce pour les populations rurales, le rapport du Bénin sur les espèces ligneuses alimentaires a clairement mentionné une quasi-absence d'informations et de données scientifiques relatives à son écologie, sa diversité génétique, sa production et son mode de gestion dans les systèmes agroforestiers traditionnels (Eyog Matig *et al.*, 2002). Par ailleurs, la monographie de Sidibe & Williams (2002) sur *A. digitata* a révélé qu'elle est menacée dans son aire de distribution par les feux de végétation, l'agriculture, le pâturage des bovins et la pollution des agrosystèmes par les pesticides. C'est pour ces différentes raisons qu'une étude sur *A. digitata* a été initiée au Bénin qui devrait conduire à sa domestication et qui, dans un premier temps, se concentre sur l'évaluation des connaissances ethnobotaniques liées à l'espèce, de son importance économique, de sa variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique puis enfin sur une étude préliminaire sur la germination de ses graines.

Au niveau de l'aire de répartition naturelle d'*A. digitata*, les paysans disposent de connaissances précises sur le baobab (Wickens, 1982; Sidibe & Williams, 2002). Ils utilisent divers procédés traditionnels pour la transformation de ses différents organes. Actuellement au Mali, les paysans distinguent à leur manière, les différents types de baobab en tenant compte, non seulement de la couleur de l'écorce (noire, rouge ou blanche) mais aussi des goûts de la pulpe et des feuilles ou encore de la morphologie de l'arbre (Sibide *et al.*, 1996). Au Bénin, en dehors de travaux Codjia *et al.* (2001, 2003), Fonton-Kiki (2001), De Caluwe (2005) qui révèlent l'importance accordée par les populations du nord du pays au baobab, il n'existe plus de données disponibles sur les aspects ethnobotanique et socio-économique de l'espèce. Ces informations sont pourtant indispensables aux aménagistes, gestionnaires de projets à caractère environnemental, décideurs politiques et scientifiques pour la prise en compte de l'espèce dans les programmes de diversification agricole. Ainsi, nous avons à l'échelle du Bénin capitaliser les connaissances ethnobotaniques des populations rurales et évaluer les différentes formes de valorisation du baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels.

Au Bénin, la forme et les dimensions des capsules de baobab varient le plus souvent d'un arbre à un autre et sont des critères endogènes de caractérisation et de différenciation des individus en milieu rural (DeCaluwe, 2005). Nous nous sommes donc intéressés à la caractérisation des capsules et à l'évaluation des productions moyennes par arbre en ses différents composants (pulpe, amandes et graines). Il serait donc possible d'estimer la production potentielle en pulpe, graine et amande des individus de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels.

Par ailleurs, Sidibe & Williams (2002) ont signalé des variations phénotypiques au sein de l'espèce qui se fondent essentiellement sur la taille et la couleur des feuilles, la forme et la couleur des fruits, la couleur des graines, la couleur et le goût de la pulpe et enfin la couleur de l'écorce. Jusqu'à présent, les recherches effectuées du point de vue génétique ont surtout porté sur la détermination du nombre de

chromosomes d'*A. digitata* (Miege, 1974; Fussel, 1992; Baum et Oginuma, 1994; Danthu *et al.*, 1994; Kwesiga & Mwanza, 1994). Aucune étude ne s'est encore intéressée à sa caractérisation génétique et aux relations existant entre les variabilités morphologiques observées au sein de l'espèce et sa diversité génétique. Ces informations sont nécessaires pour amorcer les stratégies de conservation, d'amélioration génétique et de valorisation de l'espèce au profit des populations rurales pauvres dépendant de l'espèce. Ainsi, nous avons entrepris des études de caractérisation de la diversité intraspécifique d'*A. digitata* suivant les différentes zones climatiques afin de proposer des stratégies de conservation et de gestion des ressources génétiques de l'espèce dans les systèmes agroforestiers traditionnels. Nombreux sont les travaux qui se sont intéressés aux valeurs alimentaires et nutritionnelles des organes de baobab (Yazzie *et al.*, 1994; Nordeide *et al.*, 1996; Sidibe *et al.*, 1996; Delisle *et al.*, 1997; Barminas *et al.*, 1998; Sena *et al.*, 1998; Codjia *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002). Il en découle que pour un même organe et pour la teneur d'un même élément biochimique considéré, de grandes différences sont parfois observées d'un auteur à un autre. En considérant par exemple la feuille, les teneurs en magnésium (109,80µg/g) observées au Bénin (Codjia *et al.*, 2001) sont respectivement deux et trois fois plus élevées que celles du Burkina-Faso (Glew *et al.*, 1997) et du Nigeria (Yazzi *et al.*, 1994). Jusqu'à présent, aucune étude, à notre connaissance n'a révélé les relations entre la valeur nutritionnelle des organes de baobab et leur zone de provenance. De même les relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols sur lesquels les baobabs sont installés et la valeur nutritionnelle des différents organes de ces arbres ne sont pas connues. Ces précisions pourraient aider à l'établissement des programmes de conservation, de sélection et de domestication des différents écotypes, et surtout ceux ayant une 'valeur supérieure' pour les communautés rurales. Pour combler ce déficit d'information, nous avons entrepris des investigations sur la composition biochimique des feuilles, pulpe et amande des différents écotypes de baobab pour vérifier l'existence ou non de corrélation avec les caractéristiques chimiques des sols sur lesquels ils sont établis.

Selon Sidibe & Williams (2002), les pressions anthropiques sur le baobab dans son habitat naturel sont à la base de l'absence de sa régénération naturelle dans l'ensemble de son aire de distribution. Compte tenu de l'importance de l'espèce pour les communautés rurales, des essais de germination ont été effectués dans plusieurs pays (Mali, Burkina-Faso, etc.) en vue de la restaurer dans les systèmes agroforestiers traditionnels (Sidibe & Williams, 2002). Ces essais ont utilisé pour la plupart des techniques de pré-traitement des graines notamment à l'acide nitrique et à l'acide sulfurique (Danthu *et al.*, 1995; Sidibe & Williams, 2002). Les résultats ont été bien encourageants mais n'ont pas tenu compte des régions de provenance afin d'identifier les écotypes donnant de meilleurs taux de germination. De même, les méthodes utilisées ne sont pas facilement transposables en milieu paysan. En effet, elles ont utilisé des acides de levée de dormance dont la manipulation est source de risques. A ce sujet, comme stratégie, nous avons développé des essais de germination du baobab de diverses provenances par des méthodes peu coûteuses et facilement transposables en milieu paysan.

1.2 Objectifs

L'étude a pour objectif global 'la détermination des facteurs socio-économiques, écologiques, génétiques et biochimiques pouvant servir de base à la conservation, la valorisation et la gestion

rationnelle du baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels du Bénin'. Les objectifs spécifiques sont:

- inventorer les connaissances endogènes des populations rurales sur le baobab;
- évaluer l'importance socio- économique du baobab en milieu paysan;
- évaluer et expliquer la diversité morphologique et écologique entre les populations de baobab suivant les gradients de climat;
- évaluer la production moyenne en pulpe, graines et amandes par capsule et individu de baobab et rechercher des corrélations avec les variables morphométriques, édaphiques et climatiques;
- évaluer la diversité génétique intra-population et inter-populations de *A. digitata* suivant les gradients de climat;
- déterminer les corrélations entre les constituants biochimiques des organes (feuilles, pulpes et amandes) des différents écotypes identifiés et les propriétés chimiques des sols de leurs habitats respectifs; et enfin,
- évaluer l'influence de quelques techniques de germination des graines suivant leurs régions de provenance afin d'opérer un choix scientifique sur la zone de provenance pouvant servir de base à la collecte des graines à utiliser ultérieurement dans des programmes de domestication du baobab au Bénin.

1.3 Questions de recherche

De tous ces constats, il découle les questions fondamentales ci-après:

1- quelles sont les connaissances ethnobotaniques des populations rurales du Bénin sur le baobab ? Quelle est l'importance socio-économique et culturelle de l'espèce pour les communautés rurales du Bénin?

2- Existe t-il une variabilité morphologique significative entre les individus de baobab suivant les gradients de climat ? Les différences au niveau des variables abiotiques sont-elles corrélées avec les données morphologiques et les productions des différents organes ?

3- Les variabilités morphologiques entre des individus de baobab sont-elles phénotypiques, génétiques ou les deux à la fois? Dans le premier cas, quelles sont les variables qui sont différentes au niveau des individus et quelles sont les conditions écologiques qui influenceraient la variabilité observée au sein de l'espèce? Au cas où les variabilités observées sont génétiques, quels seraient les niveaux de variation intra-population et inter-populations? Et quelles sont les relations entre les variables morphologiques et génétiques?

4- Existe-t-il des relations entre les constituants biochimiques des organes de baobab et son habitat (sol) et/ou sa provenance génétique?

5- Existe-t-il des différences significatives entre les paramètres de germination des graines en fonction de leurs régions de provenance? Quelle est la méthode à conseiller aux populations rurales lorsqu'il s'agira de la multiplication des individus de baobab à partir des graines?

1.4 Organisation de la thèse

Le travail présenté ici sur *A. digitata* comporte dix chapitres:

- le premier chapitre (partie introductive) présente la problématique et la justification du sujet, les questions de recherche ainsi que les objectifs;
- le deuxième chapitre traite du milieu d'étude, et concerne la présentation des milieux physique et humain selon les différentes zones du Bénin;
- le troisième chapitre fait un point bibliographique sur la botanique, la biogéographie, l'écologie et les différentes utilisations des espèces du genre *Adansonia*;
- le quatrième chapitre présente les aspects ethnobotaniques en relation avec le baobab mais aussi ceux relatifs à son importance socio-culturelle et économique pour les ménages ruraux. Il a été capitalisé suivant les différentes régions du Bénin et selon différents groupes ethniques les connaissances endogènes des populations rurales sur le baobab. Aussi, le flux commercial et la contribution de la vente des produits de baobab aux revenus des ménages ont été évalués dans ce chapitre;
- le cinquième chapitre présente les caractères morphologiques et les productions des capsules de baobab suivant les différentes zones climatiques. La variabilité au sein des capsules de baobab influence sa production en pulpe et en graines et est un critère utilisé par les populations locales pour distinguer entre eux les individus;
- le sixième chapitre présente les études de diversité écologique, morphologique et de production des différents organes de baobab suivant les gradients climatiques afin de multiplier les chances de rencontrer des populations ou des individus intéressants pour un travail de sélection et d'amélioration génétique;
- le septième chapitre présente les études de diversité génétique des populations de baobab suivant les gradients de climat. L'étude de la diversité génétique des populations de baobab est préalable à sa domestication et à la définition des stratégies de conservations *in situ* et *ex situ*;
- le huitième chapitre présente les corrélations entre les propriétés biochimiques des organes d'*A. digitata* suivant les habitats et selon leur région de provenance;
- le neuvième chapitre fait l'évaluation des essais de germination préliminaires des graines de baobab suivant leurs régions de provenance;
- le dixième présente une discussion générale sur les différentes stratégies de valorisation, de restauration et de conservation *in situ* et *ex situ* des ressources génétiques du baobab au Bénin. Ceci a permis de tirer des conclusions pratiques et de faire quelques recommandations pour la domestication de l'espèce au profit des communautés rurales.

La méthodologie de travail est donnée dans les différents chapitres exceptés les trois premiers qui résultent d'une recherche bibliographique. Les chapitres (4 à 9) relèvent des recherches de terrain dont les résultats ont déjà été publiés ou soumis pour publication. Fondamentalement, les études de variabilités morphologiques, écologiques, biochimiques et génétiques au niveau de *A. digitata* au Bénin ont nécessité la prise en compte de plusieurs niches écologiques (zones climatiques) afin de multiplier les chances de rencontrer des populations ou individus intéressants pour un travail de sélection et d'amélioration génétique à des fins de domestication.

CHAPITRE 2
MILIEU D'ETUDE

CHAPITRE 2 - MILIEU D'ETUDE

2.1. Situation géographique

La République du Bénin avec une superficie totale de 114 763 km² est située entièrement dans la zone intertropicale, entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude Nord et les méridiens 1° et 3°40' de longitude Est (FAO, 1998). Elle est limitée au Nord par les Républiques du Niger et du Burkina Faso, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Ouest par la République du Togo et à l'Est par la République du Nigéria (Figure 2.1). De l'océan Atlantique au fleuve Niger, il mesure près de 700 km. Sa largeur varie de 125 km le long de la côte à 325 km au Nord à la latitude 11°N. Situé dans la prééminence occidentale de l'hémisphère Nord du continent africain, le pays présente près de 2 000 km de frontières dont la moitié est constituée par des limites naturelles (rivières et côtes) (FAO, 1998). Les frontières se répartissent comme suit:

- à l'Ouest, 620 km avec la République du Togo dont 100 km de cours d'eau (Mono);
- au Nord-Ouest, 270 km avec la République du Burkina Faso dont 220 km de cours d'eau (Pendjari);
- au Nord, 190 km de limites naturelles avec la République du Niger, constituées par le fleuve Niger et la rivière Mékrou;
- à l'Est, 750 km de frontière avec la République du Nigéria dont 290 km de cours d'eau (Okpara, un affluent de l'Ouémé);
- la façade méridionale, longue de 125 km, lui confère une ouverture maritime sur l'océan Atlantique.

2.2 Données physiques

2.2.1 Relief

En dehors de la zone Nord-Ouest dans les chaînes de l'Atacora, le Bénin présente un relief peu accidenté. Du Sud au Nord, on distingue cinq régions géographiques (FAO, 1998):

- la plaine côtière, basse, rectiligne et sablonneuse, constituée de cordons littoraux, large de 2 à 5 km, limitée au Nord par des lagunes; son altitude n'excède guère 10 mètres;
- la zone intermédiaire, argilo-sableuse dont l'altitude varie entre 20 et 200 m, constituée de deux séries de plateaux séparés par la dépression argileuse de la Lama: il s'agit des plateaux de Sakété, d'Allada et de Comé au Sud, et des plateaux de Kétou, Zagnanado, Abomey et Aplahoué au Nord.
- la pénélaine granito-gneissique au centre correspondant à la zone des collines. Les altitudes moyennes varient de 250 à 300 m.
- le massif de l'Atacora (400 m à 700 m d'altitude) localisé dans le Nord-Ouest, constitue le château d'eau du Bénin dans la mesure où plusieurs fleuves (Mékrou, Alibori, Sota) prennent leur source;
- les plaines sédimentaires du Nord qui descendent progressivement vers le bassin du Niger, dont le lit est situé à une altitude de 160 m.

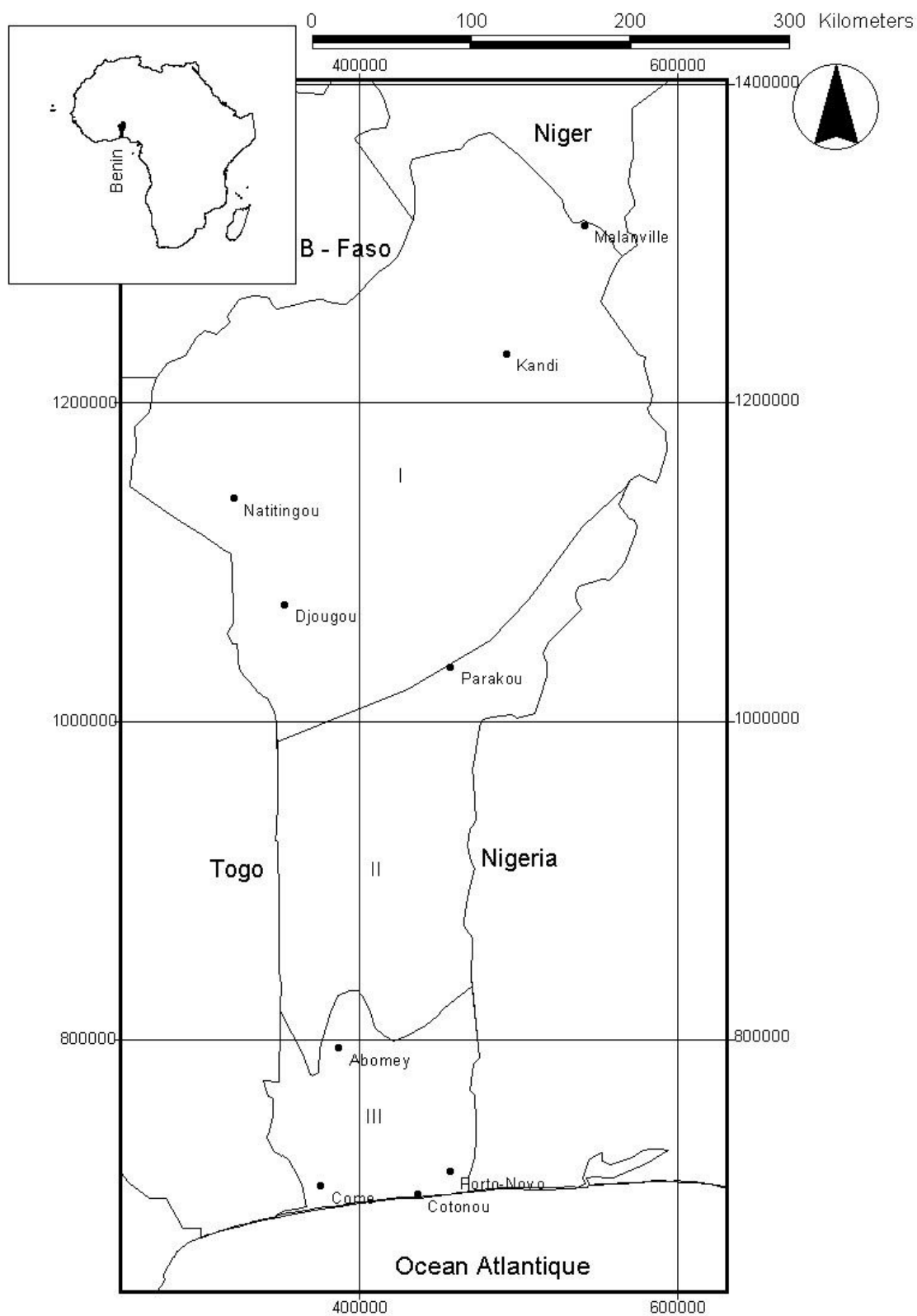


Figure 2.1: Carte de la République du Bénin montrant ses limites géographiques et ses principales villes (réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006)

2.2.2 Climat, sol et végétation

Par son extension entre la côte du Golfe du Bénin et la vallée du Niger (6° 17 à 12° 4 N), la République du Bénin présente une gamme variée de climats caractérisés par la faiblesse relative des précipitations annuelles qui tournent autour de 1.200 mm. Selon Adjanohoun (1989), on y distingue:

- au Sud, un climat subéquatorial à 4 saisons (deux saisons de pluies et deux saisons sèches intercalées) (figure 2.2);

- au Nord, un climat soudanien à deux saisons (une humide et une sèche) (figure 2.2).

Ces deux zones sont séparées au centre par un régime de transition soudano-guinéen. La combinaison de ces différentes saisons donne naissance à trois zones climatiques étalées du Sud au Nord: la zone guinéo-congolaise, la zone soudano-guinéenne et la zone soudanienne (White, 1983; Sinsin *et al.*, 2004). L'ensemble de ces zones abritent les populations de baobab à des densités plus élevées dans le Nord que dans le Sud (Assogbadjo *et al.*, 2005). De plus, ces zones se distinguent les unes des autres par des conditions environnementales particulières notamment le climat, le sol, la végétation et la faune (White, 1983). Par ailleurs, la figure 2.2 montre la répartition des précipitations et des températures moyennes mensuelles sur 30 ans (ASECNA, 2004: données non publiées) des domaines guinéen (6° 25'N – 7° 30'N), soudano-guinéen (7° 30'N et 9° 45'N) et soudanien (9° 45'N-12° 25'N)

2.2.2.1 La zone guinéenne (White, 1983; Adjanohoun *et al.*, 1989; FAO, 1998; Natta, 2003)

Cette zone connaît quatre saisons et s'étend de la côte (6° 25 N) à la latitude de 7° 30 N. Elle a une pluviométrie moyenne de 1200 mm par an avec en moyenne 250 jours de pluies. La grande saison de pluie court de mars à fin juillet et la petite de septembre à mi-novembre. Ces périodes de pluies sont alternées de 2 saisons sèches: une grande, de mi-novembre à mi-mars et une petite d'août à septembre. On y enrégistre une température moyenne journalière qui varie de 25° à 29° C (FAO, 1998). L'humidité de l'air varie entre 69 % et 97 %. La zone guinéenne est le domaine des sols ferrallitiques, profonds et peu fertiles (7000 km²) et des sols alluviaux et vertisols (3600 km²) localisés dans les vallées des fleuves Mono, Niger, Couffo et Ouémé, et dans la dépression de la Lama (Adjanohoun, 1989). Ces sols sont riches en argile, en matière organique et en éléments minéraux. On distingue deux types d'écosystèmes dans cette zone:

- les formations des sols bien drainés, c'est-à-dire des cordons sableux (anciens ou récents). Ils sont constitués par des fourrés constituant soit des stades avancés de colonisation des cordons, soit des stades de dégradation d'une ancienne forêt littorale. Les principales espèces végétales de ces fourrés sont *Chrysobalanus icaco*, *Zanthoxylum zanthoxyloides* et *Chrysophyllum* spp. Sur la plage, on observe une végétation pionnière essentiellement composée de plantes herbacées comme *Remirea maritima*, *Ipomoea asarifolia*, *I. brasiliensis*, etc. Dans les cuvettes interdunaires pousse *Typha australis*;

- les formations des zones humides (lagunes et vasières). Elles se présentent en deux types physiologiques fondamentaux: la forêt mangrove, constituée de palétuviers rouges (*Rhizophora racemosa*) et blanc (*Avicenia germinans*) longeant les lagunes jeunes et la forêt marécageuse à *Anthocleista vogelii* et *Raphia hookeri*, *Alchornea cordifolia* occupant les lagunes anciennes en voie de

comblement (Adjanooun, 1989). Il faut souligner que ces formations forestières sont, après dégradation, remplacées par des prairies marécageuses à *Paspalum vaginatum*, *Typha australis* et autres cypéracées (FAO, 1998). Sur la lagune de Porto-Novo, *Eichhornia crassipes* ou jacinthe d'eau et *Pistia stratiotes* forment des colonies saisonnières qui flottent à la surface de l'eau. *Neptunia oleracea* et *Ipomoea aquatica* sont fixées dans la vase au bord des lagunes;

- la formation originelle des plateaux est la forêt dense humide semi-décidue où on trouve les vestiges sous forme de lambeaux: forêt de réserve botanique de Pobè, les forêts sacrées ou forêts reliques. Cette forêt a été détruite sous la pression humaine et remplacée par des cultures pérennes (agrumes, palmiers à huile, tecks) ou par des cultures vivrières. On rencontre par endroits des jachères à *Dialium guineense*, *Albizia glaberrima*, *A. ferruginea*, *A. zygia*, *Antiaris toxicaria*, *Milicia excelsa*, *Triplochyton scleroxylon*, etc, des formations graminéennes à *Panicum maximum*, *Digitaria horizontalis*, etc. et des formations herbacées à *Chromolaena odorata*;

- dans les réserves botaniques et reliques forestières, on observe: *Adansonia digitata*, *Holoptelea grandis*, *Milicia excelsa*, *Daniellia ogea*, *Triplochyton scleroxylon*, *Piptadeniasprum africanum* et *Terminalia superba*. Dans les sous-bois, on remarque *Rhektophyelum mirabite*, *Panicum brevifolium*, *Geophila obvalleta*, etc.;

- la dépression argileuse de la Lama est un vertisol abritant une végétation particulière. Les plantes sont adaptées à la contrainte édaphique de la Lama. On y rencontre: *Adansonia digitata*, *Ceiba pentandra*, *Azelia africana*, *Diospyros mespiliformis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Antiaris toxicaria*, *Milicia excelsa* et *Mimusops andongensis*. La dépression est prise d'assaut par les cultures vivrières sous la poussée démographique.

2.2.2.2 La zone soudano-guinéenne (White, 1983; Adjanooun *et al.*, 1989; FAO, 1998; Natta, 2003)

La zone soudano-guinéenne est située entre 7° 30' N et 9° 45' N. Le régime pluviométrique dans la zone soudano-guinéenne est unimodal (mai-octobre) et la pluviométrie moyenne annuelle varie de 900 mm à 1110 mm répartie le plus souvent sur 113 jours en moyenne. L'humidité relative varie de 31 % à 98 % dans cette zone. L'insolation moyenne s'élève à 2305 heures par an. Les températures varient entre 25°C et 29°C dans cette zone. La zone de transition soudano-guinéenne prolongeant la zone à affinités guinéennes, est le domaine des mosaïques de forêts claires, avec éventuellement des forêts denses sèches, parsemées de savanes arborées et arbustives et traversées par des galeries forestières. On trouve dans cette zone les sols minéraux peu évolués et peu fertiles et les sols ferrugineux sur socle cristallin de fertilité variable. On y rencontre des savanes arborées et arbustives composées de: *Vitellaria paradoxa*, *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa*, *Isobertia doka*, *I. tomentosa*, *Combretum hypopilinum*, *C. sokodense*, *C. nigricans*, etc. Dans cette zone, on rencontre *Daniellia oliveri*, *Parkia biglobosa* et *Terminalia glaucescens* sur les sols bien drainés, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia campylacantha* et *Terminalia macroptera* sur les sols hydromorphes, *Isobertia doka* et *Detarium microcarpum* sur les sols sur cuirasses ou roches peu profondes. Dans les groupements herbacés parcourus par le feu chaque année, on note: *Andropogon* spp., *Hyparrhenia* spp., *Aframomum* spp. Dans les galeries forestières et îlots forestiers, on observe: *Ceiba pentandra*, *Milicia excelsa*, *Antiaris*

toxicaria, *Parinari congensis*, *Ficus congensis*, *Cola laurifolia*, etc. Au sommet des élévations granitiques, on observe *Afrotrilepis pilosa*, *Ficus populifolia*, etc.

2.2.2.3 La zone soudanienne (White, 1983; Adjanohoun *et al.*, 1989; FAO, 1998; Natta, 2003)

La zone soudanienne est située entre 9°45 N et 12°25 N. La pluviométrie dans cette zone est souvent inférieure à 900 mm par an répartie en moyenne sur 145 jours. L'humidité de l'air varie de 18 % pendant l'harmattan (décembre à février) à 99 % en août pendant la saison de pluies. La température moyenne mensuelle varie de 24°C à 31°C dans cette zone. Le nombre total d'heures ensoleillées est de 2862 par an. La zone soudanienne est le domaine des sols hydromorphes, des sols drainés, des cuirasses ferrallitiques et des lithosols. La zone soudanienne est constituée de savanes et de galeries forestières avec des arbres recouvrant faiblement le sol. Dans la partie sud de cette zone, la végétation est analogue à celle de la zone de transition. On rencontre des peuplements d'*Isoberlina doka* et d'*I. tomentosa* et ensuite des espèces comme *Adansonia digitata*, *Pterocarpus erinaceus*, *Atzelia africana*, *Erythrophleum guineense*, *Ambligonocarpus andongensis* et *Swartzia madagascariensis*. La végétation herbacée est dense dans les parties arbustives où on observe *Cymbopogon giganteus* et *Lantana rhodesiensis*. Dans la partie Nord du domaine soudanien, on constate la diminution de la taille des espèces ligneuses. La composition floristique y a aussi connu un changement. On note la présence de *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *C. glutinosum*, *C. nigricans*, *Boscia salicifolia* et *B. senegalensis*. Dans les îlots de forêts denses sèches, on rencontre *Acacia ataxacantha*. *A. macrostachya* est très disséminée dans la savane. *A. siberiana* constitue un arbre en peuplement clairsemé au bord des dépressions.

En résumé, on peut indiquer qu'*A. digitata* est une espèce qui se retrouve dans toutes les zones agroclimatiques du Bénin (cf. sous chapitre 2.2.2.1, 2.2.2.2 et 2.2.2.3). De plus, il est rencontré dans plusieurs types d'habitat principalement dans les savanes soudaniennes et soudano-guinéennes, dans la dépression de la Lama sur des vertisols et dans les reliques forestières et réserves botaniques du guinéen. Il pousse sur différents types de sols et cohabite avec plusieurs espèces aussi bien de zones humides que de zones sèches. Il est donc une espèce bien distribuée au Bénin.

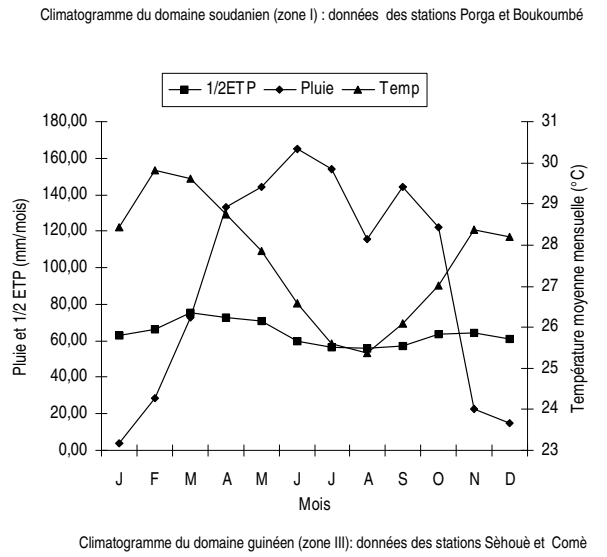
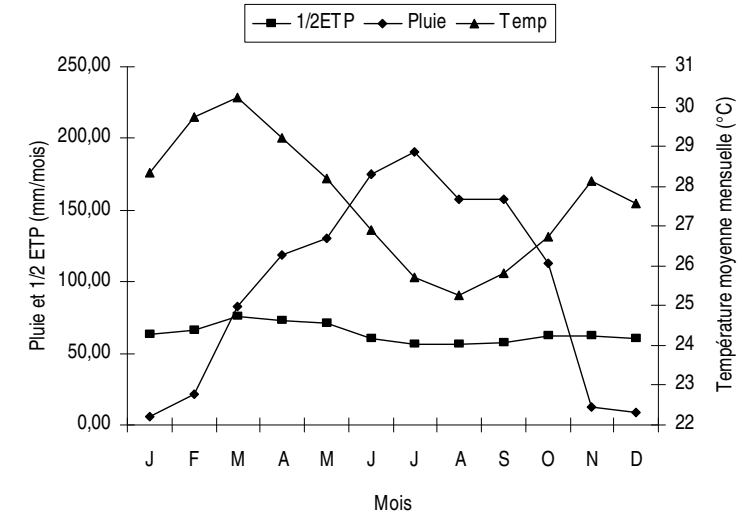
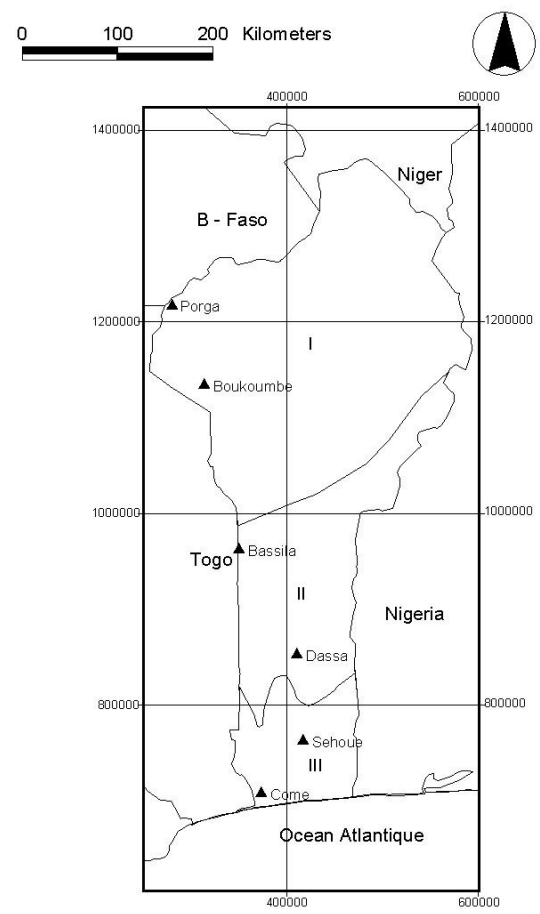
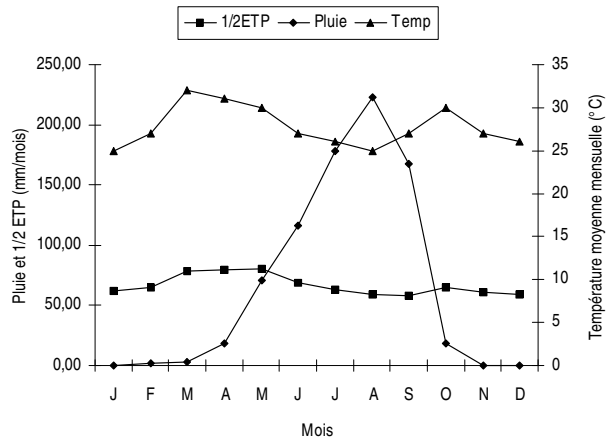


Figure 2.2: Carte du Bénin montrant les climatogrammes selon les différentes zones climatiques. Les zones climatiques sont issues de la classification de White (1983) et les climatogrammes sont obtenus à partir des données climatiques des différentes stations et localités indiquées sur la carte. (Carte réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006)

2.2.3 Réseau hydrographique (FAO, 1998)

Le Bénin possède plusieurs cours d'eau dont les plus importants sont la rivière Pendjari au nord-ouest (380 km), le fleuve Couffo au sud-est (170 km), le fleuve Ouémé au centre et au sud (450 km), le fleuve Niger au nord et au nord-est et enfin, le fleuve Mono à l'ouest (100 km). Certains de ces cours d'eau ont d'importants affluents. Il s'agit du Niger avec le Mékrou (410 km), l'Alibori (338) et la Sota (250 km), et l'Ouémé avec le Zou (150 km). Par ailleurs, le territoire béninois dispose dans la zone littorale, d'un important réseau lacustre et lagunaire d'environ 270 km². Les principaux lacs et lagunes, sont d'Ouest en Est, le lac Toho, le lac Togbadji, le lac Ahémé (78 km²), le lac Nokoué (135 km²) et la lagune de Porto-Novo. Plus au Nord de cette chaîne, se trouvent de tous petits lacs de barrage dans les plaines de l'Ouémé et du Mono. Ces différents éléments morpho-climatiques et fluviaux participent à la formation des sols exploitables pour l'agriculture.

2.3. Données socio-économiques

2.3.1 Population

Estimée à 878.000 habitants en 1910, la population du Bénin s'élevait à 6.300.000 habitants (55,95 hbts/km²) en 2002 (INSAE, 2002). Cette population compte plus de 52 % de femmes.

2.3.1.1 Composition de la population (INSAE, 2002)

Les moins de 14 ans représentent 47,6 % d'une population dont le taux de natalité annuelle est de 3,2 % dans les campagnes et de 4,5 % en ville. Les mauvaises conditions de vie font que l'espérance de vie n'est que de 50,6 ans pour les hommes et 52,4 pour les femmes. Cette jeune nation est constituée d'une vingtaine de groupes socioculturels ayant chacun une assise territoriale. Les langues les plus parlées sont le Fongbé, le Guingbé ou Mina, le Yoruba, le Batonu et le Dendi. Le français est la langue officielle dans l'administration et les relations internationales.

2.3.1.2 Répartition spatiale (INSAE, 2002)

La répartition de la population du Bénin présente des disparités régionales. D'une manière générale, on note une très forte concentration de la population béninoise sur les formations sédimentaires côtières dans la zone climatique guinéenne où, sur une superficie d'à peine 10 % du total national, vivent environ 60 % de la population. En effet, les densités les plus élevées se situent dans cette partie méridionale dans un éventail de plus de 500 hbts/km². Par contre, l'Atacora au nord dans la zone soudanienne, ne compte que 6 hbts au km². Les 40 % restants occupent les 90 % du territoire national. Les groupes socio-culturels du Bénin ont engendré des entités linguistiques homogènes dont les plus importantes sont:

- au sud: Adja, Wachi, Fon, Xuéda, Mina, Xwla, Aïzo, Toli;
- au sud-est: Yoruba et Goun;

- au centre: Mahi et Yoruba;
- au nord: Bariba, Fulani, Monkolé, Fulbé, Senka, Hausa, Betammaribè, Waaba, Bêlbêlbê, Natimba, Yowa et Lokpa, ...

Des mouvements migratoires récents ont conduit à l'établissement de quelques dizaines de milliers d'étrangers au Bénin. On distingue:

- les africains non béninois parmi lesquels viennent en tête les nigériens surtout commerçants constitués de Yoruba et Ibo éparpillés sur l'ensemble du pays, les togolais, les sénégalais, les maliens, les burkinabè, les marocains, les algériens, les égyptiens, etc.;
- les autres étrangers forment une population flottante de coopérants, commerçants et religieux d'environ 10.000 personnes. Ce sont les européens, les américains et surtout les asiatiques (libanais, indo-pakistanaï, chinois, coréens).

2.3.2 Alimentation et Santé

2.3.2.1 Alimentation et nutrition (FAO, 1998; INSAE, 2002)

Au Bénin, comme dans la plupart des pays africains, la répartition dans le temps et dans l'espace du disponible alimentaire est à la base des problèmes de malnutrition. L'état nutritionnel des enfants devient plus critique pendant la période de soudure (*mois durant lesquels les réserves de nourriture des familles s'épuisent*) où les maladies infectieuses et nutritionnelles atteignent un seuil assez élevé. A l'heure actuelle, 35 % des enfants de moins de 5 ans souffrent de malnutrition (FAO, 1998). En moyenne, chaque béninois dispose de 2300 calories journalières mais la nourriture manque trop souvent de protéine, de vitamine et de fer. La situation alimentaire varie d'un Département à l'autre. Dans les villes, les anciens paysans contraints à l'exode rural sont non seulement coupés de leurs sources habituelles d'alimentation, mais la pauvreté, le sous-emploi et le chômage ne leur permettent pas une alimentation suffisante et équilibrée.

2.3.2.2 Santé (FAO, 1998; INSAE, 2002)

Aux carences alimentaires s'ajoutent de nombreux problèmes sanitaires. Dans les campagnes, la plupart des populations n'ont pas accès à l'eau potable. Les infrastructures sanitaires sont très insuffisantes. Quelques 18 % de la population ne profitent pas des services de santé. En 1998, on dénombrait en moyenne un médecin pour 15 940 habitants contre 1 pour 33 030 en 1960. A Cotonou, ce taux était de 1 pour 5 000. Dans les campagnes, les paysans ont encore recours aux plantes médicinales pour se soigner. On compte 1 lit d'hôpital pour 1 774 personnes et 1 lit de maternité pour 463 femmes de 15 à 49 ans. Les principales maladies restent le paludisme et les parasitoses intestinales.

CHAPITRE 3
REVUE BOTANIQUE, BIOGEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DU
GENRE *ADANSONIA*

CHAPITRE 3 - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE GENRE *ADANSONIA*

3.1 Description botanique et morphologique des espèces du genre *Adansonia* (Humbert, 1955, Wickens, 1982, Baum, 1995 et 1998)

Le genre *Adansonia* appartient à la famille des Bombacacées, à l'ordre des Malvales et à la Tribu des Adansonieae. Selon Baum (1995), la famille regroupe 30 genres avec environ 250 espèces dont *Bombax costatum* et *Ceiba pentandra*, deux autres espèces présentes dans les écosystèmes du Bénin. Du point de vue phylogénétique, *Adansonia digitata* L. est relié à 7 autres espèces de baobab. En se basant sur leur biologie florale, Baum (1995, 1998) a regroupé les espèces d'*Adansonia* en 3 grandes sections (tableau 3.1) que sont (i) la section *Brevitubae* regroupant *A. grandidieri* Baill. et *A. suarezensis* H. Perrier; (ii) la section *Adansoniae* composée de *A. digitata* L. et (iii) la section *Longitubae* regroupant *A. gibbosa* A. Cunn., *A. rubrostipa* Jum. & H. Perrier, *A. madagascariensis* Baill., *A. za* Baill. et *A. perrieri* Capuron. L'espèce *A. gibbosa* (A. Cunn.) Guym. ex D. Baum est confinée au nord-ouest de l'Australie (district de Kimberley et région des rivières Victoria et Fitzmaurice) (Baum, 1995). *A. digitata* L., qui est présente sur le continent africain, est l'espèce la plus répandue et la mieux décrite (Wild 1961; Robyns, 1963; Villiers, 1975, Palgrave, 1977; Wickens, 1982; Baum, 1995, Baum, 1998). Le genre *Adansonia* correspond à des arbres à cime le plus souvent compacte, de 5 à 30 m de haut, avec un tronc de 2 à 10 m de diamètre (tableau 3.1). L'écorce est de couleur grise ou rouge. Elle est très fibreuse dans sa partie interne. Le bois mou est gorgé d'eau et possède une structure stratifiée. Les feuilles sont caduques, composées et palmées. Elles comportent de 5 à 11 folioles aiguës ou apiculées à l'apex, à marge entière ou dentelée. Les fleurs hermaphrodites sont isolées, exceptionnellement par paire, axillaires, pentamériques et à pétales libres. L'ovaire est supère et pubescent. Le fruit est une baie polysperme, ovoïde, indéhiscente et à épicarpe lignifié. Les graines réniformes sont nombreuses et entourées d'une pulpe blanchâtre généralement sèche.

3.1.1 *Adansonia digitata* (Wild 1961; Robyns, 1963; Villiers, 1975; Palgrave, 1977; Wickens, 1982; Baum, 1995 et 1998)

L'histoire du baobab africain est bien documentée dans Baum (1995). Linnaeus a donné au binôme *Adansonia digitata*, le nom générique pour honorer Michel Adanson qui était le premier à décrire au dix-huitième siècle le baobab africain (Adanson, 1771). Appartenant à la famille botanique des Bombacaceae et à l'ordre des Malvales, le baobab africain (*Adansonia digitata*) (Photo 3.1) est un grand arbre de 18 à 25 m de haut et peut atteindre un diamètre de 5 m à 10 m. Constitué d'une masse spongieuse, le tronc est irrégulier en forme de bouteille ventrue. La cime est étalée avec d'énormes branches et feuilles groupées à l'extrémité des rameaux. L'écorce est lisse, grise avec des reflets bleus ou purpurins. Les feuilles, caduques en saison sèche sont alternes, composées digitées, à 5 – 9 folioles (5–16 x 2-6 cm) longuement pétiolées (8-16 cm), à 13-20 paires de nervures secondaires, à limbe entier ou denticulé. Les fleurs sont blanches, grandes (10-20 cm de long) pendantes au bout d'un pédoncule pouvant atteindre 1 m de longueur, solitaire ou par paire, hermaphrodite, et de nombreuses étamines blanches avec un ovaire de 5 à 10 loges. La floraison se fait avant la saison des pluies. La

pollinisation est principalement assurée par des chauve-souris. La forme des fruits varie selon les types morphologiques. L'enveloppe du fruit de 0,5 à 1 cm d'épaisseur est ligneuse, dure, vert-brunâtre ou jaunâtre-gris et remplie d'une pulpe variant de couleur blanchâtre à rose-pâle. Son intérieur est compartimenté en cloisons fibreuses dans le sens de la longueur. C'est un fruit ligneux de forme variable, subsphérique à globuleux ou ovoïde de 7,5 - 54 cm de long. Il contient des graines (2000 - 3000 / kg). Ces graines sont parfois rondes, ovales ou de formes irrégulières et de couleurs variables, noire ou rougeâtre. Elles sont noyées dans une pulpe farineuse entremêlée de fibres rougeâtres. La germination est phanérocotylaire.

3.1.2 Description sommaire des autres espèces de baobab

La plupart des références scientifiques relatives aux baobabs datent des années 1960 et 1970 (Miège *et al.*, 1968, 1973; Miège, 1974, 1975; Armstrong, 1977, 1977a, 1983). Les travaux récents sont ceux de Baum (1995; 1998) qui ont permis de disposer des informations sur la biogéographie, la phylogénie et la biologie florale des espèces de Bombacaceae.

3.1.2.1 *Adansonia gibbosa* (A. Cunn.)

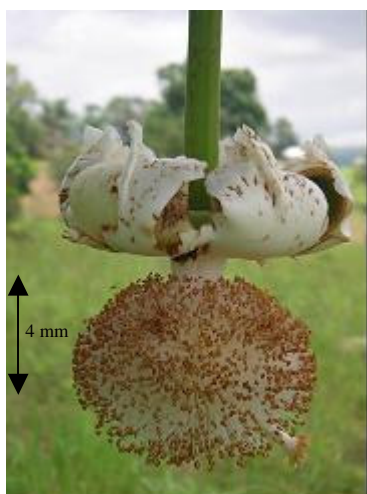
De la section *Longitubae*, le baobab australien, *A. gibbosa*, (Photo 3.2) est un petit arbre qui dépasse rarement 10 m de hauteur. Il a une forme irrégulière et possède plusieurs troncs. Sa couronne est irrégulière, ses branches primaires étant ascendantes, horizontales ou descendantes. L'écorce est grise et lisse. Il est confiné au Nord-Ouest de l'Australie. Les feuilles caduques sont composées de 5 à 9 folioles (8–16 x 2-4 cm). Les fleurs sont blanches à crème-clair et émergent juste avant ou juste après la feuillaison. Les bourgeons, 10-15 cm de long, sont érigés horizontalement, cylindrique ou légèrement large à l'apex qu'à la base. Les fruits sont en forme de boule ou ovoïde. Le péricarpe, 3-4 mm d'épaisseur, est fragile et se casse le plus souvent pendant que le fruit est encore attaché à l'arbre. Il présente très peu de fibres longitudinales avec un indumentum peu abondant ou dense, brunâtre à verdâtre. Les graines 10-13 x 7-9 x 5-6 mm, sont réniformes et latéralement aplaties. La germination est phanérocotylaire.

3.1.2.2 *Adansonia grandidieri* Baillon

De la section *Brevitubae*, *A. grandidieri* (Photo 3.3) est une des six espèces de baobabs endémiques de Madagascar. Il est le plus connu des baobabs malgaches. Il est localisé près de Morombe et Morondava dans l'Ouest du pays. C'est un grand arbre de plus de 25 m de haut et de 3 m de diamètre. Son tronc a une forme cylindrique. Sa couronne est aplatie et se trouve au sommet de l'arbre avec des branches réparties horizontalement de manière irrégulière. Son écorce est lisse et de couleur rouge à grisâtre. Les feuilles sont composées de 6 à 9 folioles.



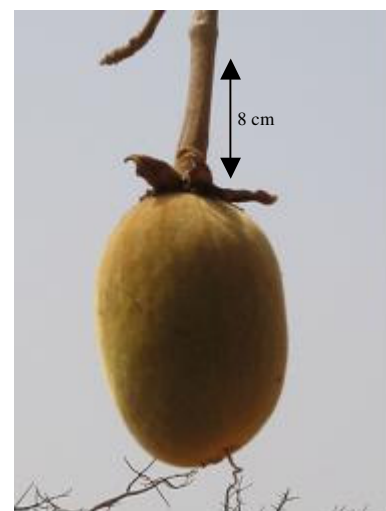
Vue d'ensemble d'*A. digitata*



Fleurs d'*A. digitata*



Feuilles digitées d'*A. digitata*



Capsule d'*A. digitata*



Capsule montrant la pulpe d'*A. digitata*



Graines d'*A. digitata*

Le pétiole, 5-13 cm de long et 1-3 mm de diamètre est pubescent. Ses fleurs émergent après la perte des feuilles; elles sont généralement blanches mais jaunissent avec l'âge. Les bourgeons sont érigés et ovoïdes. Le pédoncule mesure 3-5 mm de long et le pédicel 6-8 mm de long. Ses fruits sont presque ronds à ovoïdes, avec un calyx persistant à la base, un indumentum rougeâtre et un péricarpe peu épais et fragile. Les graines sont réniformes non remarquablement latéralement aplaties, 12-14 x 10-12 x 9-10 mm. La germination d'*Adansonia grandidieri* est cryptocotylaire, c'est-à-dire que les cotylédons restent souvent collés à l'intérieur de la graine après germination.

3.1.2.3 *Adansonia madagascariensis* Baillon

De la section *Longitubae*, *A. madagascariensis* (Photo 3.4) se trouve dans les forêts sèches à semi-sèches de la province de Majunga et aussi dans le Nord de Madagascar. C'est un baobab de 5 à 20 m de hauteur dont le tronc est de forme variable et la couronne irrégulière. Son écorce est lisse et de couleur gris-claire. Les feuilles sont composées de 5-7 folioles avec un pétiole de 6-12 cm x 1-2 mm. Ses fleurs sont rouge-foncée. Les bourgeons sont érigés horizontalement, cylindrique et mesure 15-20 cm de long. Ses fruits sont globuleux ou sub-globuleux avec un indumentum peu abondant et possédant plusieurs fibres longitudinales. Ils mesurent à peine 10 cm de long et sont plus ou moins ronds et larges. Les graines sont nettement réniformes et latéralement aplaties (10-11 x 7-9 x 4,5-6 mm). La germination est phanérocotylaire.

3.1.2.4 *Adansonia perrieri* Capuron

De la section *Longitubae*, *A. perrieri* (Photo 3.5) est l'espèce la plus menacée des baobabs en raison de sa rareté dans Antsiranana dans le Nord de Madagascar et sa restriction à cette région. Moins de 10 stations de cette espèce sont actuellement connues. Elle peut atteindre 30 m de haut et présente un tronc cylindrique et une couronne irrégulière avec des branches épaisses horizontales ou montant à 45° environ. Les feuilles sont composées de 5-11 folioles; le pétiole est pubescent et les stipules, 15 mm de long, sont triangulaires ou linéaires et persistants. Ses fleurs sont blanches à jaune clair. Elles émergent juste avant l'émergence des feuilles; les bourgeons sont érigés horizontalement et élongés-cylindrique. Ses fruits peuvent 30 cm de diamètre. Ils ont généralement une forme ovoïde à oblongue et peuvent mesurer jusqu'à 25 cm de long. Le péricarpe à 8-9 mm d'épaisseur avec un plusieurs fibres longitudinales et coriaces. Les graines sont réniformes, latéralement aplaties, 9-11 x 8-9 x 5-6 mm. La germination est phanérocotylaire.

3.1.2.5 *Adansonia rubrostipa* Jum. & H. Perrier

De la section *Longitubae*, *A. rubrostipa* (Photo 3.6) est un baobab de Madagascar de 5 à 20 m de haut. Son tronc a une forme de bouteille, avec une constriction visible en dessous des branches. Sa couronne est irrégulière. Grise et rugeuse pour les jeunes plants, son écorce est souvent marron rouge

à l'âge mûr. Ses feuilles sont dentellées et composées de 3-5 folioles. Le pétiole est mince et aplati, 3-7 cm x 0,5-1 mm puis glabreux et les stipules sont caduques. Ses fleurs jaunes vif à orange émergent en pleine feuillaison; les bourgeons sont plus ou moins horizontaux, élongué-cylindriques et mesurent 16-28 cm de long. Ses fruits sont ronds, avec un indumentum rougeâtre. Le péricarpe mesure 4-5 mm d'épaisseur avec très peu de fibres longitudinales et un indumentum dense rougeâtre-brun. Les graines, 16 x 12 x 8 mm, sont réniformes et latéralement aplaties. Sa germination est phanérocotylaire.

3.1.2.6 *Adansonia suarezensis* H. Perrier

De la section *Brevitubae*, *A. suarezensis* (Photo 3.7) est restreint au Nord de Madagascar près d'Antsiranana et peut lui aussi, être considéré comme une espèce de baobab en danger. C'est un arbre de plus de 25 m de hauteur et 2 m de diamètre. Son tronc s'amincit de bas en haut. Sa couronne est plate et ses branches sont réparties de façon horizontale. Ses feuilles sont composées de 6 – 9 folioles; les pétioles (12-18 cm x 2-4 mm) sont en crête et glabreux. Ses stipules sont caduques et ses pétiolules mesurent 3-5 mm de long. Ses fleurs blanches, émergent lorsque les feuilles sont absentes sur l'arbre. Les bourgeons sont érigés et ovoïdes; son pédoncule mesure 3-5 mm de long et son pédicèle mesure 8-10 mm de long. Ses fruits de forme irrégulière sont longs de 20-40 cm et larges de 8-14 cm avec un calyx persistant à la base et un indumentum marron et dense. Le péricarpe, 3-4 mm d'épaisseur, est fragile avec très peu de fibres longitudinales. Les graines, 17-20 x 13-15 x 13-14 mm, sont réniformes et non remarquablement latéralement aplaties. C'est l'espèce de baobab qui présente les plus grosses graines soit environ 450/kg. Sa germination est cryptocotylaire.

3.1.2.7 *Adansonia za* Baill.

De la section *Longitubae*, *A. za* (Photo 3.8) est le plus répandu des baobabs de Madagascar. On le trouve dans le sud, l'ouest et le nord-ouest de Madagascar. Sa hauteur va de 5 à 30 m. Il a un tronc unique, cylindrique ou légèrement conique et rugueux. Ses branches primaires s'effilent au fur et à mesure qu'elles s'allongent. Son écorce est grise et ses fleurs jaunes. Ses feuilles sont composées de 5-8 folioles. Ses stipules sont caduques et son pétiole a des dimensions de 5-15 cm x 1-4 mm. Ses fleurs émergent simultanément ou juste après l'émergence des feuilles. Les bourgeons (15-24 cm x 1,5-2,5 cm) sont érigés horizontalement et sont élongué-cylindriques. Son fruit souvent de couleur noire est ovoïde ou oblongue de 10 à 30 cm de long et de 6-15 cm de large et rarement incurvés. Les graines sont réniformes, latéralement aplaties, de taille variable jusqu'à 12 x 11 x 8 mm. Sa germination est phanérocotylaire.

Tableau 3.1: Caractéristiques comparées des espèces du genre *Adansonia*

Caractéristiques	Section <i>Brevitubae</i>		Section <i>Adansonia</i>	Section <i>Longitubae</i>				
	<i>A. grandidieri</i>	<i>A. suarezensis</i>	<i>A. digitata</i>	<i>A. gibbosa</i>	<i>A. rubrostipa</i>	<i>A. madagascariensis</i>	<i>A. za</i>	<i>A. perrieri</i>
Morphologie								
- Forme de la couronne	Aplatie	Aplatie	Arrondie	Arrondie	Arrondie	Arrondie	Arrondie	Arrondie
- Hauteur moyenne (m)	25	15	20	10	5	15	15	15
- Diamètre moyen du tron (m)	3	2	7	5	3	5	5	2
- Forme du bourgeon	Ovoïde	Ovoïde	Globuleux	Cylindrique	Cylindrique	Cylindrique	Cylindrique	Cylindrique
- Longueur du bourgeon	8-10 cm	~ 8 cm	4-7 cm	10-15 cm	24-29 cm	12-18 cm	15-22 cm	~ 20cm
- Orientation des fleurs	Erigée	Erigée	Pendant	Erigée	± Horizontale	± Erigée	± Horizontale	± Erigée
- Couleur du calyx (extérieur)	Brune	Verte	Verte	Verte	Verte	Verte	Verte	Verte
- Couleur du calyx (intérieur)	Crème	Crème	Crème	Crème	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge ou Crème
- Longueur du calyx	Longue	Longue	Longue	Courte	Longue	Longue	Longue	Longue
- Couleur du pétale	Blanche	Blanche	Blanche	Blanche	Jaune	Rouge sombre	Jaune	Jaune
- Forme du pétale	Linéaire	Linéaire	Ovoïde	Lancéolée	Linéaire	Linéaire	Linéaire	Lancéolée
- Longueur du pétale	9-10 cm	8-10 cm	8-12 cm	10-15 cm	12-16 cm	12-18 cm	14-20 cm	15-24 cm
- Longueu/largeur du pétale	≈ 5: 1	≈ 5: 1	≈ 1: 1	≈ 5: 1	> 10: 1	> 10: 1	> 10: 1	≈ 5: 1
- Longueur du filament libre	35-65 mm	50-75 mm	20-50 mm	20-80 mm	70-140 mm	50-110 mm	50-120 mm	10-20 mm
- Nombre de filaments libres	600-700	800-1100	720-1600	150-350	120-160	90-100	100-150	200-250
- Taille de l'anthere	Large	Large	Large	Petite	Petite	Petite	Petite	Petite
- Couleur du style	Blanche	Blanche	Blanche	Blanche	Rouge	Rouge	Rouge	Rose/rouge
- Forme du style	± Droite	± Droite	Courbée	Droite	Droite	± Droite	Droite	± droite
- Couleur du stigmate	Rose pâle	Blanche	Blanche	Blanche	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Phénologie								
- Feuillaison	Octobre - Mai	Déc. - Avril	Variable selon les localités	Nov. - Mars	Nov. - Avril	Nov. - Avril	Saison de pluie	Saison de pluie
- Floraison	Juin-Août	Mai - Juin		Nov. - Janvier	Février - Avril	Février - Avril	Nov. - Février	Nov.- Déc.
- Maturation des fruits	Nov. - Déc.	Novembre		Mai- Décembre	Octobre - Nov.	Novembre	Fin de saison sèche	Octobre - Nov.
Nectar								
- Volume maximum (μl)	1400-1730	≈ 1900	?	64-180	59-105	250-620	200-250	150-200
- Concentration (%)	13,5-18,25	11,75-12	?	17-23,5	13-15,75	?	21-22	14,5-15,25
- Saveur	Aigre	Aigre	Aigre	Sucrée	Sucrée	Sucrée	Sucrée	Sucrée
Nombre de chromosomes								
Source: Baum (1994)	2n = 88	2n = 88	2n = 160	2n = 88	2n = 88	2n = 88	2n = 88	2n = 88
Couleur et texture de l'écorce	Rouge grisâtre, lisse	-	Grise à violacée, lisse ou rugueuse	Grise, lisse	Maron, rougeâtre, rugueuse	Gris clair, lisse	Grise	-

Source: Baum (1994; 1995 et 1998); Sidibé & Williams (2002).



Photo 3.2: *Adansonia gibbosa*
(Source : www.baobab.com)



Photo 3.3: *Adansonia grandidieri*
(Source : www.baobab.com)



Photo 3.4: *Adansonia madagascariensis*
(Photo: Kalfirtova)



Photo 3.5: *Adansonia perrieri*
(Source: www.baobab.com)



Photo 3.6: *Adansonia rubrostipa*
(Source: www.baobab.com)



Photo 3.7: *Adansonia suarezensis*
(Photo: Kalfirtova)



Photo 3.8: *Adansonia za*
(Source: www.baobab.com)

3.2 Nomenclature des espèces du genre *Adansonia*

De toutes les 8 espèces du genre *Adansonia*, 6 sont endémiques au Madagascar et une en Australie (tableau 3.2). A Madagascar, les 6 espèces de *Adansonia* sont distribuées du nord au sud. Elles sont beaucoup plus abondantes dans le sud et le sud-ouest (Baum, 1996). Ce sont pour la plupart des espèces de zones sèches à basse altitude, localisées dans les forêts décidues ou semi-décidues.

Tableau 3.2: Nomenclature des espèces du genre *Adansonia* (Baum, 1995)

section	Espèces	Synonymes	Référence	Aire de distribution
<i>Adansoniae</i>	<i>A. digitata</i> L.	<i>A. baobab</i> L. (1763), <i>A. baobab</i> Gaertn. (1791), <i>A. sphaerocarpa</i> A.Chev. (1906), <i>A. digitata</i> var. <i>congolensis</i> A.Chev. (1906)	Syst. Nat. ed 10, 2: 1144 (1759)	Afrique
<i>Brevitubae</i>	<i>A. grandidieri</i> Baill.	-	Hist. Nat. Pl. (1893)	Endémique à Madagascar
-	<i>A. suarezansis</i> H. Perrier	-	Notul. Syst. 14 (1952)	Endémique à Australie
<i>Longitubae</i>	<i>A. gibbosa</i> (A. Cunn.) Guymex ex D. Baum	<i>A. gregori</i> Mueller (1857), <i>A. rupestris</i> W. Saville-Kent (1897), <i>A. stanburyana</i> Hochreutiner (1908)	-	Endémique à Madagascar
-	<i>A. rubrostipa</i> Jum & H. Perrier	<i>A. fony</i> Baill. ex H. Perrier (1952)	Mat. Grass (1909)	Endémique à Madagascar
-	<i>A. madagascarensis</i> Baill.	<i>A. bernieri</i> Baill. ex Poisson (1912)	<i>Adansonia</i> (1876)	Endémique à Madagascar
-	<i>A. za</i> Baill.	<i>A. bozy</i> Jum. & H. Perrier, <i>A. alba</i> Jum. & H. Perrier	Mem. Soc. Linn. Paris (1890)	Endémique à Madagascar
-	<i>A. perrieri</i> Capuron	-	Notul. Syst. Paris (1960)	Endémique à Madagascar

Source: Sidibe & Williams (2002)

3.3 Ecologie et biogéographie d'*A. digitata*

3.3.1 *A. digitata* en Afrique

En dehors du Libéria, de l'Uganda, Djibouti et du Burundi, le baobab africain est naturellement réparti dans la plupart des pays au sud du Sahara (Wickens, 1982). A l'intérieur de certains pays, sa distribution est limitée. C'est le cas entre autre du Tchad où il est absent à l'est du pays, et de l'Afrique du Sud où il est transversalement distribué (Wickens, 1982). Bien que demeurant une espèce de savane et de zone sèche (FAO, 1988), le baobab se retrouve dans les zones humides de l'Afrique Equatoriale comme au Gabon, au sud du Cameroun et au Congo Démocratique. Il est également présent aux îles São Tomé, au Madagascar et aux Comores.

La République Centre-Africaine représente un gap naturel pour la distribution du baobab (Wickens, 1982). L'espèce est également présente en Egypte. La distribution du baobab est bien documentée par

Wickens (1982) qui a établi pour la première fois la carte de distribution de l'espèce en Afrique et à Madagascar.

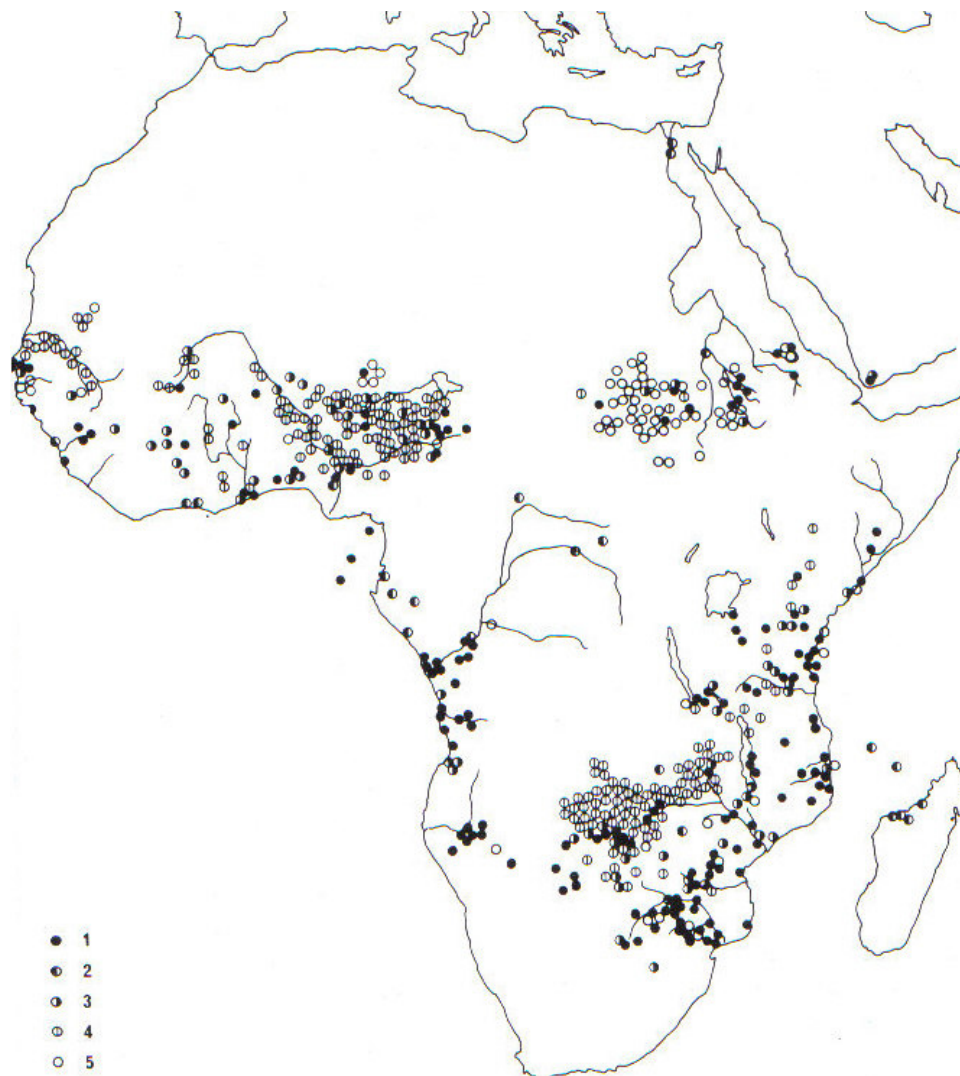


Figure 3.1: Distribution du baobab (*Adansonia digitata*) en Afrique et dans les régions voisines

Légende: 1 = Distribution basée sur les relevés d'Herbarium et de flore; 2 = Individus connus comme cultivés ou introduits; 3 = Distribution basée sur les photos publiées ou non publiées; 4 = Distribution basée sur les informations recueillies de Kew 'Baobab survey'; 5 = Relevés obtenues de la littérature, des cartes, etc.

Source: Wickens, 1982

3.3.2 Diversité régionale et distribution d'*A. digitata* (Wickens, 1982)

Comme on pouvait s'y attendre, la large distribution du baobab en Afrique a induit une diversité morphologique de l'espèce. Par exemple, Olivier (1868) a noté que les *A. digitata* de Mozambique ont des feuilles plus petites que celles des baobabs rencontrés partout ailleurs. Worsfold (1899) et Chevalier (1906) ont noté des variabilités morphologiques des capsules d'Afrique de l'Ouest comparées à celles du Mozambique.

En Afrique Centrale et Occidentale, le baobab se retrouve essentiellement dans les zones sèches et dans les zones côtières du Sénégal, Ghana, Bénin, Togo et Congo Démocratique (Wickens, 1982). Dans les systèmes agroforestiers traditionnels, il est le plus souvent associé à d'autres espèces qui l'accompagnent: *Tamarindus indica* (tamarin), *Vitellaria paradoxa* (karité) *Parkia biglobosa* (néré), *Balanites aegyptiaca* et *Acacia albida*.

Au Nord-Est de l'Afrique, le baobab est limité aux savanes semi-désertiques. En Erythrée et en Somalie, il est typique aux zones de basses altitudes alors qu'au Soudan, il est rencontré sur les hauteurs du Mont Nuba (Wickens, 1982). En Afrique de l'Est, les populations de baobab sont rencontrées aussi bien sur les côtes kenyanes, sud Mozambicaine que dans les savanes de basses altitudes. En Tanzanie, il est établi sur les plateaux de fortes pressions anthropiques (Wickens, 1982). Au sud de l'Afrique, le baobab est présent en Angola et en Namibie dans les savanes arbustives et arborées alors qu'au Zimbabwe et en Afrique du Sud, il est établi dans les zones de savanes herbacées. Il est également retrouvé sur les côtes d'Angola (Wickens, 1982). En dehors du continent africain, le baobab a été également introduit en Inde et au Sri Lanka par les commerçants arabes, tout comme les commerçants portugais et français l'ont fait dans d'autres régions: îles de la Réunion, Malaisie, Indonésie, Chine, Taiwan, Philippines, Guyane, Nouvelle Calédonie, Cuba, Haïti, République Dominicaine, Martinique, USA (Hawaï, Floride, Virginie, Puerto Rico), Jamaïque, Antilles Néerlandaises, Montserrat, Dominique, St Kitts et Nevis, St Lucia, St Vincent et les Grenadines, Trinidad et Tobago, et Barbados (Wickens, 1982).

3.4 Agroécologie (FAO, 1981 & FAO, 1988)

La distribution du baobab sur le continent africain par zone climatique telle qu'identifiée par la FAO (1981, 1988) est présentée dans le tableau 3.3 et sur la figure 3.2. Ces zones incluent les zones sahéliennes, soudano-sahélienne et soudanienne en Afrique de l'ouest alors qu'en Afrique de l'Est elles incluent les zones boisées à *Acacia-Commiphora* et *Combretum-Acacia* (FAO, 1981) ainsi que les savanes sèches semi-désertiques.

Le baobab supporte aussi bien des températures très élevées (40°- 42°C) que des températures très basses (Simpson, 1995). L'optimum se situe entre 20°-30°C (Simpson, 1995). Les altitudes pour une bonne croissance du baobab varient entre 450 et 600 m, mais plusieurs auteurs ont signalé sa présence à des altitudes comprises entre 1 m au Bénin à 1500 m en Ethiopie (Wickens, 1982; Wilson, 1988; von Carlowitz, 1991). Le baobab pousse également sur une gamme variée de sols. Il se rencontre sur des sols gravillonnaires non cultivés et sur des sols latéritiques (Thompson, 1910). Il se rencontre également sur les sols argileux (Harrison & Jackson, 1958), sableux (Rosevear, 1937; Jenik

& Hall, 1976), limoneux (Astle *et al.*, 1969). Il est aussi présent sur des sols pauvres mal drainés au Zimbabwe que sur les plateaux mal drainés du delta de Zambèze (Owen, 1974; Wickens, 1982).

Tableau 3.3: Croissance du baobab en relation avec les zones climatiques de l'Afrique

Croissance du baobab	Climat	Pluviométrie annuelle (mm)	Saison de pluie (mois) en Afrique de l'Est	Saison de pluie (mois) en Afrique de l'Ouest
1. Croissance très marginale	Typique	90+		
	Très aride	100-400	1-3	1-3
2. Croissance normale	Typique	300-800		
	Aride	200-400	2-3	2-3
	Semi-aride	400-600	4-5	3-5
	Sec et Sub-humide	600-800	5-6	4-5
3. Croissance occasionnelle	Typique	800-1000		
	Sub-humide	800-1000	6-7	5-7

Source: FAO (1991) & FAO (1988)

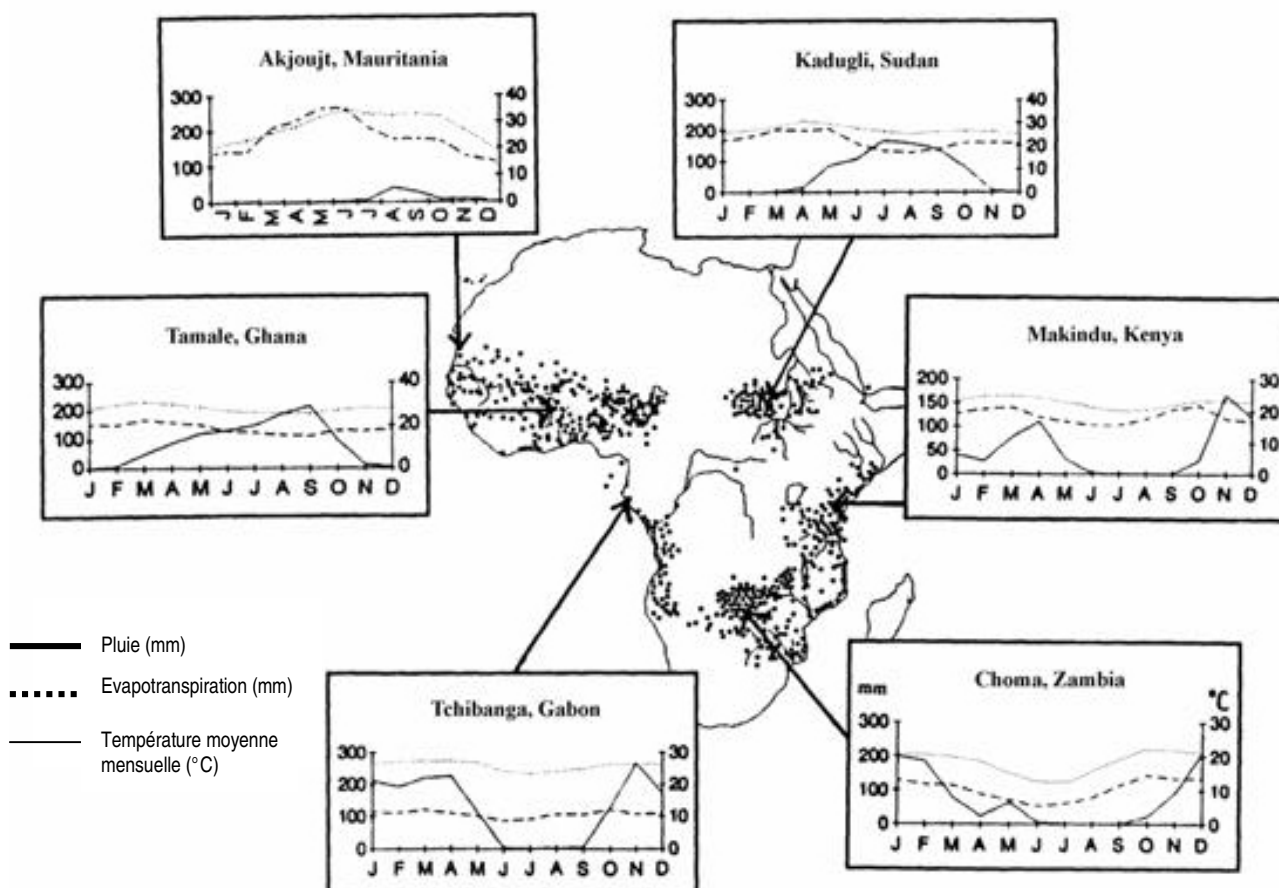


Figure 3.2: Climatogrammes des régions du continent africain dans lesquelles *Adansonia digitata* a été cartographiée par Wickens (Source: FAO, 1988)

3.5 Noms vernaculaires du baobab africain (*A. digitata*)

Partout où il est présent et connu, le baobab africain prend différents noms selon les pays voire les régions ou les groupes socio-linguistiques d'un même pays (Tableau 3.4).

Tableau 3.4: Noms Vernaculaires connus pour le baobab African

Langue	Pays	Nom
Anglais	-	Baobab, monkey bread tree, Ethiopian sour gourd, cream of tartar tree, Senegal calabash (fruit), upside down tree
Français	-	Baobab, pain de singe (fruit), arbre aux Calebasses, arbre de mille ans, calebassier du Sénégal
Portugais	-	Cabacevre
Arabe	Egypte	Buhibab, hamao-hamaraya, gangoleis (fruit)
-	Egypte	Habhab
-	Tchad	Hamar, hamaraya
-	Mauritanie	Teidoum
-	Soudan	Tebeldi, humr, homeira
Dinka	Soudan	Dungwol
Fon / Goun	Bénin	Kpassa
Yoruba/ Nago	Bénin	Osché
Dendi	Bénin	kôô
Bariba	Bénin	Sônbu
Ditamari	Bénin	Moutomu
More	Burkina-Faso	Trega, twega, toayga
Senufo	Burkina-Faso, Mali, Côte-d'Ivoire	Ngigne
Dogon	Mali	Oro
Sonrai	Mali	Konian, ko
Dierma	Mali	Konian
Bambara	Mali	Sira
Peulh	Mali	Babbe, boki, olohi
Mandinke	Mali	Sira, sito
Baule	Cote d'Ivoire	Fromodo
Hausa	Nigéria, Niger	Kouka, kuku
Wolof	Sénégal	Goui. gouis, lalo, boui
Serer	Sénégal	Bak
Dirla fogny	Sénégal	Boubakakou
Fulani	Nigéria	Boki, bokki
Amhara	Ethiopie	Bamba
Tigre	Ethiopie	Hemmer, duma
Yao	Malawie	Mlonje
Chichewa	Malawie	Mnambe, mlambe
Nkonde	Malawie	Mbuye
Somali, Kamba	Somalie, Kenya	Yag, mwambo
Swahili	Somalie - Mozambique	Mbuyu, majoni ya mbuyu (Tanzania)
Masai	Kenya, Tanzania	Olimisera ol-unisera
Meru	Kenya	Muramba

Langue	Pays	Nom
Ndebele	Zimbabwe	Umkhomo
Afrikaans and others	Afrique du Sud	Kremetart, kremtartboom, mubuyu, muyu, mbuyu, mkulukumba, mlambe
Zulu	Afrique du Sud	Isimuhu, umshimulu
Creole	Ouest Indien	Mapou zombi
Hindi	Inde	Gorakh-imli, hathi-khatiyan
Tamil	Inde	Papparappuli, anaipuliya-marum
Gujarati	Inde	Sumpura
Telegu	Inde	Brahma-mlinka, seemasinta

Sources: Sidibe & Williams, 2002 et données personnelles non publiées

3.6 Autres études sur *A. digitata*

3.6.1 Importance alimentaire, médicinale et socio-économique

Les utilisations du baobab africain (*Adansonia digitata*) sont bien connues des populations locales dans toute son aire de distribution. Nombreux ont été des travaux qui ont porté sur *A. digitata* dans son aire de distribution. Les importances alimentaire et nutritionnelle d'*A. digitata* sont documentées par Nordeide *et al.* (1996); Sidibe *et al.* (1996); Delisle *et al.* (1997); Barminas *et al.* (1998); Sena *et al.* (1998) et; Yazzie *et al.* (1994). Ainsi, les jeunes feuilles ainsi que les graines sont utilisés dans la sauce dans plusieurs localités en Afrique (Bénin, Mali, Burkina, Sénégal, etc.). Elles peuvent être consommées crues ou bouillies comme légumes quand elles sont très jeunes. Elles peuvent également être séchées, pour stabiliser le produit, puis réduites en poudre avant leur commercialisation (Becker, 1983). Au Mali, les feuilles sont employées comme légumes dans la préparation des sauces qui accompagnent le couscous, le riz ou autres préparations à base de céréales (millet, sorgho, maïs) (Sidibe & Williams, 2002). Au Sénégal, la poudre de feuilles séchées appelée "lalo" en Wolof est utilisée comme liant dans la préparation du couscous de mil (Anon, 1993; Ndiaye *et al.*, 2003). Au Malawi et au Zimbabwe, les feuilles fraîches sont traditionnellement cuites à l'eau pour être consommées soit directement comme légumes, soit en soupes (Sidibe & Williams, 2002).

La pulpe est utilisée directement comme ingrédient dans diverses préparations pour ses propriétés liante, épaississante et acidifiante (Wickens, 1982; Kenne Fopa, 1994; Haddad, 2000; Codjia *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002). Elle entre ainsi dans la composition de nombreuses préparations céréaliers telles les bouillies ou couscous (par exemple, le "mutchoyan" au Bénin ou le "ngalakh" au Sénégal), de sauces ou de crèmes d'accompagnement (par exemple, crème sucrée à base d'arachides grillées et pilées au Sénégal). En outre, la pulpe sert à la mise au point de plusieurs formes de boisson rafraîchissante. Additionnée d'eau ou de lait à raison de (200 à 400) g/l, la pulpe du fruit du baobab peut être utilisée pour obtenir des boissons sucrées riches en vitamine C (François, 1994).

Une fois décortiquées, les graines peuvent être consommées après trempage dans de l'eau froide ou chaude éventuellement acidifiée ou alcalinisée, cuisson à l'eau bouillante, fermentation (par la flore endogène, à 25–30 °C dans des feuilles de bananier par exemple), séchage (le plus souvent séchage solaire pendant environ 24 h) ou grillage/torréfaction (Diop *et al.*, 2006). Le broyage au pilon de la graine permet d'en extraire une huile alimentaire (Sidibe & Williams, 2002). Pilées, les graines servent

d'épaississant dans de nombreuses sauces, soupes ou sont utilisées en association avec d'autres ingrédients (arachides par exemple) pour la préparation de crèmes sucrées (Codjia *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002).

En plus des utilisations alimentaires de la plante préalablement décrites, le baobab fait également partie intégrante des pharmacopées africaines. Les différents organes du baobab (graines, feuilles, pulpes, écorces) sont utilisés traditionnellement dans le traitement de plusieurs maladies notamment la diarrhée, l'asthme, les infections, la fatigue, la tension artérielle, l'anémie, les inflammations, l'empoisonnement, etc. (Kerharo, 1974; Wickens, 1982; Grand, 1985; Grand et Wondergem, 1985; Kenne Fopa, 1994; Ramadan, 1994; Glew *et al.*, 1997; Dweck, 1997; Anani K, 2000; Codjia *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002).

Plusieurs sont les utilisations autre qu'alimentaire et médicinale qui sont faites à partir des organes du baobab. Ainsi, l'écorce sert à la fabrication des fibres utilisées en artisanat (Sidibé et Williams, 2002); les capsules des fruits sont utilisés comme combustibles (Dovie *et al.*, 2001) et les feuilles servent à l'alimentation du bétail dans les systèmes agrosylvopastoraux du Sahel (Sidibé et Williams, 2002).

Aussi, la commercialisation des différents produits de transformations ainsi que des différents organes de l'espèce contribuent à l'économie des ménages (Ibiyemi *et al.*, 1988; Obizoba et Amaechi, 1993; Addy *et al.*, 1995; Igboeli *et al.*, 1997). Sur les marchés de Dakar, le prix du pain de singe débarrassé de sa coque (pulpe + graines + fibres) varie de 300 à 400 FCFA / kg selon la période de l'année (Diop *et al.*, 2006). L'espèce possède aussi une valeur socio-culturelle confirmée (Adanson, 1771; Codjia *et al.*, 2001).

3.6.2 Etudes morphologique et génétique sur *A. digitata* et autres espèces de la famille des Bombacaceae

Depuis plus d'un siècle, des études avaient déjà révélé des différences morphologiques au sein des individus d'*A. digitata*. Ainsi, Oliver (1868) et Chevalier (1906) avaient noté que les arbres de baobab retrouvés en Mozambique présentent des feuilles différentes de celles observées sur les baobabs dans d'autres pays. Mieux, Worsfold (1899) et Chevalier (1906) avaient noté divers types de fruits pour le baobab en Afrique de l'Ouest et au Nord de la Mozambique.

Jusqu'à présent, les recherches effectuées du point de vue génétique ont surtout porté sur la détermination du nombre de chromosome en vue de mieux distinguer d'une part l'espèce africaine (*Adansonia digitata*) des 6 autres espèces de Madagascar et de l'espèce australienne et d'autre part en vue de bien le classer dans la famille des Bombacaceae (Miege, 1974; Fussel, 1992; Baum & Oginuma, 1994; Danthu *et al.*, 1994; Kwesiga & Mwanza, 1994; Minae *et al.*, 1994).

En dehors des études ci-dessus mentionnées, très peu de travaux ont porté sur la diversité génétique des espèces de la famille des Bombacaceae. Tout récemment, Brondani *et al.* (2003) ont développé des microsatellites sur *Ceiba pentandra*, une espèce de la famille des Bombacaceae qui se trouve parfois dans les mêmes habitats qu'*A. digitata* au Bénin.

CHAPITRE 4

ASPECTS ETHNOBOTANIQUES ET IMPORTANCES SOCIO-CULTURELLE ET ECONOMIQUE DU BAOBAB AU BENIN

Adapté à partir de: Assogbadjo A. E., De Caluwé E., Sinsin B., Codjia J.T.C. & Van Damme P. (2006). Ethnobotanical knowledge and importance of baobab (*Adansonia digitata*) in Benin. *Proceedings of the IVth International Congress of Ethnobotany* (ICEB 2005).

CHAPITRE 4 - ASPECTS ETHNOBOTANQUES ET IMPORTANCES SOCIO-CULTURELLE ET ECONOMIQUE DU BAOBAB AU BENIN

4.1 INTRODUCTION

En Afrique, les populations locales sont extrêmement dépendantes des produits issus de la forêt comme le gibier, les plantes alimentaires et médicinales, les champignons, les chenilles, le miel et les épices pour leur alimentation (Eyog Matig *et al.*, 2002). Les peuples ont toujours disposé de connaissances ethnobotaniques traditionnellement très riches grâce aux diversités culturelles et écologique de l'environnement dans lequel ils vivent (Van den Eyden *et al.*, 1994). Selon Vandebroek *et al.* (2004), ces connaissances reflètent la richesse des végétations dans lesquelles vivent ces peuples autochtones: plus la végétation est riche, plus il y a d'espèces qui sont utilisées par les populations.

Malgré la richesse de la biodiversité en Afrique, son agriculture rencontre de nombreuses difficultés qui entravent son développement économique et le bien-être de ses populations. La résolution de ces problèmes passera par la diversification de l'agriculture à travers la valorisation de toutes les ressources et le développement de nouveaux systèmes de production qui permettront d'augmenter de façon durable la productivité des ressources naturelles tout en sauvegardant le capital environnemental pour les générations futures. Ceci nécessite une meilleure connaissance du potentiel des ressources naturelles disponibles et déjà intégrées dans la culture des populations rurales. Ainsi, de nombreux auteurs s'intéressent de plus en plus à l'évaluation de la contribution des ressources forestières alimentaires à l'économie des ménages (Ibiyemi *et al.*, 1988; Obizoba et Amaechi, 1993; Addy *et al.*, 1995; Igboeli *et al.*, 1997; Ndoye *et al.*, 1999). Par exemple, la demande potentielle de fruits et d'amandes de *Irvingia gabonensis* dans le Sud du Nigeria a été estimée à 80.000 tonnes/an par Leakey et Maghembe (in Ndoye *et al.*, 1999). En outre, la commercialisation des amandes d'*Irvingia gabonensis* et des fruits de *Cola acuminata* ont généré en 1996 respectivement 47 millions de francs CFA (\approx 71650 €) et 35 millions de francs CFA (\approx 53350 €) aux commerçants camerounais impliqués dans le commerce de ces deux produits (Ndoye *et al.*, 1999).

Par ailleurs, la recherche ethnobotanique en Afrique a principalement été centrée sur les relevés des noms vernaculaires et l'utilisation des plantes (Cunningham, 1997), mais aussi des noms scientifiques surtout en zone soudano-sahélienne (Aubréville, 1950; Kerharo & Adam, 1974; Malgras, 1992; Arbonnier, 2000), puis en Afrique australe (Watt & Breyer-Brandwijk, 1962; 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 de: Adjanohoun *et al.* (1980) au Niger; Adjanohoun *et al.* (1981) au Mali; Van de Eynden *et al.* (1994) au Sénégal et de Ambé (2001) dans les savanes guinéennes de la Côte d'Ivoire auprès de l'ethnie *malinké*.

Au Bénin, à part les travaux d'Adjanohoun *et al.* (1989) sur les plantes médicinales, il n'en existe pas d'autres qui traitent généralement des connaissances ethnobotaniques des populations rurales. Cependant, il faut signaler des travaux éparses qui ont porté sur les connaissances de certains groupes ethniques sur des espèces de plantes alimentaires et médicinales. Entre autre, on peut citer les travaux de Assogbadjo (2000) sur les ressources forestières alimentaires de la forêt classée de la Lama au sud

du Bénin; de Codjia *et al.* (2001) dans le domaine soudanien sur le baobab (*Adansonia digitata*) et de Ouinsavi *et al.* (2005) sur l'iroko (*Milicia excelsa*).

Aujourd'hui, les produits ligneux exploités et consommés par les populations deviennent de plus en plus rares dans les systèmes agroforestiers du Bénin (FAO, 1998). Cette situation s'explique par la pression démographique, la surexploitation de ces ressources et le manque d'informations sur les techniques de propagation des espèces concernées en vue de leur reconstitution (Eyog Matig *et al.*, 2002). Ceci menace la sécurité alimentaire et les sources de revenus d'appoint des populations.

Face aux menaces d'ordres anthropique et climatique sur la survie des ressources forestières et dans le contexte économique de manque de moyens financiers pour essayer de tout faire, il importe d'acquérir le plus possible d'informations sur les espèces forestières locales. Pour plus d'efficacité, ces informations doivent prendre en compte les espèces pour lesquelles les communautés paysannes disposent d'un savoir-faire et de savoir traditionnels nés d'une longue expérience avec l'utilisation des produits, en vue d'en sélectionner et domestiquer au moins les plus intéressantes.

Au nombre de ces ressources figure *A. digitata*, une espèce à usage multiple en Afrique (Sidibé & Williams, 2002). Les diverses utilisations alimentaires et médicinales des organes du baobab ont été récapitulées par plusieurs auteurs (Sidibe *et al.*, 1996; Delisle *et al.*, 1997; Barminas *et al.*, 1998; Sena *et al.*, 1998; Yazzie *et al.*, 1994; Dweck, 1997; Codjia *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002). Ces travaux ont révélé entre autres, l'utilisation de la poudre des feuilles, de la pulpe et des graines dans le traitement de l'asthme, la fatigue, des otites, des plaies cutanées et dans la régulation de la tension artérielle. Il a aussi été noté dans la médecine traditionnelle indienne, l'utilisation de l'écorce comme antipyrétique et de la pulpe contre la diarrhée et la dysenterie (Dweck, 1997; Sidibé & Williams, 2002). En outre, Adesanya *et al.* (1988) ont signalé l'utilisation de cette dernière contre l'anémie au Nigéria. En Afrique de l'Est, Wickens (1982) a démontré la présence dans l'écorce, la pulpe et les graines d'antidotes contre le poison issu de *Strophantus* spp.. De leur côté, Andrianaivo-rafehivola *et al.* (1995) ont démontré l'efficacité de l'huile extraite des graines de baobab dans la lutte contre les maladies du foie alors que Baumer (1995) a signalé l'exportation de la pulpe de Soudan vers les industries pharmaceutiques britanniques qui l'utilisent dans la fabrication de produits anti-inflammatoires (extraits aqueux de stéroïdes, saponins et de triterpènes: <http://www.baobabfruitco.com/Eng/BaobabFruit.htm>).

Au Bénin, les études sur les usages ethnobotaniques d'*A. digitata* sont assez récentes avec les travaux de Fonton-Kiki (2001), Codjia *et al.* (2001, 2003) et Decaluwe (2005). Ces travaux, pour la plupart ont fait ressortir qu'*A. digitata* est une espèce bien connue et appréciée des communautés locales béninoises pour ses utilités médicinales, alimentaires, culturelles et économiques.

Compte tenu de l'importance de l'espèce pour les communautés rurales (Codjia *et al.*, 2001) et les insuffisances signalées à sa valorisation et à sa domestication surtout à cause d'un manque de connaissances ethnobotaniques (Eyog Matig *et al.*, 2002), il importe d'élargir et d'approfondir les connaissances pour sa valorisation économique, son utilisation et sa gestion ultérieure plus durable *in situ* et *ex situ* dans les systèmes agroforestiers traditionnels. En conséquence, la présente étude s'accorde avec la préoccupation du gouvernement béninois en matière de prise en compte des savoirs locaux dans la gestion des ressources naturelles (MEHU, 2002).

L'étude a donc pour objet principal, de documenter la place du baobab dans l'arsenal culturel des différents groupes ethniques du Bénin et de faire ressortir son importance socio-économique en vue de son intégration future dans une économie formelle au Bénin, voire même ailleurs.

4.2 MATERIEL ET METHODES

4.2.1. Choix des localités d'enquête et des ménages

Le choix des localités d'enquête (communes) a été effectué à la suite d'une étude exploratoire effectuée dans 147 villages répartis dans l'ensemble des 87 communes du Bénin. Cette exploration visait d'une part, l'étude de la distribution et de l'abondance relative du baobab dans chacune de ces zones agroclimatiques du Bénin (cf. chapitre 5) et d'autre part, l'identification des localités (communes) dans chacune de ces zones, où les populations accordent un intérêt pour *A. digitata*. En outre, selon FAO (1998), il existe dans chaque zone agroclimatique du Bénin, des groupes socio-culturels qui ont donné naissance à un certain nombre d'entités homogènes du point de vue socio-linguistique et possédant une assise territoriale. Ce sont (i) dans la zone soudanienne ou nord du Bénin: les Dendi, Somba (Otamari), Djerma, Haoussa et Peulhs (Fulani); (ii) dans la zone de transition soudano-guinéenne ou centre du Bénin: les Lokpa, Datcha (Nago) et Yoruba et enfin; (iii) dans la zone guinéenne ou sud du Bénin: les Fon, Adja, Mina et Goun/Yoruba (figure 4.0). Les connaissances endogènes et l'alimentation des populations étant culturelles et donc variables d'un groupe ethnique à un autre, les enquêtes ont été donc effectuées dans toutes les zones agroclimatiques du Bénin en tenant compte des grands groupes socio-linguistiques ci-dessus énumérés.

Dans chaque zone agroclimatique, le choix des localités d'étude (communes) a été basé sur trois critères. Le premier critère est relatif à l'importance du baobab pour les populations locales, ceci pour avoir des informations assez précises sur les utilisations de l'arbre. Cette importance a été mesurée dans chaque localité (durant l'étude exploratoire) par l'abondance du baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels (cf. chapitre 5 pour les détails) puis par l'utilisation ou non des produits de baobab dans l'alimentation des populations locales (obtenu par enquête). Le deuxième critère de choix des localités d'étude était relatif à l'existence dans ces dernières, de marchés où les produits de baobab sont commercialisés, ceci pour s'assurer de l'importance économique de l'arbre pour les populations locales. L'existence de tels types de marchés dans les localités, a été révélé durant les études exploratoires sur base d'observation directe au cas où notre visite coïncidait avec la période de disponibilité des produits sur le marché ou sur base d'enquête avec les populations locales au cas où notre passage dans la localité ne coïncidait pas avec les périodes de disponibilité des produits sur le marché. Enfin, le troisième critère est relatif à la prise en compte dans les enquêtes des grands groupes socio-linguistiques du Bénin, ceci pour avoir une variabilité de sources d'informations sur les diverses utilisations du baobab selon différents groupes ethniques.

En tenant compte des critères ci-dessus énumérés, 7 communes réparties dans l'ensemble des 3 zones agroclimatiques du Bénin ont été considérées (Tableau 4.1). Dans chaque commune échantillonnée, des enquêtes préliminaires ont d'abord été effectuées dans 30 ménages pris au hasard afin d'identifier, (i) les ménages ayant leurs propres pieds de baobab se trouvant dans leurs champs ou

dans leurs habitations, (ii) les ménages n'ayant pas de pieds de baobab dans leurs habitations et dans leurs champs, mais intéressés par les produits de baobab et les consommant régulièrement puis enfin, (iii) les ménages impliqués dans la transaction commerciale des produits de baobab. Nous avons choisis les critères ci-dessus énumérés pour nous assurer de la fiabilité des réponses qui nous seront données à la suite des enquêtes ethnobotaniques dans les différentes localités.

A la suite de cette pré-enquête, 55 ménages, représentés par 320 personnes, ont été retenus dans l'ensemble des zones agroclimatiques du Bénin. Le tableau 4.1 présente la taille de l'échantillon par zone et par localité de même que les groupes socio-linguistiques concernés.

4.2.2 Choix des marchés pour l'étude de cas

Nous avons conduit une étude préliminaire (étude de cas) dont l'objectif est d'évaluer la contribution de la vente des produits de baobab à l'économie des ménages impliqués dans leur commercialisation. Ne disposant pas de documentation et de littérature adéquate sur des statistiques relatives à la filière baobab au Bénin (circuits de commercialisation, revenu généré par la vente des produits pour les populations, types d'acteurs impliqués, le transport des produits, etc.), nous avons préalablement procédé à des enquêtes auprès des services étatiques départementaux et nationaux ayant en charge le développement du secteur agricole au Bénin. Ces enquêtes ont comme objectif d'identifier une commune du Bénin où la commercialisation des produits de baobab s'effectue intensément avec les pays de la sous-région (pays voisins du Bénin) et avec d'autres villes du pays. Pour confirmer les résultats d'enquête auprès des services étatiques, nous avons également réalisé une enquête exploratoire dans l'ensemble des localités où se commercialisent les produits de baobab. A la suite de ces enquêtes préliminaires, il ressort que la commune de Malanville (Nord-Bénin) est celle dans laquelle la commercialisation des produits de baobab est plus intense et transfrontalière. En conséquence, la commune de Malanville a été retenue pour évaluer, à travers une étude de cas, l'importance économique du baobab pour les populations locales impliquées dans la vente de ses produits. Dans la commune de Malanville, quatre marchés ont donc été choisis dont trois ruraux (Sankawa, Guéné, Garou) et un urbain (marché de Malanville). Leur choix est fondé sur, (i) l'importance de la vente des produits de baobab, (ii) l'existence de circuits de distribution des produits de baobab et enfin, (iii) l'importance du nombre d'acteurs impliqués dans la commercialisation des produits de baobab. Néanmoins, des informations supplémentaires liées aux circuits de distribution des produits de baobab ont été recueillies lors des études exploratoires dans les autres localités où, ils sont commercialisés.

4.2.3 Enquête ethnobotanique

Préalablement à l'enquête ethnobotanique, un questionnaire a été testé sur 10 volontaires. Ce test a permis de réviser la formulation et l'ordre des questions. Le questionnaire finalement adopté comporte quatre grandes rubriques: (i) l'identité des enquêtés et de leur village. Ceci a pour but de créer un climat de confiance entre les enquêtés et les enquêteurs; (ii) les utilisations (modes d'accès aux organes, utilisations alimentaires, technologies endogènes de transformation des parties utilisées, techniques de

conservation des organes, utilisations thérapeutiques en pharmacopée traditionnelle, rôles culturels et commerce); cette rubrique a permis de capitaliser en plus des différentes utilisations des produits de baobab, les formes de valorisation et les diagrammes technologiques de transformation de différents organes de baobab en milieu paysan; (iii) les critères de différenciation au niveau local des individus de baobab; cette rubrique permet de connaître les préférences des populations locales qu'il va falloir privilégier dans les programmes de sélection et de domestication de l'espèce; et (iv) les menaces exercées par les populations locales sur l'espèce; ceci a permis de recenser les différentes formes de mutilation de l'espèce afin de déduire leur impact sur sa survie.

Toutes les rubriques du questionnaire concourent à justifier la nécessité de domestiquer *A. digitata* en vue de la rendre encore plus accessible aux communautés paysannes.

Les enquêtes se sont déroulées avec différentes personnes, hommes et femmes de différents âges. Nous avons essentiellement réalisé des enquêtes de groupe le plus souvent composés de 5, 6 ou 7 personnes. Ce type d'interview est un exercice 'stimulant' permettant de recueillir des informations fiables puisqu'il favorise les confrontations entre individus du groupe et permet par conséquent d'aboutir à des informations approuvées par l'ensemble du groupe (Alexiades, 1996). Puisque l'entretien de groupe ne permet pas toujours à tous les membres du groupe de s'exprimer librement et spontanément compte tenu des pesanteurs sociales, les informations ont donc été complétées par des enquêtes individuelles.

Pour plus de précision dans le domaine ethnomédicinal, les personnes âgées, les guérisseurs et les agents forestiers ont individuellement été ciblés pour des entretiens. Ces derniers ont été effectués sur base de questions ouvertes, indirectes et directes et en langue vernaculaire. Nous avons choisi cet outil parce qu'il a l'avantage de susciter de nouvelles questions (Alexiades, 1996; Kouyaté 2005).

Les enquêtes ont été effectuées, le plus souvent sous couvert du chef de village, aussi bien les matins que les soirs, pendant la saison des pluies parce qu'à ce moment, le calendrier agricole paysan est plus ou moins flexible et peu chargé (cultures déjà installées et désherbées, période de post-récolte).

Pour le traitement des données, les informations ont été regroupées par zone agro-écologique afin de pouvoir les comparer et proposer à l'échelle nationale des zones d'intérêt pour la domestication et la valorisation de l'espèce. Après le dépouillement des fiches d'enquête, le taux de réponse par type d'utilisation est exprimé par la formule utilisée par Kouyaté (2005) et qui se présente comme suit:

$f = S/N \times 100$ (1) avec,

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

N: nombre total de personnes interviewées.

Le coefficient de similarité de Jaccard, exprimant le degré de ressemblance entre différentes zones agro-écologiques en ce qui concerne l'utilisation des produits de baobab par les populations locales, a été calculé avec le logiciel SPSS 9.0. La matrice de similarité a été générée à partir du tableau montrant les diverses proportions d'utilisations des produits de baobab par les populations des différentes zones agro-écologiques.

4.2.4 Enquête sur les marchés: étude de cas de la commune de Malanville

Dans la commune de Malanville, identifiée pour sa réputation dans la commercialisation des produits de baobab, des enquêtes ont été réalisées sur 3 marchés villageois et sur le marché urbain régional de Malanville. Ceci a pour but (i) d'identifier les acteurs impliqués dans la commercialisation des différents produits du baobab, (ii) d'identifier les circuits de commercialisation et enfin, (iii) d'évaluer la masse monétaire générée par la vente des produits de baobab pour les populations impliquées dans leur commercialisation.

Cette étude est préliminaire et a été réalisée sur une période de 5 mois (décembre à avril), correspondant à la période de disponibilité des produits de baobab sur les marchés de la commune de Malanville.

Les jours de marché, tous les acteurs impliqués dans la commercialisation des produits de baobab ont été recensés et leurs produits destinés à la vente sur le marché systématiquement pesés au début et à la fin des ventes grâce à l'utilisation de pesons ou de balances. De plus, les prix par quantité de chaque produit sont relevés chaque jour de marché. Tout ceci a permis de connaître en plus des quantités vendues par jour de marché, la provenance et la destination des différents produits apportés sur le marché, la variation des prix selon les périodes et marchés, les différentes unités de mesure utilisées, les revenus générés par la vente des produits pour les commerçants.

Pour les calculs économiques, nous avons pris en compte, les prix moyens de détail des vendeurs dans les marchés étudiés. La masse monétaire générée par produit et par marché local a été calculée par la formule utilisée par Codjia *et al.* (2003) et qui se présente comme suit:

$$M = Q \times P_m \text{ (1) avec,}$$

$$Q = \sum q_i \text{ (2); et}$$

$$P_m = \sum P_j / n \text{ (3);}$$

q_i étant la quantité commercialisée par le vendeur i durant toute la période (décembre – mai) et P_m étant le prix moyen de vente en détail du produit calculé à partir de la somme des prix pratiqués pour le produit j (P_j) par jour de marché sur le nombre total de jours de marché (n) durant cette même période.

Enfin, les exportations des produits de baobab du marché urbain de Malanville vers le Niger de 1997 à 2003 ont été collectées dans les registres du service de l'environnement de Gaya au Niger.

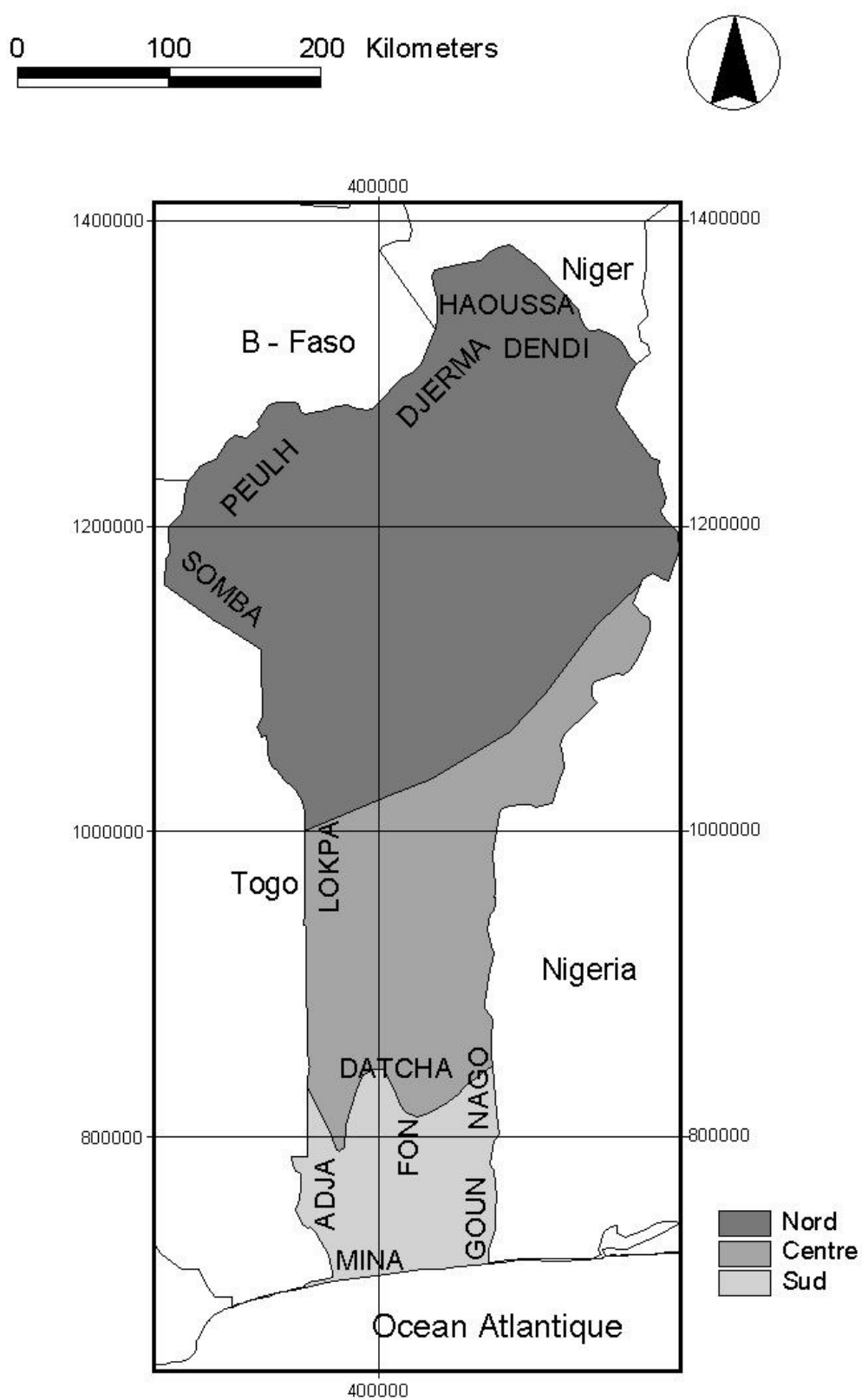


Figure 4.0: Principaux groupes socio-linguistiques étudiés
(Carte réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006).

Tableau 4.1: Caractéristiques des échantillons interviewés par zone et par localité de même que les groupes socio-linguistiques concernées pour l'enquête ethnobotanique sur le baobab

Zones agroclimatiques (Adjanonhoun et al., 1989)	Arrondissements	Nombre de ménages échantillonnés	Nombre de personnes interviewés	Groupes socio-linguistiques (ethnies)
soudanienne (nord du Bénin)	Boukoubé	19	102	Otamari (Somba),
	Porga	4	23	Peulhs (Fulani)
	Malanville	12	75	Dendi, Peulhs (Fulani); Djerma, Haoussa
soudano-guinéenne (centre du Bénin)	Bassila	5	33	Lokpa
	Dassa	6	27	Datcha (Nago)
guinéenne (sud du Bénin)	Porto-Novo	5	32	Fon (Goun), Yorouba
	Comè	4	28	Adja, Mina, Fon
Total	7	55	320	11

4.3 RESULTATS

4.3.1 Techniques endogènes de cueillette des feuilles et des fruits de baobab

Dans le sud et le centre du Bénin, les feuilles ne sont pas utilisées par les populations et ne font pas objet de cueillette. Les fruits quant à eux ne sont pas aussi cueillis de l'arbre; ils sont utilisés par les populations qu'après leur chute de l'arbre. En conséquence, nous n'avons pas identifié de techniques particulières pour la cueillette des feuilles et des fruits dans les localités du sud et du centre du Bénin.

Dans le nord du Bénin par contre, les feuilles et fruits de baobab sont cueillis par les populations locales et sont utilisés dans l'alimentation, la pharmacopée traditionnelle et le commerce. Dans cette région du Bénin, le matériel utilisé pour la récolte des fruits de baobab est un long bâton de bambou de 3 ou 4 m environ au bout duquel est fixé un petit crochet de bois long de 30 cm. En outre, la cueillette des feuilles se fait à l'aide d'un coupe-coupe tranchant.

Dans le nord du Bénin, les paysans ont développé différentes techniques d'aménagement (cueillette) vis-à-vis des arbres de baobab pour favoriser, à leur gré, une plus grande production de feuilles ou de fruits. Les ménages possédant des baobabs dans leurs champs ou dans leurs habitations s'accordent d'abord sur le type de produits (fruits ou feuilles) à privilégier dans les opérations de cueillette. Les propriétaires de baobab (ménages possédant leurs propres pieds de baobab) procèdent alors à un aménagement au niveau des arbres, suivant une logique paysanne. Dans le cas où le choix est de faire produire par le baobab, des feuilles de bonne qualité, toutes les grandes branches de l'arbre sont élaguées avec un coupe-coupe. L'arbre est donc mis à nu (photo 4.1). Les fruits en ce moment deviennent rares la saison qui suit mais en retour l'arbre produit de feuilles jugées d'excellente qualité par les populations. Si, ce sont plutôt les fruits qui intéressent le plus, seules les petites branches

tertiaires sont élaguées (photo 4.2). En ce moment, la récolte des fruits est abondante la saison qui suit, mais dans le même temps, l'arbre ne produit plus beaucoup de feuilles de bonne qualité.

Souvent, ce sont les feuilles qui sont privilégiées pour des raisons d'ordre économique et alimentaire. Pour palier au déficit de fruits enregistré, les populations se rabattent sur les peuplements naturels de baobab. Le traitement sylvicole (élagage des branches) appliqué aux pieds de baobab des habitations et champs au Nord-Bénin fait que les individus présentent un aspect végétatif beaucoup plus important que ceux naturels et ceux observés dans le Sud-Bénin où les feuilles sont très peu utilisées à des fins alimentaires. La quasi-totalité des femmes ont reconnu que les feuilles sont de meilleure qualité l'année qui suit l'élagage abusif des branches.



Photo 4.1 : élagage des branches principales favorisant chez le baobab la production de feuilles de bonne qualité



Photo 4.2 : élagage des branches tertiaires favorisant chez le baobab une plus grande production de fruits au détriment de la production de feuilles de bonne qualité

(Photos Assogbadjo, 2005)

4.3.2 Utilisations alimentaires et technologies traditionnelles de transformation des organes du baobab

Dans le sud du Bénin, les graines et les feuilles de baobab ne sont pas consommées par les populations locales. Seule la pulpe est consommée par 82 % des personnes interviewées dans cette zone agroclimatique du Bénin.

Dans le centre du Bénin, les graines ne sont pas consommées par les populations locales. Les feuilles et la pulpe, sont respectivement consommées par 21 % et 98 % des personnes interviewées dans cette zone.

Contrairement aux deux autres zones, les populations des différents groupes socio-linguistiques du Nord-Bénin disposent de plus de connaissances sur les utilisations alimentaires des produits de baobab. Le tableau 4.2. présente les différents produits obtenus à partir des organes de baobab et qui sont utilisés dans l'alimentation des populations locales du Nord-Bénin.

Il ressort du tableau 4.2 que les feuilles sont essentiellement utilisées par les populations du Nord-Bénin dans la préparation de sauce (99 %) et comme légume feuille (91 %). La pulpe quant à elle est utilisée dans la préparation de la bouillie (54 %), des boissons (64 %) , de la pâte (64 %) et comme dessert (16 %). Les graines sont principalement utilisées dans la préparation de la sauce (95 %) alors que respectivement 48 %, 41 %, 3 % et 9 % des personnes interviewées dans le Nord-Bénin utilisent respectivement l'enveloppe de la capsule, la fleur, l'écorce de l'arbre et des branches dans la fabrication de la potasse.

Tableau 4.2: Pourcentage de personnes utilisant différents organes de baobab à divers usages alimentaires au Nord-Bénin (n = 200)

Organes	Feuilles	Capsule			Fleur	Racine des plantules	Ecorce	Branches
		Pulpe	Graines	Enveloppe				
Usages alimentaires								
Potasse	0	0	0	48	41	0	3	9
Bouillie	0	54	0	0	0	0	0	0
Boisson	0	64	0	0	0	0	0	0
Légume	91	0	0	0	0	0	0	0
Moutarde	0	0	5	0	0	0	0	0
Pâte	0	64	0	0	0	0	0	0
Sauce	99	0	95	0	0	0	0	0
Epice	0	0	0	0	0	0	2	0
Dessert	0	16	0	0	1	7	0	0

4.3.2.1 Consommation et transformation des feuilles

Les feuilles fraîches cueillies sont séchées au soleil puis moulues. On procède ensuite au tamisage conduisant à l'obtention d'une poudre verte, utilisée dans l'assaisonnement des sauces (99% des personnes interviewées dans le Nord-Bénin). Cette forme d'utilisation des feuilles de baobab a été observée dans les ménages Haoussa. Les populations de ce groupe socio-linguistique ont un intérêt beaucoup plus marqué pour la poudre verte des feuilles dont la sauce dénommée « *Miya Kouka* » (Haoussa), est régulièrement mangée pour purifier l'organisme.

Les feuilles sont aussi directement utilisées comme légumes feuilles (91% des personnes interviewées dans le Nord-Bénin) (figure 4.1). Les jeunes feuilles servent à préparer une sauce dénommée "*tutonakankounti*" en milieu Otamari ou "*Kô Foy Tayo*" en milieux Dendi et Djerma, trois groupes ethniques situés dans le septentrion du Bénin. Ces dénominations linguistiques signifient littéralement 'sauce de feuilles fraîches de baobab' qui accompagne la pâte de mil, de maïs ou de sorgho.

Les résultats de l'enquête menée auprès des ménages du Nord-Bénin sur les consommateurs de feuilles de baobab se présentent comme suit:

- 64 % de gens consomment les feuilles dans une sauce au moins une fois par jour pendant en moyenne 5 jours dans la semaine et ceci durant toute l'année;
- 30 % les utilisent 2 ou 3 jours dans la semaine; tandis que
- 6 % au moins un jour dans la semaine.

En revanche, chez les Fons, Adja, Mina du Sud-Bénin (zone guinéenne) et les Dactcha et Mahi du Centre-Bénin (zone soudano-guinéenne), les populations rurales utilisent très peu ou presque pas du tout les feuilles (à peine 1 %) de baobab pour les sauces.

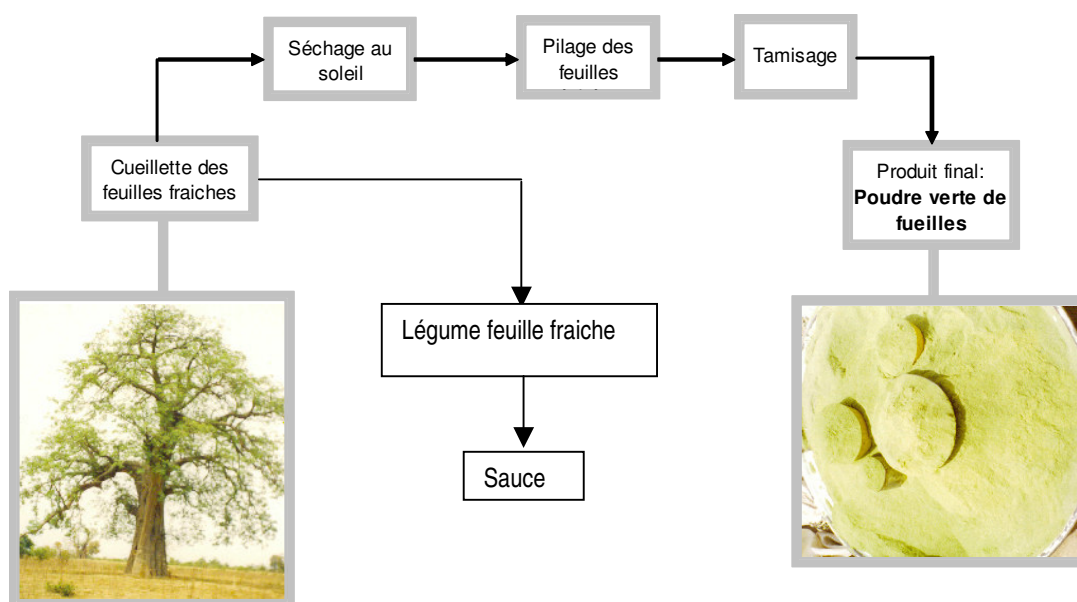


Figure 4.1 : Diagramme de transformation des feuilles de baobab

(Source: enquêtes ethnobotaniques. **Photos**: Assogbadjo, 2005)

4.3.2.2 Extraction, consommation et transformation de la pulpe

L'extraction de la pulpe de fruit de baobab se présente comme suit: les capsules réceptionnées sont concassées pour libération des graines enrobées de pulpe. Ces dernières (graines + pulpe) sont ensuite séchées pour être pilées. La dernière étape de l'extraction de la pulpe consiste à tamiser le produit pilé au cours de laquelle la pulpe est séparée de la graine (figure 4.2). Le produit final est une pulpe farineuse à usage multiple. Elle est utilisée en milieu rural (Nord-Bénin) dans la préparation de boissons (64%), d'une pâte acide (64%), d'une bouillie (54%) et comme dessert (16%) (tableau 4.2).

La production de jus de baobab à base de sa pulpe dans le nord du Bénin consiste à (i) débarrasser le fruit de baobab de son pédoncule, (ii) nettoyer et percer la capsule à sa partie supérieure au point d'attache du pédoncule; (iii) introduire une quantité appréciable d'eau. Après agitation du mélange (contenu de la capsule + eau), on obtient un jus concentré qui après tamisage donne une boisson très

agréable à boire appelé "*Kô ba you*" chez les ethnies Djerma et Dendi. Cette boisson est souvent consommée par les paysans (Photo 4.3) durant la récolte des produits agricoles.

Le "*mutchoyan*" chez les Otomari est une pâte acide (Photo 4.4) faite avec de la pulpe de baobab et de la farine de céréales. La première étape de la fabrication de cette pâte consiste à extraire la solution de pulpe du baobab après trempage des graines dans l'eau. On procède ensuite au tamisage du mélange afin de le débarrasser des fibres et des graines. On ajoute la solution de pulpe obtenue à une pâte de céréale (maïs ou du sorgho) donnant lieu à une pâte acide. Cette dernière est utilisée comme ferment dans la préparation d'une autre pâte acide sans utilisation de pulpe de baobab.

L'avantage du "*mutchoyan*" est qu'il peut être conservé durant une semaine sans subir une quelconque dégradation. La pulpe est également utilisée comme substitut de lait à l'état frais que l'on dilue dans de la bouillie chez les Dendi, Haoussa et Djerma. En milieu Dendi, ce mélange est surtout servi au cours des cérémonies de funérailles des vieillards d'un certain âge (70 à 80 ans), le baobab étant considéré par les populations de ces ethnies comme un arbre de longévité; il sert à désaltérer les gens à leur retour du cimetière.

La pulpe est aussi utilisée dans le caillage de lait chez les Peulh. Ce lait dénommé "*Houra*" chez les Haoussa et "*Donou*" chez les Djerma est très apprécié par ces groupes ethniques. Cette même pulpe mélangée à de la farine de mil ou de sorgho sert à préparer une bouillie dénommée "*Kö koumandi*" très consommée en période de pénurie alimentaire.

La pulpe est également utilisée par les petites entreprises traditionnelles de fabrication de produits laitiers ("*Houra*" et "*Donou*") à Malanville et Gaya au Niger. Elles mettent sur les marchés et à destination des villages périphériques une gamme de produits fabriqués à base de pulpe de baobab.

Dans le sud et le centre du Bénin, la pulpe n'est pas consommée sous forme de bouillie ou de pâte acide. Il n'existe quasiment pas de technologie endogène développée pour valoriser ce produit d'une autre manière dans cette région du pays. Cependant, elle est souvent directement consommée par les populations locales comme collation (80 %) ou très rarement sous forme d'une boisson (5 %) après avoir y ajouté une certaine quantité d'eau.

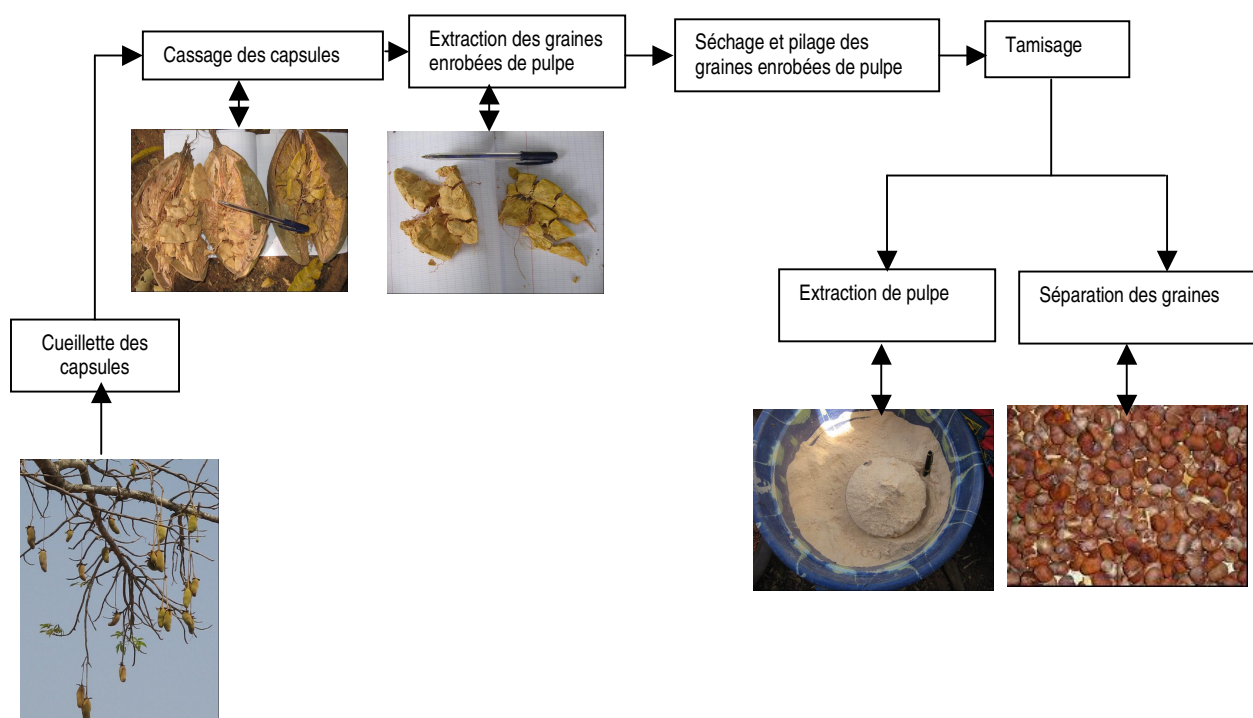


Figure 4.2: Diagramme d'extraction de la pulpe et des graines de baobab à partir des capsules
(Source: enquêtes ethnobotaniques. **Photos:** Assogbadjo, 2005)



Photos 4.3: Paysan Otamari fabricant une boisson rafraîchissante à base de la pulpe de baobab
(Source: enquêtes ethnobotaniques. **Photos:** De Caluwe, 2005)



Photos 4.4: Diagramme de la fabrication d'une pâte acide fermentée à base de la pulpe de baobab
(Source: enquêtes ethnobotaniques. **Photos:** De Caluwe, 2005)

Légende explicative: 1-2-3: préparation de la bouillie: la pulpe est séparée des graines par immersion dans l'eau; 4-5-6: les fibres et graines sont débarrassées de l'ensemble et la pulpe est dissoute dans l'eau; 5-6-7: la pulpe est mélangée à la farine de maïs ou du sorgho puis l'ensemble est bouilli, se solidifie et conduit à une pâte fermentée.

4.3.2.3 Consommation et transformation des graines

De la graine de baobab, est extraite l'amande (Photos. 4.5). Les graines sont généralement bouillies dans de l'eau pendant 2 ou 3 heures environ, en vue de faciliter le depelliculage. Après cuisson, on laisse refroidir puis la graine est manuellement débarrassée de sa pellicule donnant lieu à l'amande. La pellicule est utilisée comme engrais organique.

L'amande sert à la fabrication traditionnelle de nombreux concentrés de protéine servant à assaisonner la sauce. 95% des populations du Nord-Bénin utilisent les graines pour fabriquer différentes sortes de concentrés protéiniques. Après réception, les graines sont nettoyées et triées. Elles sont cuites pendant

2 ou 3 heures puis subissent une fermentation primaire pendant 48 heures. Ensuite, les graines sont pilées et soumises à une fermentation secondaire pendant 24 heures avant d'être séchées au soleil. On obtient ainsi un produit intermédiaire: la moutarde dite granuleuse. Il s'ensuit la mouture de ce produit intermédiaire, opération au cours de laquelle une certaine quantité d'eau est ajoutée. On obtient ainsi une pâte moulée sous forme de boule ou galette de moutarde constituant ainsi le produit final (Fig. 4.3). Cette dernière sert à préparer une sauce protéinique dénommée "*mantofaman*" en milieu Otomari recommandée aux hypertendus.

Pour un ménage de 6 à 8 personnes et pour trois repas, les populations utilisent en moyenne 2 kg de graines pour la fabrication du "*mantofaman*" (Fig. 4.3).

Les graines sont aussi transformées en "*mougou-mougou*" en milieu Dendi. Les graines réceptionnées sont nettoyées. Elles sont ensuite torréfiées pendant environ 1 heure. On laisse refroidir les graines torréfiées (grillées) pendant 10 à 15 minutes avant de les piler. Le produit pilé est ensuite tamisé deux ou trois fois à l'aide d'un tamis traditionnel dont la dimension des mailles est inconnue. Après tamisage, on ajoute du sucre ou du sel pour l'obtention du produit final dénommé "*mougou-mougou*" (Fig. 4.4). Ce mélange est surtout apprécié par les enfants. Pour cette fabrication, il faut pour un ménage de 6 à 8 personnes, une quantité d'un kilogramme de graines par repas. La figure 4.4 reprend les différentes étapes de cette fabrication.



Photos 4.5: Processus d'extraction d'amande de baobab à partir des graines de baobab

(Photos: De Caluwe, 2005)

NB: Les graines sont bouillies et décortiquées pour donner l'amande. L'enveloppe (à droite) est utilisée par les paysans comme engrais organique.

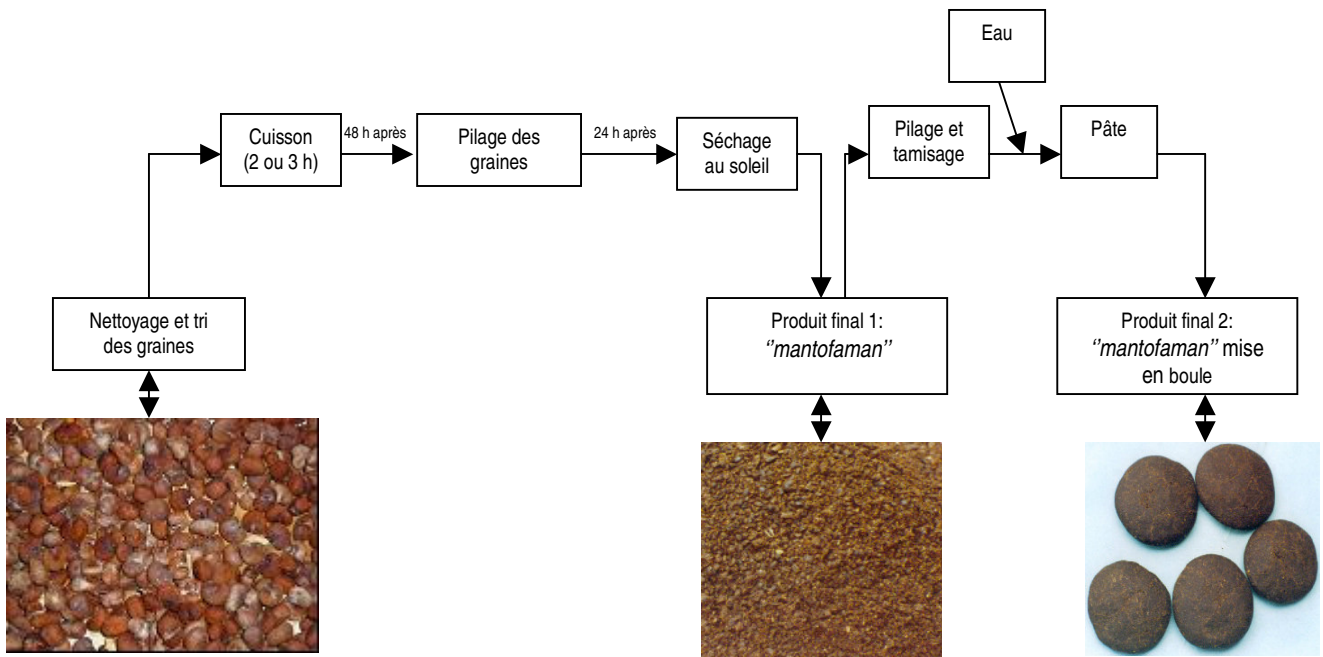


Figure 4.3: Diagramme de fabrication de "mantofaman" à partir des graines du baobab
(Source: enquêtes ethnobotaniques. Photos: Assogbadjo, 2005)

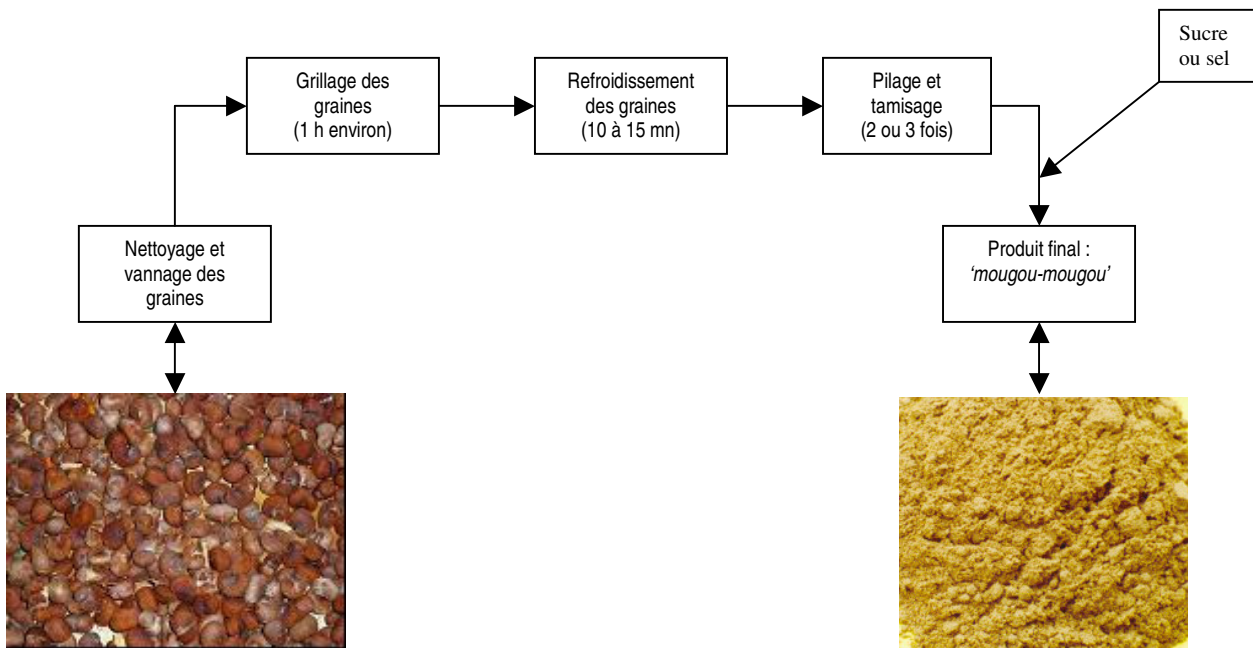


Figure 4.4: Diagramme de fabrication de "Mougou-mougou". Source: enquêtes ethnobotaniques.
(Photos: Assogbadjo, 2005)

La figure 4.5 fait une synthèse relativement détaillée des procédés de transformation en milieu rural de différents produits obtenus à partir des capsules de baobab.

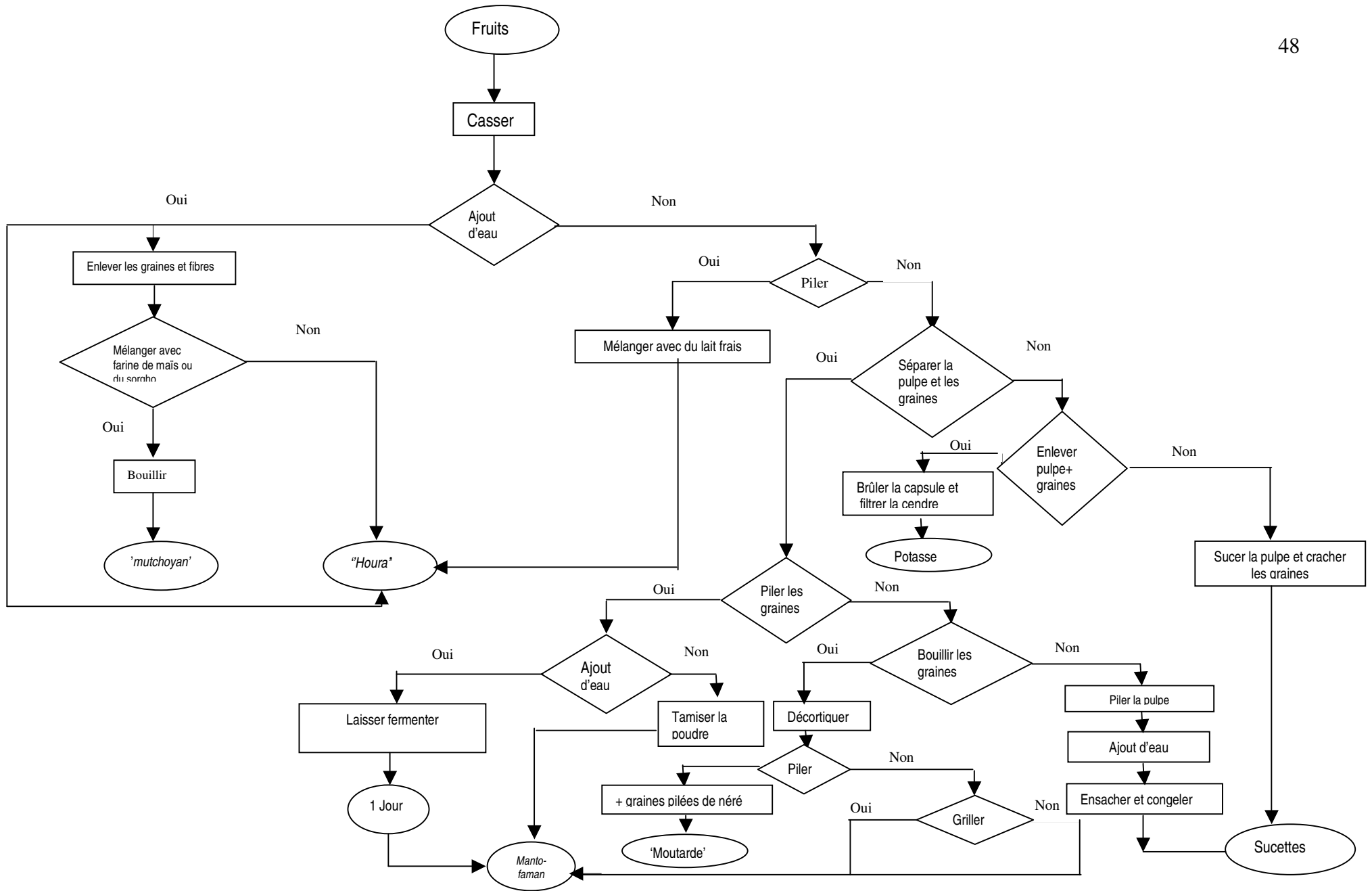


Figure 4.5: Diagramme des techniques endogènes de transformation des produits issus des capsules de baobab. Source: enquêtes ethnobotaniques

4.3.2.4 Consommation et transformation des fleurs

Les fleurs de baobab servent à la préparation de la 'potasse' (41 %) utilisée dans l'alimentation humaine. Le nectar est peu souvent succé (1%) surtout par les enfants comme dessert ou collation. La figure 4.6 présente le diagramme d'extraction de la potasse et du nectar utilisé accessoirement comme dessert par les populations rurales.

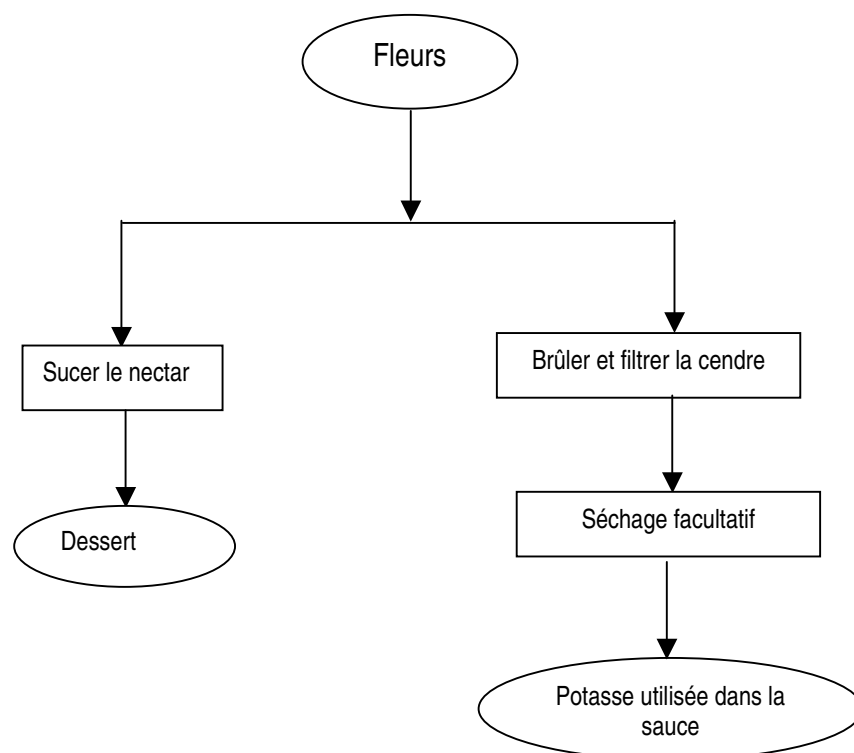


Figure 4.6: Procédé d'extraction de la potasse et du nectar à partir des fleurs. Source: enquêtes ethnobotaniques

4.3.2.5 Transformation des capsules, de l'écorce du tronc et des branches

La capsule, l'écorce du tronc et les branches tout comme les fleurs sont essentiellement utilisées dans la fabrication de la potasse. Elle rentre dans l'alimentation ou sert après saponification à la fabrication du savon surtout en milieu Datcha (Centre-Bénin). La technologie consiste à écraser les capsules et à les bouillir dans de l'eau. Au fur et à mesure de la cuisson, on ajoute de l'huile de palmiste (obtenue à partir des graines de *Elaeis guineensis*) ou de l'huile rouge (obtenue à partir des amandes de *Elaeis guineensis*) ce qui conduit à une saponification et par la suite à l'obtention du savon mis en boule et commercialisé localement sur les marchés (Photo 4.6). La potasse obtenue est également utilisée pour traiter l'indigestion et la nausée. La photo 4.6 montre le processus d'extraction de la potasse à partir de ces différents organes.

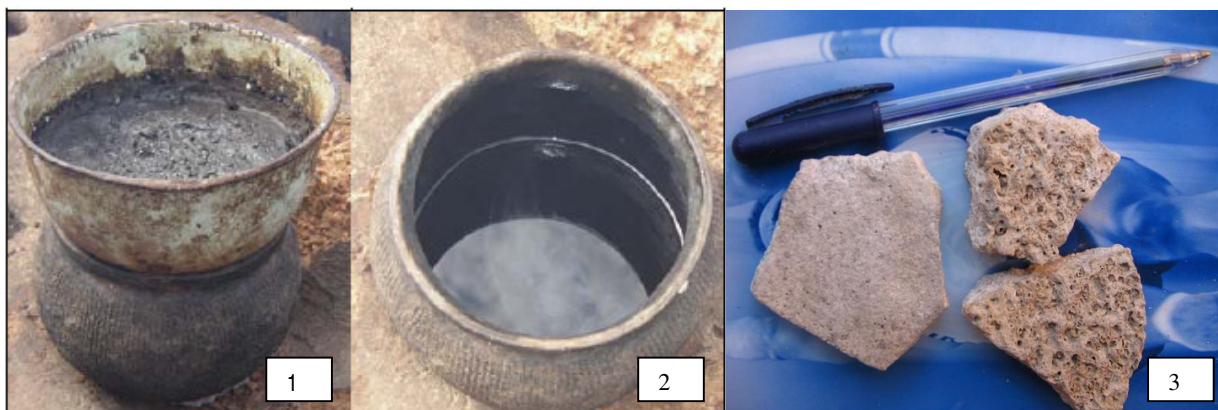


Photo 4.6: Extraction de la potasse à partir des coques de capsules de baobab

Légende: 1 = filtration des capsules incinérées; 2 = potasse liquide recueillie après filtration; 3 = potasse solide obtenu après séchage. (Source: enquêtes ethnobotaniques. **Photos:** De Caluwe, 2005 & Assogbadjo, 2005)

4.3.3 Utilisation thérapeutique des organes de baobab

Le baobab est un arbre à usages thérapeutiques multiples. Chaque partie de l'arbre (racine, pulpe, écorce, feuille, fleurs, graines, etc.), seule ou en association avec d'autres espèces végétales, est d'une utilité certaine pour les populations dans maints domaines. En pharmacopée, les organes et parties du baobab rentrent dans le traitement d'au moins 19 différentes maladies et affections (tableaux 4.3 et 4.4). La pulpe est de loin l'organe du baobab qui contribue le plus à l'usage médicinal (Fig. 4.7). Les graines, les feuilles et l'écorce interviennent dans le traitement de 3 ou 4 maladies tandis que la racine est utilisée pour une seule, l'épilepsie.

Les connaissances endogènes sur les utilisations thérapeutiques du baobab varient d'une zone à une autre. Il ressort du tableau 4.3a que les populations du Nord-Bénin détiennent beaucoup plus de connaissances endogènes sur les utilisations thérapeutiques des produits du baobab que celles du Sud et Centre-Bénin. La ressemblance entre les zones en ce qui concerne les utilisations des produits de baobab par les populations rurales a été révélée par la matrice de similarité de Jaccard (tableau 4.3b). Cette dernière a montré que le coefficient de similarité (0,362) entre le Sud-Bénin et le Nord-Bénin d'une part, et celui (0,422) entre le Nord-Bénin et le Centre-Bénin d'autre part, sont faibles. Ceci signifie que les populations rurales du nord utilisent différemment les produits de baobab que celles du sud et centre du Bénin. De plus, cette matrice a montré que les populations du Sud et Centre-Bénin utilisent de façon quasi similaire les produits de baobab et disposent donc des connaissances endogènes assez proches sur les utilisations des produits de baobab.

Tableau 4.3a: Utilisations thérapeutiques des organes de baobab signalées en milieu rural sans une posologie formelle (n = nombre total de personnes interrogées; source: enquêtes ethnobotaniques)

Parties du baobab	Maladies traitées ou vertus	Pourcentage (%) de répondants par zone		
		Zone soudanaïenne (Nord-Bénin: n = 200)	Zone soudano-guinéenne (Centre-Bénin: n = 60)	Zone guinéenne (Sud-Bénin: n = 60)
Capsule	Indigestion	49,5	0	0
	Nausée	44,5	0	0
	Cicatrisation des plaies	100	76,66	0
Ecorce	Diarrhée	79,5	0	0
	Cicatrisation des plaies	100	75	0
	maux de dents	79,5	0	0
	brûlure	100	48,33	0
	vigueur chez le bébé	89,5	0	0
Feuille	anémie	100	73,33	15
	stimulant et tonifiant	100	53,33	0
	perte de virilité	44,5	0	0
	hémorroïde	55	0	0
	aphrodisiaque	45	0	0
	asthme	99,5	0	0
	dentition chez le nourrisson	85	0	0
Fleurs	facilite l'expulsion rapide du fœtus lors de l'accouchement chez la femme	15	0	0
Graine	toux	84,5	0	0
	maux de ventre	85	0	0
	hypertension artérielle	80	0	0
Poils urticants de la capsule	Maux de ventre chez les nourrissons	44,5	0	0
Pulpe	maux de ventre	89,5	0	0
	ulcère	90	0	0
	perte de virilité	49,5	0	0
	tonifiant et stimulant	100	98,33	98,33
	convalescence	99,5	50	26,66
	paludisme	100	26,66	15
	inappétence	80,5	0	0
	diarrhée	100	0	0
	rhume ou toux	99,5	0	0
	grippe	100	0	0
	purge	60	0	0
	aphrodisiaque	54,5	0	0
	hémorroïde	64,5	0	0
Racine	Epilepsie (racine associée à d'autres feuilles)	34,5	0	0
	croissance normale et protection des bébés	79,5	0	0

Tableau 4.3b: Matrice de similarité (coefficients de Jaccard) entre zones explorées selon les utilisations des produits d'*A. digitata* par les populations

	Similarité entre zones		
	Zone soudanaïenne	Zone soudano-guinéenne	Zone guinéenne
Zone soudanaïenne	1,000	-	-
Zone soudano-guinéenne	0,422	1,000	-
Zone guinéenne	0,362	0,971	1,000

Tableau 4.4: Vertus et utilisations thérapeutiques des organes de baobab en milieu paysan au Bénin (Source: enquêtes ethnobotaniques)

Organes utilisés	Vertus	Posologie ou mode d'emploi	Méthode de fabrication	Remarque/contre indication
Amande des graines	Pour calmer le hoquet	Une cuillerée à café du produit diluée dans un verre de l'eau ou de lait	Ecraser l'amande des graines et servir dans un liquide (eau/lait)	Utiliser surtout pour les enfants.
Ecorce fraîche	Plaie de circoncision	Asperger chaque jour et pendant une semaine la plaie avec le substrat obtenu après écrasement de l'écorce	Ecrasement dans une petite quantité d'eau de l'écorce fraîche jusqu'à l'obtention d'un substrat.	Au bout de 7 jours on obtient la cicatrisation de la plaie. La plaie doit être laissée en contact de l'air.
Feuille (poudre)	Hémorroïdes (internes)	3 cuillerées à soupe dans un quart de litre d'eau à consommer en une seule prise et à répéter pendant 3 jours dans la semaine.	Battre correctement le mélange jusqu'à obtention d'un mélange homogène, concentré et gluant qu'on donne à boire au patient.	Le traitement est long, il peut durer plusieurs semaines, voire plusieurs mois en fonction de l'ampleur de la maladie. Selles pâteuses, bourdonnements dans le ventre pendant quelques heures.
Poudre des feuilles	Constipation des bœufs	1 litre de mélange administré à l'aide d'un tuyau. A répéter le lendemain	½ kg de poudre dans 2 litres d'eau, à battre fortement jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène concentré.	Après deux utilisations l'animal retrouve sa forme.
	Constipation chez les humains	3 cuillerées à soupe dans un quart de litre d'eau à consommer en une seule prise	Battre correctement la solution jusqu'à obtention d'un mélange homogène, concentré et gluant qu'on donne à boire au patient	On est déconstipé dans les deux ou trois heures. Selles pâteuses et bourdonnement dans le ventre pendant quelques heures.
Pulpe	Aphrodisiaque	1 cuillerée à café dans un verre de lait ou une tasse de bouillie à consommer à volonté	Pulpe de baobab mélangée à la poudre et <i>Euphorbia</i> spp.	Augmente la quantité de sperme. Conseiller seulement pour les adultes.
Racines	Reconstitue la virginité d'une jeune fille	-	-	Vertu utilisée en milieu Tehanga pour éviter à la famille le déshonneur en donnant en mariage une fille déviergée.
Vieille coque du fruit calcinée réduite en poudre	Traitement des dermatoses	Appliquer régulièrement le mélange sur toutes les parties couvertes par les dermatoses	3 pincées de la poudre mélangée au beurre de vache.	Au bout de quelques jours (variables) on constate la disparition des dermatoses.
	Plaies incurables	Laver soigneusement la plaie et la couvrir avec une ou deux pincées de la poudre. Chaque pansement doit durer 2 ou 3 jours avant d'être nettoyé.	Calcinée la coque, l'écraser et la réduire en poudre	Si la plaie n'est pas très profonde, la cicatrisation est obtenue en quelques jours
	Traitement de panaris	Le mélange obtenu dans le cadre de traitement des dermatoses est utilisé pour recouvrir le doigt atteint. Faire 7 à 10 applications à raison d'une application/jour	3 pincées de la poudre de vieille coque calcinée à mélanger avec du beurre de vache pour obtenir un mélange pâteux	Après 7 applications les douleurs sont entièrement atténuées.
	Traitement de la teigne et déparasitage externe des animaux	Appliquer régulièrement le mélange jusqu'à disparition des boutons ou des parasites	Ecraser la coque calcinée pour obtenir de la poudre qu'on mélange avec de la pommade pour obtenir un mélange pâteux	Raser des poils et appliquer le mélange pâteux sur tout le corps de l'animal.

Du tableau 4.5, il ressort que le péricarpe du fruit, les fleurs et les branches du baobab sont respectivement utilisés par 52 %, 17% et 19 % des personnes enquêtées dans le Nord-Bénin pour le chauffage domestique. De plus, 71 % des personnes enquêtées utilisent l'écorce du tronc dans la fabrication artisanale de corde. Les apiculteurs (3 % des personnes enquêtées dans le Nord-Bénin) utilisent le baobab en floraison pour piéger les abeilles dans la production traditionnelle du miel. Les branches et l'arbre entier sont également selon 5 % des enquêtés, un bon substrat pour la production de champignons comestibles. Le péricarpe du fruit et les fleurs sont respectivement utilisés par 66 % et 14 % des enquêtés pour alimenter leur bétail. Enfin les feuilles, le péricarpe du fruit et les fleurs sont respectivement utilisées par 3 %, 73 % et 16 % des enquêtés comme engrais organique pour améliorer le rendement des cultures au champ.

4.3.5 Conservation des différents organes

Les procédés de conservation des produits de baobab sont du type traditionnel. Les feuilles et les graines enrobées de pulpe sont bien séchées au soleil et mises dans des sacs. Elles sont ensuite entreposées dans la chambre ou dans les greniers. Si la conservation doit durer six mois ou plus, il faut ressécher périodiquement le produit pendant 24 h chaque mois. La pulpe et la poudre des feuilles sont conservées par le même procédé lorsque la quantité est importante. Dans le cas contraire, la conservation est faite dans les tasses et des grosses boîtes de lait hermétiquement fermées.

4.3.6 Critères endogènes de différenciation des individus de baobab

Plusieurs critères permettent aux communautés rurales du Nord-Bénin de différencier les individus de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels. Ils sont relatifs aux caractéristiques des fruits (couleur et taille des graines, précocité de la maturité, productivité des arbres, forme des capsules, goût de la pulpe), de l'écorce (couleur et structure) et des feuilles (couleur, goût et forme). Le tableau 4.6 présente le pourcentage de personne utilisant les différents critères pour identifier les individus de baobab. Les critères les plus utilisés concernent essentiellement la morphologie des capsules (53 %), le goût de la pulpe (54 %) et des feuilles (20 %), la couleur de l'écorce (14 %) et la précocité de maturité des fruits (63 %).

Les perceptions locales vis à vis de la différenciation des baobabs varient d'un individu à un autre. En utilisant la couleur et la structure de l'écorce, on distingue trois types de baobab dans le milieu naturel: les baobabs à écorce rosâtre et lisse, les baobabs à écorce grisâtre craquelé et les baobabs à écorce grisâtre et lisse (Photos. 4.7).

La caractérisation basée sur la morphologie des capsules a révélé l'existence de 4 types de baobab: les baobabs à capsules de petite taille, les baobabs à capsules de taille moyenne de forme effilée, les baobabs à capsules de taille moyenne de forme arrondie et les baobabs à capsules de grande taille (Photos. 4.8) (cf. chapitre 6 pour plus de détail).

Par le goût des feuilles, on distingue deux types de baobabs: les baobabs à feuilles amères et les baobabs à feuilles jugées délicieuses et succulentes.

Pour ce qui est du goût de la pulpe, les populations rurales remarquent les baobabs à pulpe sucrée et les baobabs à pulpe acide. Il est à signaler que 67,27 % des populations préfèrent les fruits à pulpe sucrée aux fruits à pulpe acide. Quant à ce qui concerne la précocité de la production de fruit, 32,73 % préfèrent les arbres précoces disponibles pendant les périodes de culture contre 12,73 % qui adoptent la variété à production tardive. Enfin, seulement 10% des populations préfèrent les gros fruits contre 90% pour les fruits de petite taille.

Il convient toutefois de signaler qu'il n'a pas été possible de corréler en milieu paysan les différents critères utilisés pour caractériser les individus de baobab.

Tableau 4.6: Critères de différenciations des individus de baobabs par les populations rurales au Bénin (n = 200)

	Critères	% individus utilisant les critères de distinction des écotypes
Fruits	Précocité de la maturité	63
	Productivité des arbres	13
	Forme	53
	Goût de la pulpe	54
	Couleur et taille des graines	4
Feuilles	Couleur	3
	Goût	20
	Forme	4
Ecorce	Couleur	14
	Structure	3



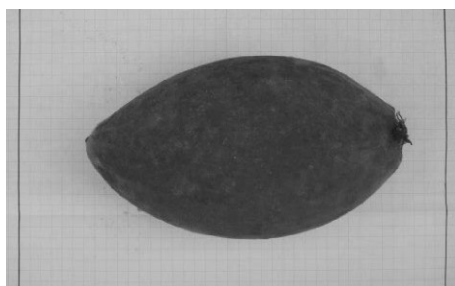
Photos 4.7: Variabilité des baobabs suivant la couleur des écorces (Photos: De Caluwe, 2005)



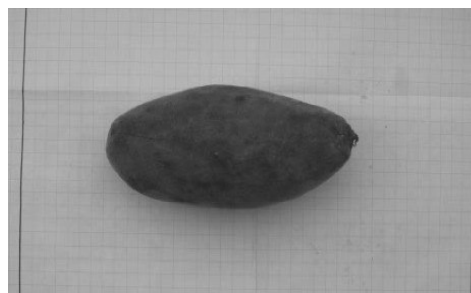
Forme 4: Capsule de taille allongée



Forme 3: Capsule de taille moyenne et de forme effilée



Forme 2: Capsule de taille moyenne et de forme arrondie



Forme 1: Capsule de petite taille

Photos 4.8: Variabilité morphologique des capsules de baobab (Photos: Assogbadjo, 2005)

4.3.7 Pressions sur les individus de baobab

Les différentes pressions sur les baobabs dans les systèmes agroforestiers traditionnels résultent essentiellement de l'agriculture qui induit le sarclage des jeunes pousses et plantules de baobab surtout dans le Sud et Centre du Bénin où le baobab ne présente aucune valeur économique pour les populations locales. Dans le Nord-Bénin, le pâturage des bovins et les feux de végétation constituent la principale pression sur les plantules de baobab en milieu naturel. Le tableau 4.7 montre quelques causes (en %) de pression sur les baobabs au Bénin. Le prélèvement de l'écorce pour la fabrication des cordes (Photos 4.9; 4.10) constitue la principale raison de mutilation des individus de baobab sans toutefois causer la mort des individus. Les autres raisons sont la construction des pistes rurales (Photos 4.11) et l'agriculture.

Tableau 4.7: Causes (%) de mutilation des baobabs au Bénin (n = 200)

Causes de mutilation	Ecorce	Branches
Agriculture	0	18
Collecte des feuilles	0	3
Collecte des fruits	0	1
Elagage des vieilles branches	0	3
Construction de piste rurale	0	23
Prévenir les dommages sur les maisons	0	35
Production de jeunes feuilles	0	7
Production de fruit	0	23
Cordage	72	0

4.3.8 Valeurs symboliques et culturelles du baobab au Bénin

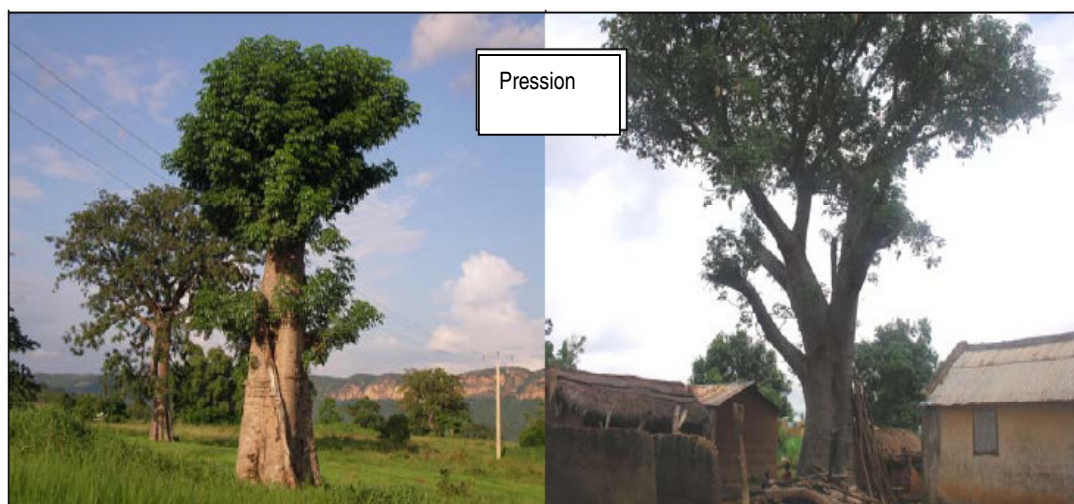
En dehors de ses utilisations thérapeutiques et alimentaires, le baobab est considéré comme un arbre fétiche, sacré, déifié et plein de mystères. En effet, tous les groupes ethniques du Bénin reconnaissent le baobab comme un arbre fétiche et lui accordent une place de choix dans leurs différentes cultures. Pour les Fon du Sud-Bénin, les pieds de baobab sont des abris aux mauvais esprits et il faut s'en méfier. En milieu Otamari, la divinité ou non de l'arbre, est révélée par l'oracle "fa". Il précise le sacrifice nécessaire pour vénérer l'arbre ainsi désigné, sacré. Les arbres déclarés divins sont marqués par des morceaux de bois de *Diospyros mespiliformis* ou de *Gardenia erubescens* et /ou des pierres. Chez les Dendi et Djerma (Nord-Bénin), il est organisé chaque année un rituel autour des pieds de baobabs sacrés pour invoquer les dieux de la pluie en début de la campagne agricole. En milieu Otamari, les travaux champêtres commencent par la présentation d'une partie des semences aux baobabs sacrés pour demander à la nature, sa clémence, pour une bonne saison. Le même scénario se fait dans les villages au moment des situations extrêmement difficiles: épidémies, sécheresse ou tout autre malheur qui dépasse l'entendement humain. A l'issue de cette cérémonie, un mouton blanc, un chien noir ou une vache noire, est immolé au pied de l'arbre. Chez les Djerma, chaque guérisseur traditionnel a son pied de baobab fétiche propre, au pied duquel il fait régulièrement ses consultations. Lors des cérémonies de mariage et de baptême, la pulpe et les feuilles de baobab sont très souvent utilisées pour la préparation des différents mets à servir aux invités. En milieu Tchanga (Haoussa), après les funérailles des personnes très âgées, tous les membres de la famille se lavent pendant une semaine avec une décoction d'écorces de baobab pour conjurer les mauvais esprits. La culture Otamari accorde aussi une place de choix au baobab dans certaines cérémonies traditionnelles. Lors des cérémonies funèbres appelées « Dikou », chez les Otamari, on représente le défunt par un morceau de branche de baobab emballé dans de paille. Tous les honneurs sont rendus à ce symbole funèbre du défunt avant son enterrement. Les cérémonies d'initiation du jeune Otamari (Difôni) et de la jeune Otamari (Dikountri) se déroulent au pied d'un baobab. Ces cérémonies d'initiation sont de très importantes fêtes dans la tradition Otamari.



Photos 4.9: Fabrication de cordage à partir de l'écorce de baobab (Photos: De Caluwe, 2005)



Photos 4.10: Pression sur l'écorce des pieds de baobab (Photos: De Caluwe, 2005)



Photos 4.11: Pression sur les branches de baobab (Photos: De Caluwe, 2005)

4.3.9 Valeur économique et commercialisation des produits du baobab

La valeur économique du baobab n'est plus à démontrer. Les produits de l'arbre font l'objet d'une transaction sous-régionale. Le baobab constitue une source de revenus pour les populations locales. Il améliore sensiblement le budget familial des ménages ruraux qui l'exploite. Il permet à ceux-ci de constituer des réserves financières et alimentaires en vue de se préserver de la famine. Des capsules sont longtemps conservées pour servir ultérieurement, surtout en période de pluie. Les jours du marché, l'approvisionnement en bien de consommation par les populations est en grande partie subordonnée à la vente des graines décortiquées et des pulpes de baobab.

4.3.9.1 Acteurs concernés par la commercialisation des différents produits de baobab

Les acteurs de la commercialisation, pour la plupart autochtones, appartiennent en majorité à l'ethnie Dendi. Mais on y compte également parfois des migrants nigériens. La figure 4.8 montre la répartition en classe d'âge et en sexe des acteurs ainsi que leur répartition en fonction des produits commercialisés.

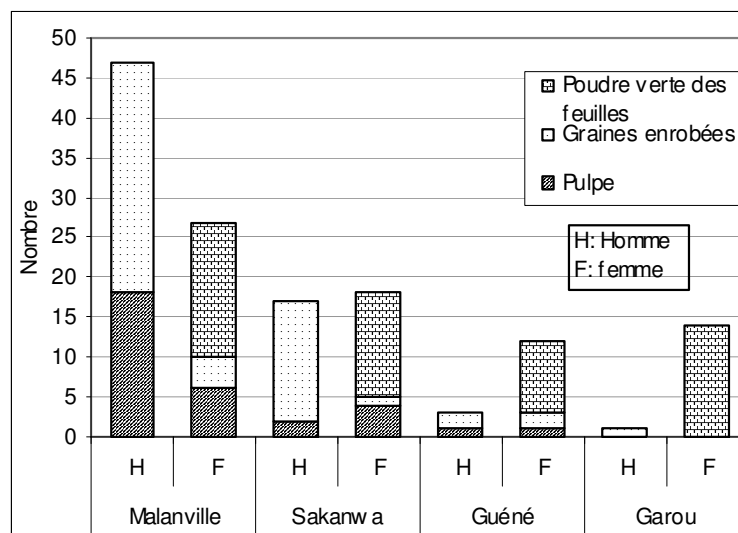


Figure 4.8: Répartition des différents acteurs en fonction des organes commercialisés.

Sur l'ensemble des marchés, on a recensé 139 acteurs impliqués dans la vente des produits de baobab dont 52 % de femmes et 48 % d'hommes. Les femmes commercialisent les 3 catégories de produits exportés (pulpe, graines, et poudre des feuilles) tandis que les hommes s'intéressent essentiellement à la graine et à la pulpe.

4.3.9.2 Circuit de commercialisation des produits

Contrairement aux populations du Nord-Bénin, celles du Sud-Bénin et du Centre ne marquent aucun intérêt pour la commercialisation des produits de baobab. Malanville, Boukoubé et Natitingou constituent les plus importants marchés d'exportation des pulpes, graines et poudre de feuilles vertes de baobab vers le Togo, le Nigeria, le Niger, le Burkina-Faso et le Mali (Fig. 4.9).

Le Niger et le Nigeria sont les plus grands consommateurs de ces organes très utilisés dans la fabrication de produits laitiers par de petites entreprises de femmes. Environ 179 tonnes de graines enrobées de pulpe et 11 tonnes de pulpe ont été enregistrées de décembre 2003 à avril 2004 en destination des principales villes du Niger.

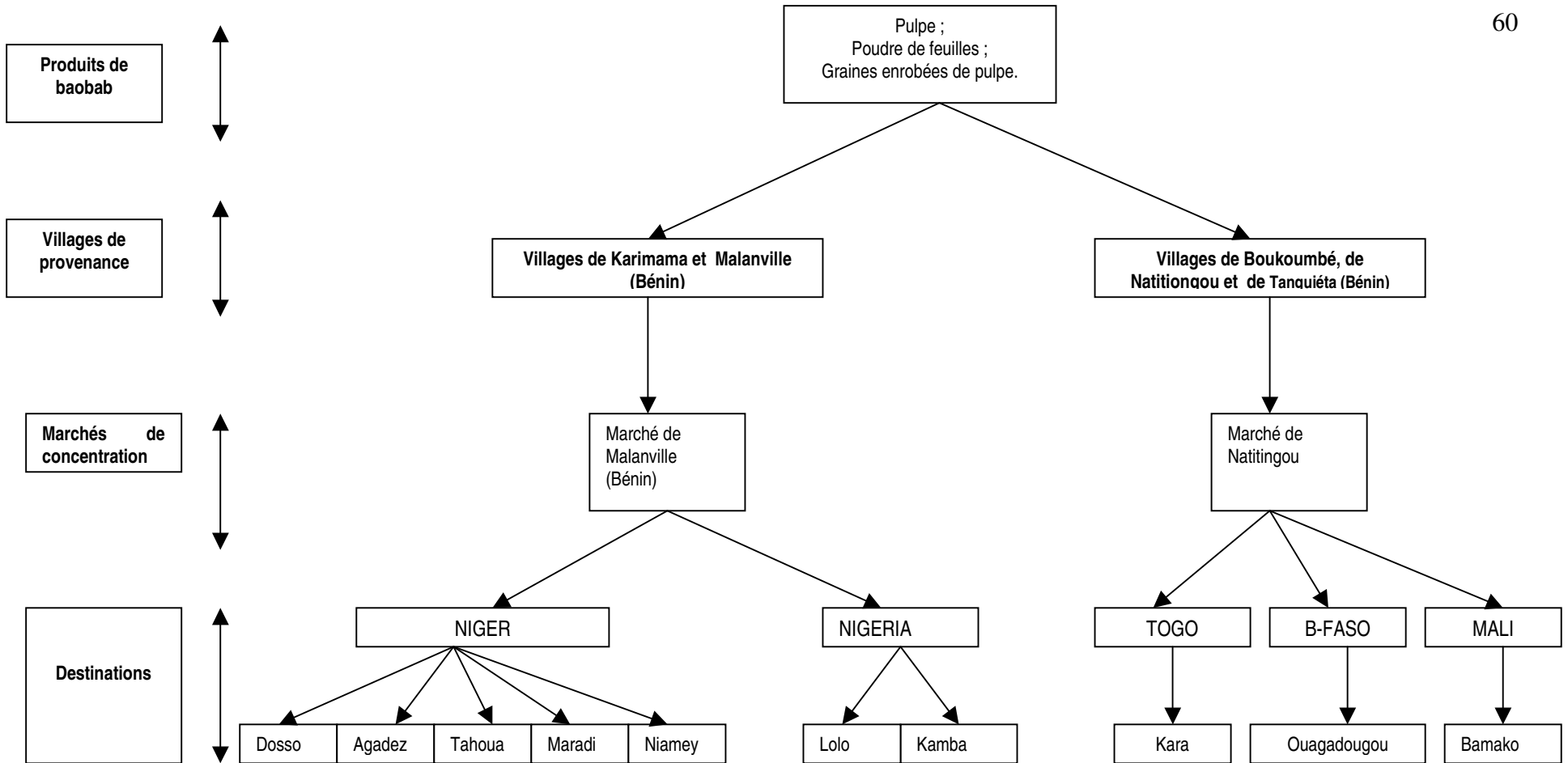


Figure 4.9 : Circuit de distribution des produits de baobab des marchés du Nord-Bénin vers les pays voisins du Bénin (source: enquête de marché)

4.3.9.3 Revenus issus des ventes des produits de baobab

Quatre instruments de mesure sont localement utilisés pour les ventes de détail et les sacs de jute pour les ventes de gros. Le poids de chaque organe par sac est:

- feuilles de baobab séchées: 11 kg;
- graines enrobées de pulpe: 47,5 kg et
- pulpe: 60 kg.

Ces repères nous ont permis de quantifier les produits commercialisés et les gains réalisés par produit et par marché (Photos. 4.12 et 4.13).

La figure 4.10 présente la comparaison du gain journalier des acteurs de commercialisation des produits du baobab au niveau du marché urbain de Malanville et du marché rural de Sakanwa. Il est approximativement le même pour la poudre de feuilles vertes au niveau des deux marchés.

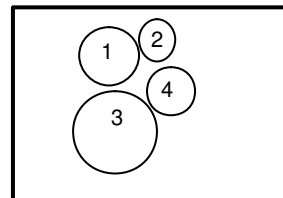
Par jour de marché, un commerçant de produit de baobab peut se procurer environ 5000 FCFA (US\$ 10) sur le marché urbain de Malanville contre environ 2500 FCFA (US\$ 5) sur le marché rural de Sakanwa. Cette différence au niveau du gain se justifie par la très forte demande des pulpes et des graines par les clients des pays voisins (Niger et Nigeria). Dans les marchés ruraux de la même localité, la demande se limite essentiellement à la consommation locale.

Les ressources financières générées par les produits commercialisés pendant cinq mois sur le marché urbain de Malanville sont indiquées par la figure 4.11. Durant cette période, sur le seul marché de Malanville, l'écoulement des produits de baobab s'est effectué comme ci-dessous-indiqué:

- 200 tonnes de graines enrobées pulpe soit 15 millions de FCFA (US\$ 30,000);
- 10 tonnes de pulpe soit 400000 FCFA (US \$ 800) et,
- 1 tonne environ de poudre de feuilles vertes soit 200000FCFA (US \$400).

La fréquence du marché de Malanville est de 1 fois par semaine. Si nous supposons que les produits sont commercialisés de la même façon durant toute l'année, nous en déduisons par extrapolation que l'écoulement des produits de baobab peut générer chaque année à l'ensemble des femmes impliquées dans ce commerce sur le marché de Malanville:

- 36 millions de FCFA (US \$ 72, 000) pour la vente de graines enrobées de pulpe;
- 960000 FCFA (US \$ 1,920) pour la vente de pulpe et,
- 480000 FCFA (US \$ 960) pour la vente de poudre de feuilles vertes.



- 1 : Rabi (0,50 dm³) (75 Fcfa)
- 2 : Conco (0,25 dm³)(25 Fcfa)
- 3 : Toungolo (1 dm³) (150 fcfa)
- 4 : Damko (0,35 dm³)(50Fcfa)

Photos 4.12 : Instruments locaux de mesure des produits du baobab
(Photos: Assogbadjo, 2005)



Photos 4.13: Sacs de graines enrobées de pulpe sur le marché de Malanville (Photos: Assogbadjo, 2005)

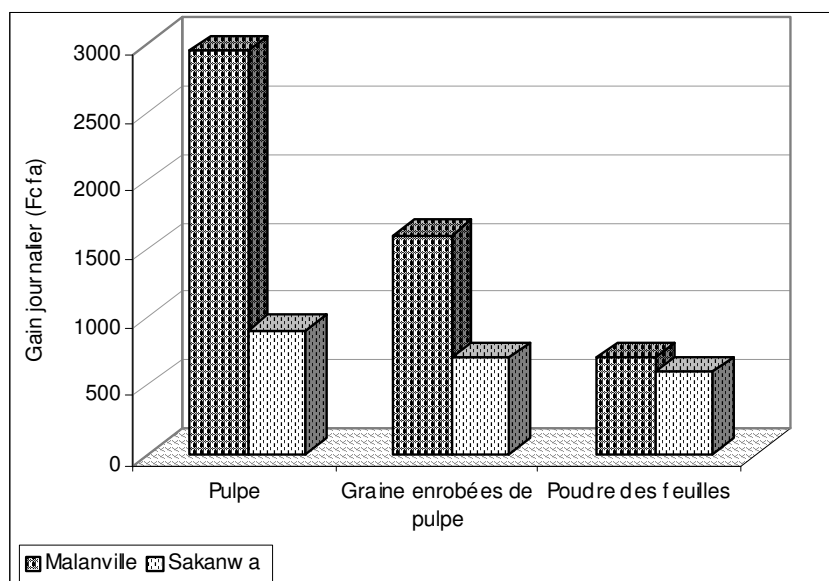


Figure 4.10: Gain journalier généré par un sac de produits de baobab sur le marché urbain de Malanville et le marché rural de Sakanwa (fréquence hebdomadaire des marchés = 1)

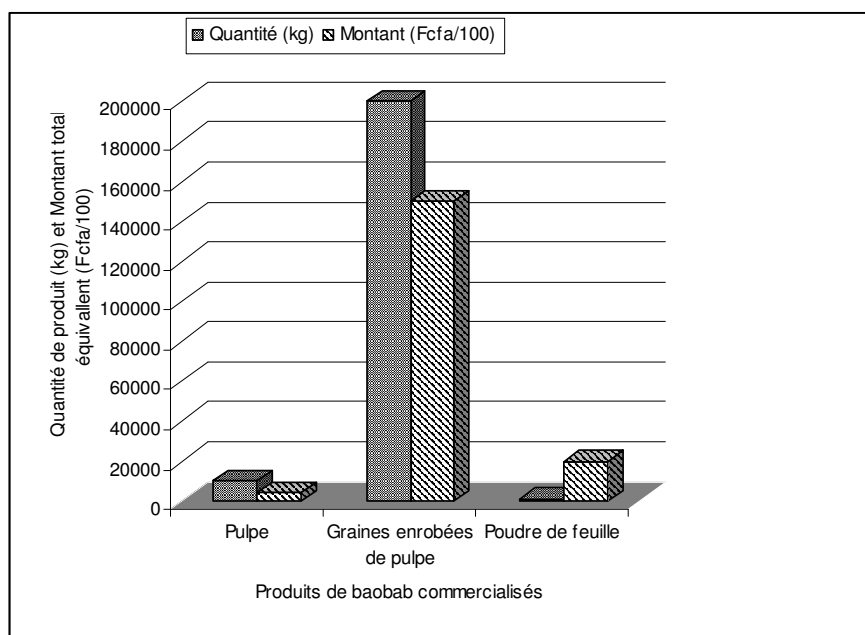


Figure 4.11: Ressources financières générées par les quantités totales de produits recensés pendant cinq mois à Malanville

4.3.9.4 Fluctuation des quantités et des prix sur le marché

La figure 4.12 montre la variation des prix de vente des produits (pulpe, poudre verte des feuilles, graines enrobées de pulpe) en fonction du temps. Les pics sont observés de décembre à janvier où les prix de cession de la pulpe avoisine 370 FCFA/kg. Cette montée des prix à ce moment de l'année s'explique par la rareté du produit sur le marché. Ce temps coïncide avec la période de maturation des fruits sur l'arbre. De janvier à mars, on constate une baisse progressive du prix de vente de la pulpe au fur et à mesure de sa disponibilité sur le marché. A partir du mois d'avril, on enregistre une hausse progressive des prix due à la baisse des activités de cueillette.

Quant aux graines enrobées de pulpe, on constate une légère variation des prix durant toute la période de commercialisation. Ceci traduit la disponibilité quasi permanente de ce produit sur les marchés parce que facile à conserver. En revanche, durant les 5 mois d'investigation, les prix de la poudre de feuilles verte n'a cessé de grimper en raison de la phénologie des feuilles et du caractère décidu du baobab. En effet, le baobab perd ses feuilles durant les saisons sèches pour les renouveler progressivement en saison des pluies.

De façon générale, les quantités totales des produits de baobab apportés sur les marchés de Malanville, Sakanwa, Garou et Guéné durant les 5 mois d'investigation sont montrées par la figure 4.13. A Malanville, les graines enrobées de pulpe et la pulpe viennent en tête avec respectivement 179 et 15,5 tonnes contre 3,5 tonnes pour la poudre de feuilles verte. A Sakanwa, les quantités sont nettement inférieures: 27 tonnes environ pour les graines enrobées de pulpe, 2,7 tonnes de pulpe et 0,9 tonne de poudre de feuilles vertes. Sur les deux autres marchés ruraux de Guéné et Garou, les quantités placées sont minimales: la poudre de feuilles vertes et la pulpe moins de 1,5 tonnes et environ 6,7 tonnes de graines enrobées de pulpe à Guéné. Cette situation est la conséquence du choix des principaux acteurs à déplacer leurs produits des villages vers le marché urbain de Malanville où ils peuvent les vendre à de meilleurs prix.

La figure 4.14 présente l'évolution annuelle des quantités de pulpe et de graines enrobées de pulpe, exportées du marché urbain de Malanville vers le Niger pendant la période allant de 1997 à 2003. Les quantités exportées de graines enrobées de pulpe, sont passées de moins de 60 tonnes en 1997 à 180 tonnes en 2003. Ces quantités ont été triplées de 1997 à 2003 alors que celles de pulpe exportée n'ont guère évolué durant la même période. L'accroissement continu des exportations des produits de baobab vers le Niger s'explique par la forte demande de ses populations d'Agadez, Tahoua et Arlit. Ces dernières utilisent la pulpe dans la fabrication des boissons rafraîchissantes et d'autres sous-produits laitiers comme "Solani", yaourt et autres. De décembre 2003 à avril 2004, environ 200 tonnes de graines enrobées de pulpe ont été vendues et ont généré aux 52 commerçants impliqués dans ce commerce une somme globale de 15.679.744 FCFA (environ US \$ 30, 000) soit en moyenne 302.000 FCFA (US \$ 577) par commerçant. L'argent obtenu est réinvesti par ces commerçants dans les vivres, vêtements et les intrants agricoles.

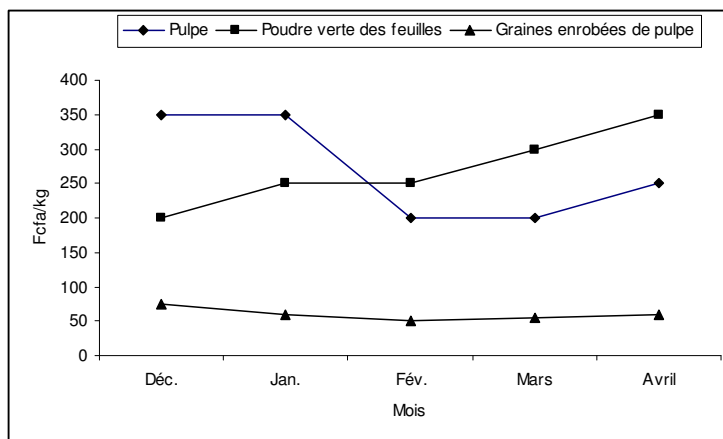


Figure 4.12: Variation en fonction des mois des prix (fcfa/kg) des produits sur le marché de Malanville

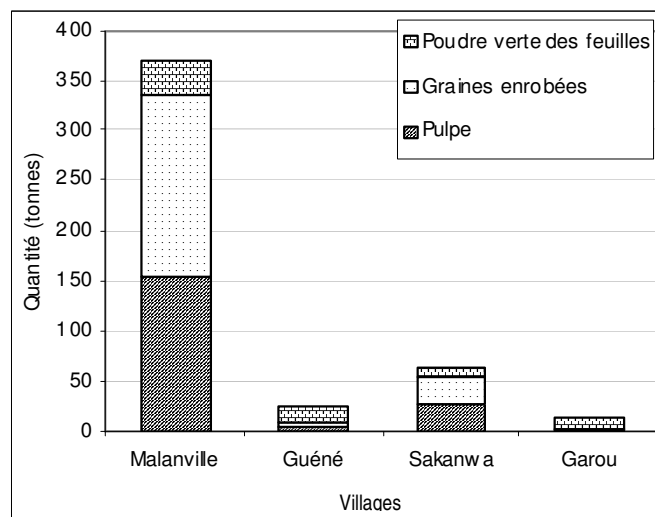


Figure 4.13: Quantité des produits de baobab relevés au cours des cinq mois d'investigation à Malanville, Guéné, Sakanwa et Garou

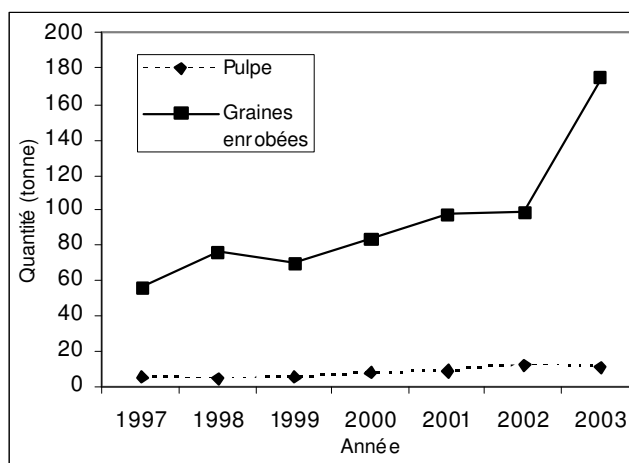


Figure 4.14: Evolution annuelle des quantités de pulpe et de graines enrobées de pulpes exportées du Bénin vers le Niger de 1997 à 2003; **Source:** Service de l'environnement de Gaya (Niger)

4.4 DISCUSSION

4.4.1 Impacts des techniques de cueillette sur la viabilité du baobab

Plusieurs techniques d'exploitation des organes de baobab ont été identifiées. Elles conduisent le plus souvent à l'élagage des branches de l'arbre, à la cueillette des feuilles, des fruits ou au prélèvement de son écorce à des fins médicinales ou de fabrication de corde. Les individus les plus exploités sont ceux des habitations ou des champs de culture. Ils présentent un aspect végétatif beaucoup plus important que ceux du boisement naturel qui sont très peu ou presque pas mutilés. La mutilation des branches de baobab au fil des années par les paysans limiterait sa croissance en hauteur favorisant ainsi sa croissance en diamètre. Ainsi, dans le nord du Bénin où il est observé cette pratique, les baobabs des habitations et des champs de culture sont visiblement plus larges que ceux rencontrés dans la nature (De Caluwe, 2005). Toutefois, les mutilations des baobabs n'entravent pas leur survie. Ces aménagements doivent être interprétés comme des pratiques paysannes, dont les objectifs sont d'amener les baobabs à produire de grandes quantités de fruits ou de feuilles d'excellente qualité. Par ailleurs, les paysans utilisent l'écorce de baobab dans la fabrication de corde et dans la pharmacopée traditionnelle. Il a été montré que le baobab tolère les prélèvements sévères de son écorce et aurait même la potentialité de la renouveler (Wickens, 1982). Les pratiques visant la collecte de l'écorce ne seraient donc pas aussi néfastes à la survie de l'espèce contrairement au cas d'autres essences tropicales (e.g *Prunus africana*) dont le prélèvement d'écorce entrave leur viabilité (Dhillion & Amundsen, 2000). Les fleurs quant à elles sont peu recherchées aussi bien pour la médecine traditionnelle que pour l'alimentation; il n'existe pas de pression importante de collecte de fleurs préjudiciable à la viabilité de l'arbre. En outre, le bois du baobab n'est pas exploité par les populations rurales. Ceci s'expliquerait par le fait qu'il est spongieux et de plus, contient beaucoup de mucilage (Burkill, 1985) rendant son abattage très difficile et empêchant son assèchement. Et même asséché, la nature spongieuse du bois constituerait une entrave à son utilisation comme bois de chauffe ou bois d'œuvre ou encore comme charbon. L'absence de bois dur chez le baobab serait une caractéristique favorable à sa survie surtout dans les localités à forte demande de bois.

4.4.2 Pertinence et impacts des critères de différenciation des individus de baobab

La perception des variations et des critères de différenciation des individus de baobab ne fait pas l'unanimité au sein des populations rurales. Par exemple, tous les paysans ne s'accordent jamais à l'unanimité sur les mêmes critères de différenciation des individus de baobab. Ceci s'observe à travers les pourcentages observés pour chacun des critères de différenciation des baobabs. Cependant, l'utilisation des critères de différenciation des individus de baobab en milieu rural montre qu'il s'agit d'une espèce ayant un fort degré de signification culturelle. En effet, le baobab est perçu comme un arbre à usage multiple jouant un rôle important dans la culture des populations du nord du Bénin. Celles-ci utilisent des critères propres à elles pour distinguer plusieurs types de baobab en se basant sur la couleur et la structure de l'écorce, la forme des capsules, le goût de la pulpe, le goût des feuilles, la précocité de maturation des fruits. Bien que ces populations aient de préférence pour certains types

de baobab, essentiellement ceux jugés précoces ou ayant des pulpes sucrées ou encore des feuilles délicieuses ou des graines faciles à décortiquer, elles n'arrivent pas à corréler les différents critères utilisés pour caractériser les individus de baobab. Au Mali cependant, les paysans arrivent à prédire le goût de la pulpe à partir de la couleur de l'écorce (Sidibé *et al.*, 1996). Pour ces derniers, les baobabs présentant une écorce de couleur noirâtre sont supposés avoir des capsules ayant une pulpe modérément sucrée; ceux à écorce rougeâtre présenteraient des capsules à pulpe sucrée; enfin, ceux ayant une écorce grisâtre sont supposés produire très peu de fruits de bonne qualité et sont systématiquement destinés à la fabrication des fibres et cordes. La présence de différents morphotypes identifiés au sein d'une même population suppose qu'il existerait un fort taux de polymorphisme au sein de l'espèce et que les variations observées ne seraient pas uniquement liées aux facteurs environnementaux.

De plus en plus, les paysans privilégient les individus de baobab jugés de valeur supérieure à ceux qualifiés de 'piètre qualité' (De Caluwe, 2005). Ce processus risque de conduire au fil des années à une élimination progressive par les paysans, des baobabs jugés de mauvaise qualité au profit de ceux produisant des fruits et feuilles jugées de bonne qualité. Dès lors, des génotypes défavorisés vont présenter dans le temps des proportions de moins en moins nombreuses dans les populations de baobab; leurs gènes seront alors transmis avec une fréquence moindre de génération en génération. Il y aura ainsi une variation dans les fréquences géniques et donc dans la structure de la population d'une génération à une autre. En conséquence, le risque d'assister à une réduction sensible de la diversité génétique au sein des populations de baobab sera grande.

Toutefois, il est nécessaire de vérifier à partir d'études de caractérisation moléculaire, si les variations phénotypiques observées entre les individus ont effectivement une origine génétique ou sont liées aux facteurs environnementaux ou les deux à la fois. Au cas où les variations entre individus de baobab, tels qu'identifiées par les paysans, auraient une origine génétique, on pourra alors se fier à leurs connaissances endogènes pour favoriser la domestication des individus de valeur supérieure répondant le plus à leurs besoins. Mais si au contraire, les variations sont uniquement liées aux facteurs environnementaux, on pourra déduire que les critères de classification endogènes des baobabs seraient sous-tendus par des effets non-génétiques. En conséquence, les connaissances endogènes relatives à l'identification des morphotypes en milieu rural, ne pourraient donc scientifiquement plus être utilisées pour amorcer des stratégies de domestication et de conservation des ressources génétiques du baobab.

4.4.3 Impacts des croyances pour le baobab sur sa protection ou destruction dans les localités

Les connaissances endogènes détenues par les populations rurales sur le baobab sont culturelles. Historiquement, les Otammari ou Betammaribè constituent avec les Besorubè un grand groupe socio-culturel connu sous le nom de "Somba". Mercier (1968) rapporte de nombreux sens étymologiques liés à ce groupe ethnique dont l'un très révélateur fait des « Somba » les « hommes du baobab » parce qu'ils en consomment la farine. Baumer (1995) indique que le baobab est très important dans la culture sahéenne en général si bien qu'il existe encore des villages complètement enfouis dans des peuplements denses de baobabs comme c'est aussi le cas dans les régions septentrionales du Bénin.

Le symbole culturel que représentent certains individus de baobab dans le nord du Bénin amènent les populations locales à les protéger et les épargner de toute forme de pression anthropique. Cependant, tous les baobabs ne sont pas des divinités; ceux qui le sont, sont révélés par l'oracle 'fa' en milieu Otamari du nord du Bénin et sont bien matérialisés par de la pierre et des branchages le plus souvent de *Diospyros mespiliformis*. Ainsi, dans un même environnement cohabitent aussi bien des baobabs fétiches que des baobabs ordinaires. Ces derniers subissent une forte exploitation des populations locales à des fins alimentaires, médicinales et de commercialisation. En outre, dans le sud du Bénin, le baobab est perçu comme un refuge des esprits maléfiques. L'arbre est craint par la majorité des populations locales. Les individus adultes sont donc épargnés des pressions anthropiques et de toute autre utilisation. Ils évoluent donc normalement dans leurs habitats naturels. Toutefois, les jeunes pousses sont systématiquement éliminées par les paysans durant les activités agricoles. Ainsi, les jeunes individus deviennent de plus en plus rares ce qui constitue un obstacle pour la survie à long terme de l'espèce au sud du Bénin.

4.4.4 Utilisations alimentaires des produits de baobab

Les populations rurales africaines notamment les femmes disposent, sur le baobab, de savoirs accumulés depuis des millénaires. Ceci est mis en évidence par les technologies endogènes développées par elles dans la partie septentrionale du Bénin en ce qui concerne la transformation des organes du baobab. En dehors des usages reconnus au Bénin, le baobab présente d'autres utilisations indiquées dans la littérature. Au Malawi, les feuilles sont bouillies avec de la potasse (Williamson, 1975) avant d'être utilisées dans la sauce. Au Zimbabwe, elles sont utilisées comme légume frais et sont des substitus des laitues sur les marchés (Sidibé & Williams, 2002). En revanche, les feuilles ne sont pas utilisées en Inde et au Madagascar comme aliment (Sidibé & Williams, 2002). Cette utilisation différentielle des organes de baobab aurait une origine culturelle, l'alimentation des populations étant basée sur les normes culturelles. Il est observé en milieu rural que la pulpe est utilisée non seulement dans la préparation des pâtes acides, mais aussi dans la fabrication artisanale de boissons rafraîchissantes. La richesse de la pulpe en glucides et en sucres serait à la base de cette fermentation alcoolique. Toutefois, les boissons fabriquées en milieu paysan à base de la pulpe n'ont pu être encore stabilisées et ceci constitue une limite à leur production à grande échelle et en conséquence à leur commercialisation. L'utilisation des graines comme source d'huile et comme concentrés protéiniques dans les sauces est également reportée par Pele & Berre (1967). Il a été montré dans les graines, des teneurs élevées en protéines (33,88%) et en lipides (28,28%) mais aussi des acides aminés essentiels, à des taux conformes aux normes recommandées pour les êtres humains par la FAO (Yazzie *et al.*, 1994; Codjia *et al.*, 2001). Le Mougou-mougou est alors un concentré de protéines et de lipide car il est issu directement des graines de baobab. Sa consommation par les enfants aidera certainement à leur croissance et à la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique qui constitue jusqu'à nos jours un fléau dans les pays en développement. Toutefois, il n'a pas encore été prouvé la biodisponibilité pour l'organisme humain de ces nutriments contenus dans les produits alimentaires du baobab. Si les composants nutritifs étaient assimilables, ils serviraient efficacement à la lutte contre l'insécurité

alimentaire surtout dans les localités où les femmes et les enfants n'ont pas encore accès à une alimentation équilibrée.

4.4.5 Utilisations médicinales du baobab

Les connaissances endogènes semblent avoir quelques fondements scientifiques. En effet, l'ensemble de ces utilisations reconnues à l'espèce serait évidemment dû à la richesse de ses différents organes en composantes nutritives et en substances actives. Il a été noté dans les différents organes de l'espèce la présence des alcaloïdes, des flavonoïdes, des stérols, des coumarines et des saponosides (Ramadan *et al.*, 1993; Codjia *et al.*, 2001; Sidibé & Williams, 2002). Ce sont des substances organiques azotées et basiques douées de propriétés physiologiques qui entretiennent le système nerveux et la moelle épinière (alcaloïdes). Elles sont des toniques veineuses avec des propriétés antispasmodiques, anti-ulcéreuses et anti-inflammatoires (flavonoïdes). En tant que substances polyphénoliques, elles se combinent aux protéines de la peau pour la rendre imputrescible (tannins). La présence de l'adansonine ($C_{48}H_{36}O_{33}$) dans l'écorce justifie son utilisation contre la malaria et les autres fièvres (Sidibé & Williams, 2002). La teneur très élevée en fer aussi bien dans les feuilles que dans les graines, de l'ordre de 29,3% de la matière sèche (Codjia *et al.*, 2001), justifie son utilisation dans le traitement de l'anémie, le fer ayant la propriété de fixer l'hémoglobine.

4.4.6 Commercialisation des produits de baobab

La présente étude a montré l'importance de la vente des produits de baobab dans l'économie des ménages ruraux et urbains impliqués dans cette activité. La commercialisation des produits de baobab est intense durant les pics de saison sèche quand les autres produits agricoles sont très peu disponibles sur les marchés. Cette activité est donc une alternative pour améliorer les revenus des femmes rurales durant les périodes de pénurie alimentaire. En plus de leur saisonnalité, le marché des produits demeure restreint. Seuls les produits bruts de baobab sont commercialisés et exportés du Bénin vers les pays voisins. Les produits transformés ne font pas encore l'objet de commerce transfrontalier. Ceci est dû aux problèmes de leur stabilisation sans laquelle ils ne peuvent être conservés pour une longue durée.

CHAPITRE 5
DIVERSITÉ ÉCOLOGIQUE ET ÉVALUATION DES PRODUCTIONS
EN AMANDE, PULPE ET GRAINES DES POPULATIONS DE
BAOBAB (*ADANSONIA DIGITATA* L.) AU BÉNIN

Adapté à partir de: Assogbadjo, A.E., Sinsin, B., Codjia, J.T.C. & Van Damme, P. (2005). Ecological diversity and pulp, seed and kernel production of the baobab (*Adansonia digitata*) in Benin. *Belgian Journal of Botany* 138 (1): 47-56.

CHAPITRE 5 – DIVERSITE ECOLOGIQUE ET PRODUCTIVITE DU BAOBAB AU BÉNIN

5.1 INTRODUCTION

Dans plusieurs pays en développement, les produits forestiers non ligneux (PFNLs) ont été pendant longtemps sous-utilisés, mais ce n'est que depuis ces dernières années que le potentiel de les domestiquer pour accroître le bien-être des pauvres populations est devenu une préoccupation (Leakey 2001a, b; Leakey *et al.* 2003; Leakey *et al.*, 2005). Jusqu'à un passé récent, l'essentiel des travaux en matière d'écologie végétale, de quantification de production, d'amélioration des techniques d'exploitation, d'aménagement forestier, a marginalisé les ressources forestières alimentaires au profit de l'exploitation forestière productrice du bois d'œuvre. Les informations disponibles sur les ressources forestières non ligneuses sont le plus souvent qualitatives et ne font pas ressortir les données quantitatives nécessaires pour démontrer les opportunités économiques (substitution d'un produit d'importation par exemple), ou pour le développement social et la gestion environnementale. Cependant, la reconnaissance actuelle de l'importance de ces ressources pour les conservateurs, les forestiers, les acteurs de développement et les populations rurales a suscité de nombreuses initiatives. L'objectif de ces démarches est de promouvoir leur valorisation comme moyens d'amélioration du bien-être des populations pauvres dépendantes de ces ressources.

La valorisation des plantes non ligneuses demande d'abord une caractérisation de leur matériel végétal sur les plans morphologique, biochimique et moléculaire. 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 caractéristiques morphologiques intéressantes; et (2) de connaître celles qui sont influencées par des facteurs environnementaux. Ainsi, de nombreux travaux abordent de plus en plus des aspects quantitatifs lors des études sur les produits forestiers non ligneux. Entre autre, on peut citer les travaux de Tchoundjeu (1998), d'Atangana (2000) et d'Atangana *et al.* (2004) sur la sélection et la domestication d'*Irvingia gabonensis* au Cameroun et au Nigéria; de Ukafor (2001) et de Leakey (2004) sur les traits quantitatifs de *Dacryodes edulis* au Nigéria et au Cameroun; de Leakey (2005) et de Leakey *et al.* (2005a et b) en Afrique du Sud et en Namibie sur les traits quantitatifs et phénotypiques de *Sclerocarya birrea* en vue de sa domestication au profit des populations rurales. Kouyaté & Van Damme (2002) et Kouyaté (2005) quant à eux ont décrit plusieurs descripteurs quantitatifs de *Detarium microcarpum* en vue de sa domestication dans les différentes zones agroclimatiques du Mali. En outre, d'autres travaux ont abordé les corrélations pouvant exister entre les variables morphologiques et les facteurs environnementaux. Par exemple, Maranz & Wiesman (2003) ont montré pour le karité (*Vitellaria paradoxa*), une relation significative entre les variables liées au fruit (forme et dimensions du fruit, goût de la pulpe, composition de l'amande) et les variables abiotiques (température et pluviométrie) dans les zones sub-sahariennes du nord de l'équateur. Soloviev *et al.* (2004) de leur côté ont montré pour *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica* (2 espèces de savane) un effet significatif des zones climatiques au Sénégal sur la production de pulpe.

Dans le cas du baobab, plusieurs agences de développement international ont financé des recherches en vue de sa domestication dans les pays en développement (par exemple, le NORAD au Kenya et le SIDA en Tanzanie) (Sidibé et William, 2002). Les recherches entreprises sur l'espèce au Nigéria et au

Mali ont permis de générer des informations sur la valeur alimentaire et les potentialités agronomiques de l'espèce (Sidibé & Williams, 2002; Barminas *et al.*, 1998; Igboeli *et al.*, 1997; Yazzi *et al.*, 1994). Beaucoup de travaux en Afrique ont également contribué à la mise en exergue des connaissances ethnobotaniques et l'importance socio-économique de l'espèce (Baumer, 1995; Codjia *et al.*, 2000 et 2003; Diop, 2005). Les données disponibles sur l'écologie d'*A. digitata* sont relatives à sa distribution et à sa biogéographie sur le continent africain (Wickens, 1982; Baum 1995 et 1998). De plus, les aspects liés à la phénologie de l'arbre ont été documentés au Sénégal (Anon, 2003; Diop, 2005), au Mali (Sidibe & Williams, 2002), en Afrique du Sud et au Soudan (Wickens, 1982). Pour le Bénin, il n'existe pas d'information disponible sur la phénologie de l'espèce. Selon Chuine *et al.* (2000), les cycles phénologiques des arbres tropicaux sont influencés par des facteurs biotiques, climatiques et édaphiques, et sont déterminants pour évaluer les flux de pollen entre individus situés dans des zones agroclimatiques différentes.

Par ailleurs, aucune étude n'a jusqu'à présent révélé la productivité de l'arbre en ses différents organes dans les systèmes agroforestiers. Selon Sidibe & Williams (2002), ces informations sur le baobab sont indisponibles ce qui ne favorisent pas sa prise en compte dans les programmes nationaux de développement et de diversification de l'agriculture des pays africains où il est présent. De plus, les informations sur les relations existantes d'une part, entre la production de l'arbre et ses variables morphologiques et d'autre part, entre les facteurs environnementaux et les variables morphologiques et de production manquent. Il s'agit pourtant d'informations nécessaires pour identifier d'une part, les conditions environnementales favorables à une plus grande production des organes de l'arbre et d'autre part, la domestication de l'espèce dans les systèmes agroforestiers. Ceci constitue en effet, un maillon essentiel de la sélection variétale et de la sélection à l'aide d'outils biotechnologiques tels que la multiplication végétative et les marqueurs moléculaires afin de proposer des individus répondant aux préoccupations des communautés paysannes.

Ainsi, les objectifs de ce travail consistent à: (i) évaluer la diversité écologique de l'espèce selon les gradients climatiques du Bénin; (ii) quantifier la production moyenne des différents organes (pulpe, graines, amande) de l'arbre suivant les zones agroclimatiques du Bénin et; (iii) établir les relations qui existent entre les variables morphologiques, la production et les conditions environnementales.

5.2 MATERIEL ET METHODES

5.2.1 Evaluation de la diversité écologique du baobab au Bénin

5.2.1.1 Distribution et abondance d'*A. digitata* au Bénin

Pour l'étude de distribution et d'estimation de la densité (nombre d'individus de baobab au km²) d'*A. digitata*, 147 localités (stations) réparties dans l'ensemble des 87 communes et des 3 zones agroclimatiques du Bénin ont été explorées.

Pour une évaluation exhaustive et fiable de la densité et de la distribution du baobab au Bénin, les localités explorées ont tenu compte de la représentativité de toutes les communes et zones

agroclimatiques du Bénin. Chaque localité explorée a été géoréférencée au GPS (*Global Positioning System*) Garmin 12 XL, afin de faciliter la réalisation de la carte de distribution d'*A. digitata* au Bénin.

Dans chaque localité, 4 transects (Ti) de 3 km de long chacun, ont été disposés dans les 4 sens (Nord, Sud, Ouest, Est) par rapport au centre de la localité qui, le plus souvent est un village (figure 5.1).

Durant la marche sur un transect Ti, la distance moyenne d'observation des individus de baobab considérés pour le calcul de densité, est d'environ 500 m de part et d'autre du transect (figure 5.1). Ainsi, $11 \text{ km}^2 [(3 \text{ km} * 2) * (0,5 \text{ km} * 2) + (2,5 \text{ km} * 2) * (0,5 \text{ km} * 2)]$ de superficie ont été échantillonnés dans chaque localité pour l'estimation de la densité du baobab (figure 5.1).

Il est important de souligner que les obstacles rencontrés (maisons, cours d'eau, etc.) au cours de la marche sur un transect, ont été le plus souvent évités, soit par contournement de la difficulté, soit par abandon du transect. Dans ce dernier cas, un autre transect est disposé dans la même localité pour compléter à 11 km^2 la superficie d'échantillonnage fixée au départ pour chaque localité.

Pour l'ensemble des 147 localités explorées au Bénin, une superficie totale de 1617 km^2 ($11 \text{ km}^2/\text{localité} * 147 \text{ localités}$) a été inventoriée, ce qui correspond à un taux d'échantillonnage de $1,43 \%$ [$(1617 \text{ km}^2 / 112622 \text{ km}^2) * 100$] du territoire national du Bénin (112622 km^2 de superficie).

En nous basant sur la présence de l'espèce et sa densité dans chaque localité, une carte de distribution et d'abondance d'*A. digitata* a pu être élaborée pour le Bénin (figure 5.2).

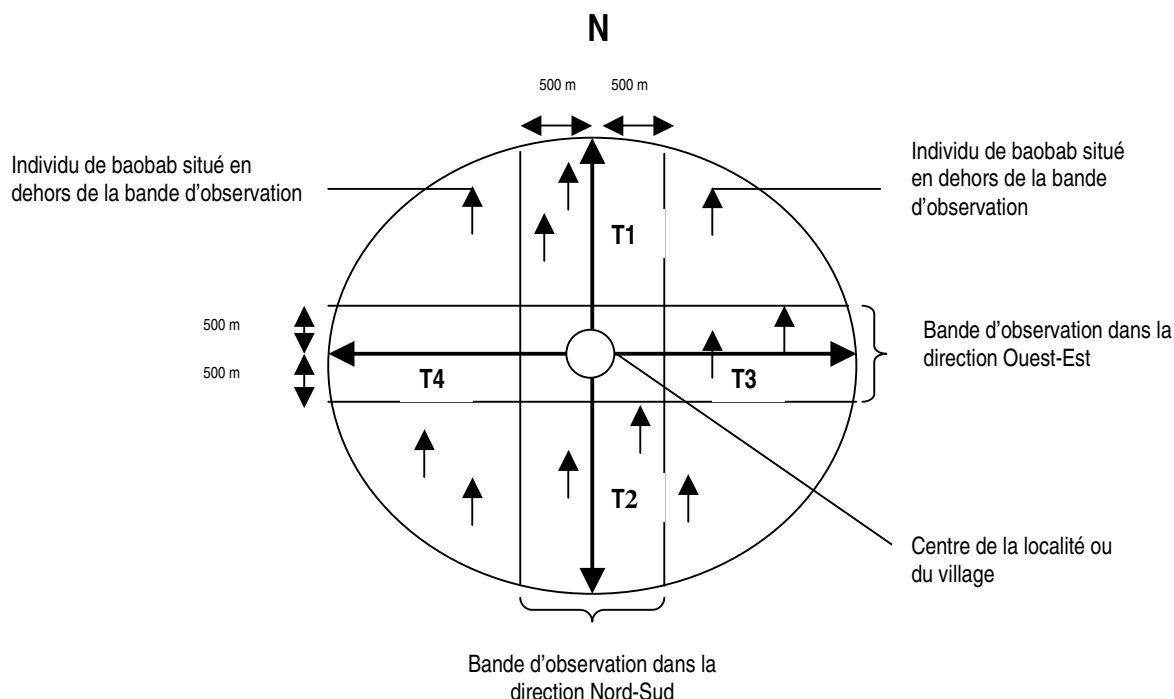


Figure 5.1: Schéma donnant une idée de la disposition des transects et des bandes d'observation des individus de baobab dans une localité

Légende: Ti = transect i avec $i = 1, 2, 3$ ou 4 . **NB:** La longueur de chaque transect Ti est 3 km

La carte de distribution et d'abondance d'*A. digitata* au Bénin a été réalisée dans le Laboratoire de Gestion Forestière et de Techniques d'Information Spatiale de l'Université de Gand (Belgique) en

utilisant un système d'information géographique (SIG). Le logiciel utilisé est *ArcView 3.1* avec l'extension *analyste spatial 1.1*. L'algorithme utilisé par le logiciel consiste à interpoler des grilles de densité en utilisant l'interpolateur de distance inverse pondérée (IDW: *Inverse Distance Weighted*). Pour chaque grille de densité, 12 points voisins ont été pris en compte. La résolution de la grille est de 1 kilomètre. L'interpolation de 'IDW' détermine des valeurs pour les grilles de densité en utilisant une combinaison linéairement pondérée des valeurs (densités) d'un ensemble de points échantillons correspondant aux localités où les densités de baobab ont été évaluées. La pondération est une fonction inverse de la distance.

5.2.1.2 Caractérisation des habitats naturels et des individus

L'étude des habitats naturels d'*A. digitata* et de ses caractéristiques morphologiques a été réalisée dans l'ensemble des zones agroclimatiques du Bénin. Au fur et à mesure de la marche sur les transects dans les localités explorées, des placeaux rectangulaires de 50 m x 30 m ont été disposés à chaque rencontre d'un individu de baobab. Au sein des placeaux, on a effectué des relevés floristiques et des mesures dendrométriques sur les individus de baobab. Les échantillons de sol des localités à forte densité de baobab (> 5 ind./km²) ont été prélevés. De plus, les variables climatiques (température, humidité relative, évapotranspiration, pluviométrie) ont été recueillies pour les localités à forte densité de baobab, au niveau des stations météorologiques les plus proches.

○ Mesure des variables dendrométriques

Les 3 zones climatiques du Bénin ont été prises en compte pour la mesure des variables dendrométriques et pour l'estimation de la production moyenne par arbre en pulpe, amandes et graines. Les mesures dendrométriques ont porté respectivement sur 129 individus dans la zone soudanienne, 90 individus dans la zone soudano-guinéenne et 122 individus dans la zone guinéenne. Les données dendrométriques collectées sont le diamètre à hauteur de poitrine (à 1,30 m) obtenu par un ruban II (0,1 cm de précision), la hauteur totale obtenue avec un clinomètre SUUNTO et le diamètre du houppier (par projection) avec un pentadécamètre. En plus des données sur le nombre total de branches (obtenu par comptage), le nombre de capsules par arbre sur ceux en fructification a été dénombré.

La moyenne de chaque variable dendrométrique et la productivité moyenne en pulpe, graines et amandes par individu de baobab ont d'abord été calculées pour chaque zone agroclimatique. Ensuite, ces mêmes paramètres ont été calculés sur des classes homogènes de diamètres afin de relativiser les comparaisons au sein et entre des zones agroclimatiques.

Pour les analyses, les méthodes de statistique descriptive et d'inférence statistique notamment d'analyse de variance suivie des tests de Newman et Keuls, ont été utilisées pour comparer les variables.

- **Prélèvement de sol et analyse au laboratoire**

Au niveau des localités à forte densité de baobab (> 5 ind./km²), des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur moyenne de 40 cm au moyen d'une tarière pédologique, à proximité de tous les pieds des individus. Les échantillons ont été analysés au Laboratoire des Sciences du Sol (LSS) de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (UAC). Les variables analysées ont été la granulométrie (% argile, % limon, % sable), le pH-eau, le pH-KCl, la teneur en matière organique et en carbone, la teneur en azote de même que le rapport C/N. Les protocoles utilisés pour la détermination des différents constituants sont décrits dans Baize (2000).

Ainsi, la granulométrie a été étudiée suivant le protocole international de digestion de la matière organique du sol avec de l'eau oxygénée (H₂O₂) (pipette de Robinson). Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre dans un rapport sol-eau égal à 1/2,5. Quant à l'azote, il a été déterminé par la méthode de Kjeldahl qui consiste à minéraliser l'azote organique par de l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur à chaud et à distiller en présence d'une solution de soude (NaOH). Le carbone organique des sols a été déterminé par la méthode calorimétrique qui consiste à oxyder la matière organique avec du bichromate de potassium (1N) en présence de l'acide sulfurique concentré à chaud; puis la lecture se fait au colorimètre pour déterminer la quantité de bichromate restant après oxydation complète de la matière organique. Cette quantité est introduite dans l'équation d'une droite de régression pour la détermination de la teneur en matière organique.

- **Variables climatiques**

Les variables climatiques sur 30 ans dans chacune des localités ont été recueillies auprès des stations météorologiques de l'ASECNA les plus proches. Les données recueillies ont été la température (en °C), l'humidité relative (en %), la pluviométrie (en mm) et l'évapotranspiration potentielle (en mm).

5.2.2 Phénologie du baobab au Bénin

L'observation de la phénologie de 30 individus (sélectionnés parmi ceux ayant fait l'objet de caractérisation morphologique dans l'ensemble des zones agroclimatiques) ayant déjà produit au moins une fois de fruits, a été effectuée de mars 2003 à mars 2004 suivant le protocole de Guédjé (2003). Les paramètres enregistrés pour la détermination des moments de feuillaison, de floraison et de fructification ont été la présence ou l'absence de feuilles, d'inflorescence ou de fruits. Les observations ont été effectuées tous les mois. Les données climatiques sur 30 ans recueillies auprès des services météorologiques de l'ASECNA-Bénin, pour l'ensemble des localités, ont permis d'examiner l'influence du climat sur les phénophases de feuillaison, de floraison et de fructification d'*A. digitata* au Bénin.

5.2.3 Rendements moyens en pulpe, en amande et en graines des individus de baobab

5.2.3.1 Echantillonnage

Les arbres échantillonnés pour la mesure des productions en pulpe, en graines et en amande, ont été aléatoirement sélectionnés parmi ceux ayant fait l'objet de caractérisation morphologique au niveau des 3 zones agroclimatiques du Bénin (cf. 5.2.1). Ainsi pour l'évaluation des rendements, 30 pieds de baobab ont été choisis par zone climatique, soit au total 90 pieds pour les 3 zones. Ensuite, 40 capsules ont été échantillonnées au hasard sur chaque individu sélectionné, pour l'estimation des productions en graine, en amande et en pulpe, soit au total 3600 capsules.

5.2.3.2 Mensuration des capsules et extraction de différents organes

Le poids 'frais' total (Ptc) de chaque capsule échantillonnée a d'abord été estimé à l'aide d'un peson (0 à 5 Kg \pm 0,0001 Kg). Puis, les graines enrobées de pulpe ont été recueillies de la capsule. Elles ont ensuite été pesées et immergées dans de l'eau pour être débarassées entièrement de la pulpe. Une fois la pulpe enlevée, les graines ont été séchées à l'étuve à une température de 50° - 60°C pendant 48 h afin de ramener la teneur en eau à celle de départ (cf. chapitre 8). Ensuite, les graines ont été bouillies dans de l'eau pendant 30 min suivant la technique traditionnelle pour extraire les amandes. Ces dernières ont ensuite été séchées à l'étuve pendant 48 h pour ramener la teneur en eau à celle de départ (cf. chapitre 8) avant d'être pesées. Tout ce processus a permis de calculer le poids moyen de l'amande dans une graine à partir d'un échantillon de 2000 graines échantillonnées au hasard dans le lot de graines disponibles.

5.2.3.3 Evaluation des rendements en pulpe, graines et amande

Pour estimer la productivité en pulpe, en graines et en amande, 40 fruits ont été aléatoirement échantillonnés sur chaque arbre ce qui correspond à un total de 1200 capsules échantillonnées sur les 30 arbres dans chaque zone climatique. Chaque capsule a été pesée, cassée et le contenu (pulpe + graines) pesé en utilisant un peson (\pm 0,1 g de précision). Les graines ont été retirées de l'ensemble par rinçage du contenu [pulpe + graine] dans de l'eau. Elles ont ensuite été comptées puis séchées à l'étuve à 50° - 60°C pendant 48 h et ont été pesées. Ces graines séchées ont ensuite été bouillies dans de l'eau pendant 30 min pour retirer le tégument externe. Les amandes des graines ont été pesées après être également séchées à l'étuve à 40° - 50 °C pendant 48 h. Le poids de la pulpe dans chaque capsule a été obtenue par la formule:

$P_p = P_{pg} - P_g$, où:

P_p est le poids de la pulpe,

P_{pg} le poids de la graine et de la pulpe réunie, et

P_g le poids des graines sans la pulpe.

Pour chaque produit (pulpe, graines et amande), la productivité moyenne a été calculée par arbre et permet l'estimation de leur rendement moyen (quantité moyenne produite par arbre), dans chaque zone climatique.

Ainsi, si q_{ix} désigne la quantité moyenne de x ($x =$ pulpe ou graines ou amande) pour un fruit, en considérant les 40 fruits échantillonnés au niveau de l'arbre i , on a :

$$q_{ix} = \frac{1}{40} \sum_{c=1}^{40} P_{xc} \quad (1) \text{ où,}$$

P_{xc} désigne la productivité du produit x pour la capsule c .

A l'échelle de l'arbre i , la quantité totale moyenne Q_{ix} de x est estimée comme suit:

$$Q_{ix} = NTC_i * q_{ix} \quad (2) \text{ où,}$$

NTC_i désigne le nombre total de capsules dénombré sur l'arbre i .

Il a été donc possible d'estimer le rendement moyen Q_x de pulpe, de graines ou d'amandes au niveau de l'ensemble des arbres échantillonnés par:

$$Q_x = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} Q_{ix} \quad (3).$$

5.2.4 Corrélations entre variables environnementales et variables dendrométriques et de production

En vue de déterminer les variables associées et l'évolution des unes par rapport aux autres, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée avec le logiciel SASv8. Pour éviter l'influence des variables abiotiques (variables climatiques et édaphiques) sur celles biotiques (variables de production et variables dendrométriques) mesurées, l'ACP a seulement été exécutée sur les premières notamment les variables de l'environnement et du sol. Ensuite, les composantes principales (Z) obtenues à partir de la combinaison linéaire des variables abiotiques ont été corrélées avec les variables biotiques en utilisant le '*Spearman rank correlation coefficient*'.

5.3 RESULTATS

5.3.1 Distribution, abondance et caractéristiques des habitats à baobab au Bénin

Au Bénin, les localités de Boukoumbé (N 10°18'214"; E 001°20'546"), Porga (N 11°00'744"; E 000°59'570") et de Karimama (N 11°43'431"; E 003°13'265") dans le domaine soudanien, la localité de Dassa (N 07°45'172"; E 002°11'220") dans la zone de transition soudano-guinéenne puis enfin, les localités de Sèhouè (06°54.249 N; 002°15.326 E) et de Comè (6°24.621 N; 001°51.795 E) dans le

domaine guinéen (Dahomey-Gap), sont les zones à forte prédominance de baobab où les densités observées dépassent régulièrement 5 individus au km² (figure 5.1). Par contre, les régions de Pobè (N 06° 58'400"; E 002° 39'270") dans la zone guinéenne, sont peu pourvues en pieds de baobab avec des densités très faibles, souvent inférieures à 1 individu au km² (figure 5.2). Les autres localités, pour la plupart situées dans le centre et le nord-est du Bénin, ont des densités moyennes de 2 à 3 individus de baobab au km².

Dans chaque localité, la plupart des individus se retrouvent aux alentours des habitations et dans les champs de culture.

La figure 5.3 présente la distribution schématique du nombre moyen d'individus de baobabs par rapport au centre des localités explorées. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne des habitations, le nombre de pieds de baobab diminue selon l'équation:

$$y = -2.9146\ln(x) + 6.0293; \quad (R^2 = 0,99; p < 0,001)$$

qui traduit un certain lien entre l'homme et le baobab. Ainsi, les plus grandes densités sont observées dans les environs immédiats des habitations. On retrouve aussi certains pieds isolés dans la végétation naturelle.

Les espèces ligneuses spontanées compagnes du baobab et les plus fréquemment observées sont:

- dans le soudanien et le soudano-guinéen: *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Borassus aethiopum*, *Tamarindus indica*, *Vitex doniana*, *Balanites aegyptiaca*, *Xanthoxylum xanthoxiloides*, *Blighia sapida*, *Mangifera indica*, *Azadirachta indica*, *Diospyros mespiliformis*, *Nauclea latifolia*, *Strychnos spinosa*, *Ficus* spp.
- dans le guinéen: *Parkia biglobosa*, *Borassus aethiopum*, *Tamarindus indica*, *Vitex doniana*, *Blighia sapida*, *Mangifera indica*, *Azadirachta indica*, *Ficus* spp.

La plupart des baobabs ont une origine naturelle, selon les paysans. Cependant, quelques cas de transplantation des plantules de baobab ont été enregistrés dans les villages Kantro et Toumboutou à Karimama dans le domaine soudanien du Bénin.

Les populations de baobab se rencontrent sur des sols à texture sableuse dans les zones soudanienne et guinéenne, puis sablo-argileuse dans la zone de transition soudano-guinéenne (tableau 5.1). En zone guinéenne, les baobabs poussent sur des sols basiques tandis que dans la zone soudanienne, ils se trouvent sur des sols à pH neutre. D'une manière générale, les sols des stations à baobab explorées dans diverses zones climatiques, présentent globalement une teneur en azote relativement moyenne (0,06 % à 0,1 %), sauf, au niveau de Comè, dans la zone guinéenne où les teneurs sont élevées. Cet état de chose résulterait de l'utilisation des engrais chimiques (urée et NPK) par les paysans durant les pratiques agricoles, le baobab étant le plus souvent rencontré dans ces localités au niveau ou près des champs de culture. Par ailleurs, les teneurs en matières organiques des stations à baobab sont élevées dans presque toutes les zones climatiques. Il en est de même des rapports C/N souvent supérieurs à 20. Par rapport aux autres stations, celles de la dépression de la Lama dans la zone guinéenne ont les plus faibles teneurs en matière organique avec des rapports C/N inférieurs à 20 (C/N<19,75).

Tableau 5.1: Caractéristiques physico-chimiques des sols sur lesquels se rencontrent les populations de baobab

Zones climatiques	Localités	Caractéristiques chimiques						Granulométrie (%)			
		pH-eau	pH-Kcl	Ntotal(%)	Corg(%)	Mat org(%)	C/N	A	Lg	Lf	S
Soudanienne	KARIMAMA	6,73 (0,01)	6,07 (0,04)	0,06 (0,00)	1,78 (0,02)	3,05 (0,04)	29,67	8,12 (0,46)	11,49 (0,31)	7,00 (0,34)	73,4 (0,19)
	BOUKOUMBE	6,44 (0,07)	5,52 (0,06)	0,07 (0,00)	1,93 (0,23)	3,31 (0,40)	27,57	11,66 (0,65)	13,6 (0,20)	71,97 (0,77)	71,97 (0,77)
Soudano-guinéen	DASSA	6,89 (0,04)	6,27 (0,04)	0,07 (0,00)	2,41 (0,00)	4,15 (0,00)	34,43	12,63 (1,07)	4,98 (0,60)	9,95 (0,44)	72,23 (0,33)
Guinéen	COME	7,42 (0,03)	6,97 (0,04)	0,1 (0,00)	2,99 (0,16)	5,14 (0,28)	29,9	13,23 (1,79)	8,82 (0,32)	15,09 (1,22)	62,88 (0,25)
	LAMA	7,57 (0,08)	7,16 (0,04)	0,08 (0,00)	1,58 (0,12)	2,71 (0,20)	19,75	11,63 (0,02)	2,46 (0,19)	9,96 (0,16)	76,13 (0,04)

Les valeurs entre parenthèses représentent l'écart-type des différentes variables

A = argile; Lg = Limon grossier; Lf = Limon fin; S = Sable; C = Carbone; N = Azote; Corg = Carbone organique

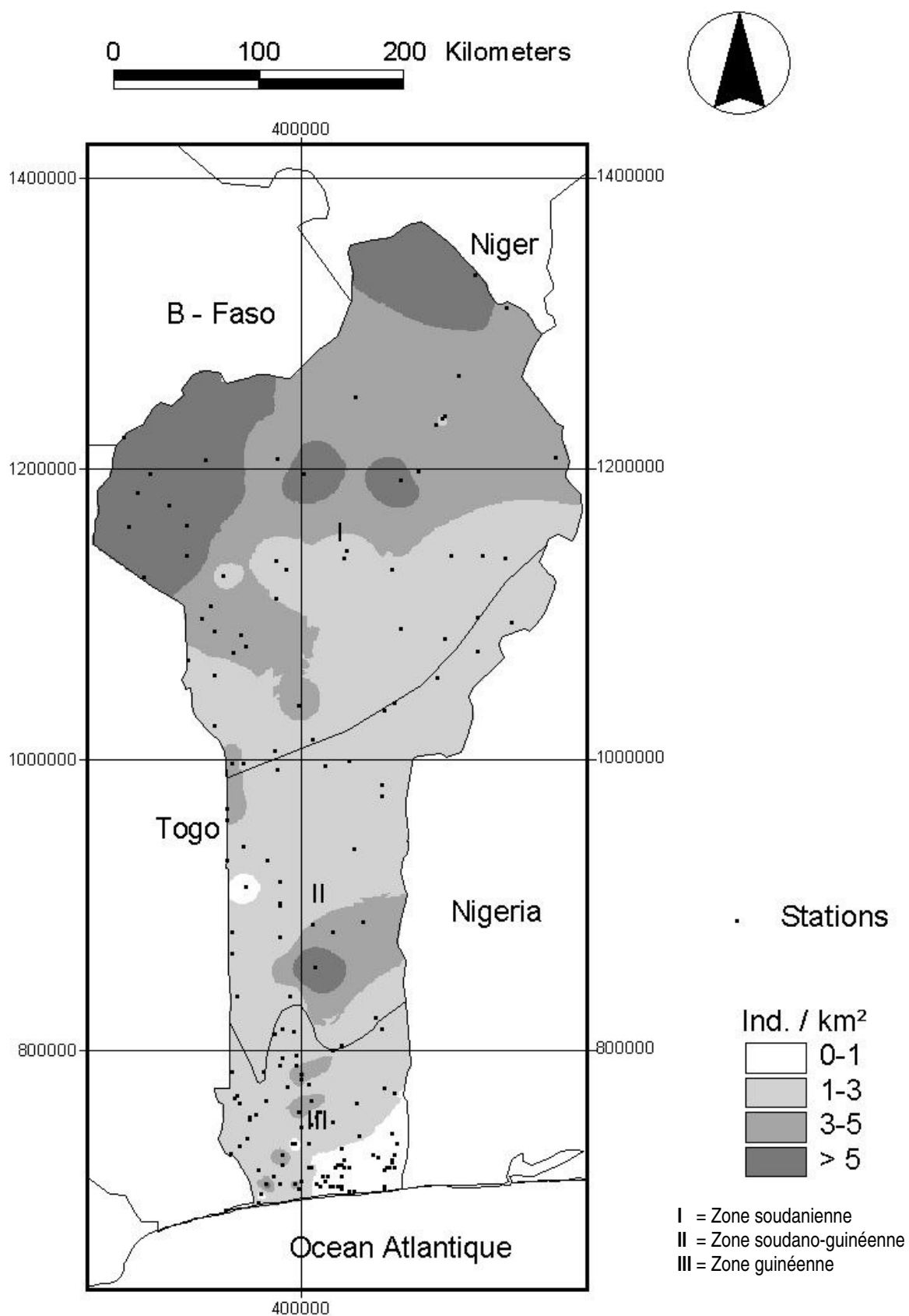


Figure 5.2: Distribution et densité d'*A. digitata* au Bénin
 (Carte réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006)

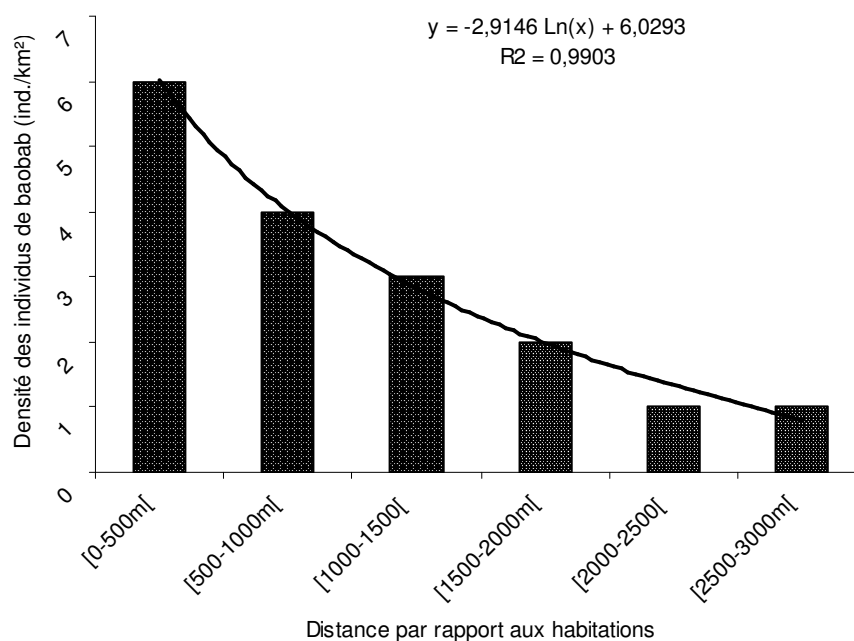


Figure 5.3: Densité moyenne des individus de baobab selon leurs éloignements des habitations

5.3.4 Phénologie du baobab au Bénin

La figure 5.4 résume pour chaque mois, le pourcentage d'arbres en feuillaison, en fructification ou en floraison de mars 2003 à mars 2004.

La fructification du baobab (figure 5.4) est saisonnière et débute dans les domaines soudanien et soudano-guinéen du Bénin à partir du mois de juillet (saison des pluies). A partir du mois d'octobre (début de la saison sèche), tous les arbres en âge de fructifier sont en fructification dans l'ensemble des zones agroclimatiques du Bénin. La maturation des fruits commence à partir des mois de décembre ou janvier. Dans le domaine guinéen, les capsules sont très peu exploitées par les populations et plus de 50 % des arbres portent encore des fruits jusqu'en février. A partir du mois de mai jusqu'en juillet, aucun des individus observés n'a porté de fruits.

La courbe de floraison du baobab (figure 5.4) suit pratiquement l'allure de la courbe de pluviométrie dans le domaine soudanien du Bénin (cf. figure 2.2 dans le chapitre 2). Ainsi, en pleine saison sèche (octobre à avril) correspondant à la période de maturation des fruits, on n'observe quasiment pas de baobabs en fleur dans aucune zone du pays contrairement aux périodes de grandes pluies (juillet à septembre) où tous les arbres sont en floraison. Par ailleurs, on observe au niveau de la plupart des arbres des feuilles sauf en période de grande sécheresse (Décembre à mars: cf. figure 2.2 dans le chapitre 2) où la majorité des arbres perdent leurs feuilles (figure 5.4). Cette perte naturelle des feuilles de baobab qui démarre avec le début de la saison sèche vers les mois d'octobre favorise une reprise de jeunes feuilles à la fin de la caducifolie (perte des feuille) durant les périodes de janvier et février.

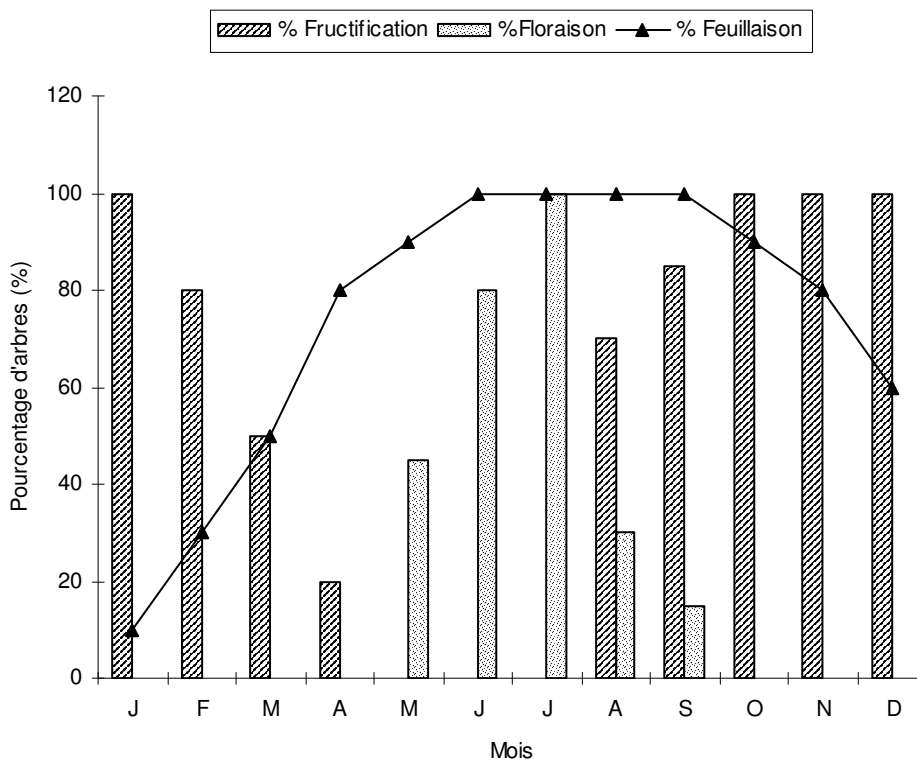


Figure 5.4: Diagramme phénologique du baobab de mars 2003 à mars 2004 toutes zones confondues

5.3.3 Variations des caractéristiques dendrométriques et de production du baobab selon les zones climatiques

Le tableau 5.2 montre globalement les variations des caractéristiques dendrométriques et de production en fonction des zones climatiques. Il en ressort que les coefficients de variation observés pour les variables dendrométriques sont généralement assez faibles (< 30 %) traduisant ainsi une faible dispersion des variables autour des moyennes. En comparant l'ensemble des 3 zones, il ressort du tableau 5.2 que des baobabs ayant les plus grandes hauteurs sont ceux de la zone guinéenne (encore montré sur la figure 5.5). Ensuite viennent des baobabs de la zone soudano-guinéenne (hauteur moyenne = 17,09 m) et ceux de la zone soudanienne (hauteur moyenne = 13,80 m). La zone soudanienne quant à elle, est celle dans laquelle se trouvent les baobabs ayant les plus gros diamètres (> 5 m: tableau 5.2 & figure 5.6). Ensuite suivent des baobabs de la zone soudano-guinéenne (diamètre moyen = 175,77 cm) et ceux de la zone guinéenne (diamètre moyen = 149,81 cm). Enfin, le tableau 5.2 montre aussi que des baobabs de la zone guinéenne sont moins larges que ceux de des zones soudanienne et soudano-guinéenne (diamètre moyen du houppier ≈ 13,29 m)

Par ailleurs, le tableau 5.2 montre de forts coefficients de variation (> 50 %) pour des variables de production; ceci indique une large dispersion de celles-ci autour des moyennes. En d'autres termes, les variables de production varient largement d'un individu de baobab à un autre. Dès lors, nous avons constitué des classes de diamètres pour relativiser les comparaisons des différentes variables selon les zones climatiques (tableaux 5.3; 5.4 et 5.5).

Dans la zone soudanienne, la hauteur, le diamètre du houppier et le nombre de branches des individus de baobab varient significativement ($p < 0,0001$) selon leurs diamètres (tableau 5.3). Généralement dans cette zone, plus un individu de baobab est gros, plus il est haut et plus le diamètre de son houppier est large. Il en est de même pour les variables de production dans cette zone où il est observé que les baobabs ayant les plus grands diamètres sont ceux qui produisent le plus de capsules, de pulpe, d'amandes et de graines. Toutefois, à partir de 200 cm de diamètre, les productions des baobabs pour ces mêmes produits ne varient plus de façon significative ($p > 0,0001$).

Dans la zone guinéenne, les variables dendrométriques et de production ne varient pas significativement d'une classe de diamètre à une autre (tableau 5.4). On en déduit que dans cette zone, le diamètre du baobab n'est pas un facteur déterminant pour sa production en pulpe, amandes et graines. De même, la croissance en hauteur et le développement du diamètre du houppier du baobab dans cette zone ne sont pas conditionnés non plus par la grosseur de son diamètre (tableau 5.4). Par ailleurs, il est observé que seuls les baobabs ayant moins de 100 cm de diamètre dans la zone guinéenne produisent relativement plus de pulpe, d'amande, de graines et de capsules que ceux de la zone soudanienne appartenant à la même classe de diamètre (tableau 5.4).

Enfin, dans la zone soudano-guinéenne, il est observé que les hauteurs des individus ne varient pas significativement suivant les différentes classes de diamètre (tableau 5.5). Par contre, les diamètres des houppiers de même que les variables de production évoluent significativement avec la croissance en diamètre des arbres. Ainsi, les plus grandes productions de pulpe, d'amandes et de graines dans cette zone sont obtenues avec les arbres de diamètre supérieur à 300 cm (tableau 5.5).

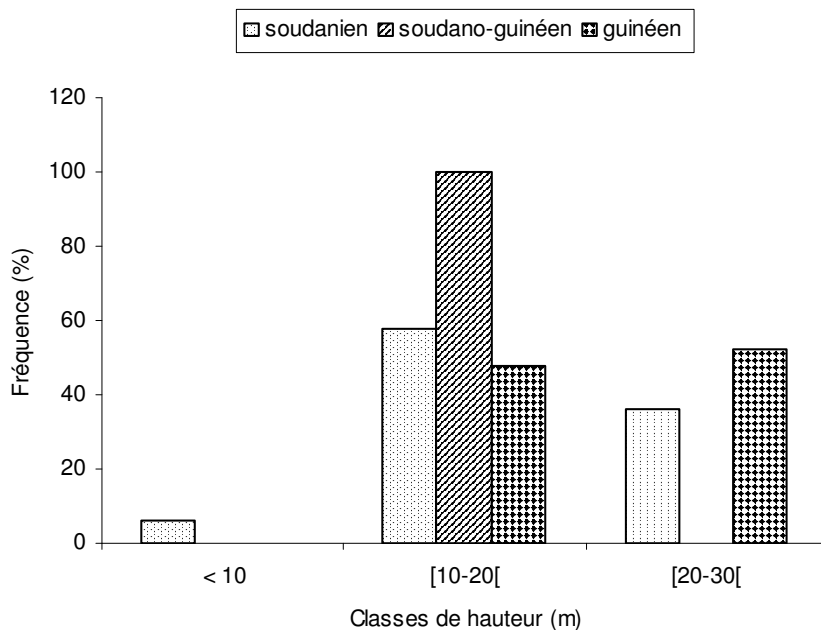


Figure 5.5: Répartitions des fréquences des individus de baobab par classe de hauteur selon les zones climatiques

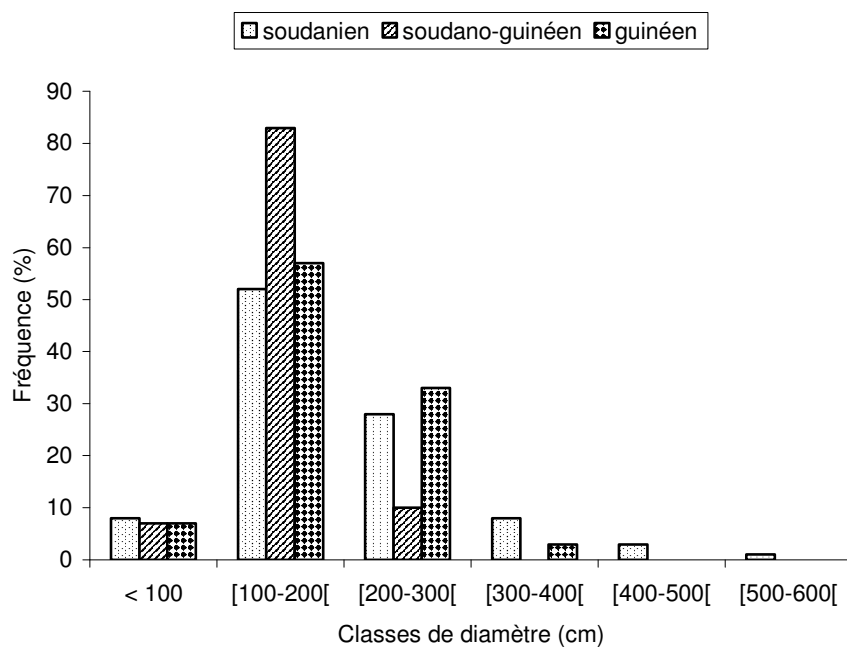


Figure 5.6: Répartitions des fréquences des individus de baobab par classe de diamètre selon les zones climatiques

Tableau 5.2: Variations des caractéristiques dendrométriques et de productions selon les zones climatiques

Zones climatiques		Hauteur (m)	diamètre houppier (m)	Nombre de branches / arbre	Nombre de capsules	Nombre de graines	Diamètre à 1,30m (cm)	Poids amande / arbre (g)	Poids capsules / arbre (kg)	Poids graines / arbre (kg)	Poids pulpe / arbre (kg)
Soudanienne (n = 129)	Moy	17,09	17,31	7,32	124,63	20570,11	201,70	2980,88	27,35	8,94	4,83
	σ	4,60	4,93	2,69	121,40	19359,73	94,45	2806,40	25,94	8,42	4,57
	CV	0,27	0,28	0,37	0,97	0,94	0,47	0,94	0,95	0,94	0,95
Soudano-Guinéenne (n = 90)	Moy	13,80	18,30	9,60	157,37	27527,47	175,77	3977,72	35,39	11,93	6,26
	σ	1,86	5,24	5,20	166,14	31149,05	61,68	4499,44	39,90	13,50	6,93
	CV	0,14	0,29	0,54	1,06	1,13	0,35	1,13	1,13	1,13	1,11
Guinéenne (n = 122)	Moy	19,62	13,29	7,27	57,13	10923,10	149,81	1575,21	13,70	4,73	2,40
	σ	3,44	3,45	2,97	45,06	9072,49	38,62	1308,78	11,37	3,93	1,97
	CV	0,18	0,26	0,41	0,79	0,83	0,26	0,83	0,83	0,83	0,82

Légende: n = nombre de baobabs par zone

Tableau 5.3: Variations des caractéristiques dendrométriques et de production selon différentes classes de diamètre dans la zone soudanienne

Classe de diamètre		hauteur (m)	diamètre houppier (m)	Nombre de branches/arbre	Nombre de capsules /arbre	Nombre de graines/arbre	Poids amande / arbre (g)	Poids capsules/ arbre (kg)	Poids graines/ arbre (kg)	Poids pulpe / arbre (kg)
< 100 cm	Moy	9,40 ^c	11,01 ^c	4,60 ^b	21,20 ^c	4015,00 ^b	583,51 ^b	5,56 ^b	1,75 ^b	0,94 ^b
	σ	4,04	0,68	2,07	34,56	6569,97	954,89	9,09	2,86	1,53
100-200 cm	Moy	15,82 ^b	16,09 ^b	6,48a ^b	96,61 ^{cb}	17030,33a ^b	2468,36a ^b	22,56 ^{ab}	7,41 ^{ab}	3,95 ^{ab}
	σ	3,76	3,99	1,86	82,87	15281,51	2216,80	20,32	6,65	3,50
200-300 cm	Moy	19,68 ^a	18,26 ^b	9,00 ^a	148,05 ^b	25129,53 ^a	3644,69 ^a	33,74 ^a	10,93 ^a	5,90 ^a
	σ	3,30	2,90	3,21	116,86	20487,09	2975,56	28,21	8,93	4,81
> 300 cm	Moy	21,00 ^a	23,99 ^a	8,50 ^a	249,25 ^a	34690,00 ^a	5016,88 ^a	45,53 ^a	15,05 ^a	8,39 ^a
	σ	2,45	6,24	1,93	192,28	26760,65	3870,11	35,12	11,61	6,47
Probabilité (Pr)		< 0,0001	< 0,0001	0,0002	0,0012	0,0146	0,0149	0,0173	0,0149	0,0101

NB: Les valeurs présentant les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différentes pour la variable considérée

Tableau 5.4: Variations des caractéristiques dendrométriques et de production selon différentes classes de diamètre dans la zone guinéenne

Classe de diamètre		hauteur (m)	diamètre houppier (m)	Nombre de branches/arbre	Nombre de capsules/arbre	Nombre de graines/arbre	Poids amande/ arbre (g)	Poids capsules/ arbre (kg)	Poids graines/ arbre (kg)	Poids pulpe /arbre (kg)
< 100 cm	Moy	15,25 ^a	10,40 ^a	8,00 ^a	43,00 ^a	7066,50 ^a	1017,32 ^a	9,08 ^a	3,05 ^a	1,60 ^a
	σ	0,50	0,85	4,24	18,38	1028,84	155,35	1,63	0,47	0,40
100-200 cm	Moy	19,50 ^a	13,55 ^a	6,88 ^a	57,84 ^a	11225,04 ^a	1617,54 ^a	13,90 ^a	4,85 ^a	2,45 ^a
	σ	3,54	3,65	2,95	43,59	8861,20	1275,74	10,79	3,83	1,88
200-300 cm	Moy	20,65 ^a	13,00 ^a	10,00 ^a	60,67 ^a	10978,00 ^a	1594,42 ^a	15,09 ^a	4,78 ^a	2,57 ^a
	σ	3,10	1,73	1,00	79,00	15319,91	2227,22	21,27	6,68	3,57
Probabilité (Pr)		0,0350	0,4723	0,2190	0,9017	0,8333	0,8329	0,8357	0,8326	0,8411

NB: Les valeurs présentant les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différentes pour la variable considérée

Tableau 5.5: Variations des caractéristiques dendrométriques et de production selon différentes classes de diamètre dans la zone soudano-guinéenne

Classe de diamètre		hauteur (m)	diamètre houppier (m)	Nombre de branches /arbre	Nombre de capsules /arbre	Nombre de graines /arbre	Poids amande/ arbre (g)	Poids capsules/ arbre (kg)	Poids graines/ arbre (kg)	Poids pulpe / arbre (kg)
< 100 cm	Moy	14,00 ^a	11,20 ^d	5,75 ^b	43,75 ^a	6683,75 ^b	964,09 ^b	8,66 ^b	2,89 ^b	1,56 ^b
	σ	2,83	2,29	3,77	32,64	4436,31	641,41	5,82	1,92	1,07
100-200 cm	Moy	13,76 ^a	16,19 ^c	8,65 ^b	113,32 ^{ab}	17985,15 ^b	2600,92 ^b	23,54 ^b	7,80 ^b	4,21 ^b
	σ	1,94	4,05	4,22	111,76	16202,28	2345,10	21,44	7,04	3,88
200-300 cm	Moy	14,00 ^a	22,24 ^b	11,20 ^b	236,60 ^{ab}	43538,15 ^{ab}	6297,41 ^{ab}	55,48 ^{ab}	18,89 ^{ab}	9,83 ^{ab}
	σ	1,00	2,99	5,55	191,46	36512,18	5296,75	47,32	15,89	8,25
> 300 cm	Moy	20,00 ^a	29,00 ^a	17,50 ^a	341,00 ^a	71327,50 ^a	10213,60 ^a	89,23 ^a	30,64 ^a	14,88 ^a
	σ	0,00	1,41	10,61	453,96	96935,15	13874,90	121,02	41,62	20,09
Probabilité (Pr)		0,9683	< 0,0001	0,0160	0,0075	0,0014	0,0015	0,0021	0,0015	0,0025

NB: Les valeurs présentant les mêmes lettres dans une même colonne ne sont pas significativement différentes pour la variable considérée

5.3.4 Relations entre les paramètres de production et dendrométriques du baobab et les variables de l'habitat

La constitution de classes homogènes de diamètre n'a pas permis de réduire les grandes disparités observées entre les différentes variables selon les zones climatiques (tableaux 5.3; 5.4 et 5.5). On en déduit que les variables dendrométriques et celles de production seraient toutes influencées par les conditions environnementales. Il a été donc effectué une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les variables abiotiques. Ensuite, chacune des variables de production et dendrométriques a été corrélée avec les facteurs retenus pour l'ACP. Ainsi, il a été possible d'évaluer l'influence des variables du milieu (variables du sol et variables climatiques) sur chacune des variables de production et dendrométriques. L'analyse en composantes principales effectuée sur les variables abiotiques fait ressortir qu'avec les 3 premiers axes, on contrôle 83,98 % des informations (tableau 5.6). Par conséquent, seuls ses 3 axes ont été utilisés pour décrire les relations entre les caractéristiques de l'habitat des populations de baobab. En se basant sur les corrélations entre les différentes variables et les trois premiers axes de l'ACP (tableau 5.7), on peut conclure que:

- la composante Z1 est un axe de d'évapotranspiration (ETP), d'humidité relative (HR), de température (TEMP), de pH-eau et de limon fin (Lf) élevés, puis de pH-Kcl, azote total (Ntotal), carbone organique (Corg) et de matière organique totale (MAT) faibles;
- la composante Z2 est un axe de HR, carbone/azote (C/N) et de teneur en sable (S) élevés, puis de teneurs en argile (Arg) et en limon grossier (Lg) faibles;
- la composante Z3 est un axe de pluie, de ratio C/N et de Lg élevés.

Tableau 5.6: ACP sur les variables abiotiques

(Zi)	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	7,50748781	4,24449815	0,5005	0,5005
2	3,26298966	1,43717501	0,2175	0,7180
3	1,82581465	0,27112072	0,1217	0,8398
4	1,55469393	0,75003324	0,1036	0,9434
5	0,80466070	0,76030745	0,0536	0,9970
6	0,04435324	0,04435324	0,0030	1,0000

Tableau 5.7: Corrélation entre les variables abiotiques et les facteurs (Zi) retenues

Variabiles abiotiques	Z1	Z2	Z3
ETP	0,92394	-0,17795	-0,30211
Pluviométrie	0,20955	0,33094	0,85279
HR	0,78753	0,57831	-0,15344
TEMP	0,97979	-0,11532	-0,09460
pHeau	0,81716	0,46805	-0,03040
pHkcl	-0,94986	0,26959	-0,02808
Ntotal	-0,96267	0,22755	-0,02176
Corg	-0,96281	0,23063	-0,02351
MAT	-0,94095	0,32346	-0,07677
C/N	0,20336	0,53156	0,53224
Arg	-0,20609	-0,85725	-0,22727
Lg	-0,16168	-0,66592	0,60412
Lf	0,73250	-0,33249	0,24386
S	0,26146	0,83542	-0,25989

Légende: ETP = Evapotranspiration potentielle; HR = humidité relative; TEMP = température; Ntotal = azote total; Corg = carbone organique; MAT = matière organique totale; C/N = carbone/azote; Arg = argile; Lg = limons grossiers; Lf = limons fins; S = sable

Par ailleurs, le tableau 5.8 présente les coefficients de corrélation entre les composantes principales Z1, Z2 et Z3 issues de l'ACP et les variables biotiques (variables explicatives)

Tableau 5.8: Coefficients de corrélation entre les composantes principales Z1, Z2 et Z3 issues de l'ACP et les variables morphologiques et de production

Variables dendrométriques et de production	z1		z2		z3	
	Corr.	Prob.	Corr.	Prob.	Corr.	Prob.
Hauteur	0,081	0,221	0,101	0,125	-0,170	0,009
Diamètre houppier	0,007	0,913	-0,033	0,619	-0,248	0,000
Nombre de branches	0,066	0,319	0,168	0,010	-0,325	<.0001
Nombre de capsules	0,029	0,655	0,009	0,895	-0,204	0,002
Nombre de graines	0,029	0,655	0,035	0,590	-0,162	0,013
Diamètre	0,109	0,097	-0,200	0,002	-0,268	<.0001
Poids amande	0,038	0,568	0,032	0,625	-0,162	0,014
Poids capsules	0,012	0,859	0,021	0,750	-0,169	0,010
Poids graines	0,020	0,758	0,036	0,581	-0,162	0,013
Poids pulpe	-0,236	0,000	0,082	0,213	-0,174	0,008
Nombre de graines / capsule	-0,959	<.0001	0,253	0,000	-0,009	0,902

Légende: Prob = Probabilité; Corr. = corrélation

La composante Z1 présente des corrélations négatives significatives avec les variables poids pulpe (Pp) et Ngrpcap (tableau 5.8). L'axe Z1 étant un axe de d'ETP, HR, TEMP, pH-eau et Lf élevés et de pH-Kcl, Ntotal, Corg et MAT faibles (tableau 5.7), on peut conclure que les zones de fortes valeurs d'évapotranspiration potentielle (ETP), d'humidité relative (HR), de température (TEMP), de pH de l'eau (pH-eau) et de Limon fin (Lf) sont celles où se trouvent des baobabs produisant de faibles quantités de graines (Ngrpcap) et de pulpe (Pp) par capsule; alors que les zones ayant des sols présentant des valeurs élevées de pH-Kcl, d'azote total (Ntotal), de carbone organique (Corg) et de matière organique totale (MAT) sont celles dans lesquelles se rencontrent des baobabs produisant de grandes quantités de pulpe et de graines par capsule.

La composante Z2 présente une corrélation positive et significative avec le nombre de branches par arbre (Nbranches) et le nombre de graines par capsules (Ngraines), et une corrélation significative négative avec le diamètre des arbres (tableau 5.8). La composante Z2 est un axe d'humidité relative (HR), de rapport [carbone/azote] (C/N), de teneur en sable (S) élevés puis d'argile (Arg) et de teneur en limon grossier (Lg) faibles (tableau 5.7). On en déduit que les zones à forte humidité relative (HR) (> 80 %) ou celles caractérisées par des sols ayant des teneurs en sable de même qu'un rapport C/N élevés (> 20) sont celles où se rencontrent des baobabs de petits diamètres (< 300cm) avec un nombre élevé de branches et qui produisent des quantités élevées de graines par capsule (Ngrpcap). Les zones caractérisées par des sols riches en argile et en limon grossier quant à elles, sont celles où se rencontrent des baobabs de petits diamètres (< 300cm) avec un petit nombre de branches et qui produisent de faibles quantités de graines par capsule.

En ce qui concerne la composante Z3, on note une corrélation positive et significative avec toutes les variables, excepté le nombre de graines par capsule (Ngrpcap) (tableau 5.8). La composante Z3 étant un axe de pluie, de ratio C/N et de Lg élevés (tableau 5.7), on peut donc noter qu'en général, les zones de forte pluviosité (> 1200 mm) ou celles dont les sols ont un ratio C/N élevée (> 20) ou une forte teneur en limon grossier sont celles où l'on rencontre des baobabs ayant de grande taille (> 30 m), de gros diamètre (> 5m), un nombre élevé de branches et produisant de grandes quantités de pulpe et d'amandes.

5.6 DISCUSSION

Baum *et al.* (1998) ont montré que le genre *Adansonia* est d'origine malgache et a migré vers l'Afrique avant la rupture du bloc de Gondwana Ouest au début du Crétacé Crétacé (période géologique qui s'étend de -145,5 à -65,5 millions d'années). Du point de vue biogéographique, le baobab africain est une espèce naturelle qui pousse dans les zones sèches de l'Afrique notamment dans les domaines sahélien, soudano-sahélien et soudanien où les pluviométries moyennes annuelles sont respectivement de 300, 500 et 800 mm (FAO, 1981, 1988; Wickens, 1982; Sidibé & Williams, 2002). Il se retrouve également en zone forestière avec une pluviométrie moyenne annuelle qui dépasse 4000 mm comme au Gabon, en République Démocratique du Congo et dans le Sud du Cameroun. L'espèce est probablement introduite dans ces zones (Wickens, 1982). On sait que de 20.000 à 10.000 BP et de 28.000 à 20.000 BP (Sosef, 1994; Maley 1996, 1997; Maley & Brenac 1998), il y a eu une savanisation de l'Afrique équatoriale. Le baobab aurait été introduit dans cette zone humide de l'Afrique durant ces

périodes comme l'a été le palmier à huile (*Elaeis guineensis*; Maley 1999). Les études complémentaires de paléontologie sont nécessaires pour préciser cette hypothèse. Le phénomène du *Dahomey-Gap* expliquerait la présence de poches de localités à forte densité de baobab dans le guinéen au Bénin dont la pluviométrie est supérieure à 1100 mm par an. D'autres espèces de zones sèches telles que *Vitellaria paradoxa* et *Borassus aethiopicum* coexistent dans ces localités avec le baobab. Le *Dahomey-Gap* qui s'étale de la plaine d'Accra (Ghana) jusqu'au domaine guinéen du Bénin où il se rattache à l'océan Atlantique, est le couloir sec qui interrompt le grand bloc forestier. Le baobab aurait poussé à l'état naturel au temps d'assèchement du Golfe de Bénin à l'époque de l'Holocène Ancien, il y environ 3.700 BP (Maley, 1991).

Les caractéristiques dendrométriques du baobab ont montré que le diamètre de son tronc et sa hauteur peuvent atteindre respectivement 6 m et 25 m au Bénin. Sidibe et Williams (2002) ont signalé que le baobab africain peut atteindre 10 m de diamètre et 30 m de hauteur. Parallèlement, les distributions des individus de baobab par classe de diamètre ont montré une faible représentation des jeunes individus de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels du Bénin. Ceci suppose que les repousses issues de la régénération naturelle ne sont pas protégées dans les habitats naturels de l'espèce et sont aussi menacées par les feux de végétation, l'agriculture et le pâturage des bovins. Ceci est à l'origine de la structure observée pour la distribution des fréquences des individus au fur et à mesure que l'on s'éloigne des habitations.

Ce lien étroit entre la présence du baobab et l'établissement des villages suppose que le baobab a été introduit par l'homme. En retour, il a été aussi démontré par Wickens (1982) que certains villages se sont installés à cause de la présence du baobab pour y tirer des avantages alimentaire, économique et socio-culturel. Les densités élevées des baobabs proches des habitations signifient donc qu'ils sont mieux protégés par les populations qui en tirent directement profit. Dans le même temps, les baobabs en dehors des habitations et qui se retrouvent dans la végétation naturelle seraient très vite étêtés durant le pâturage des bovins ou décimés par les feux périodiques de végétation ou encore par l'agriculture lors de l'installation des cultures vivrières (ignames, maïs, manioc, etc.) et industrielles (coton, café, etc.). Ainsi, les baobabs de la végétation naturelle vont devenir de moins en moins nombreux et au fil des générations, on pourra alors assister à une dérive qui se traduira par une dépression génétique au sein des populations de baobab. En effet, lorsque le nombre de baobabs au sein des populations deviendra de plus en plus petit "bottleneck", les flux de gènes vont beaucoup plus s'opérer entre des individus apparentés. De ce fait on assistera à une augmentation de la consanguinité génétique avec des conséquences de dépression génétique.

En considérant que dans les habitats naturels se trouveraient également des baobabs ayant des traits désirables pour les populations, il serait alors plus profitable de penser à la réhabilitation *in situ* de ces populations naturelles de baobab. Cet aménagement pourra viser les espaces naturellement colonisés par les populations de baobab et devra consister à l'enrichissement de ceux-ci avec de nouvelles provenances produites dans des pépinières villageoises. Pour limiter la compétition avec les cultures agricoles, il serait intéressant de développer parallèlement des stratégies pour donner une valeur ajoutée aux produits de baobab en favorisant leur intégration sur des marchés internationaux beaucoup plus rémunérateurs. L'évaluation des caractéristiques dendrométriques et des paramètres de production du baobab selon les zones climatiques a montré que sa production en pulpe, graines et

amandes de même que ses caractéristiques dendrométriques varient considérablement au sein d'une même zone mais aussi d'une zone à une autre. Les variables de production ne sont pas toujours liées aux paramètres dendrométriques, notamment le diamètre du tronc. En effet, il a été observé pour le baobab que les individus appartenant à des classes différentes de diamètre peuvent produire des quantités non significativement différentes de pulpe, d'amandes et de graines (tableau 5.4). Au même moment, il a également été prouvé que les baobabs appartenant à une même classe de diamètre peuvent produire des quantités significativement différentes de pulpe, d'amandes et de graines (tableaux 5.3, 5.4 & 5.5).

Les analyses multivariées ont montré que ces variations observées au niveau des variables dendrométriques et de production sont significativement corrélées aux facteurs du milieu notamment les variables climatiques (pluie, humidité relative, évapotranspiration, température) et les caractéristiques du sol (% de divers éléments, texture). Les facteurs environnementaux expliqueraient donc en partie les variabilités observées entre les individus de baobab en ce qui concerne leur production en différents organes et leurs caractéristiques morphologiques. Cependant, cette variabilité pourrait être également interprétée comme l'expression d'un fort taux de polymorphisme au sein des populations de baobab. De ce fait, les variations intraspécifiques observées ne seraient pas uniquement liées aux effets du milieu mais également aux facteurs génétiques. Toutefois, il est de plus en plus prouvé que ce sont les facteurs du milieu qui influenceraient le plus les variabilités observées au niveau de la production d'organes et des caractéristiques morphologiques des espèces forestières alimentaires (Maranz & Wiesman, 2003; Soloviev *et al.*, 2004). Ce qui reste à prouver est la mise en évidence des corrélations entre la structure génétique des populations de ces espèces et leurs caractéristiques morphologiques et de production (cf. chapitre 7 pour plus de précision). D'un autre côté, la température moyenne annuelle des 3 zones climatiques du Bénin n'est pas un facteur limitant pour le développement du baobab au Bénin. Malgré son optimum de température compris entre 20° et 30°C, le baobab évolue également dans les zones à haute température de 40°-42°C (Simpson, 1995). La nature du sol n'est également pas un facteur limitant pour le baobab dans les différentes zones climatiques du Bénin. Il pousse aussi bien sur les sols latéritiques et rocailleux (Thompson, 1910), argileux (Harrison and Jackson, 1958), sableux (Rosevear, 1937) que limoneux (Aistle *et al.*, 1969). Il n'existerait donc pas des contraintes environnementales au développement du baobab dans les différentes zones climatiques du Bénin.

Enfin, la connaissance de la phénologie du baobab est importante pour sa bonne gestion et la maîtrise des flux de gènes (pollens) entre différentes populations de l'espèce. Les phénophases observées au niveau du baobab montrent que l'apparition des fleurs, des fruits et des feuilles suit un rythme saisonnier au Bénin. Tous les arbres n'entrent pas au même moment dans les mêmes phases phénologiques. Le rythme saisonnier de la floraison n'est pas toujours le cas ailleurs en Afrique. Sidibe et Williams (2002) ont signalé que la floraison peut apparaître à n'importe quelle période de l'année en dehors des périodes de grande saison sèche et peut varier d'une population isolée de baobabs à une autre. Ainsi, dans la région sud d'Afrique, la floraison apparaît d'octobre à décembre et à Madagascar, de novembre à décembre. Au Soudan, elle intervient toute l'année à l'exception des périodes sèches (janvier à mars) alors qu'en Afrique de l'Ouest elle va de mai à juin. L'appartenance éco-géographique des populations semble donc avoir un effet significatif sur le rythme de floraison des individus de baobab.

CHAPITRE 6
CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET PRODUCTION DES
CAPSULES DE BAOBAB (*ADANSONIA DIGITATA* L.) EN
FONCTION DES ZONES CLIMATIQUES DU BENIN

Adapté à partir de: Assogbadjo A.E., Sinsin B. & Van Damme P. (2005). Caractères morphologiques et production des capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. *Fruits* 60 (5): 327-340.

CHAPITRE 6 - CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES ET PRODUCTION DES CAPSULES DE BAOBAB (*ADANSONIA DIGITATA* L.) AU BENIN

6.1 INTRODUCTION

La dégradation des écosystèmes des zones sahéliennes et soudaniennes observée ces dernières années se traduit, pour de nombreuses espèces ligneuses, par un vieillissement des peuplements naturels lié à l'absence de régénération naturelle (Gijsbers, 1994). À terme, le risque d'assister à une baisse drastique des ressources végétales non ligneuses ainsi qu'à une perte de la diversité génétique est bien réel. Afin de réduire ce risque, il devient urgent d'amorcer des programmes de protection, de domestication, de propagation et de valorisation des espèces ligneuses alimentaires importantes pour les populations rurales.

Toute démarche de domestication débute par l'exploitation de la variabilité naturelle existante en sélectionnant, avec l'aide des populations, les sujets aux phénotypes les plus intéressants pour les critères considérés, désignés comme 'arbres plus' (Soloviev *et al.*, 2004). L'étape suivante vise à mettre au point des techniques de propagation végétative permettant de fixer les caractéristiques génétiques du matériel végétal sélectionné (Danthu & Soloviev, 2000) ainsi qu'à poursuivre l'évaluation du matériel végétal collecté. L'étape ultime doit permettre le clonage en masse des "arbres plus" supérieurs en vue de leur diffusion (Soloviev *et al.*, 2004). L'objectif final est de transférer, aux populations rurales, des accessions sélectionnées pour leur productivité, leur qualité ainsi que leur résistance à divers ennemis et maladies, afin qu'elles les introduisent dans les parcs agroforestiers, dans les jardins de case ou dans les vergers.

Au Bénin, Eyog Matig (2002) et Codjia *et al.* (2003) ont identifié avec les populations rurales, *A. digitata* comme une espèce ligneuse alimentaire prioritaire à domestiquer. D'une façon générale, la littérature sur le baobab révèle une insuffisance d'informations sur sa variabilité morphologique, sa diversité génétique et la production de ses différents organes suivant les différentes zones agroclimatiques (Sidibé & Williams, 2002). Il s'agit là pourtant de données scientifiques qu'il va falloir collecter afin de pouvoir amorcer le processus de sa domestication. En Tunisie par exemple, la caractérisation des fruits de dattier, *Phoenix dactylifera* L. (Arecaceae), dans la région du Djérid a permis la sélection de variétés (Menakher, Boufagous) possédant des fruits de grandes dimensions, avec un poids intéressant et ayant de fortes teneurs en pulpe pour l'industrie dattière (Reynes *et al.*, 1994). Pour, *Tamarindus indica* L. (Fabaceae), Diallo (2001) indique que la morphologie des graines 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 ont été identifiées en terme de sélection (Empilli *et al.*, 2000).

Pour le baobab, les paysans évaluent empiriquement les niveaux de production des arbres en se basant sur des critères morphologiques notamment la forme et les dimensions des capsules (Sidibé & Williams, 2002). Malheureusement, les études effectuées jusqu'à présent sur les capsules de baobab ne renseignent ni sur la mesure de leur variabilité suivant les zones agroclimatiques, ni sur des modèles de prédiction de leur production à partir de leurs caractéristiques morphologiques. Ainsi, il est

quasiment impossible d'estimer réellement la valeur des populations de baobabs en termes de produits commercialisables tels que la pulpe, les graines et l'amande.

Les objectifs visés dans le présent travail ont donc été de (i) caractériser la variabilité morphologique des capsules; (ii) mesurer cette variabilité suivant les différentes zones agroclimatiques du Bénin; puis (iii) construire des modèles prédictifs de leur production à partir des caractères morphométriques les plus discriminants.

Dans le chapitre précédent, l'évaluation des productions en pulpe, graines et amandes des baobabs, n'a pas tenu compte de la forme des capsules. Le présent chapitre est donc complémentaire au chapitre 5 et est beaucoup plus focalisé d'une part, sur la caractérisation des capsules en fonction de leurs variables morphométriques, et d'autre part, sur l'évaluation de la productivité de ces capsules selon leurs formes et leur zone de provenance.

Nous avons fait les hypothèses selon lesquelles (i) les variables morphométriques des capsules de baobab sont discriminantes et aident à leur caractérisation morphologique et; (ii) la productivité en pulpe, graines et amandes d'une capsule, dépend de sa forme et de sa zone de provenance.

6.2 4.2 MATERIEL ET METHODES

6.2.1 Echantillonnage

Les capsules d'*A. digitata* ont été échantillonnées sur des arbres ayant fait l'objet de caractérisation morphologique au niveau des 3 zones agroclimatiques du Bénin (cf. chapitre 5 & figure 6.1). Il a été remarqué et confirmé à partir des enquêtes de terrain que la forme des capsules varie d'un arbre à un autre, est relativement stable pour un même individu et ne varie pratiquement pas d'une année à une autre pour le même baobab. Au total, 4 formes de capsules ont été identifiées et différemment distribuées dans les 3 zones climatiques (Photos 6.1). Il s'agit des capsules qualifiées de taille courte (forme 1: légèrement globuleux); de taille moyenne et arrondie (forme 2: globuleux); de taille moyenne et effilée (forme 3: ovoïde); et de grande taille et allongée (forme 4: ellipsoïdale). Pour la caractérisation morphométrique et l'évaluation des productions des différentes formes de capsule, 10 baobabs par zone climatique (soit 30 individus de baobab pour les 3 zones climatiques) ont été considérés en tenant compte de la représentativité des différentes formes de capsules observées sur les arbres. Quarante capsules ont été ensuite échantillonnées au hasard par pied (soit au total 1200 capsules pour l'ensemble des 3 zones climatiques) en vue de l'estimation des productions moyennes de graines, d'amande et de pulpe et pour différentes autres mensurations.

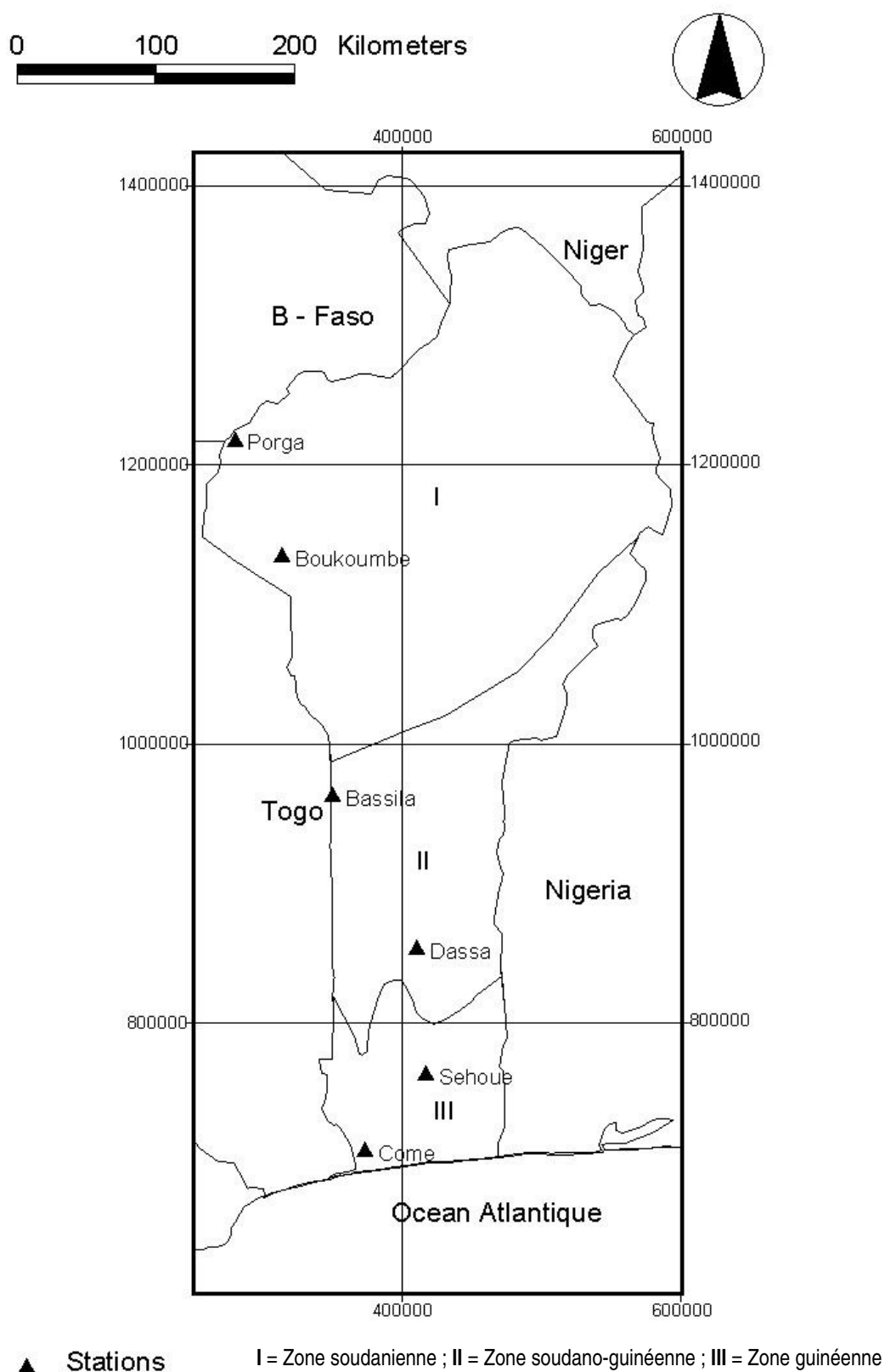
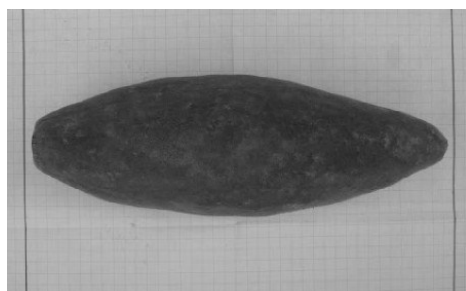


Figure 6.1: Carte montrant les localités d'échantillonnage dans les zones climatiques du Bénin (Réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006).



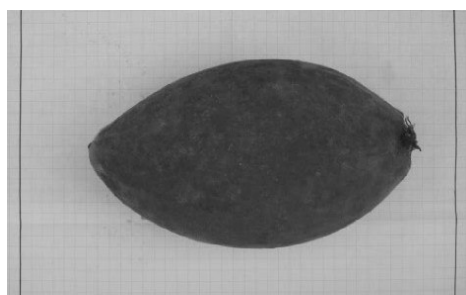
Variabilité morphologique des capsules de baobab



Forme 4: Capsule de taille allongée



Forme 3: Capsule de taille moyenne et de forme effilée



Forme 2: Capsule de taille moyenne et de forme arrondie



Forme 1: Capsule de taille courte

Photos 6.1: Différentes formes de capsules de baobab observées dans les zones climatiques au Bénin

6.2.2 Mensurations des capsules et extraction de la pulpe, des graines et de l'amande

Pour chaque capsule échantillonnée, les mensurations prises ont concerné :

- la longueur totale (L), le diamètre médian ou largeur à $\frac{1}{2}$ longueur (l) et l'épaisseur (e) de l'endocarpe, tous déterminés à l'aide d'un pied à coulisse Metland ($40 \text{ cm} \pm 0,01 \text{ cm}$),
- le poids total (Ptc) des fruits, déterminé par pesée à l'aide d'un peson digital ($0 \text{ à } 5 \text{ Kg} \pm 0,0001 \text{ Kg}$).

L'extraction de la pulpe, des graines et de l'amande a été faite telle que décrite dans le chapitre 5 (paragraphe 5.2.3.2)

6.2.3 Évaluation des productions en pulpe, graines et amande, et analyse des résultats

Pour une capsule d'une forme donnée, le poids des graines permet par déduction du poids total graines-pulpe de calculer le poids de la pulpe. Ensuite, les productions respectives en pulpe, graines et amande de chaque capsule ont permis de quantifier les productions moyennes de ces divers éléments, pour chacune des quatre formes de capsules identifiées et, par zone agroclimatique.

Les analyses statistiques des résultats ont été effectuées avec les logiciels SASv8 et PAST. Des graphiques ont d'abord été construits pour révéler la présence relative des différentes formes de capsules suivant les zones climatiques. Pour l'ensemble des capsules réunies, les variables de production (poids pulpe, poids graines, poids amande, nombre de graines) ont été corrélées une à une avec le poids total des capsules. A son tour, ce dernier a été respectivement corrélé avec la longueur et la largeur de la capsule. La corrélation entre ces deux dernières variables a également été établie. Ensuite, des analyses de variance suivies des tests de comparaison des moyennes de Newman et Keuls ont permis de caractériser les capsules à partir des moyennes de leurs différents caractères morphologiques et de comparer les variabilités observées suivant les différentes zones climatiques.

Les variables morphométriques des capsules étant potentiellement corrélées, il est nécessaire de faire une sélection de variables pour une description assez précise des capsules. Cette dernière a été effectuée à partir d'une analyse canonique discriminante pas à pas (*stepwise canonic analysis*) sur les variables morphologiques des capsules. Ensuite est intervenue une analyse canonique discriminante qui a pour but de décrire à travers un système d'axes, les capsules et les zones selon les variables retenues par l'analyse canonique discriminante pas à pas. Des analyses inférentielles univariées (ANOVA univariée) et multivariées (MANOVA) ont préalablement été effectuées pour confirmer le pouvoir discriminant des variables retenues lors de l'analyse discriminante pas à pas. Il a alors été possible d'établir les régressions multiples qui ont permis de construire des modèles de prédiction des productions des différents organes de baobab (pulpe, graines, amande), à partir des variables morphométriques des capsules retenues, par l'analyse discriminante.

Le modèle de régression multiple se présente comme suit:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_k x_k ,$$

avec Y , la variable dépendante qui peut être le rendement en pulpe, graines ou amande. Les variables indépendantes, $x_2, x_3 \dots x_k$ sont les paramètres morphométriques.

Lorsque le meilleur modèle de régression a été obtenu pour une variable dépendante, d'autres tests d'adéquation de ce modèle sont effectués: le test de normalité de Shapiro-Wilk pour vérifier la normalité des résidus de régression et le test de Breush-Pagan (appelé aussi test de Cook-Weisberg) pour vérifier l'homogénéité de ces résidus. Au cas où le meilleur modèle de régression linéaire pour la production de pulpe, de graines ou d'amande, présente une faible valeur du coefficient de détermination (R^2), ou occasionne une violation accentuée des conditions d'application de la régression (homogénéité et normalité des résidus de régression), des transformations de la variable dépendante sont effectuées (transformations de Box et Cox, notamment) afin de trouver un modèle plus adapté aux données ayant un fort pouvoir prédictif.

6.3 RESULTATS

6.3.1 Distribution spatiale des différentes formes de capsule et corrélation entre les paires de variables

La figure 6.2 présente la dispersion des 4 formes identifiées suivant les 3 zones climatiques. Il en ressort que toutes les formes de capsules sont diversement distribuées dans l'ensemble des zones climatiques. Cependant, des différences marquées ont été observées d'une zone climatique à une autre. Dans la zone soudanienne (zone 1), les capsules de forme 1 sont les plus représentées (50%) suivies des capsules de forme 2 (30%) et de celles des formes 3 et 4 (10% chacune). Dans les zones guinéennes (zone 3) et soudano-guinéenne (zone 2), les capsules de forme 1 sont les moins représentées (10 % dans chacune des zones) tandis que celles de forme 4 sont les plus représentées (respectivement 50% et 40%) suivi des capsules de forme 3 (20% pour la zone 3 et 30% la zone 2) et des capsules de forme 2 (20% pour chacune).

Par ailleurs, en considérant l'ensemble des zones climatiques, les capsules de forme 4 sont les plus représentées avec 33% du total suivi des capsules de formes 1 et 2 (23,33% du total, respectivement) puis enfin des capsules de forme 3 (20% du total).

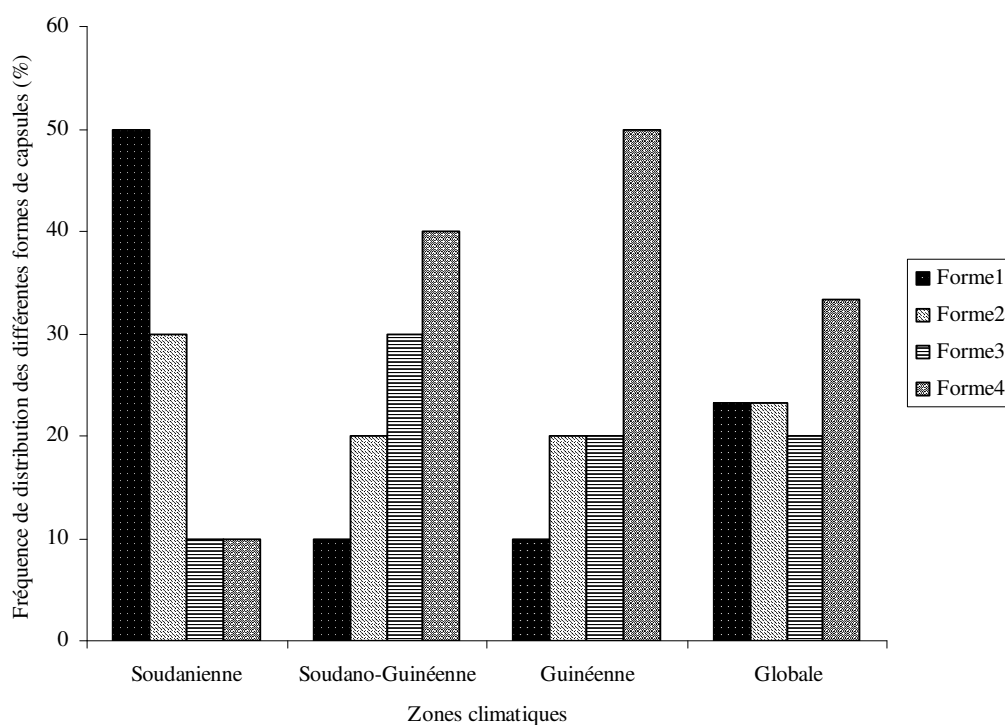


Figure 6.2: Distribution des 4 formes de baobab suivant les 3 zones climatiques

Les figures 6.3 à 6.7 montrent les relations entre les diverses variables de production à savoir, le poids pulpe-graines, le poids graines, le poids pulpe, le poids amande et le nombre de graines en fonction du poids total de la capsule. De façon générale, les coefficients de détermination (R^2) et de corrélation (r) sont élevés et tous significatifs ($P < 0,001$) montrant ainsi la fiabilité des modèles établis. En effet, partant des différents coefficients de détermination obtenus pour les diverses équations de régression, on peut conclure qu'à partir du poids total d'une capsule, il est possible de prédire avec une précision de 88,23% le poids total en pulpe-graines, 84,29 % le poids total des graines, 58,05 % le poids total de pulpe, 84,29 % le poids total de l'amande, et 70,86 % le nombre de graines qu'elle contient. Les coefficients de corrélation de ces différentes équations de régression étant significatifs et positifs, on peut affirmer que, plus la capsule de baobab est lourde, plus elle contient de graines et plus élevé est son poids en pulpe, en graines et en amandes.

Par ailleurs, les relations entre les variables métriques (figures 6.8 et 6.9) et le poids total de la capsule, ont présenté des coefficients de détermination globalement plus faibles de 0,41 pour la relation entre la longueur de capsule et son poids total, et de 0,65 pour celle entre la largeur de la capsule et son poids total. Les diverses équations obtenues sont néanmoins significatives et traduisent une signification des corrélations existantes entre ces variables.

Enfin, il existe une très faible corrélation ($r = 0,22$) entre la longueur d'une capsule et sa largeur (figure 6.10). Bien que l'équation de régression qui en découle soit significative ($p = 1,7026E-12$), sa qualité est très médiocre comme l'indique la très faible valeur du coefficient de détermination ($R^2 = 0,04$) de l'équation. La longueur d'une capsule n'est donc pas influencée par sa largeur.

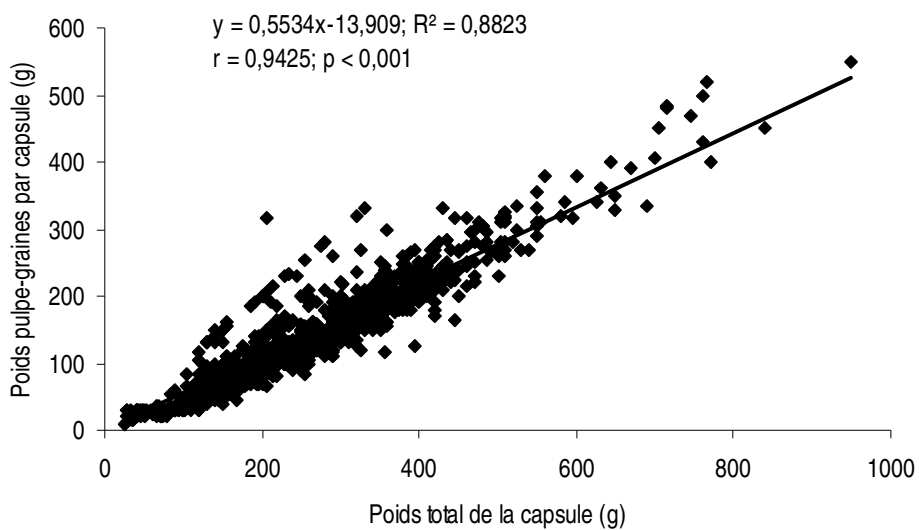


Figure 6.3: Relation entre le poids total pulpe-graines (y) et le poids total (x) d'une capsule

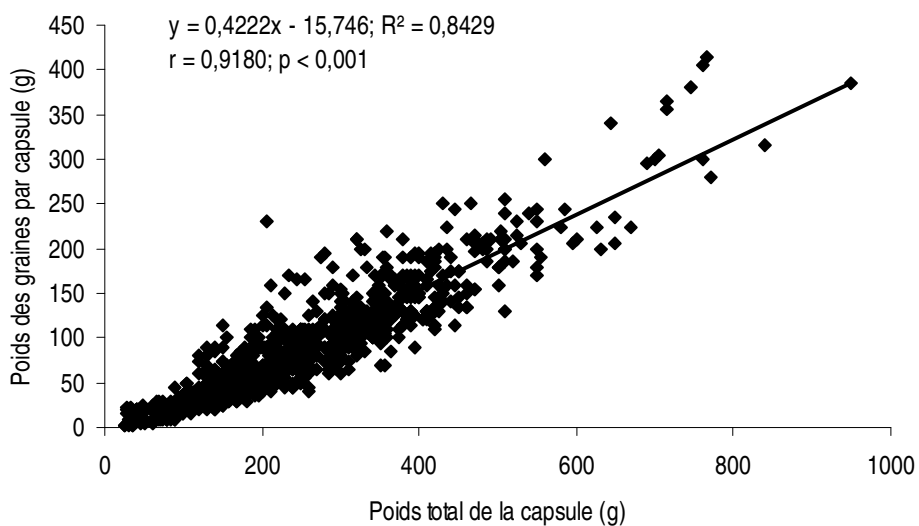


Figure 6.4: Relation entre le poids total des graines (y) et le poids total (x) d'une capsule

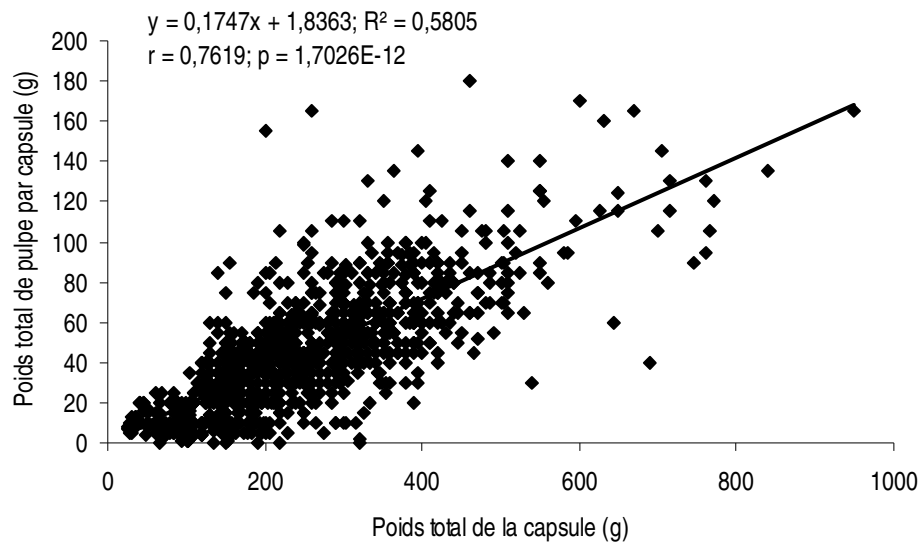


Figure 6.5: Relation entre le poids total de pulpe (y) et le poids total (x) d'une capsule

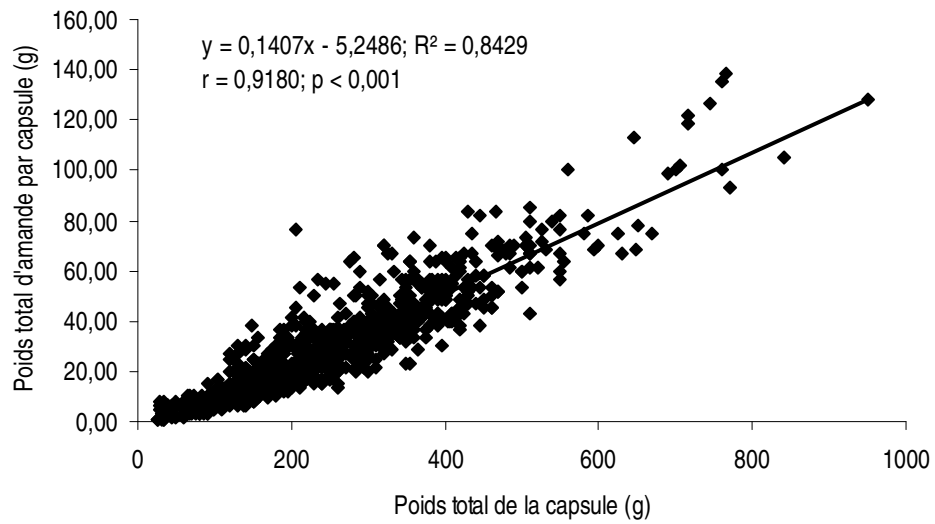


Figure 6.6: Relation entre le poids total d'amande (y) et le poids total (x) d'une capsule

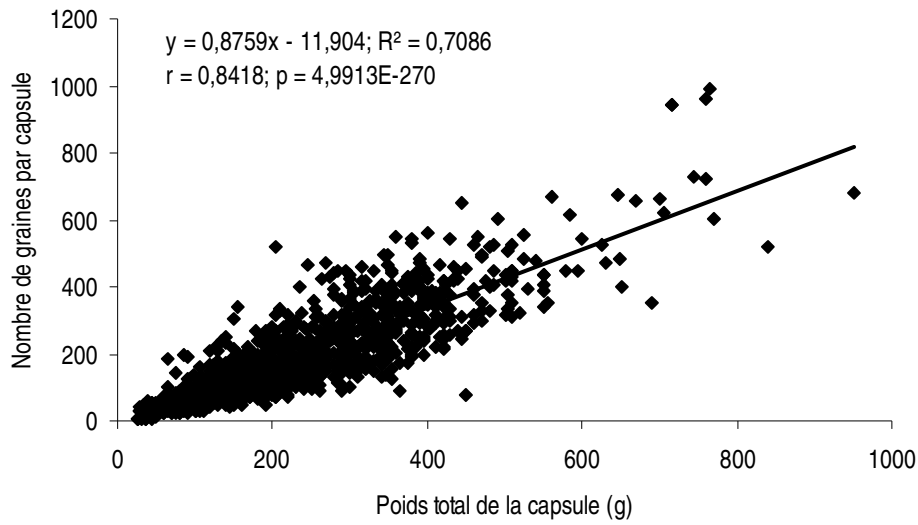


Figure 6.7: Relation entre le nombre de graines (y) et le poids total (x) d'une capsule

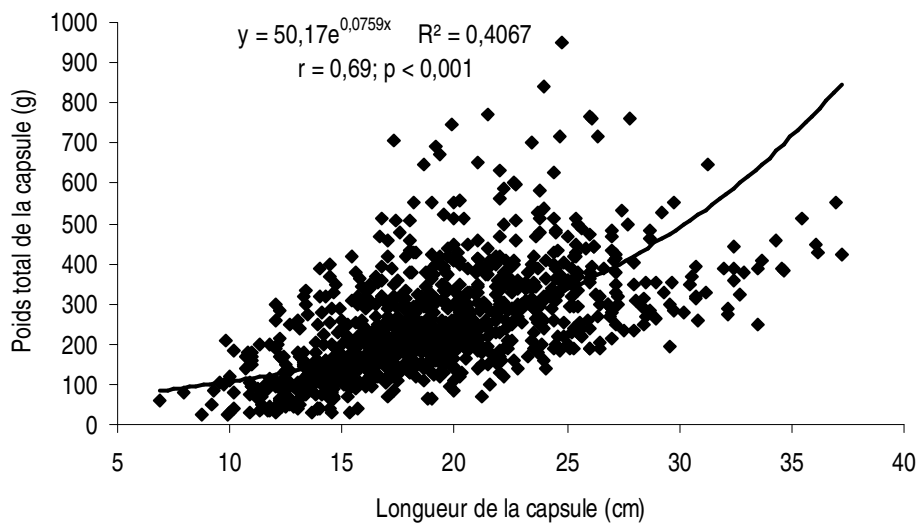


Figure 6. 8: Relation entre le poids total (y) et la longueur (x) d'une capsule

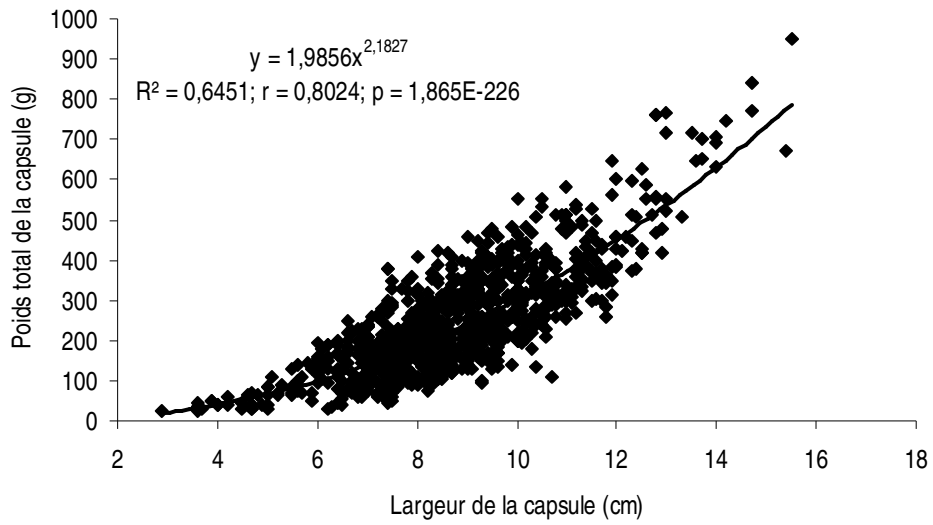


Figure 6.9: Relation entre le poids total (y) et la largeur (x) d'une capsule

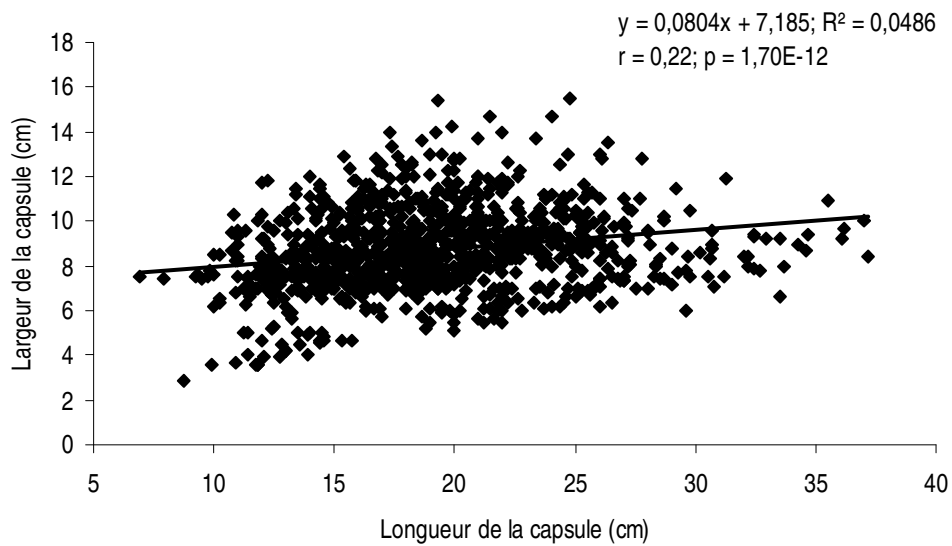


Figure 6.10: Relation entre la largeur (y) et la longueur (x) d'une capsule

6.3.2 Discrimination des formes de capsules à partir de leurs variables morphométriques

Le tableau 6.1 fait ressortir que les variables les plus discriminantes des types de capsules sont: la longueur (L), le nombre de graines (Ng), l'épaisseur (e), le poids pulpe-graine (Ppgr), le poids total capsules (Ptc) et le rapport longueur/largeur des capsules (L/l). Les résultats des tests inférentiels (tableau 6.2) n'ont fait que confirmer le pouvoir discriminant des variables ci-dessus retenues. Ces résultats montrent en effet que pour la plupart des variables, on note des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les types de capsules du point de vue de leurs caractéristiques morphométriques. Ces résultats permettent une description assez précise des formes de capsules selon leurs caractéristiques.

L'analyse canonique discriminante a montré que l'axe 1 (can 1) décrit au mieux les formes 2 et 4 des capsules à partir des variables Ppgr et L/l des capsules, alors que l'axe 2 (can 2) décrit beaucoup plus les formes 1 et 3 des capsules à partir des variables L, Ng, Ppgr, et Ptc (tableau 6.3). Il ressort de la figure 6.11 une discrimination des capsules de forme 2 (taille moyenne et forme arrondie) et de forme 4 (allongée) situées respectivement dans les parties positives et négatives de l'axe 1. Les capsules de forme 1 (court) se localisent beaucoup plus dans les parties négatives des axes 1 et 2, alors que les capsules de la forme 3 (moyen effilé) se situent beaucoup plus dans la partie positive de l'axe 2. En d'autres termes, les capsules de forme 2 (taille moyenne et forme arrondie) présentent des Ppgr relativement importants avec un faible rapport L/l démontrant ainsi leur forme arrondie ($l \rightarrow L$). Par contre, les capsules de forme 4 (allongée) présentent les rapports L/l les plus élevés. Elles présentent également des poids moyens d'amande et de pulpe relativement élevés. Les capsules de forme 3 (taille moyenne et forme effilée) présentent des valeurs plus ou moins élevées pour la plupart des variables L, L/l, Ppgr, Ngr contrairement aux capsules de forme 1 (taille courte) qui montrent des valeurs plus faibles pour les mêmes variables (tableau 6.4).

Tableau 6.1: Analyse canonique pas à pas sur les données dendrométriques permettant de déterminer les variables les plus discriminantes pour comparer les fruits de différents baobabs

Numéro de pas	Variables mesurées	Valeur de F	Pr > F	Lambda de Wilks	Pr < Lambda
1	Longueur	48,91	< 0,0001	0,872	< 0,0001
2	Nombre de graines	50,39	< 0,0001	0,757	< 0,0001
3	Epaisseur de l'endocarpe	30,18	< 0,0001	0,694	< 0,0001
4	Poids de [pulpe + graines]	3,85	< 0,0094	0,686	< 0,0001
5	Poids total de la capsule	10,20	< 0,0001	0,665	< 0,0001
6	Rapport [longueur sur largeur]	4,24	< 0,0055	0,657	< 0,0001

Légende: Pr = Probabilité

Tableau 6.2: Tests univariés effectués sur les caractéristiques des capsules étudiées en fonction de leurs différentes formes

Variabes	R ² / (1-R ²)	Valeur de F	Pr > F
Longueur	0,1470	62,92	< 0,0001
Nombre de graines	0,1187	22,01	< 0,0001
Epaisseur de l'endocarpe	0,0877	22,54	< 0,0001
Poids de [pulpe + graines]	0,1112	41,30	< 0,0001
Poids total de la capsule	0,0911	60,69	< 0,0001
Rapport [longueur sur largeur]	0,1853	22,73	< 0,0001

légende: R² = coefficient de détermination; Pr = Probabilité

Tableau 6.3: Analyse canonique discriminante effectuée sur les variables morphométriques des capsules de baobabs et de quatre différentes formes qui les caractérisent

Variables	Axe canonique		
	1	2	3
Longueur	-0,269	0,824	-0,489
Nombre de graines	0,438	0,585	-0,278
Epaisseur de l'endocarpe	0,287	0,428	0,762
Poids pulpe + graines	0,401	0,575	-0,379
Poids total de la capsule	0,257	0,644	-0,233
Rapport [longueur sur largeur]	-0,702	0,451	-0,209
Formes	Can 1	Can2	Can 3
Forme 1 (taille courte)	-0,159	-0,709	0,094
Forme 2 (taille moyenne, forme arrondie)	0,682	0,105	-0,109
Forme 3 (taille moyenne, forme effilée)	-0,200	0,417	0,416
Forme 4 (taille allongée)	-0,741	0,214	-0,273

Tableau 6.4: Caractéristiques moyennes des capsules de baobabs présentées par forme de capsule

Variables	Forme1		Forme2		Forme3		Forme4		Ensemble des 4 formes réunies		
	moy	σ	moy	σ	moy	σ	moy	σ	moy	σ	F
Longueur (cm)	16,32 ^d	4,74	18,85 ^c	3,66	19,95 ^b	4,12	21,42 ^a	6,12	19,05	4,97	48,91 ^{***}
Largeur (cm)	8,90 ^b	1,39	9,61 ^a	1,61	8,33 ^b	1,06	8,31 ^b	1,82	8,72	1,81	52,69 [*]
Epaisseur (cm)	0,41 ^c	0,06	0,45 ^b	0,11	0,48 ^a	0,13	0,40 ^c	0,10	0,43	0,11	30,18 ^{***}
Rapport [longueur sur largeur]	2,11 ^c	0,71	2,00 ^d	0,43	2,40 ^b	0,45	2,68 ^a	0,88	2,25	0,68	4,24 ^{***}
Poids total de capsule (g)	182,66 ^c	124,89	283,01 ^a	133,38	264,05 ^a	102,98	250,12 ^b	138,05	248,78	132,81	10,20 ^{***}
Poids de pulpe+ graines (g)	94,03 ^c	77,30	164,61 ^a	88,43	134,68 ^b	59,75	128,96 ^b	83,06	134,58	84,11	3,85 ^{***}
Poids de graines (g)	60,38 ^c	51,97	111,56 ^a	67,18	90,75 ^b	45,28	82,78 ^b	57,65	89,29	61,08	37,67 ^{***}
Poids de pulpe (g)	33,65 ^c	32,29	53,05 ^a	30,98	43,94 ^b	21,54	46,17 ^b	30,31	45,29	30,45	20,3 ^{***}
Poids d'amande (g)	20,13 ^c	17,32	37,19 ^a	22,39	30,25 ^b	15,09	27,59 ^b	19,22	29,76	20,36	28,96 ^{***}
Nombre de graines	139 ^c	104	257 ^a	154	211 ^b	108	190 ^b	133	206	138	50,39 ^{***}

NB: Dans une même ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes

Légende: moy = moyenne; σ = écart type; * moyenne significative; *** moyenne très hautement significative

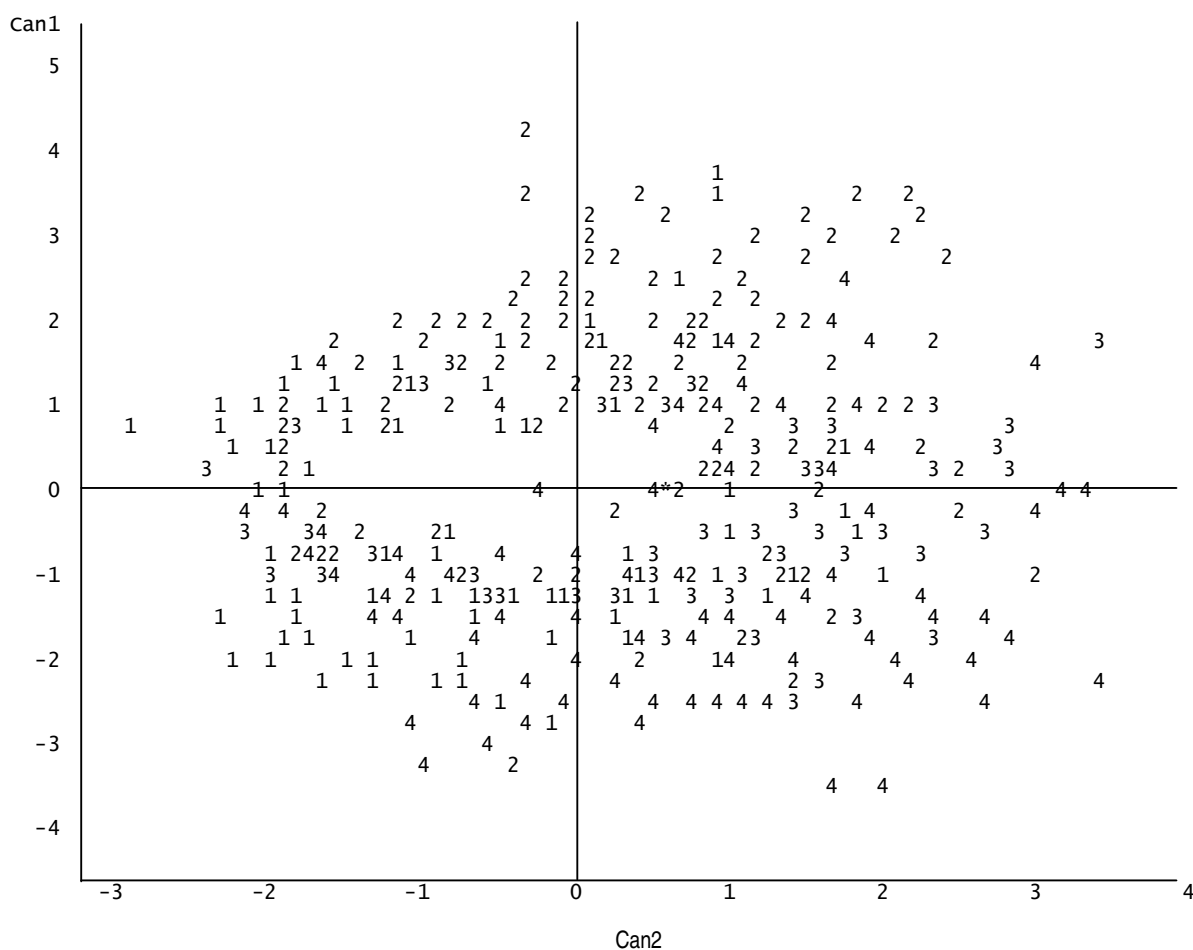


Figure 6.11: Distribution de quatre formes de capsules de baobab dans un système d'axes discriminants
Légende: 1 = Capsules de forme 1; 2 = Capsules de forme 2; 3 = Capsules de forme 3; 4 = Capsules de forme 4.

6.3.3 Discrimination des zones climatiques à partir des variables morphométriques des capsules

Les variables qui discriminent au mieux ($p < 0,0001$) les zones climatiques selon la morphologie des capsules de baobab sont la longueur de la capsule, le poids de la pulpe, le poids total de la capsule, le poids de l'amande, l'épaisseur de la capsule, et le rapport longueur sur largeur (L/l) (tableau 6.5).

Les résultats des tests inférentiels (tableau 6.6) ont confirmé le pouvoir discriminant des variables ci-dessus retenues. Ces résultats, montrent en effet, que pour la plupart des variables, on note des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les zones, du point de vue caractéristiques morphométriques des capsules. Ils ont donc permis de faire une description assez précise des zones selon les variables morphométriques des capsules.

L'analyse canonique discriminante effectuée sur les données morphométriques des capsules, a montré que l'axe 1 (ou premier axe canonique discriminant) est corrélé avec les variables, poids amande (P_a) et épaisseur des capsules (e). De l'autre côté, l'axe 2 décrit au mieux les zones climatiques sur la base des variables longueur des capsules, poids pulpe, poids total des capsules et le rapport L/l des capsules (tableau 6.7).

La figure 6.12 montre une discrimination entre la zone guinéenne (zone 3) d'une part et les zones soudanienne (zone 1) et de transition soudano-guinéenne (zone 2) d'autre part. Les capsules de la zone guinéenne (zone 3) se situent dans la partie positive de l'axe 1 et relativement plus orientées vers la partie négative de l'axe 2. En d'autres termes, les capsules de la zone guinéenne présentent en général, des poids d'amande et des épaisseurs relativement plus importants que celles du soudanien et du soudano-guinéen (tableau 6.8).

La plus grande partie des capsules de la zone soudanienne (zone 1) est concentrée dans la partie négative de l'axe 2, qui présente beaucoup plus la variété de courte taille et de faible poids en pulpe par rapport aux deux autres zones (tableau 6.8). Les capsules de la zone soudano-guinéenne affichent des caractéristiques assez proches de celles de la zone guinéenne et sont pour la plupart de grande taille, de rapport L/l (longueur sur largeur) élevé avec des poids de pulpe et poids total assez élevés (tableau 6.8).

Tableau 6.5: Analyse discriminante pas à pas sur les variables morphométriques des capsules de différents baobabs, suivant les zones climatiques

Numéro de pas	Variables mesurées	Valeur de F	Pr > F	Lambda de Wilks	Pr < Lambda
1	Longueur	62,92	< 0,0001	0,888	< 0,0001
2	Poids pulpe	22,01	< 0,0001	0,850	< 0,0001
3	Nombre de graines	22,54	< 0,0001	0,814	< 0,0001
4	Poids total capsule	41,30	< 0,0001	0,751	< 0,0001
5	Poids amande	60,69	< 0,0001	0,669	< 0,0001
6	Epaisseur	22,73	< 0,0001	0,642	< 0,0001
7	Rapport [longueur sur largeur]	4,18	< 0,0001	0,637	< 0,0001

Légende: Pr = Probabilité

Tableau 6.6: Résultats d'analyses inférentielles effectuées sur les variables morphométriques des capsules de baobabs, suivant les zones climatiques

Variables	R ² / (1-R ²)	F value	Pr > F
Longueur	0,1260	62,92	< 0,0001
Poids pulpe	0,1214	60,66	< 0,0001
Poids total capsule	0,0697	34,79	< 0,0001
Poids amande	0,0872	43,54	< 0,0001
Epaisseur	0,0072	3,61	0,0273
Rapport [longueur sur largeur]	0,677	33,81	< 0,0001

Légende: R² = coefficient de détermination

Tableau 6.7: Analyse canonique discriminante sur les variables morphométriques des capsules et les zones climatiques

Variables	Axe canonique	
	1	2
Longueur	0,369	0,694
Poids pulpe	0,315	0,731
Poids total capsule	0,212	0,576
Poids amande	0,453	0,303
Epaisseur	0,143	-0,018
Rapport [Longueur sur largeur]	0,321	0,440
Zones	Can1	Can2
Zone soudanienne	-0,354	-0,476
Zone Soudano-guinéenne	-0,434	0,487
Zone guinéenne	0,891	0,034

Tableau 6.8: Caractéristiques des capsules selon les zones climatiques

Variables capsules	Soudanienne (zone 1)		Soudano-guinéenne (Zone 2)		Guinéenne (zone 3)		Ensemble des 3 zones		
	moy	σ	moy	σ	moy	σ	moy	σ	F
Logueur (cm)	16,89 ^c	5,14	19,89 ^b	3,96	20,71^a	4,85	19,05	4,97	62,92 ^{***}
Longueur sur largeur	2,01 ^c	0,67	2,33 ^b	0,57	2,46^a	0,73	2,25	0,68	4,18 ^{***}
Poids pulpe (g)	32,07 ^b	31,18	51,61^a	27,07	54,09^a	27,59	45,29	30,45	22,01*
Poids amande (g)	23,81 ^c	18,72	28,81 ^b	17,44	37,87^a	22,47	29,76	20,36	60,69 ^{***}
Poids total capsule (g)	203,86 ^b	137,79	273,08^a	120,53	275,63^a	125,59	248,78	132,81	41,30*
Epaisseur (cm)	0,43 ^b	0,07	0,43 ^b	0,09	0,45^a	0,15	0,43	0,11	22,73*

NB: Dans une même ligne, les moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Légende: moy = moyenne; σ = écart type; * moyenne significative; *** moyenne très hautement significative

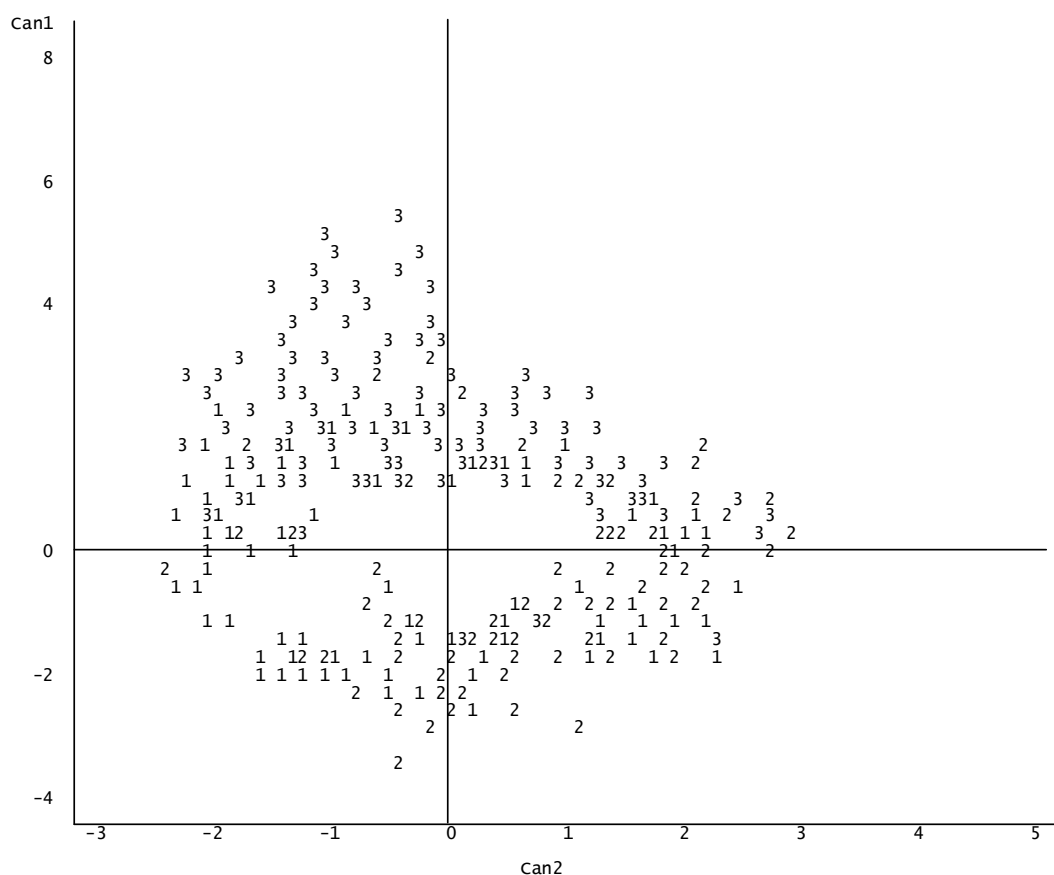


Figure 6.12: Distribution des zones selon les caractéristiques des capsules dans le système d'axes discriminant
Légendes: 1= zone soudanienne; 2 = zone soudano-guinéenne; 3 = zone guinéenne.

6.3.4 Modélisation de la production moyenne de pulpe, graines et amande par capsule

Du fait qu'il existe une différence significative des variables morphométriques retenues par l'analyse discriminante selon les zones climatiques, la modélisation de la production moyenne d'une capsule est présentée pour chaque zone climatique dans le tableau 9. Il en ressort que les productions en graines des capsules en fonction des variables morphométriques les plus discriminantes, s'ajustent respectivement à des modèles logarithmiques dans les zones soudanienne et guinéenne, puis à une fonction racine carrée, dans la zone de transition soudano-guinéenne. Quant aux productions moyennes d'amande, les équations de régression multiple en fonction des mêmes variables, sont des modèles racines carrées dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne, puis logarithmique dans la zone guinéenne. L'estimation des productions moyennes de pulpe par capsule, s'ajuste à des fonctions racines carrées dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne puis à une fonction logarithmique en zone guinéenne. Les ajustements sont hautement significatifs et présentent des coefficients de détermination relativement élevés, parfois de l'ordre de 90 % (tableau 6.9). En conséquence, il sera aisé de déterminer avec précision les productions en amande, en pulpe et en graines en fonction des variables morphométriques les plus discriminantes des capsules et ce, d'une zone climatique à une autre.

Tableau 6.9: Modélisation des productions moyennes des différents organes des capsules de baobab suivant les zones climatiques

		Zones climatiques		
		Soudanienne	Soudano-guinéenne	Guinéenne
Estimation du nombre de graines par capsule	Equation de régression	$\ln(Ngr) = 6,85 - 15,8/L - 13,4/l + 1,06 e + 0,000953 Ptc$	$\sqrt{Ngr} = -2,65 + 0,0506L - 0,0141 l - 4,25e + 1,05 \sqrt{Ptc}$	$\ln(Ngr) = 6,41 + 0,0243 L - 13,4 l/L - 0,865 e + 0,00168 Ptc$
	Ecart type résiduel (S)	0,3300	1,917	0,2834
	R ²	0,853	0,797	0,767
	R ² ajustement	0,851	0,795	0,764
	Probabilité P	0,000	0,000	0,000
Estimation du poids d'amande par capsule	Equation de régression	$\sqrt{Pa} = 2,48 - 9,71/\sqrt{L} + 0,269l + 1,39e + 0,00749Ptc$	$\sqrt{Pa} = -1,46 + 0,0165L + 0,00353l - 1,08e + 0,414 \sqrt{Ptc}$	$\ln(Pa) = 2,45 - 3,70 l/\sqrt{L} + 0,197 l + 0,396/\sqrt{e} - 108/Ptc$
	Ecart type résiduel (S)	0,5546	0,4831	0,2212
	R ²	0,909	0,907	0,849
	R ² ajustement	0,908	0,906	0,847
	Probabilité P	0,000	0,000	0,000
Estimation du poids de la pulpe par capsule	Equation de régression	$\sqrt{Pp} = -7,65 + 0,0899L + 0,758 l + 2,94 l/\sqrt{e}$	$\sqrt{Pp} = -2,52 + 0,0286L + 0,00612l - 1,87e + 0,717 \sqrt{Ptc}$	$\ln(Pp) = 3,27 - 142 l/L^2 + 0,150 l - 0,952 e + 0,000357 Ptc$
	Ecart type résiduel (S)	1,697	0,8368	0,4376
	R ²	0,569	0,907	0,438
	R ² ajustement	0,565	0,906	0,430
	Probabilité P	0,000	0,000	0,000

Légendes: L = Longueur; l = largeur à ½ longueur; e = épaisseur; Ptc = Poids total capsule; Pgr = Poids graines; Pp = Poids pulpe; Pa = Poids amande; Ngr = Nombre graines

6.4 DISCUSSION

Cette étude qui porte sur la typologie et la production des capsules de baobab est la première du genre au Bénin voire même en Afrique. L'approche utilisée a été quantitative et a permis la mise en évidence d'une relation entre les types de capsules de baobab et leurs niveaux de production suivant les zones climatiques.

Plusieurs formes de capsules de baobab ont été observées dans les systèmes agroforestiers traditionnels du Bénin et regroupées en quatre grands groupes. Leurs dimensions varient de façon significative d'un groupe à un autre. Les dimensions moyennes des capsules de baobab au Bénin (longueur 16,32–21,42 cm et largeur 8,3–9,6 cm) sont compatibles avec celles indiquées pour les capsules récoltées dans plusieurs autres pays africains (Wickens, 1982) où la longueur varie de 7,5 à 54 cm et la largeur de 7,5 à 20 cm. En revanche, les péricarpes des capsules au Bénin sont largement moins épais (0,4 à 0,5 cm) que ceux reportés ailleurs en Afrique (0,8 à 1 cm) (Sidibé & Williams, 2002; Wickens, 1982).

En ce qui concerne la variabilité morphologique des capsules, des formes de capsules globuleuses rencontrées le plus souvent en Afrique du Sud, ovoïdes et arrondies à la base au Zimbabwe, ovoïdes et pointues à la base au Botswana, puis des formes ovoïdes et oblongues cylindriques en Angola sont signalées (Wickens, 1982). Au Bénin, différentes formes de capsules sont rencontrées et diversément distribuées dans les zones climatiques avec cependant des prédominances de forme variant de la zone guinéenne à la zone soudanienne.

La zone guinéenne est celle dont les capsules ont globalement donné les meilleurs rendements en pulpe, amande et graines. Elle a été suivie de la zone soudano-guinéenne puis enfin de la zone soudanienne. De ce fait, la zone guinéenne constituerait une zone de provenance intéressante pour les améliorations génétiques en vue d'une meilleure productivité des produits de baobab. Du moment où les formes des capsules sont relativement stables pour un même pied de baobab, et produisent des quantités de pulpe, graines et amande, significativement différentes selon leurs formes et leurs régions de provenance, il sera beaucoup plus aisé d'opérer des sélections d'écotype, visant une plus grande production en combinant les caractères recherchés par les paysans. De façon spécifique, si l'on veut privilégier une grande production de pulpe, de graines ou d'amandes dans un programme de sélection variétale, les arbres donnant les capsules de forme 2 sont à considérer. En effet, ces types de capsules produisent significativement plus de pulpe, d'amande et de graines que les autres formes de capsules. Cependant, la question fondamentale à laquelle il conviendrait de répondre est celle de savoir si les formes les plus productives sont celles donnant les meilleures qualités de pulpe, d'amande et de graines. Il n'a pas été possible de faire ce lien en milieu rural puisque les paysans n'arrivent pas à établir de lien entre les différents critères (par exemple le lien entre le goût de la pulpe et la forme de la capsule) qu'ils utilisent pour distinguer entre eux les individus de baobab. Dans tous les cas, les variations observées pour les différents traits quantitatifs étudiés indiquent l'existence de grandes opportunités de sélection en vue d'une plus grande productivité des capsules répondant le plus aux besoins des consommateurs.

Par ailleurs, les travaux de Kouyaté & Van Damme (2002) sur la caractérisation morphologique de *Detarium microcarpum* au Mali ont montré qu'il existait une variabilité au niveau des caractères

mesurés sur le fruit, la graine et la feuille. Il en est de même chez *Vitellaria paradoxa* pour laquelle il existe une variabilité des dimensions des fruits et graines suivant les gradients de climat dans l'ensemble de la région subsaharienne au nord de l'équateur (Maranz & Wiesman, 2003). Sur le baobab, des travaux entrepris par Soloviev (2004) au Sénégal, ont montré des différences significatives entre les diamètres et les longueurs des fruits. Mais ces études de caractérisation morphologique sur les arbres fruitiers sauvages en Afrique, se limitent essentiellement à des mesures de dimensions et de poids des fruits et autres produits consommés sur les arbres. Elles ne conduisent pas à l'établissement des modèles prédictifs d'estimation ou de quantification des niveaux de production des organes, en fonction de variables morphologiques facilement accessibles. Nous avons adopté une autre démarche, pour le baobab au Bénin, où, pour la production en chacun de ces différents produits, il a été établi des modèles prédictifs pour chaque zone climatique et ce en fonction des variables morphométriques les plus discriminantes.

A partir des données morphométriques des capsules, il est donc possible de prédire les niveaux de production en pulpe, graines et amande des baobabs à l'aide d'équations de régression multiple ou simple. En se basant sur ces modèles, il est possible d'établir des tables de valeurs croisées montrant pour chaque forme de capsule et pour chaque zone climatique les correspondances entre le nombre de capsules sur un individu de baobab et les quantités de pulpe, de graines et d'amandes qu'il pourra potentiellement générer. Partant de ce fait, il devrait être possible d'estimer la valeur monétaire des différents produits de baobab et par conséquent savoir d'avance les productions et les revenus que peut procurer un baobab sur pied. Ces modèles deviennent ainsi de nouveaux outils pouvant aider à la valorisation des produits de baobab au profit des paysans. Il s'agira donc pour les développeurs, forestiers et autres agents de développement, de valider ces modèles et de les vulgariser à l'échelle des paysans, afin de leur permettre d'estimer beaucoup plus aisément, le potentiel économique que représentent les individus de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels.

CHAPITRE 7
STRUCTURE DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET
MORPHOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE BAOBAB
(*ADANSONIA DIGITATA* L.) AU BÉNIN

Adapté à partir de: Assogbadjo A. E., Kyndt T., Sinsin B., Gheysen G., Van Damme P. (2006). Patterns of genetic and morphometric diversity in baobab (*Adansonia digitata* L.) populations across different climatic zones of Benin (West Africa). *Annals of Botany* 97: 819-830.

CHAPITRE 7 - DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE ET MORPHOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE BAOBAB (*ADANSONIA DIGITATA* L.) AU BÉNIN

7.1 INTRODUCTION

Dans les régions sahéliennes et soudaniennes d'Afrique, les populations rurales exploitent par cueillette dans les formations végétales de nombreux fruits "sauvages" à usage alimentaire (Arbonnier, 2000). Ceux-ci sont très importants sur le plan de l'équilibre nutritionnel et de la sécurité alimentaire des populations (Becker, 1983; Bergeret & Ribot, 1990). Selon Guinko & Pasgo (1992) et Madge (1995), la vente des fruits de cueillette sur les marchés locaux constituerait, pour de nombreux ménages ruraux, un revenu d'appoint loin d'être négligeable. Dans le même temps, on assiste ces dernières années à la dégradation des écosystèmes abritant ces espèces ligneuses alimentaires (Gijssbers et al., 1994). A terme, on risque d'assister à une baisse drastique des ressources en fruits de cueillette ainsi qu'à une perte de la diversité génétique. Afin d'enrayer cette évolution, plusieurs programmes de conservation, de domestication et de valorisation des espèces ligneuses alimentaires ont été amorcés (Kouyaté & Van Damme, 2002; Kouyate, 2005; Leakey *et al.* 2005a, 2005b). Toutefois, la démarche de domestication d'une espèce végétale est un long processus qui implique sa caractérisation biologique, écologique, moléculaire et biochimique.

Dans le cas d'*A. digitata*, plusieurs études se sont déjà intéressées à sa biologie florale (Baum, 1995a,b; Baum *et al.*, 1998). Il a aussi été montré que la pollinisation des fleurs d'*A. digitata* est essentiellement assurée par des chauve-souris (Pijl, 1936; Jaeger, 1945, 1954; Harris & Baker, 1959; Start, 1972; Baum, 1995a) tout comme chez beaucoup d'autres espèces de la famille des Bombacaceae: *A. grandidieri* et *A. suarezensis* (Baum, 1995a) et *Ceiba pentandra* (Lobo *et al.*, 2005). Bien que le mode de reproduction du baobab africain n'ait pas été profondément étudié, l'espèce a été classée par Ouedrago (2000) comme étant un allogame, c'est à dire une espèce à fécondation croisée. Les études génétiques effectuées jusqu'à présent sur *A. digitata* se sont surtout intéressées à la détermination de sa formule chromosomique. Ainsi, le nombre de chromosomes obtenu pour *A. digitata* [(2n = 96; Riley, 1960), (2n = 128; Schröder & Wickens, 1982), (2n = 144; Miège, 1974; Miège & Burdet, 1968; Baker & Baker, 1968)] suppose qu'il est cytologiquement hypervariable indiquant ainsi une série de polyploïdie au sein de l'espèce basée sur $x = 8$ (Miège, 1974; Morawetz, 1986). Partant de cette ambiguïté, Baum & Oginuma (1994) ont révisé le nombre de chromosomes des espèces de la famille Bombacaceae et en ont déduit que *A. digitata* serait un autotétraploïde obtenu d'une réduction chromosomique aneuploïdique de type $4x = 176$.

Au sein de l'espèce, il a été prouvé l'existence de nombreux écotypes se distinguant entre eux par la taille des arbres, la morphologie des fruits et la teneur en vitamine C des feuilles (Gebauer *et al.*, 2002; Sidibé & Williams, 2002). Au Mali, il est fréquent de voir les paysans utiliser des critères qui leur sont propres afin de distinguer entre eux plusieurs types de baobab. Selon Sidibé & Williams (2002), les critères utilisés par les paysans maliens sont essentiellement basés sur la couleur de l'écorce, le goût de la pulpe et des feuilles et, la hauteur et l'envergure des arbres. Selon Wickens (1982), Sidibé & Williams (2002) et Diop *et al.* (2006), les études portant sur la diversité génétique des populations d'*A.*

digitata ne sont pas encore effectuées ce qui constitue un obstacle à sa domestication et à l'élaboration de stratégies pour sa conservation *in situ* et *ex situ* dans les systèmes agroforestiers traditionnels.

Au Bénin, des investigations effectuées dans les différentes zones climatiques ont montré qu'il existe pour *A. digitata* des variabilités morphologiques au niveau des fruits et des arbres, et ceci suivant les gradients de climat (cf. chapitres 5 et 6). Cependant, il n'a pas encore été mise en évidence des relations existantes entre la diversité génétique et les variables morphologiques des individus de baobab.

Les objectifs de la présente étude sont de (1) évaluer les niveaux de variation génétique entre et au sein de populations de baobab échantillonnées à travers les 3 différentes zones agro-climatiques du Bénin; (2) investiguer les relations qui existent entre la diversité génétique et les variables morphologiques des mêmes populations; et (3) établir des stratégies de conservation et de domestication dans les systèmes agroforestiers traditionnels.

Plusieurs marqueurs moléculaires (*locus dont le génotype renseigne sur le génotype d'un ou plusieurs locus voisins*) sont actuellement disponibles pour la caractérisation et l'utilisation des ressources phytogénétiques [cf. Santoni *et al.* (2000) pour plus de détails]. Dans le cadre de la présente étude, la technique d'AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) telle que décrite par Vos *et al.* (1995) et l'évaluation morphologique de certaines caractéristiques, ont été combinées pour mettre en exergue la diversité génétique intra-spécifique des populations de baobabs au Bénin. En effet, cette technique présente un grand avantage puisqu'elle a déjà été utilisée avec succès dans l'évaluation de la diversité génétique de plusieurs plantes tropicales comme le riz (*Oryza sativa*, Mackill *et al.*, 1996), le thé (*Thea sinensis*, Paul *et al.* 1997), la banane (*Musa spp.*, Loh *et al.*, 2000) et la papaye (*Carica papaya*, Kyndt *et al.*, 2005). Elle est une méthode robuste révélant par réaction d'importants fragments d'ADN polymorphiques présents dans le génotype (Vos *et al.*, 1995). Les avantages de cette technique incluent le nombre important de marqueurs révélés (jusqu'à 100 bandes AFLP à la fois), le fort taux de polymorphisme, la forte reproductibilité et la non nécessité d'un séquençage préalable de génome (Powell *et al.*, 1996). En l'absence de marqueurs co-dominants (e.g. SSRs), Krauss (2000) indique que les marqueurs AFLP sont une bonne alternative pour l'estimation de la diversité génétique et de la structure génétique de populations de plantes.

7.2 MATERIELS ET METHODES

7.2.1 Echantillonnage

L'étude s'est déroulée sur base de matériel collecté dans les zones guinéenne (entre 6°25'N et 7°30'N), soudano-guinéenne (entre 7°30'N et 9°45'N) et soudanienne (entre 9°45'N et 12°25' N) du Bénin (cf. chapitre 2 pour les détails sur les caractéristiques bio-physiques de chacune de ces trois zones). Dans chaque zone, 2 populations de baobab ont été échantillonnées (figure 7.1). Il convient de signaler que les baobabs de chaque population ont été aléatoirement échantillonnés parmi ceux ayant déjà fait l'objet d'une caractérisation écologique (chapitre 5). Ainsi, nous avons défini une population de baobabs comme étant un ensemble d'individus aléatoirement distribués dans un écosystème naturel assimilé à un cercle de rayon maximal 50 km. De plus, deux populations distinctes sont séparées l'une de l'autre

d'au moins 50 km. Les distances entre populations ont été respectées durant l'échantillonnage grâce à l'utilisation du GPS (*Global Positioning System*) qui a permis de géoréférencer les individus et populations de baobab. Le tableau 7.1 donne un résumé de quelques caractéristiques des populations échantillonnées. Au total, 6 populations représentées par 137 individus ont été échantillonnées dans les zones sus-mentionnées. Au sein de chaque population, les baobabs ont été échantillonnés à une distance d'au moins 100 m les uns des autres pour éviter de collecter des individus très apparentés. Pour chaque baobab, 5 feuilles ont été collectées et séchées au silica gel pour l'extraction d'ADN et les analyses d'AFLP.

Tableau 7.1: Caractéristiques des populations collectées dans les trois zones climatiques du Bénin

Zones géographiques	Zones agro-climatiques (White, 1983)	Code des Populations	Code des individus	Nombre d'individus	Coordonnées GPS
Sud	Guinéen	P1	Nombre entre 1 et 30	26	6°24.621 N 001°51.795 E
		P2	Nombre entre 31 et 60	30	06°54.249 N 002°15.326 E
Centre	Soudano-Guinéen	P3	Nombre entre 61 et 70; 77 et 105	35	07°43.214 N 002°11.744 E
		P4	Nombre entre 71 et 76	6	08°42.705 N 001°38.694 E
Nord	Soudanien	P5	Nombre entre 106 et 25; 136 et 145	30	10°15.986 N 001°18.601 E
		P6	Nombre entre 126 et 135	10	11°00.744 N 000°59.570 E

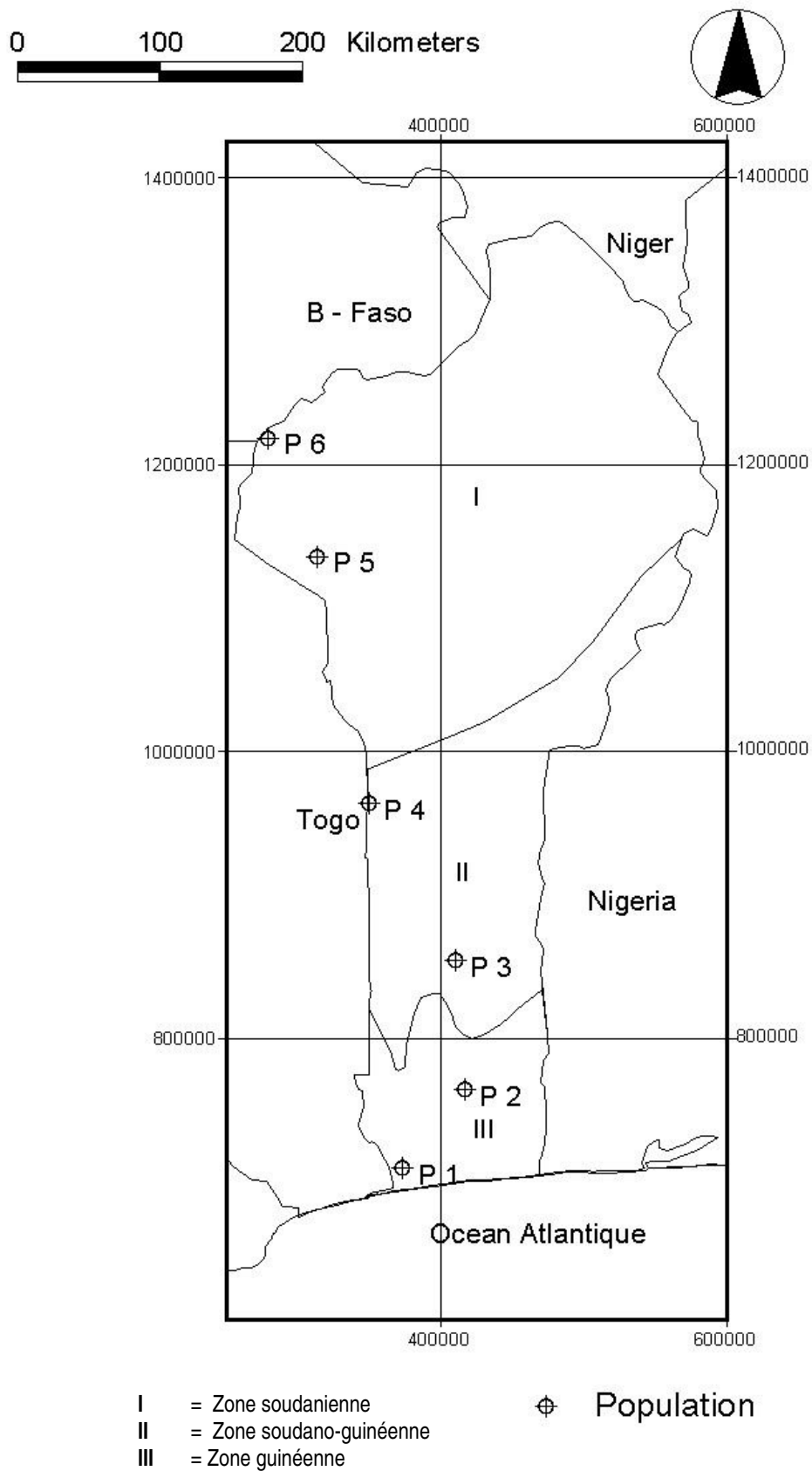


Figure. 7.1: Populations étudiées et les principales villes du Bénin (Carte réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006).

7.2.2 Evaluation de la diversité et de la structure génétique des populations de baobab

7.2.2.1 Extraction d'ADN

Les feuilles utilisées ont été séchées au silica gel. L'ADN a été extrait des feuilles séchées suivant le protocole MATAB (*Mixed Alkyl Trimethyl Ammonium Bromide*) développé également pour le karité (*Vitellaria paradoxa*) (Kelly *et al.*, 2004). Cette méthode a été choisie puisqu'elle a été en mesure de nous procurer des ADN de bonne qualité. Ainsi, 50 mg de feuilles sèches ont été broyées dans un tube contenant de l'azote liquide à - 70°C. Au broyat obtenu, a été ajouté 5 ml de tampon d'extraction d'ADN (100 mM Tris-HCl, pH 8.0, 20 mM EDTA, 1.4 M NaCl, 1% PEG 6000, 2% *Mixed Alkyl Trimethyl Ammonium Bromide*, 0.5% du sulfite de sodium). Le tube a été ensuite incubé à 74°C pendant 25 min. Les échantillons ont ensuite été rincés avec du chloroforme (CIAA, 24:1) afin de les débarrasser des débris de cellules et de protéines. Cette étape est suivie d'une centrifugation à 9000 g pendant 15 min.. La phase aqueuse est transférée dans de nouveaux tubes de 15 ml, et 5 ml d'isopropanol y ont été ajoutés pour précipiter l'ADN. Les pelotes d'ADN résultant ont été chacune dissoutes dans 400 µl d'eau distillée, et conservées à 4°C jusqu'à leur utilisation.

7.2.2.2 Analyses AFLP

- **Principe** (Figure 7.2: Santoni *et al.*, 2000)

La technique AFLP est fondée sur la mise en évidence conjointe de polymorphisme de site de restriction et d'hybridation d'amorces arbitraires. Elle a été mise au point par Vos *et al.* (1995) de la société néerlandaise Keygene pour une utilisation initiale en amélioration des plantes et elle est couverte par un brevet. L'ADN génomique purifié est d'abord coupé par deux enzymes de restriction (généralement *EcoRI* et *MseI*) ayant des sites de reconnaissance respectivement de 6 et 4 bases. Des adaptateurs de séquence connue de 10 à 15 bases, adaptés aux extrémités cohésives des sites de restriction, sont ajoutés aux extrémités des fragments d'ADN par une réaction de ligation. Une première amplification (pré-amplification), dite présélective, amplifie les fragments d'ADN à l'aide d'amorces correspondant à la séquence des adaptateurs et du site de restriction additionné en 3' d'une ou de plusieurs base définie arbitrairement (nucléotides sélectives). Un mésappariement de cette base 3' terminale de l'amorce empêche totalement l'amplification. Dans cette réaction, seul 1/16 des fragments de restriction initiaux sont donc amplifiés. La deuxième amplification, dite sélective, utilise des amorces identiques aux premières additionnées de 1, 2 ou 3 bases supplémentaires à leur extrémité 3'. Un sous-ensemble de fragments est alors amplifié. Les produits de l'amplification finale sont séparés par électrophorèse en gel d'acrylamide dénaturant (gel de séquence). Ils peuvent être ensuite visualisés par coloration au nitrate d'argent ou révélés grâce à un marquage radioactif ou fluorescent réalisé lors de la seconde amplification. Les profils sont en général complexes (jusqu'à 100 bandes ou parfois plus). Le nombre de bases arbitraires des amorces de l'amplification sélective détermine le nombre de bandes produites en fonction de la taille du génome de l'organisme étudié. Il est théoriquement possible d'utiliser plusieurs dizaines de combinaisons d'enzymes de restriction et, de très nombreuses

combinaisons de bases sélectives sur les amorces d'amplification. Les combinaisons restriction/amplification sont presque infinies. La technique AFLP permet de révéler un polymorphisme important chez toute les plantes, essentiellement de type présence/absence, et peut produire des marqueurs issus de toutes les régions du génome. Elle constitue une technique de choix pour marquer rapidement un grand nombre de loci dans un génome. Cette technique permet donc de réaliser des empreintes génétiques hautement informatives afin de comparer des génotypes génétiquement très proches, de réaliser facilement des cartes génétiques ou de saturer une région particulière d'un génome.

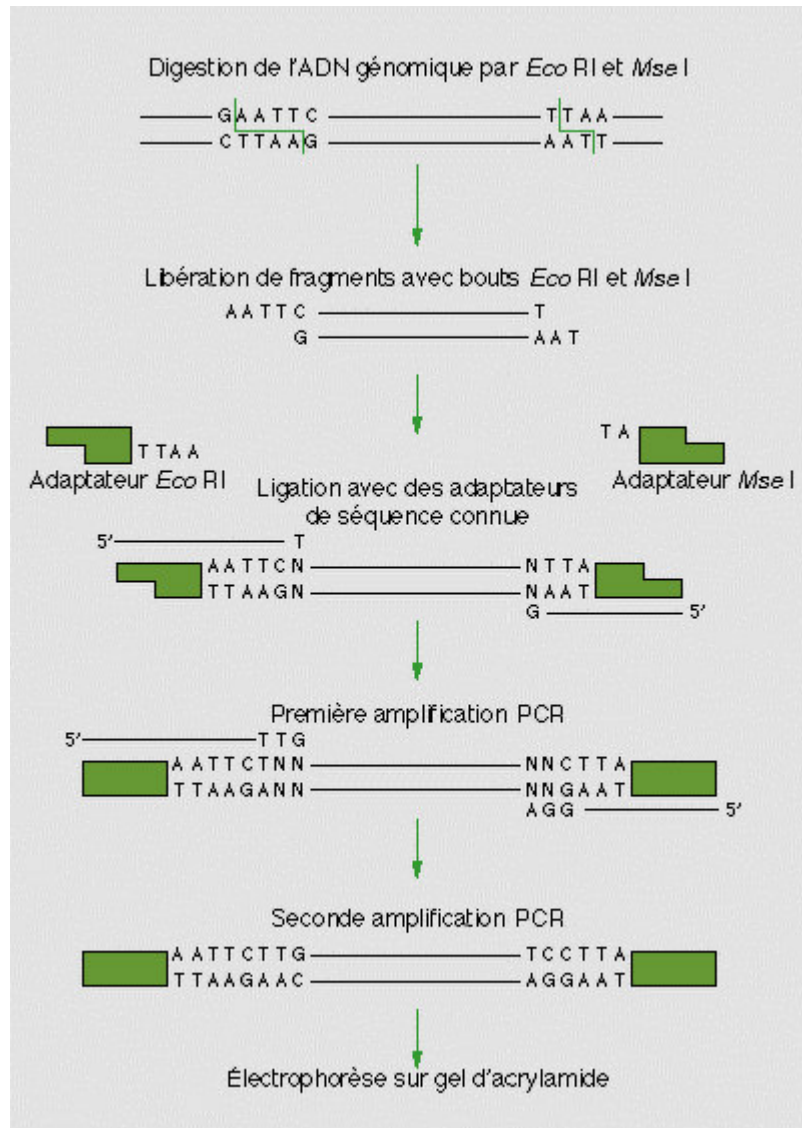


Figure 7.2: Principe de la technique d'AFLP (Source: Santoni *et al.*, 2000).

- **Procédure**

Dans la pratique, nous avons utilisé la technique d'AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) telle que décrite par Vos *et al.* (1995). Toutes les amorces (*courte séquence d'oligonucléotides qui, hybridée avec une matrice d'acide nucléique, permet à une polymérase d'entamer la synthèse d'un nouveau brin de l'ADN*) et tous les adaptateurs (*courte séquence nucléotidique capable de réaliser le pontage entre deux fragments d'ADN terminés par des séquences non complémentaires*) ont été obtenus de Genset (Paris, France). Ainsi, une digestion d'environ 500 ng d'ADN a été simultanément effectuée avec des enzymes de digestion *EcoRI* et *MseI*. La jonction des fragments de restriction aux adaptateurs se fait au cours de la même étape. Conformément au protocole de Vos *et al.* (1995), une dilution du 1/5 du produit résultant, a été utilisé comme base pour les réactions de pré-amplification. Ensuite, deux produits de pré-amplification ont été générés en utilisant des amorces '*EcoRI*' portant 0 nucléotide sélective (E-0) en combinaison avec les amorces '*MseI*' portant 2 nucléotides sélectives (M-AC ou M-GC). Le 1/10 de chaque produit pré-amplifié a servi de base pour l'amplification sélective finale. Pour cette dernière, les amorces *EcoRI* radioactives (γ -[³³P]-ATP) portant deux nucléotides sélectifs (E-GT, E-GA, E-TC ou E-AT) ont été combinés avec les amorces *MseI* portant 4 nucléotides sélectifs (soit M-ACGG, M-ACGC, M-ACGA, M-GCGA ou M-GCGG). Les paires d'amorces utilisées dans les réactions de pré-amplification et d'amplification radioactive, ont été choisies à partir d'un screening initial opéré sur un nombre limité d'échantillons. Le taux de polymorphisme (nombre de locus polymorphes par rapport au nombre de locus étudiés), la consistance des bandes et leur reproductibilité, sont les critères qui ont été utilisés pour choisir les amorces. Après l'amplification, un volume égal de formamide 'loading dye' a été ajouté au produit de PCR pour arrêter le processus (Vos, 1995). Finalement, pour chaque individu de baobab, les produits d'amplification ont été séparés par électrophorèse sur gels de polyacrylamide (5%) et les bandes ont été visualisées par autoradiographie.

7.2.2.3 Analyse des données génétiques

Selon Lowe *et al.* (2004) l'étude de la variation génétique dans une population doit prendre en compte les 3 composants que sont, (i) la diversité génétique c'est à dire le seuil de la variation génétique, (ii) la différenciation génétique c'est à dire la distribution de la variation entre les populations puis enfin (iii) la distance génétique c'est à dire le niveau de la variation génétique entre les paires de populations.

Plusieurs méthodes ont été développées pour le calcul de chacun de ces paramètres aussi bien pour des marqueurs codominant (SSR par exemple) que dominant (AFLP par exemple). Par conséquent, de nombreux logiciels informatiques ont été mis au point et permettent, à partir de la matrice 'présence / absence' des bandes, d'évaluer et d'analyser ces différents paramètres génétiques sur base de calcul d'indices adéquats. Ainsi, pour chaque individu de baobab analysé dans le cadre de la présente étude, les bandes AFLP révélées par autoradiographie, ont reçu un score par observation visuelle pour leur présence (1) ou absence (0). Seuls les marqueurs bien distincts et visibles ont été pris en compte pour éviter des biais.

La matrice de données résultant du scoring a donc été analysée avec des logiciels Treecon (version 1.3b; Van de Peer & De Wachter, 1994), Arlequin (Schneider *et al.*, 2000), Structure (version 2.0; Pritchard *et al.*, 2000), NTSYS-pc (Version 2.10L; Rohlf, 2000) et AFLPsurv (Vehemans, 2002).

La similarité génétique (*probabilité pour que deux gènes tirés au hasard dans une population soient identiques*, Lowe *et al.*, 2004) basée sur le coefficient de Jaccard (Jaccard 1908) a été calculée en utilisant le module SIMQUAL du logiciel NTSYS-pc ou l'option DISTANCE ESTIMATION du logiciel Treecon.

A partir de la matrice de similarité génétique, un dendrogramme a été généré en utilisant la méthode UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Analysis*) qui consiste à grouper des individus en des classes suivant les moyennes arithmétiques de leur coefficient de ressemblance (Sokal and Michener, 1958). La construction de ce dendrogramme a pour but de révéler la similarité génétique entre individus ou populations de baobab de différentes localités. Sur ce dendrogramme, plus les individus de baobab sont génétiquement similaires, plus proches ils sont les uns des autres sur le dendrogramme et par conséquent ont été groupés dans une même classe. La fiabilité des classes obtenues pour chaque dendrogramme a été testée par le "*bootstrap analysis*" (Felsenstein, 1985) avec 1000 itérations en utilisant le logiciel Treecon.

De plus, un PCO (*Principal Co-ordinate Analysis*) (PCO; Gower, 1966) ou analyse en coordonnées principales, a été effectué sur la matrice de similarité génétique en utilisant les algorithmes DCENTER et EIGEN du logiciel NTSYS-pc (Rohlf, 2000). Cette analyse a pour but de révéler à travers un système d'axes les similarités génétiques entre individus de baobab.

La méthode bayésienne "model-based (Bayesian) clustering" basée sur le calcul des probabilités conditionnelles a été appliquée avec 250000 itérations sur la matrice 'présence / absence' afin d'inférer la structure génétique des 6 populations. Le logiciel utilisé est STRUCTURE version 2.0 (Pritchard *et al.*, 2000). L'utilisation de cette technique a pour but d'inférer sur base de probabilité de ressemblance (degré de similarité génétique), les individus génétiquement identiques dans un même 'gene pool'. En d'autres termes, cette technique permet d'inférer dans un même groupe, des individus qui sont supposés avoir le même potentiel génique (gene pool).

Le modèle utilisé est basé sur la matrice 'présence / absence' avec comme hypothèse qu'aucune information n'est à priori disponible sur les 6 populations de départ (USEPOPINFO = 0). Ensuite il est évalué sur base de probabilité de regroupement des individus génétiquement identiques, plusieurs valeurs (2 à 10) correspondant au nombre de 'gene pools' susceptibles d'être inférés à partir de la matrice présence / absence. Le nombre retenu, après 250000 itérations dont la signification est testée avec le logiciel STRUCTURE, est celui donnant la plus grande probabilité lors du regroupement des individus suivant leur degré de similarité génétique. Ce nombre correspond donc au nombre de 'gene pools' contenus dans les 6 populations et les individus de baobab y sont probabilistiquement assignés selon leur degré de ressemblance génétique.

En supposant l'équilibre de Hardy-Weinberg (*proportions génotypiques prévues dans une population idéale dont les caractéristiques comprennent la reproduction aléatoire, aucune sélection et un taux de mutations négligeable*, Lowe *et al.*, 2004), l'analyse moléculaire de la variance (AMOVA), a été exécutée sur la matrice de 'présence / absence' en utilisant le logiciel Arlequin vs. 2.000 (Schneider *et al.*, 2000) à trois niveaux hiérarchisés (entre populations au sein des régions, entre régions et de façon

globale). Cette analyse a pour but d'évaluer la distribution de la variabilité génétique, entre et au sein des populations de baobab des différentes régions géographiques. Selon, Excoffier *et al.* (1992), cette analyse statistique est reconnue comme un outil efficace pour définir la structure des populations et le degré de différenciation génétique inter populations (ϕ_{ST}) c'est à dire la distribution de la variation génétique entre les populations. Il a été également montré que cette analyse est un outil performant pour l'étude des espèces tétraploïdes (Jenczewski *et al.*, 1999) comme le baobab africain.

Par ailleurs, les études de diversité génétique et de structure des populations, basées sur les analyses de fréquences alléliques, ont également été effectuée avec le logiciel AFLPsurv version 1.0. (Vekemans, 2002). En conséquence, la distance génétique de Nei (1973) (aussi connue comme l'hétérozygotie espérée, Lowe *et al.*, 2004), exprimant la probabilité pour que deux gènes tirés au hasard dans une population soient différentes, a été évaluée. De même, la différenciation génétique (F_{ST} : *pairwise genetic differentiation*) exprimant la distribution de la variation génétique entre les populations a été aussi évaluée. La signification de la différenciation génétique inter-groupes a été testée par comparaison des F_{ST} observées avec la distribution théorique des F_{ST} sous l'hypothèse de l'absence de structure génétique. Ceci a été possible grâce à 1000 permutations aléatoires d'individus de différents groupes (Vekemans, 2002).

La dissimilarité génétique (DS) a été calculée telle que indiquée dans Lowe *et al.* (2004) à partir de la formule: $DS = 1 - \text{similarité de Jaccard}$. Selon Lowe *et al.* (2004), elle varie entre 0 (quand tous les marqueurs sont partagés entre les individus ou les populations) et 1 (quand aucun marqueur n'est partagé entre les individus ou les populations). En d'autres termes, si $DS \approx 0$, tous les individus sont similaires et il n'existerait aucune différence génétique entre les individus. Par contre si $DS \approx 1$, tous les individus sont génétiquement non identiques et par conséquent sont génétiquement distants les uns des autres.

Pour tester l'isolation par distance (*isolation-by-distance*), les corrélations entre la dissimilarité génétique (entre individus) et les distances géographiques d'une part, et entre la différenciation génétique (F_{ST} entre populations) et ces mêmes distances géographiques entre populations d'autre part, ont été calculées avec le test de Mantel (Mantel, 1967). Ce test permet d'établir des liens qui existent entre les distances génétiques et les distances géographiques, des individus et populations de baobab. Les calculs ont été réalisés entre les paires de populations et entre tous les individus et, leur signification statistique a été évaluée avec 1000 permutations.

7.2.2.4 Evaluation et analyses des données morphométriques des populations d'*A. digitata*

Les caractéristiques morphologiques des individus de baobab issus de chacune des populations ont été étudiées. Pour chaque baobab échantillonné, le diamètre à hauteur de poitrine (à 1,30 m) est obtenu avec un ruban II, la hauteur totale est obtenue avec un clinomètre et le diamètre de son houppier (par projection) obtenu avec un pentadécamètre. En plus, des données étaient collectées sur le nombre total de branches obtenu par comptage ainsi que sur le nombre de capsules par arbre (par comptage sur ceux en fructification) et leur épaisseur.

Pour estimer la productivité en pulpe, graines et amandes, 600 fruits mûrs ont été aléatoirement échantillonnés dans chaque population. La longueur et le poids de la capsule entière ont été

déterminés. Chaque capsule est pesée, cassée et le contenu (pulpe + graines) également pesé. Les graines sont retirées de l'ensemble par rinçage du contenu pulpe + graine à l'eau. Elles sont ensuite comptées puis séchées à l'étuve à 50-60°C pendant 48h et sont pesées. Ces graines séchées sont ensuite bouillies dans de l'eau pendant 30 min pour retirer le tégument externe. Les amandes des graines sont pesées après être également séchées dans une étuve à 40 – 50 °C pendant 48 h. Le poids de la pulpe dans chaque capsule est obtenue par la formule:

$$P_p = P_{pg} - P_g \text{ où,}$$

P_p est le poids de la pulpe, P_{pg} le poids de la graine et de la pulpe réunie, et P_g le poids des graines sans la pulpe.

Pour chaque produit (pulpe, graines et amande), la productivité moyenne était calculée par arbre et permet l'estimation de leur rendement moyen, pour chaque population.

Avec le logiciel SASv8, des analyses de variance (ANOVA) et un test de Newman et Keuls, ont été effectués sur les données morphologiques afin de décrire et de comparer entre elles les populations de baobab au sein et entre les zones climatiques.

7.2.2.5 Corrélation entre les variables morphologiques et de production et, les données génétiques

La variabilité morphologique entre chaque paire d'individus a été calculée aussi bien pour chaque variable que pour l'ensemble des variables morphologiques en utilisant l'option DIST (distance taxonomique moyenne) du module SIMINT de NTSYS-pc. Les corrélations entre les matrices de diversité morphologiques et les coefficients de dissimilarité génétique de Jaccard des paires d'individus, ont été évaluées avec le test de Mantel (Mantel, 1967) en utilisant le module MXCOMP. La signification statistique a été évaluée avec 1000 permutations.

7.3 RESULTATS

7.3.1 Polymorphisme des bandes AFLP

Des 24 *EcoRI*+2/*MseI*+4 combinaisons d'amorces préalablement testées pour leur aptitude à détecter le polymorphisme dans l'espèce, 5 paires d'amorces ont été sélectionnées en se basant sur le nombre de fragments amplifiés, la reproductibilité et le taux de polymorphisme observé. Pour l'ensemble des individus, les 5 paires d'amorces ont généré 217 bandes (tableau 7.2). En considérant l'ensemble du 'germplasme' analysé, seulement 47 bandes étaient monomorphiques, soit un taux de polymorphisme de 78,34%. Le nombre de bandes polymorphiques généré par une paire d'amorces était compris entre 15 et 51.

Tableau 7.2: Combinaison d'amorces et polymorphisme au sein de l'espèce

Paire d'amorces	Nombre total de bandes scorées	Nombre de bandes polymorphiques	Polymorphisme (%)
E-GT/M-ACGG	62	51	82
E-GT/M-ACGA	34	24	71
E-GA/M-ACGC	50	43	86
E-TC/M-GCGA	48	37	77
E-AT/M-GCGG	23	15	65
Total	217	170	78.34

7.3.2 Analyse du dendrogramme UPGMA et du PCO

Du dendrogramme UPGMA (figure 7.3) basé sur le coefficient de similarité de Jaccard, il a été observé que les individus peuvent être globalement groupés en deux classes et en un groupe mixte. Bien que de faibles valeurs de *bootstrap* (degré de fiabilité) aient été obtenues pour ces classes, il a été observé un remarquable regroupement des individus suivant leur provenance. La classe 1 (C1) groupait les individus des populations de la zone guinéenne avec certains des populations de la zone soudano-guinéenne pendant que la classe 2 (C2) était principalement composée des individus des populations de la zone soudanienne et de certaines populations de la zone soudo-guinéenne. Le groupe mixte est composé par un petit nombre d'individus des populations des zones guinéenne et soudano-guinéenne. Le PCO (*Principal Co-ordinate Analysis*) basé sur la matrice de similarité génétique (Fig. 7.4) a montré que les deux premiers axes retenaient 70 % de la variation totale et ont été en mesure de séparer les classes C1 et C2 reconnues sur le dendrogramme UPGMA.

Malgré la faible signification statistique révélée par les faibles valeur de '*bootstrap*', il a été observé une liaison générale entre les classes et les origines géographiques des individus, indiquant un certain degré de structuration génétique des populations de baobab. Visiblement, il existe une certaine isolation génétique entre les populations de la zone guinéenne et celles de la zone soudanienne. Le chevauchement des classes C1 et C2 est assuré par les individus des populations de la zone soudano-guinéenne. La liaison entre les populations de la zone guinéenne et celles de la zone soudanienne serait assurée par leur lien respectif avec les individus de la zone de transition soudano-guinéenne.

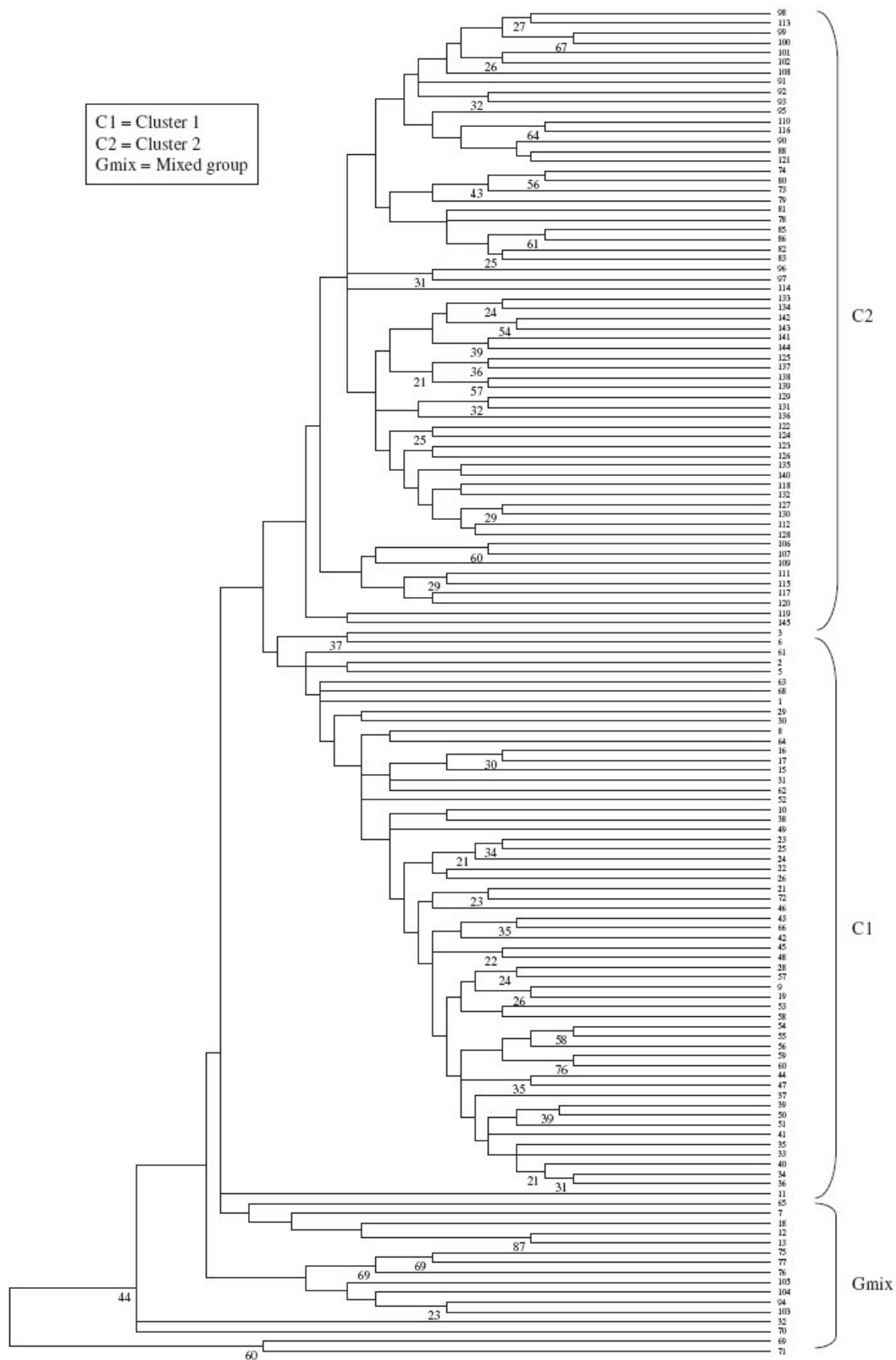


Figure 7.3: Dendrogramme UPGMA, obtenu à partir du coefficient de similarité de Jaccard, des 137 individus échantillonnés dans 6 populations de baobab. Les valeurs de 'bootstrap' (%) supérieures à 20% sont indiquées sur les branches

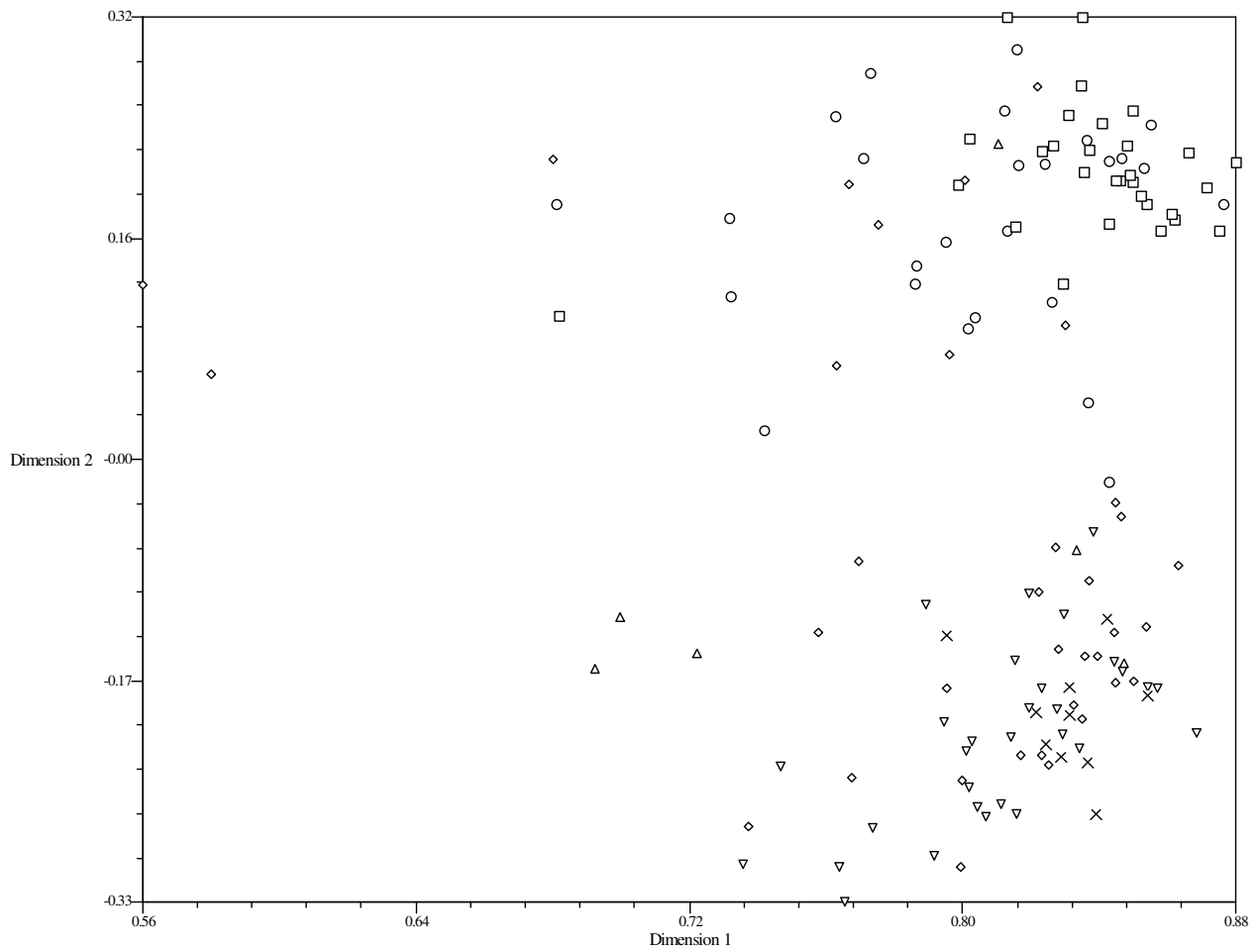


Figure 7.4: PCO, basé sur le coefficient de similarité de Jaccard, entre les 137 individus échantillonnés dans les 6 populations de baobab

Population	Symbol
P1	○
P2	□
P3	◇
P4	△
P5	▽
P6	×

7.3.3 Structuration génétique

L'estimation de la plus grande probabilité de regroupement des individus, conditionnée par un certain nombre de classes, a été faite en groupant tous les génotypes des populations en 6 pools de gène (coïncidant par hasard avec le nombre de populations). L'attribution des individus de différentes populations à ces 6 pools de gènes, est présentée dans le tableau 7.3 (également sur la figure 7.5). Généralement, les individus échantillonnés dans les mêmes zones climatiques appartiennent au même pool de gènes. Le pool de gènes 1 contient la majorité des individus de la zone soudanienne: 100% individus de la population P6 et 70,5% des individus de la population P5. Presque la totalité du reste des individus de P5 est attribuée au pool de gènes 4. Les individus des populations P3 et P4, tous de la zone soudano-guinéenne, sont diversement répartis dans les 6 pools de gènes, principalement dans les pools de gènes 3, 4 et 5. Le pool de gènes 6 contient essentiellement les individus de P2 et a peu près un tiers des individus de P1; ils proviennent tous de la zone guinéenne. A peu près 2/3 des individus de P1 appartiennent au pool de gènes 2. Ces résultats indiquent que la structuration génétique des individus de baobab est corrélée avec leur région de provenance.

Tableau 7.3: Proportions de pool de gène inférées pour chacune des 6 populations de baobab

Populations	Pools de gènes inférés					
	1	2	3	4	5	6
P1	0,000	0,623	0,000	0,000	0,038	0,338
P2	0,000	0,069	0,000	0,000	0,033	0,898
P3	0,001	0,147	0,284	0,401	0,120	0,047
P4	0,000	0,038	0,333	0,000	0,500	0,129
P5	0,705	0,000	0,001	0,294	0,000	0,000
P6	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

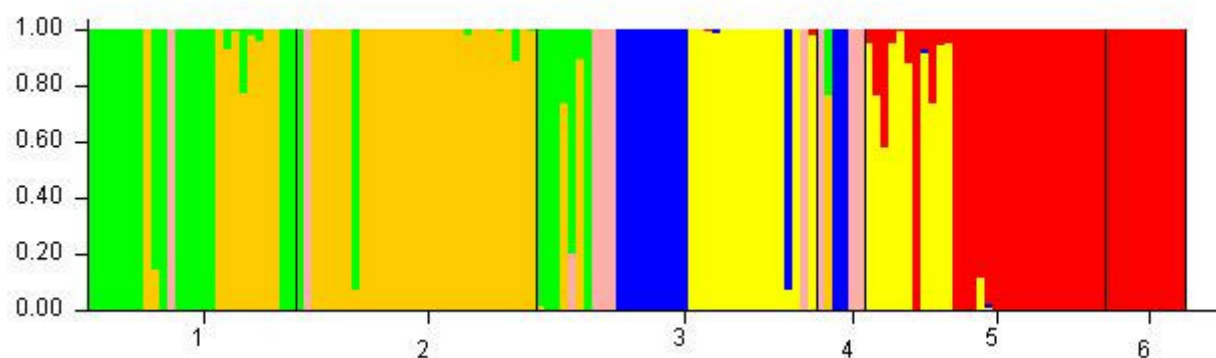


Figure 7.5: Répartitions des populations de baobab suivant les pools de gènes

7.3.4 Diversité génétique

L'estimation de la diversité génétique intra-population c'est à dire du niveau de la variation génétique au sein des populations, a été faite avec le logiciel AFLPsurv et les résultats sont indiqués dans le tableau 7.4. La diversité génétique de Néi (1973) (hétérozygotie espérée) au sein des populations est comprise entre 0,26 (P5) et 0,37 (P4). Les taux de polymorphisme dans les populations varient entre 89,4 % (P4) et 98,2 % (P1) (tableau 7.4). Ces résultats montrent un fort taux de polymorphisme et une forte variation au sein des populations.

L'évaluation de la distribution de la variabilité génétique, entre et au sein des populations de baobab des différentes régions géographiques, a été estimée par l'analyse de la variance moléculaire (AMOVA). A deux niveaux (tableau 7.5), l'AMOVA résultant des 137 individus issus des 6 populations de baobab, a révélé que 82,37 % de la variation totale se situe au sein des populations et 17,63 % entre les populations ($\phi_{ST} = 0,176$). A trois niveaux (tableau 7.5), la partition a révélé 14,70 % de la variation entre régions et 5% de la variation génétique entre les populations à l'intérieur des régions. L'ensemble des valeurs obtenues est statistiquement significatifs ($P < 0,001$).

Tableau 7.4: Diversité génétique au sein des six populations

Pop	H	SD	P (%)
P1	0,35	0,01	98,2
P2	0,28	0,01	91,2
P3	0,32	0,01	94,9
P4	0,37	0,01	89,4
P5	0,26	0,01	90,8
P6	0,28	0,01	93,1

Légende : Pop = Populations; H = diversité génétique de Néi (expected heterozygosity); SD = Standard de déviation de H; P (%) = Taux de polymorphisme dans les populations

Tableau 7.5: AMOVA de 137 individus provenant de six populations de baobab obtenus avec 217 marqueurs AFLP. La valeur de la probabilité P est estimée à partir de 1023 permutations

Source de variation	ddl	SSD	Variance	% du total	Pr
<u>Deux niveaux</u>					
Entre populations (ϕ_{ST})	5	642,21	4,85	17,63	Pr < 0,001
Au sein des populations	131	2970,32	22,67	82,37	
<u>Trois niveaux</u>					
Entre régions	2	498,94	4,15	14,70	Pr < 0,001
Entre populations au sein des régions	3	143,28	1,42	5,02	Pr < 0,001
Au sein des populations	131	2970,32	22,67	80,28	

L'analyse de la structure des populations, avec les statistiques de F (F_{ST} : F -statistics) basée sur les fréquences alléliques, a révélé une valeur globale de F_{ST} de $0,127 \pm 0,072$ ($P = 0,001$). La diversité génétique totale (H_t) sur l'ensemble des populations considérées est estimée à $0,355 \pm 0,02$ tandis que les moyennes sur toutes les populations des diversités génétiques intra-populations (H_w) et inter-populations (H_b) ont été respectivement estimées à $0,309$ et $0,045 \pm 0,072$. Les coefficients de différenciation génétique inter-populations (F_{ST}), calculé avec le logiciel AFLPsurv 1.0, sont statistiquement significatifs ($P < 0,001$) (Tableau 7.6). Au sein d'une même zone climatique, la distance génétique est généralement inférieure à $0,05$ (tableau 7.6). Les valeurs maximale et minimale de F_{ST} sont respectivement de $0,23$ entre P2-P5 et $0,02$ entre P3-P4 et P5-P6.

Tableau 7.6: Différenciation génétique (F_{ST} , sous la diagonale) entre populations, calculée avec le 'Bayesian method' avec le logiciel AFLPsurv 1.0., et la distance moyenne (km) entre paire de populations (au dessus de la diagonale)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	0,00	72,5	97,5	212,5	410	435
P2	0,05	0,00	156,5	258,5	456	496
P3	0,09	0,15	0,00	147,5	323	333
P4	0,10	0,18	0,02	0,00	201	210
P5	0,18	0,23	0,08	0,15	0,00	71
P6	0,17	0,21	0,10	0,16	0,02	0,00

7.3.5 Corrélation spatiale

Les tests de Mantel comparant la différenciation génétique et les distances géographiques entre les populations a montré une corrélation significative ($P < 0,001$) de $0,758$, indiquant une isolation par distance (Wright 1943, 1946). Aussi, la dissimilarité génétique (1- coefficient de similarité de Jaccard) entre les paires d'individus de baobab augmente significativement avec leur distance géographique. Une corrélation significative de $0,276$ est obtenue avec le test de Mantel. Ceci montre une structure génétique spatiale entre les populations et les individus de baobab suivant les zones agroclimatiques du Bénin.

7.3.6 Données morphologiques et productivité des populations de baobab

Le tableau 7.7a présente les caractéristiques morphologiques des populations de baobab étudiées. Il en ressort que les caractères morphologiques et la productivité des baobabs varient considérablement d'une population à une autre.

Une comparaison des trois zones montre que les baobabs ayant les plus grandes hauteurs sont ceux de la zone guinéenne.

La zone soudanienne est celle dans laquelle se trouvent des baobabs ayant les plus gros diamètres.

Les baobabs des populations de la zone soudano-guinéenne quant à eux sont ceux produisant le plus de capsules, de pulpe et de graines. (tableau 7.7a).

Les capsules des baobabs de la zone guinéenne sont plus allongées et plus épaisses que celles des deux autres zones. Par contre, celles des baobabs de la zone soudanienne sont souvent les plus courtes.

Tableau 7.7a: Caractéristiques morphologiques et production moyenne par individu de baobab dans les six populations étudiées

Variables	Guinée		Sudano-guinéen				Sudanien					
	P1 (n = 26)	P2 (n = 30)	P3 (n = 35)	P4 (n = 6)	P5 (n = 30)	P6 (n = 10)						
Morphologiques	Mean	σ	Mean	σ	Mean	σ	Mean	σ	Mean	σ	Mean	σ
D (cm)	149,23 ^a	66,89	147,15 ^a	57,29	176,35 ^b	33,64	173,04 ^b	40,32	201,51 ^c	97,88	202,55 ^c	54,90
h (m)	21,15 ^a	3,45	18,90 ^b	2,83	13,79 ^c	1,96	13,50 ^c	1,87	15,27 ^d	5,18	18,70 ^b	4,27
dhoup (m)	14,27 ^a	3,69	14,22 ^a	1,13	16,95 ^b	5,99	16,58 ^b	4,62	16,56 ^b	4,66	16,58 ^b	3,98
N branches/arbre	7 ^a	2,17	7 ^a	2,32	10 ^b	3,02	11 ^b	2,83	7 ^a	2,22	7 ^a	3,98
Ncapsules/arbre	49 ^a	46,12	67 ^b	36,15	188 ^c	70,77	225 ^d	203,50	137 ^e	92,54	138 ^e	132,51
Pcaps/arbre (kg)	20,28 ^a	18,33	25,69 ^b	29,38	32,05 ^c	11,37	34,13 ^d	8,58	28,28 ^e	21,62	34,07 ^f	34,71
Lcaps (cm)	21,71 ^a	4,85	22,71 ^a	4,85	19,89 ^b	3,96	18,89 ^b	3,96	16,89 ^c	5,14	16,59 ^c	5,14
Ecaps	0,45 ^a	0,15	0,45 ^a	0,15	0,43 ^b	0,09	0,43 ^b	0,09	0,43 ^b	0,07	0,43 ^b	0,07
Pp/arbre (kg)	3,62 ^a	3,19	1,93 ^b	1,55	6,13 ^c	1,98	6,51 ^c	1,46	4,94 ^d	3,75	4,83 ^d	3,83
Ngraines/arbre	10969 ^a	9523	9326 ^b	8576	27565 ^c	9168	27635 ^c	8140	21188 ^d	20231	25455 ^e	20876
Pgr /arbre (kg)	4,22 ^a	3,97	4,62 ^a	2,68	9,21 ^b	7,06	11,09 ^c	10,85	16,93 ^d	16,31	17,04 ^e	16,72
Pamande/arbre (Kg)	1,40 ^a	1,32	1,54 ^a	0,89	2,31 ^b	2,10	2,70 ^b	2,57	3,67 ^c	2,35	3,70 ^c	3,62

Légende: D = diamètre à 1,3 m; h = hauteur; dhoup = diamètre du houppier (m); N branches = nombre de branches/arbre; Ncapsules = nombre de capsules/arbre; Ptcaps = poids total de capsules/arbre; Lcaps = longueur moyenne des capsules par arbre; Ecaps = épaisseur de capsule; Pp = poids de pulpe/arbre; Ngraines = Nombre de graines par arbres; Pgr = poids des graines /arbre; Pamande = poids d'amandes/arbre ; σ = écart type; CV = coefficient de variation.

7.3.7 Corrélation entre variables morphologiques/production et les données AFLP

La corrélation entre la matrice de diversité obtenue sur l'ensemble des variables morphologiques et les coefficients de dissimilarité génétique de Jaccard n'est pas globalement significative: $r = 0,036$ ($P = 0,327$). Cependant, en analysant chaque variable morphologique prise séparément (Tableau 7.7b), il a été remarqué des corrélations significatives ($P < 0,05$) entre la structure de la diversité génétique et trois caractéristiques morphologiques: (1) la hauteur des arbres, (2) le nombre de branches et (3) l'épaisseur des capsules.

Tableau 7.7b: Corrélation entre les valeurs de dissimilarité génétique et les variables morphologiques; * = significative (probabilité < 0,05)

Variables morphologiques	Corrélation entre la diversité génétique et les variables morphologiques	Probabilité
Diamètre à 1,3 m (cm)	-0,00726	0,3168
Hauteur (m)	-0,06655	0,0497*
Diamètre du houppier (m)	-0,00568	0,4356
Nombre de branches/arbre	0,07911	0,0198*
Nombre de capsules/arbre	0,05868	0,1584
Poids de capsule/arbre (kg)	0,04529	0,1980
Longueur de la capsule (cm)	-0,00188	0,4851
Épaisseur capsule	-0,14078	0,0099*
Poids de la pulpe/arbre (kg)	0,04825	0,2277
Nombre de graines/arbre	0,04071	0,3069
Poids des graines /arbre (kg)	0,04441	0,2376
Poids des amandes/arbre (g)	0,04441	0,2673

7.4 DISCUSSION

7.4.1 Partition de la variation génétique

Les études de diversité intra-spécifique sont fondamentales pour la gestion des espèces et pour la préservation des facteurs d'évolution de la diversité (Rajagodal *et al.*, 2000). A notre connaissance, cette étude est la première utilisant les marqueurs moléculaires pour investiguer la diversité génétique et la structure génétique spatiale du baobab. A cause des multiples pressions qui s'exercent sur l'espèce dans son habitat naturel, (Assogbadjo *et al.*, 2005), il devenait important d'entreprendre des études de caractérisation génétique afin de définir les stratégies de conservation, de gestion, et d'utilisation de l'espèce dans les systèmes agroforestiers traditionnels du Bénin.

Le baobab pourrait être un aneuploïde polyploïde (Baum & Oginuma, 1994) comprenant des populations qui varient dans leur nombre de chromosomes et qui ont des portions dupliquées dans leur génome. Puisque les espèces polyploïdes peuvent avoir plus de deux allèles à un même locus, elles sont moins sensibles à la dérive génétique. Dans cette hypothèse, les analyses génétiques exécutées durant cette étude doivent être considérées comme descriptives et les comparaisons avec d'autres résultats obtenus pour d'autres espèces sont à nuancer.

La variabilité génétique au sein des 6 populations analysées est estimée par la diversité génétique de Nei et est comprise entre 0,17 et 0,28. Cette variabilité est légèrement supérieure aux valeurs observées par exemple pour *Primula farisona* (de 0,12 à 0,18) (Reisch *et al.* 2005) et est comparable à la valeur moyenne de 0,22 obtenue, avec les marqueurs RAPD, pour les plantes pérennes à longue de

vie, (Nybom & Bartish, 2000). Pour les espèces ligneuses forestières tropicales (Hall *et al.*, 1994), de même que pour les plantes des zones tempérées (Soo Oh *et al.*, 1996), les paramètres de diversité génétique intra-populations ne varient pas grandement entre les populations. Ceci est également observé pour le baobab. De faibles valeurs de diversité génétique intra-population et de différenciation génétique inter-populations, sont observées dans la région soudanienne pendant que pour les populations des zones guinéennes et soudano-guinéenne, ce sont des valeurs légèrement plus élevées qui ont été obtenues pour ces mêmes paramètres. Ceci pourra s'expliquer par le fait que les populations du domaine soudanien auraient été établies à partir d'un nombre restreint de colonies de départ. De plus, on en déduit que les flux de gènes entre les individus de la zone soudanienne sont plus intenses que ceux observées entre les individus des deux autres zones.

L'analyse moléculaire de la variance sur les 6 populations analysées, a permis de déduire que ces dernières retiennent relativement en leur sein une forte proportion de la variation génétique totale et une faible proportion de la variation totale entre les populations. Ceci a été confirmé par les deux estimateurs indépendants de la différenciation génétique: Bayesian ($F_{ST} = 0,127$), et AMOVA-based ($\phi_{ST} = 0,176$). Le niveau de différenciation génétique entre les 6 populations est légèrement supérieur à celui observé pour les espèces allogames comme *Alchornea latifolia*, *Dendropanax arboreus*, *Inga thibaudiana* et *Protium glabrum* (inférieur à 4%; Schierenbeck *et al.*, 1997), *Digitalis obscura* (15,2%; Nebauer *et al.*, 1999), *Leucopogon obtectus* (13,3 %; Zawko *et al.*, 2001), *Aster tripolium* (17,5%; Krüger *et al.*, 2002), ou *Vitellaria paradoxa* (14,8%; Bouvet *et al.*, 2004). Mais il est substantiellement inférieur à celui reporté pour les espèces autogames comme *Cerastium fischerianum* (39,1%; Maki & Horie, 1999), *Senecio vulgaris* (38,9%; Müller-Schärer & Fischer, 2001) or *Antirrhinum subaeticum* (82,3%; Jimenez *et al.*, 2002). Cette faible valeur de la différenciation génétique entre les populations est conforme à celle généralement observée pour les espèces ligneuses pérennes allogames et à longue durée de vie (Nybom & Bartish, 2000). Les résultats d'AMOVA obtenus à partir des études utilisant les marqueurs RAPD sur les espèces ligneuses allogames vs. autogames ont été résumés par Bussell (1999). Ce dernier classifie comme espèce allogame, toute plante ayant une faible valeur de ϕ_{ST} (moins de 0,413) et comme espèce autogame, toute plante ayant une valeur de ϕ_{ST} généralement supérieure à 0,45. Par conséquent, la valeur de $\phi_{ST} = 0,176$ estimée pour le baobab dans cette étude confirme qu'elle est une espèce allogame telle que signalé par Ouedroaogo (2000). Cependant, il faut retenir que nous avons utilisé les marqueurs AFLP et non RAPD comme Bussell (1999) et Nybom & Barthish (2000). Il est cependant à noter que le type de marqueur utilisé pourrait influencer à un certain degré l'estimation de la différenciation génétique.

Tel que reporté pour *Vitellaria paradoxa* (Hall *et al.*, 1996; Lovett & Haq, 2000), une autre espèce typique des savanes, le faible niveau de différenciation génétique serait partiellement lié à son statut d'espèce semi domestiquée. Depuis le démarrage de la domestication, les paysans et les commerçants jouent un rôle important dans le flux de gènes en facilitant le transport des fruits et des graines d'un village à un autre. Comme résultat, les populations non domestiquées (naturelles) d'une espèce donnée ont le plus souvent présenté des niveaux de diversité intrapopulations relativement plus élevés que ceux des populations domestiquées (Ledig, 1992).

7.4.2 Différentiation génétique suivant les zones climatiques

La différenciation génétique entre les populations des trois zones est substantielle indiquant un degré d'isolation génétique et révèle ainsi un risque d'érosion génétique entre les populations de baobab.

La valeur de F_{ST} entre les populations des zones soudanienne est très basse (0,02) supposant une intense flux de gènes entre les populations de cette zone et excluant ainsi l'hypothèse de la fixation. Ceci pourra être expliqué par l'abondance de chauve-souris (principaux pollinisateurs des baobabs) dans cette région ou bien par un fort échange de fruits et de graines de baobab entre les paysans de ces localités.

Ces observations s'expliqueraient aussi par l'intensité de l'utilisation des graines de baobab selon les différentes régions agroclimatiques correspondant aux zones climatiques du Bénin. Il a été révélé que les graines de baobab sont nettement plus utilisées et commercialisées par les populations du domaine soudanien que par celles du domaine guinéen et soudano-guinéen (cf. chapitre 4). Ainsi, des années durant, les populations rurales de la zone soudanienne ont toujours contribué aux transactions de graines d'une localité à une autre à l'intérieur de cette zone. Ainsi, il est établi et entretenu par l'homme un important flux de graines entre les différents systèmes agroforestiers de la zone soudanienne. En conséquence, les populations de baobab du domaine soudanien sont très peu différenciées. Par contre, dans la zone guinéenne, les graines sont très peu utilisées et ne sont pas commercialisées. Les flux de graines sont donc très faibles à l'intérieur de cette zone et ceci serait l'une des causes qui justifie une plus grande différenciation des populations de baobab de la zone guinéenne par rapport à celles de la zone soudanienne. La forte corrélation entre les distances génétiques et géographiques montre que la dispersion à longue distance a été rare. L'isolation latitudinale entre les populations de baobab pourrait partiellement être expliquée par l'âge et les facteurs climatiques ayant influencés les populations de baobab. Mais il demeure très difficile, voire impossible de déterminer avec précision les âges des baobabs et les périodes de leur introduction dans les différentes régions du Bénin. Toutefois, du point de vue biogéographique, *A. digitata* est normalement retrouvé dans les domaines sahélien, soudano-sahélien et soudanien où les pluviométries annuelles moyennes sont respectivement de 300, 500 et 800 mm (FAO, 1981, 1988; Wickens 1982; Sidibé & Williams, 2002). Le développement du baobab dans la zone guinéenne du Bénin où la pluviométrie est supérieure à 1100 mm serait liée aux fluctuations climatiques observées dans le passé. De plus, l'arbre coexiste dans ces localités avec d'autres espèces de zones sèches telles que *Vitellaria paradoxa* et *Borassus aethiopicum*. Le phénomène de Dahomey-Gap serait probablement à l'origine de la présence des poches de localités à forte densité de baobab dans la zone guinéenne du Bénin. Le Dahomey-Gap qui s'étale de la plaine d'Accra (Ghana) jusqu'au domaine Guinéen du Bénin où il se rattache à l'océan Atlantique, est le couloir sec qui interrompt le grand bloc forestier de l'Afrique de l'Ouest. Le baobab aurait donc poussé à l'état naturel au temps d'assèchement du Golfe du Bénin à l'époque de l'Holocène Ancien il y a environ 3700 BP (Maley, 1991). En conséquence, l'hypothèse selon laquelle les populations de baobab des domaines guinéen et soudanien du Bénin n'ont pas les mêmes âges et origine, pourra donc se justifier par ce phénomène climatique ayant conduit au Dahomey-Gap. De plus, la phénologie pourrait jouer un rôle important dans la différenciation spatiale entre les populations de baobab analysées. En effet, les

périodes de floraison du baobab varient significativement d'une région à une autre et seraient liées aux conditions climatiques (Assogbadjo *et al.*, 2005). Au Bénin, la période de floraison des baobabs a lieu le plus souvent durant le pic de la saison pluvieuse (chapitre 2 & chapitre 5), qui n'est pas la même pour les zones soudanienne et guinéenne. En conséquence, les flux de pollens entre les baobabs de ces deux zones pourraient être limités ce qui conduit à la structure génétique observée pour les populations de baobab au Bénin.

Jusqu'à présent, rien n'est encore connu sur la diversité génétique du baobab dans son aire de distribution. En plaçant le baobab dans son contexte d'espèce à large aire de distribution, nous pouvons établir l'hypothèse que cette étude pourra pour le moment être généralisée à l'ensemble de la région Ouest africaine et à une partie de la région Est africaine où les trois zones climatiques investiguées sont observées (White, 1983). En général, ces zones climatiques sont constituées de localités ayant les caractéristiques bioclimatiques similaires, comme le témoignent les diagrammes climatiques de divers sites de la zone d'endémisme Soudanien; zone qui s'étend du Sénégal jusqu'en Ethiopie (White, 1983). Il serait cependant intéressant d'entreprendre des études similaires dans toute l'aire de distribution du baobab afin d'établir des stratégies pertinentes de gestion pour chaque zone.

7.4.3 Relations entre les données morphologiques et de production et la variation génétique

Les données morphologiques et de production (Tableau 7a) ont montré des différences significatives au sein et entre les populations de baobab suivant les différentes zones climatiques. Les effets de l'environnement sur les variables biotiques ont été aussi observés pour d'autres arbres à organes comestibles en Afrique. Silva-Montellano & Eguiarte (2003) ont été en mesure de détecter une différenciation génétique entre les populations de *Agave lechuguilla* suivant un transect latitudinal dans le désert de Chihuahuan. Ces auteurs ont pu montrer que, pour cette dernière espèce, la structure de la différenciation génétique le long du transect est conforme à la structure de la différenciation morphologique observée (Silva-Montellano & Eguiarte, 2003). Dans le cas du baobab, il a été montré que cette variation observée pour les caractères morphologiques et de production en fonction des zones climatiques est corrélée avec les facteurs abiotiques de l'environnement (chapitre 5). En outre, il est de nul doute qu'une partie de la variabilité observée sur les caractères morphologiques du baobab est liée à la différenciation génétique observée au sein de l'espèce. En effet, il a été démontré l'existence de corrélation significative entre la structure de la diversité génétique observée et trois caractères morphologiques du baobab: la hauteur de l'arbre, le nombre de branches et l'épaisseur des capsules. Ces corrélations suggèrent un certain degré de déterminisme génétique pour ces caractères morphologiques. Des études complémentaires (e.g. les études de mapping) sont cependant nécessaires afin d'identifier les gènes spécifiques ou les parties du génome qui devraient avoir des impacts directs sur la variation morphologique observée.

7.4.4 Conséquences pour la conservation et la domestication

Dans la présente étude, la diversité génétique et la variation morphométrique obtenues pour les populations de baobab suivant les différentes zones climatiques du Bénin sont significatives. Les

analyses de diversité génétique ont montré pour les populations d'*A. digitata* au Bénin que la plus grande variation est intra populations. Toutefois, la différenciation entre populations de baobab est également significative. Par ailleurs, le travail a montré un remarquable regroupement des individus et populations de baobab selon leur provenance. Il est donc possible à partir de ce travail de développer pour le Bénin des stratégies de conservation *in situ* et *ex situ* pour *A. digitata*. La conservation *in situ* des ressources génétiques du baobab au Bénin devra consister à définir pour chaque zone climatique des unités de conservation de grande superficie. Il ne s'agira pas d'une protection absolue de domaine sous forme d'aire protégée, mais plutôt d'un nouveau système de production valorisant d'une part, les populations naturelles de baobab à travers leur protection et d'autre part, les cultures annuelles non polluantes de l'environnement. Ceci éviterait ainsi les problèmes de compétition entre le baobab et les cultures vivrières. D'un autre côté, ce système de production agroforestière aidera non seulement à la valorisation du baobab à travers l'organisation de sa filière (cf. chapitre 4 de la thèse pour les scénarios possibles) mais aussi à la conservation des sols sur lesquels sont installés les baobabs.

La conservation *ex situ* pourra se faire, d'une part, à travers la création de banque de gènes des ressources génétiques du baobab et d'autre part par l'établissement des plantations de baobab. Ceci est justifié non seulement par l'intérêt socio-économique que représente l'arbre pour les communautés rurales, mais aussi par les pressions qui s'exercent sur lui et qui se traduisent par la quasi-disparition de ses plantules dans la nature. Le présent travail a montré que les baobabs d'une même zone climatique sont quasiment inférés aux mêmes pools de gène. Ainsi, pour espérer capturer le maximum de diversité intraspécifique, il est donc indispensable que la collecte des graines s'opère séparément dans l'ensemble des zones climatiques et non pas globalement à l'échelle nationale. Dans la zone soudanienne, la variation génétique intra-population permet de déduire que la collecte des graines doit s'opérer dans cette zone au sein d'une ou deux populations et ce sur un grand nombre d'individus pour espérer capturer le maximum de diversité. D'un autre côté, dans les zones soudano-guinéenne et guinéenne, la différenciation inter population est plus élevée que dans la zone soudanienne. En conséquence, la collecte de matériel génétique dans ces deux zones devra s'opérer sur de petits nombres d'individus et ce de plusieurs populations de baobab pour espérer capturer le maximum de diversité. Pour éviter de collecter les individus apparentés, il est préférable de respecter au moins 100 m d'intervalles entre les arbres. Bien que cette étude n'a pu permettre d'établir les corrélations entre la diversité génétique du baobab et les caractères phénotypiques de ses organes, les arbres à collecter devront inclure tous ceux qui présentent pour les populations rurales un intérêt particulier pour telle ou telle caractéristique reconnue à l'arbre. En définitif, la stratégie pour conserver le maximum de diversité de *A. digitata* serait de maximiser la distance génétique entre les populations incluses dans le programme de conservation. Ainsi, des échantillons représentatifs des populations naturelles de baobab pourraient être utilisés pour développer les stratégies de conservation *in situ* ou *ex situ*.

CHAPITRE 8
CARACTERES BIOCHIMIQUES DES ORGANES DE BAOBAB
(*ADANSONIA DIGITATA* L.) SUIVANT LEURS PROVENANCES

CHAPITRE 8 - CARACTERES BIOCHIMIQUES DES ORGANES DE BAOBAB (*ADANSONIA DIGITATA* L.) SUIVANT LEURS PROVENANCES

8.1 INTRODUCTION

Le baobab est une espèce à usage multiple dont les feuilles, graines et pulpe sont consommées par les populations rurales en Afrique. C'est une espèce qui pousse aussi bien sur les sols latéritiques et rocaillieux, argileux, sableux que limoneux (Sidibe & Williams, 2002; Assogbadjo *et al.*, 2005). Les études de diversité génétique effectuées sur les populations naturelles de baobab au Bénin par Assogbadjo *et al.* (2006) ont révélé, une isolation géographique entre les populations des trois zones climatiques du Bénin supposant ainsi une structuration génétique entre elles (chapitre 7). Nombreux sont les travaux qui se sont intéressés aux valeurs alimentaires et nutritionnelles des organes de baobab (Yazzie *et al.*, 1994; Nordeide *et al.*, 1996; Sidibe *et al.*, 1996; Delisle *et al.*, 1997; Barminas *et al.*, 1998; Sena *et al.*, 1998; Codjia *et al.*, 2001; Sidibe & Williams, 2002). De ces analyses biochimiques, il ressort que les organes de baobab (feuilles, graines, pulpes, etc.) renferment des protéines et des acides aminés essentiels parfois à des taux avoisinant celui du soja (cas des graines de baobab). La présence de micronutriments (fer, vitamines C,A,E et F) dans le baobab, abondants par rapport aux besoins quotidiens chez l'homme, a été également montrée par plusieurs auteurs (Codjia *et al.*, 2001, Sidibé & Williams, 2002). Toutefois, pour un même organe et pour la teneur d'un même élément biochimique considéré, de grandes différences sont souvent observées d'un auteur à un autre. En considérant par exemple la feuille, les teneurs en magnésium (109,80µg/g) observées au Bénin (Codjia *et al.*, 2001) sont respectivement deux et trois fois plus élevées que celles du Burkina-Faso (Glew *et al.*, 1997) et du Nigeria (Yazzi *et al.*, 1994). Jusqu'à présent, aucune étude, à notre connaissance n'a révélé les relations entre la valeur nutritionnelle des organes de baobab et leur provenance. De même les relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sols sur lesquels les baobabs sont installés et la valeur nutritionnelle des différents organes de ces arbres ne sont pas connues. Les questions fondamentales auxquelles il conviendrait de répondre sont:

1. Existe t-il une différence significative entre la valeur nutritionnelle des différents organes de baobab (feuilles, pulpe et amandes) suivant leur provenance?
2. Existe t-il des relations entre la valeur nutritionnelle des différents organes de baobab (feuilles, pulpe et amandes) et la composition physico-chimique des sols sur lesquels ils sont installés ?
Si oui, quelles sont-elles?

3. Les variabilités observées au niveau de la valeur nutritionnelle sont-elles liées à la variabilité génétique observée ou bien liées aux conditions édaphiques?

Le présent travail a donc pour objectifs de (1) faire une caractérisation biochimique des organes consommés sur le baobab, (2) déterminer les liens entre la composition physico-chimique des sols sur lesquels sont installés les baobabs et la valeur nutritionnelle des organes puis enfin (3) établir les relations entre les caractères biochimiques des organes et leur région de provenance.

8.2 MATERIEL ET METHODES

8.2.1 Echantillonnage

Les études de diversité génétique sur les populations de baobab (Assogbadjo *et al.*, 2006 & chapitre 7) ont révélé une différenciation génétique entre ses populations d'une zone climatique à une autre (cf. chapitre 2 pour les détails sur les caractéristiques bio-physiques de chacune des trois zones). En conséquence, l'échantillonnage a tenu compte de la provenance des arbres et a été opéré dans chaque zone climatique (figure 8.1) au sein des populations de baobabs échantillonnées pour des études génétiques. A l'intérieur de chaque zone, 3 individus de baobab ont été échantillonnés au hasard parmi ceux échantillonnés pour des études génétiques. Sur chaque individu échantillonné, les feuilles (séchées au silica gel après cueillette), les graines et la pulpe ont été collectées pour les analyses biochimiques au laboratoire. Aux alentours des individus de baobab dont les organes ont été analysés, des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur moyenne de 40 cm afin d'établir les relations entre la composition physico-chimique du sol et la valeur nutritionnelle des organes.

8.2.2 Caractérisation biochimique de la pulpe, des feuilles et des graines de baobab

Les analyses physico-chimiques sont effectuées dans les laboratoires de biochimie et des sciences de sol de l'Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin. Ces analyses ont concerné les feuilles, les graines et la pulpe. Pour chaque organe de baobab, il a été déterminé les teneurs en minéraux (Fe, Zn, Ca, K, Mg), en Vitamine A et C et en macronutriments (matière sèche, les protéines, lipides et glucides puis enfin les fibres totales), suivant le protocole de AOAC (1984). Pour la détermination de la teneur en chaque élément, trois répétitions ont été effectuées par échantillon. La moyenne qui est obtenue à partir de ces répétitions indique la teneur de l'organe considéré en ce nutriment.

- **Matière sèche et humidité**

Pour la détermination de la matière sèche et du taux d'humidité, les échantillons sont séchés dans une étuve à 105°C pendant 72h (AOAC, 1984). La teneur en matière sèche d'un échantillon donné est obtenue après des pesées successives (avant et après séchage) par les formules ci-après:

$$\text{Taux de matière sèche (\%)} = 100\% \times P_i/P_o$$

avec: P_o = Poids de l'échantillon avant séchage (g) et P_i = Poids de l'échantillon après séchage (g)

- **Minéraux**

La détermination du profil minéral des différents organes suit plusieurs étapes. Après incinération de la matière organique à 550°C, la cendre obtenue subit une extraction à l'acide nitrique puis une dissolution. Le dosage du calcium, du magnésium, du potassium, du sodium, du fer et du zinc est effectué à l'absorption atomique. Les résultats sont donnés en % de la matière sèche (MS).

- **Vitamine C**

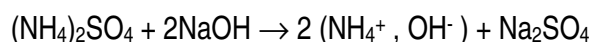
La vitamine C a été déterminée par la méthode de dichloricindofénol (AOAC, 1980). La vitamine C est extraite avec un mélange de HPO_3 et d'acide acétique. La vitamine C réduit le 2,6 dichloricindofenol. L'excès de dichloricindofenol colore la solution en rose, la détermination se faisant par titration directe.

- **Vitamine A**

La teneur en vitamine A a été déterminée par saponification alcaline en présence d'hydroquinone suivi d'une extraction avec du diéthyl ether et du pétrole ether (Zahar & Smith, 1990). La séparation se fait par la chromatographie en phase Liquide renversée et la détection a lieu à 330 nm qui est très proche de la longueur d'onde favorisant une absorption maximale de rétinol.

- **Protéines**

Le taux de protéines brutes d'un échantillon donné est calculé à partir de la teneur en azote de l'échantillon. La teneur en azote est déterminée par la méthode de Kjeldahl. L'opération est faite en trois étapes: la minéralisation, la distillation et la titration. La minéralisation par voie humide est effectuée en présence de tablettes en milieu acide (H_2SO_4 concentré) pour l'échantillon considéré dans des matras. Toute la substance organique est ainsi détruite et l'azote lié aux matières organiques est transmis dans une quantité équivalente de $(NH_4)_2SO_4$ selon la réaction chimique suivante:



L'ammoniac formé est séparé et piégé dans une solution d'acide borique par distillation; la distillation est effectuée dans un distillateur de Kjeldahl. Les ions ammonium contenus dans le distillat sont titrés avec de l'acide chlorhydrique 0,1N. La teneur en protéines brutes est calculée en multipliant la teneur en azote par le facteur 6,25 en considérant qu'il y a 16 g d'azote pour 100 g de protéines soit $100/16 = 6,25$ (AOAC, 1980).

$$Teneur\ en\ protéines = \frac{1,401x(Ve - Vb) x T x 6,25}{Pe} \text{ avec,}$$

T = Titre exact de l'acide chlorhydrique

Ve = Volume d'acide chlorhydrique ayant servi à la titration (ml)

Vb = Volume d'acide chlorhydrique ayant servi au témoin (ml)

6,25 = facteur de conversion de l'azote en protéines ; 1,401= constante et Pe = poids de l'échantillon

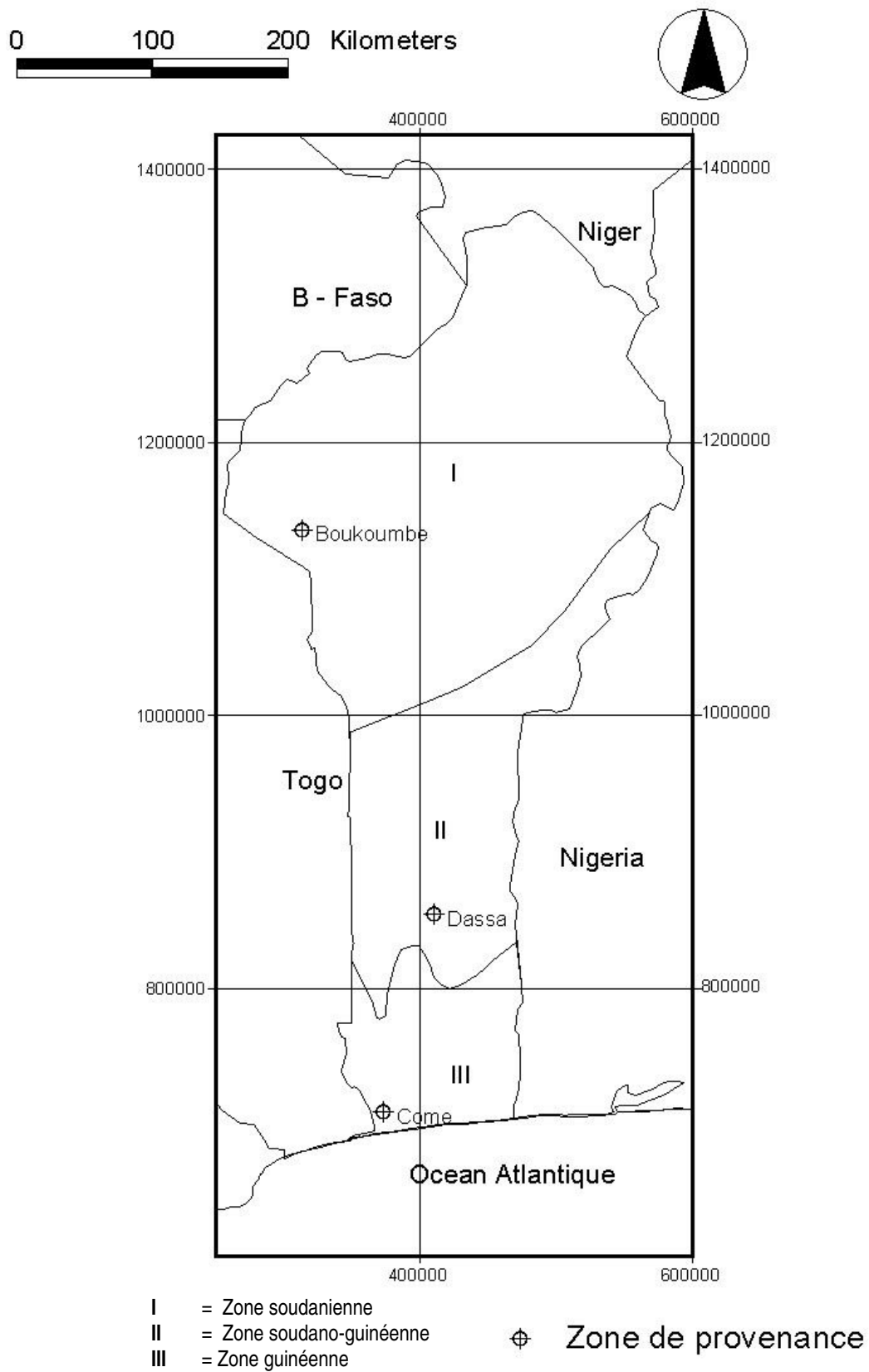


Figure 8.1: Carte montrant les zones de provenances des feuilles, graines et pulpe de baobab (réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006).

- **Lipides**

Les lipides sont extraits dans un appareil Soxhlet avec de l'éther de pétrole (60°C) pendant 4 à 6h. Après évaporation du solvant, la teneur en lipides est déterminée par la formule ci-après:

$$\text{Teneur en lipides (\%)} = \frac{P_o - P_i}{e} \times 100\% \text{ avec,}$$

P_o = Poids du ballon avec pierre ponce avant l'extraction (g)

P_i = Poids du ballon à la fin de l'extraction (g)

P_i - P_o = Poids des lipides extraits (g)

e = Poids de l'échantillon (g).

- **Fibres totales**

Les fibres sont déterminées par filtration de l'échantillon à l'aide d'un creuset poreux. L'échantillon est alors séché à 140°C puis incinéré à 700°C pour obtenir les fibres. Le taux de fibres brutes exprimé en % est calculé alors de la façon suivante:

$$\text{Taux de fibres brutes (\%)} = (m_1 - m_2) \times 100 \text{ avec,}$$

m₁ = masse de l'échantillon séché à 140°C puis refroidi au dessiccateur et m₂ = masse de l'échantillon incinéré à 700°C puis refroidi au dessiccateur.

- **Glucides**

La teneur en glucides est obtenue par soustraction à partir des teneurs en protéines, en lipides, en eau et en cendres. Elle est calculée par la formule suivante:

$$\text{Teneur en glucides (\%)} = 100 \% - \% P - \% L - \% \text{ cendres} - \% \text{ eau avec,}$$

P (%) = taux de protéines; L (%) = taux de lipides

8.2.3 Caractérisation physico-chimique des sols

Les échantillons de sol ont été analysés au Laboratoire des sciences du sol de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin. Les variables analysées sont, la granulométrie (% argile, % limon, %sable), le pH_{eau}, la teneur en matière organique et en carbone (C), la teneur en Azote (N) de même que le rapport C/N. La granulométrie a été étudiée suivant le protocole international de digestion de la matière organique du sol avec de l'eau oxygénée (H₂O₂). Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre dans un rapport sol-eau égal à 1/2,5. Quant à l'azote, il a été déterminé par la méthode internationale de Kjeldahl qui consiste à minéraliser l'azote organique par de l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur à chaud et à distiller en présence d'une solution de soude. Le carbone organique des sols a été déterminé par la méthode calorimétrique qui consiste à oxyder la matière organique avec du bichromate de potassium (1N) en présence de l'acide sulfurique concentré à chaud; puis la lecture se fait au colorimètre pour déterminer la quantité de bichromate restant après oxydation complète de la matière organique. Cette valeur est introduite dans l'équation d'une droite de régression pour la détermination de la teneur en matière organique.

8.2.4 Analyse statistique des données

Pour comparer les zones et les différents organes du baobab suivant les paramètres biochimiques et du sol, une analyse de la variance à deux critères de classification a été effectuée avec le logiciel SASv8. Le premier critère est la zone considérée avec trois modalités (3 zones) et le 2^{ème} critère est l'organe considéré avec 3 modalités (feuille, pulpe, graine). Ce deuxième critère est subordonné au critère zone de sorte que le modèle d'analyse de la variance est un modèle hiérarchisé. Les teneurs en éléments nutritifs des différents organes du baobab sont comparées d'une zone à une autre (inter-zone) puis au sein de chacune des trois zones (intra-zones).

Pour décrire les relations entre les paramètres biochimiques des organes et la composition physico-chimique du sol au regard des différentes zones et organes du baobab, une analyse en composantes principales a été effectuée.

8.3 RÉSULTATS

8.3.1 Composition biochimique de la feuille, de la pulpe et des graines suivant leurs régions de provenance

Le tableau 8.1 présente la valeur nutritionnelle de la feuille, de la pulpe et des graines suivant leurs régions de provenance. Il en ressort que la teneur en vitamine C varie significativement ($P < 0,0001$) d'une zone à une autre et ce, quel que soit l'organe de baobab analysé. Les feuilles, pulpe et graines des baobabs du domaine soudanien sont largement moins riches en vitamine C que celles des zones soudano-guinéenne et guinéenne.

En dehors de la teneur en vitamine C, les teneurs des organes de baobab pour d'autres éléments nutritifs analysés ne varient pas de façon significative ($P > 0,05$) d'une zone climatique à une autre. Les teneurs en protéines, lipides, glucides, fibres, vitamine A, fer, zinc, calcium, potassium des feuilles, pulpe et graines de baobab ne seraient donc pas liées à la région de provenance des baobabs encore moins à leurs provenances génétiques.

Dans une même zone, il a été noté que la composition biochimique varie fortement d'un organe à un autre. Le tableau 8.1 présente la moyenne et l'écart-type des caractéristiques biochimiques des organes dans chacune des zones.

○ *Teneurs en macro-nutriments des organes de baobab*

Les teneurs en matière sèche des différents organes sont élevées et sont de l'ordre de 91 % pour la pulpe et les graines et de 84 % pour les feuilles séchées au silica gel. Les valeurs lipidiques de la pulpe et de la feuille sont faibles de l'ordre de 0,42 % pour la pulpe et de 1,69% pour les feuilles. Il en est de même pour les valeurs protéiniques qui sont de 3,21 % pour la pulpe et 14,1% pour la feuille. La graine présente une teneur en protéines variant de 33,84 % à 33,89 % et une teneur en lipides comprise entre 27,78% et 28,3%. Les teneurs en glucides sont assez élevées dans la pulpe (88,66 % à 89,15 %) et dans la feuille (75,05 % à 75,55 %) mais plus faibles dans la graine (29,10 % à 29,60 %). Les teneurs en fibres sont de 11 % pour la pulpe, 13 % pour les feuilles et de 8,7 % pour les graines.

- ***Teneurs en micro-nutriments des organes de baobab***

Tous les organes analysés contiennent les minéraux tels que le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K), le zinc (Zn) et le fer (Fe) avec des proportions variables. Avec une teneur moyenne de 187 μ g/g en fer et de 22,4 à 24,8mg/g en potassium, la pulpe est de loin l'organe de baobab le plus riche en ces deux minéraux. La graine quant à elle, renferme au moins 2 fois plus de zinc que la pulpe. Par contre, elle est moins riche en calcium (255 μ g/g à 365 μ g/g) que la pulpe (600 μ g/g à 725 μ g/g) et la feuille (910 μ g/g à 1125 μ g/g). La feuille présente des teneurs les plus élevées de vitamine A (55,79 ng/g) et de vitamine C (4,87 mg/g dans la zone soudanienne et 55,79 mg/g dans les régions soudano-guinéenne et guinéenne). Les graines ont une teneur en vitamine A de 30,7 ng/g et en vitamine C variant très significativement de 3,45 mg/g dans la zone soudanienne à 30,65 mg/g dans les zones guinéenne et soudano-guinéenne. La pulpe a une teneur en vitamine A de 29,1 ng/g et une teneur en vitamine C variant très significativement de 2,23 mg/g dans la zone soudanienne à 29,15 mg/g dans les zones guinéenne et soudano-guinéenne.

Tableau 8.1: Moyennes et écart-types des paramètres biochimiques (base sèche) des organes de baobab suivant les différentes climatiques

		Zone soudanienne (zone 1)			Zone soudano-guinéenne (zone 2)			Zone guinéenne (zone 3)		
		Feuille	Graine	Pulpe	Feuille	Graine	Pulpe	Feuille	Graine	Pulpe
Fe (µg/g)	Moy	139b	110b	187a	139 b	139 b	187a	177a	139b	187a
	SD	10,0	20,0	2,0	10,0	10,0	2,0	40,0	10,0	0,0
Ca (µg/g)	Moy	1040a	255c	725b	1125a	365c	690b	910a	305c	600b
	SD	400	100	0,00	100	0,00	100	300	0,00	100
Mg (µg/g)	Moy	3235a	3260a	2060b	3275a	3270a	2470b	3120a	3245a	1940b
	SD	200	100	100	0,00	0,00	100	200	0,00	600
K (mg/g)	Moy	16,8a	13,7b	24,5a	17,8a	13,8b	24,8a	22,7a	14,3b	22,4a
	SD	2,6	0,7	9,7	5,7	2,1	3,4	0,1	2,5	2,2
Zn (µg/g)	Moy	11,9b	31,7a	9,3b	15,9b	33,5a	15,0b	15,2b	31,7a	10,8c
	SD	0,5	2,6	0,0	6,2	2,1	3,0	0,0	0,5	0,0
VitC** (mg/g)	Moy	4,87a	3,45b	2,23c	55,79a	30,72b	29,15c	55,79a	30,60b	29,15c
	SD	0,12	0,01	0,01	0,03	0,01	0,07	0,05	0,14	0,07
VitA (ng/g)	Moy	56,78a	30,76b	29,20c	55,79a	30,76b	29,16c	55,79a	30,71b	29,10c
	SD	0,04	0,06	0,14	0,05	0,06	0,06	0,02	0,01	0,14
Protéine (%)	Moy	14,10b	33,84a	3,21c	14,10b	33,89a	3,21c	14,10b	33,87a	3,21c
	SD	0,03	0,06	0,10	0,03	0,06	0,10	0,03	0,08	0,10
Lipide (%)	Moy	1,69b	28,30a	0,41c	1,69b	28,30a	0,42c	1,70b	27,78a	0,43c
	SD	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,65	0,03
Glucide (%)	Moy	75,05b	29,60c	88,65a	75,24b	29,10c	88,80a	75,55b	29,60c	89,15a
	SD	0,01	0,01	0,01	0,15	0,70	0,23	0,69	0,01	0,69
Fibre (%)	Moy	13,27a	8,74c	11,07b	13,27a	8,74c	11,07b	13,23a	8,59c	11,02b
	SD	0,06	0,03	0,01	0,06	0,03	0,01	0,01	0,20	0,01
MS (%)	Moy	84,30c	91,26b	91,94a	82,80b	91,26a	90,94a	84,30b	90,76a	90,94a
	SD	0,03	0,04	0,01	0,74	0,04	0,01	0,03	0,67	1,40

NB: Dans une même zone, les chiffres présentant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes pour la variable considérée; ** = Différence inter-zones significative ($p < 0,0001$); Moy =moyenne; SD = standard de déviation.

8.3.2 Comparaison des 3 zones climatiques suivant les caractéristiques physico-chimiques des sols

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols sont résumés dans le tableau 8.2. Il en ressort que les paramètres tels que le pH_{Heau}, les teneurs en carbone (C), limons fins (Lf), limons grossiers (Lg), matière organique (MO) et le ratio C/N sont significativement différents d'une zone à une autre.

Les zones soudano-guinéenne (zone 2) et guinéenne (zone 3) sont celles dont les sols à baobab présentent les valeurs moyennes les plus élevées pour le rapport C/N et la teneur en limons fins (Lf).

Pour le pH du sol et la teneur en carbone, les sols de la zone guinéenne présentent les valeurs moyennes les plus élevées suivie respectivement des sols des zones soudano-guinéenne et soudanienne. Pour les teneurs en matière organique (MO), les sols de la zone guinéenne présentent la valeur moyenne la plus élevée alors que pour les teneurs en limon grossier, ce sont les sols de la zone soudanienne qui donnent la plus grande valeur moyenne.

Tableau 8.2: Moyennes et écart-types des paramètres physico-chimiques des sols à baobab

	Zone1		zone2		zone3	
	Moyenne	SD	Moyenne	SD	Moyenne	SD
pH _{Heau}	6,59c	0,16	6,88b	0,01	7,50a	0,08
Carbone (C) (%)	1,87c	0,07	2,41b	0	2,91a	0,09
Azote (N) (%)	0,07	0	0,07	0	0,07	0,03
C/N	26,64b	1,02	34,43a	0	36,08a	4,67
Argile (%)	11,34	0,36	11,87	0,84	12,43	0,88
Limon fin (%)	3,38b	0,67	9,73a	0,24	12,53a	2,81
Limon grossier (%)	13,70a	0,11	5,27b	0,32	5,64b	3,48
Sable (%)	71,59	0,42	72,07	0,18	69,51	7,26
Matière Organique (%)	3,11b	0,22	4,15b	0	9,41a	7,26

Légende: SD = standard de déviation

8.3.3 Relations entre les caractéristiques biochimiques des organes et la composition physico-chimique du sol

Une analyse en composantes principales a permis de résumer et de décrire les caractéristiques biochimiques des différents organes dans chacune des zones.

Le tableau 8.3 donne l'importance des différents axes en ordre décroissant. On note qu'avec les 2 premiers axes, on contrôle 70,9% des informations sur les variables. On retiendra donc 2 axes pour la description des relations entre les différentes variables.

Tableau 8.3: Valeurs propres de la matrice de corrélation

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	7,89970681	0,91998030	0,3762	0,3762
2	6,97972651	3,11953400	0,3324	0,7085
3	3,86019252	2,51912970	0,1838	0,8924
4	1,34106282	0,54036986	0,0639	0,9562
5	0,80069296	0,73601503	0,0381	0,9944
6	0,06467793	0,03341568	0,0031	0,9974
7	0,03126226	0,00858406	0,0015	0,9989
8	0,02267820	0,02267820	0,0011	1,0000

Le tableau 8.4 présente les corrélations entre les caractéristiques biochimiques des organes, les caractéristiques physico-chimiques du sol et les 2 axes retenus par l'analyse en composante principale.

Tableau 8.4: Corrélations entre les caractéristiques biochimiques des organes, les caractéristiques physico-chimiques du sol et les 2 axes retenus (factors)

	Axe 1	Axe 2
Fe	0,69582	-0,38917
Ca	0,42029	-0,73231
Mg	-0,34388	0,29733
K	0,60529	-0,46189
Zn	-0,45149	0,83381
VitC	0,73950	0,28719
VitA	0,27256	-0,35727
Protéine	-0,45022	0,76073
Lipide	-0,48416	0,80513
Glucide	0,56903	-0,48787
Fibre	0,40058	-0,71314
MS	-0,32863	0,33562
pHeau	0,78884	0,56880
Carbone (C)	0,80899	0,58597
Azote (N)	-0,33361	0,18990
C/N	0,74905	0,57115
Argile	0,80829	0,58496
Limon fin	0,79329	0,57682
Limon grossier	-0,69428	-0,50875
Sable	-0,60591	-0,43125
Matière organique	0,69664	0,49874

Les paramètres à interpréter sur l'axe1 sont: les teneurs en fer (Fe), potassium (K), vitamine C (VitC), glucides (Gluc), pHeau, carbone (C), argile (Arg), limon fin (Lf), limon grossier (Lg), sable, matière organique (MO) et le ratio C/N. Sur l'axe 2, les paramètres à interpréter sont: les teneurs en calcium (Ca), zinc (Zn), vitamine A (VitA), protéine (Prot), lipide (Lip), fibre (Fibr), argile, limon fin (Lf), limon grossier (Lg) et le ration C/N.

Il ressort de l'axe 1 que les valeurs élevées des paramètres physico-chimiques du sol à savoir le pHeau, le carbone (C), le C/N, l'argile (Arg), limon fin (Lf) et la matière organique (MO) favorisent une teneur élevée en fer, potassium, vitamine C et glucide dans les organes du baobab et défavorisent l'accumulation du magnésium dans ces organes. Par contre, les sols à forte teneur en limon grossier et sable présentent plutôt un effet contraire sur l'accumulation des mêmes éléments nutritifs dans les organes.

Sur l'axe 2, on note que les valeurs élevées des paramètres physico-chimiques du sol à savoir le pHeau, le carbone, le C/N, l'argile, et le limon fin favorisent une teneur élevée en zinc, protéines et

lipide dans les organes du baobab et défavorisent l'accumulation du calcium, de la vitamine A et des fibres dans ces organes. Le limon grossier quant à lui, a un effet contraire sur les paramètres biochimiques ci-dessus énumérés.

La figure 8.2 montre le positionnement des différents organes du baobab des 3 zones climatiques dans le système d'axes des paramètres biochimiques et de sol.

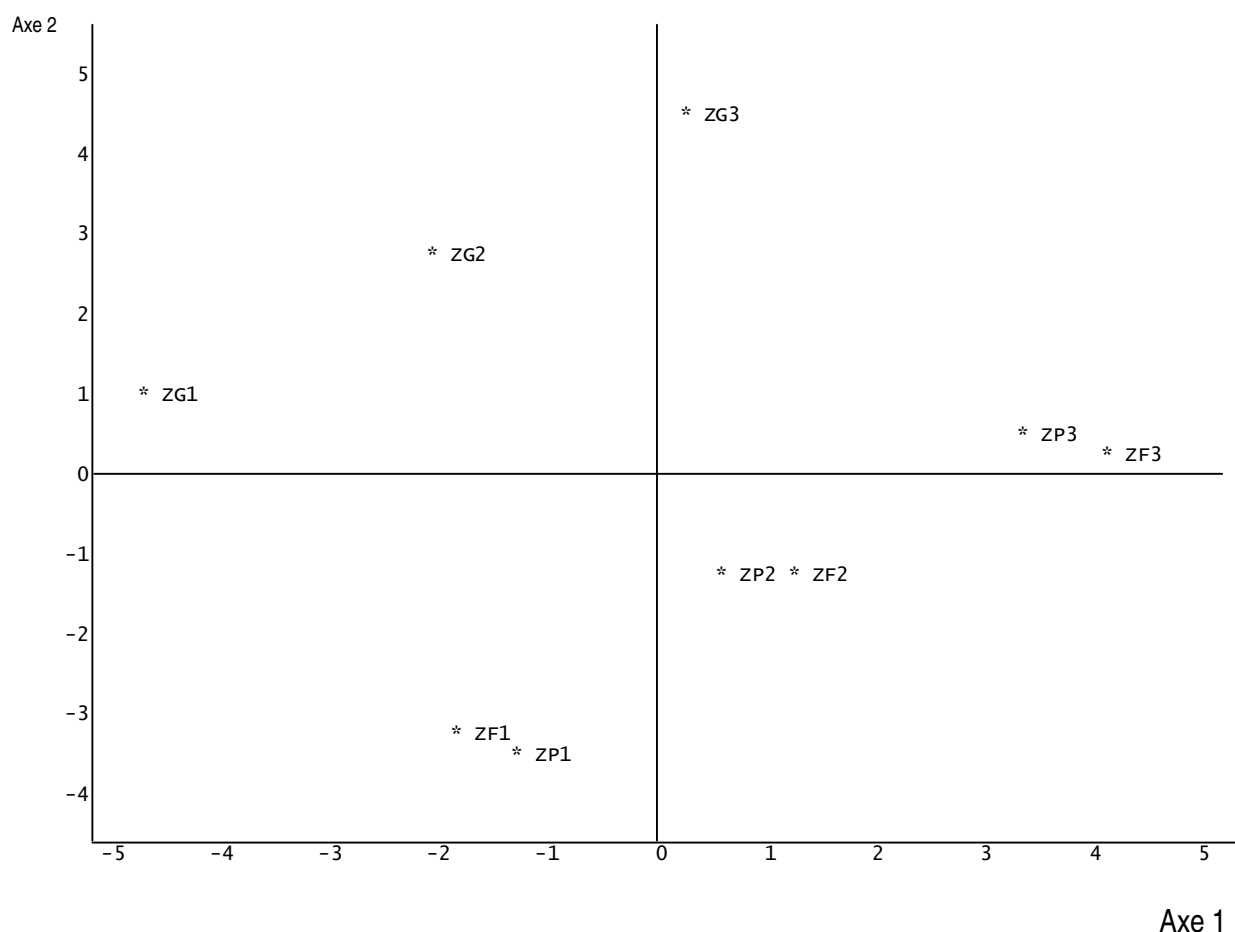


Figure 8.2: Positionnement des différents organes du baobab des 3 zones climatiques dans le système d'axes des paramètres biochimiques et de sol

Légende: ZF1 = feuilles de la zone soudanienne; ZF2 = feuilles de la zone soudano-guinéenne; ZF3 = feuilles de la zone guinéenne; ZP1 = pulpe de la zone soudanienne; ZP2 = pulpe de la zone soudano-guinéenne; ZP3 = pulpe de la zone guinéenne; ZG1 = graines de la zone soudanienne; ZG2 = graines de la zone soudano-guinéenne; ZG3 = graines de la zone guinéenne.

L'axe 1 est un axe de valeur élevée de pHeau, carbone (C), CN, argile (Arg), limon fin (Lf), matière organique (MO), Fer, potassium, vitamine C et glucide et de valeur faible de limon grossier, sable et magnésium (Tableau 8.4). L'axe 2 quant à lui, est un axe de valeur élevée de pHeau, carbone, C/N, argile, limon fin, zinc, protéines et lipide et de valeur faible de calcium, vitamine A et limon grossier (Tableau 8.4).

De ce fait, la figure 1 permet de noter que la pulpe (ZP3) et la feuille (ZF3) des baobabs de la zone guinéenne (zone 3) présentent des teneurs relativement plus élevées en fer, potassium, vitamine C, glucide et plus faibles en magnésium que celles des autres zones. Elles appartiennent à des arbres de baobab souvent retrouvés sur sols riches en carbone (C), argile (Arg), limon fin (Lf), matière organique (MO) présentant des valeurs plus élevées de pHeau et de ratio C/N mais pauvres en limon grossier.

Les graines des baobabs de la zone soudanienne (ZG1) présentent des caractéristiques opposées à celles des feuilles et pulpes des baobabs de la zone guinéenne.

Les feuilles (ZF1) et pulpe (ZP1) des baobabs de la zone soudanienne et dans une moindre mesure celles de la zone soudano-guinéenne (ZF2 et ZP2) ont des teneurs relativement plus faibles en zinc, protéines, lipide mais plus riches en calcium et en vitamine A. Elles appartiennent à des arbres de baobab souvent retrouvés sur des sols riches en limon grossier mais relativement pauvres en carbone, argile, limon fin et à faible pHeau et C/N. Les graines de la zone soudano-guinéenne et guinéenne (ZG2 et ZG3) présentent, quant à elles, des caractéristiques opposées à celles des feuilles et pulpe des baobabs de la zone soudanienne (ZF1 et ZP1).

8.4 DISCUSSION

Cette étude qui porte sur la caractérisation biochimique des organes de baobabs échantillonnés dans des populations génétiquement différentes et localisées dans diverses zones climatiques est une première en Afrique. L'échantillonnage des organes analysés a tenu, non seulement compte, de la différenciation génétique des populations de baobab, mais aussi, de leur région de provenance écologique. En dehors de la teneur en vitamine C, la composition biochimique des organes n'a pas varié en fonction des provenances génétiques et écologiques des arbres. La différenciation génétique entre les baobabs, n'implique pas toujours donc une variabilité de la valeur nutritionnelle de leurs organes. Par contre, il a été mis en évidence l'influence des caractéristiques physico-chimiques des sols sur les différentes teneurs en éléments nutritifs des organes de baobab. Les sols basiques (forte valeur de pH) riches en carbone (C), argile (Arg), limon fin (Lf) et matière organique (MO), présentent une corrélation positive avec une accumulation de fer, potassium, vitamine C, glucide, zinc, protéines et

lipides dans les feuilles, pulpe et graines du baobab et défavorisent pour ces mêmes organes l'accumulation du magnésium, du calcium, de la vitamine A et des fibres. Par contre, les sols à forte teneur de limons grossiers ou de sable sont en corrélation négative avec ces mêmes paramètres biochimiques des organes. La diversité de la composition physico-chimique des sols sur lesquels sont installés les baobabs pourrait donc être à l'origine de la variabilité observée entre les teneurs en divers composants nutritifs de ses organes.

En considérant les feuilles, les valeurs observées en calcium (18100 μ g/g) au Bénin sont en dessous de celles observées par Glew *et al.* (1997) au Burkina-Faso (20000 μ g/g) et par Yazzi *et al.* (1994) au Nigeria (26400 μ g/g). Les analyses effectuées sur les feuilles sèches par Yazzi *et al.* (1994) au Nigeria, Glew *et al.* (1997) au Burkina-Faso, Sena *et al.* (1998) au Niger, Sidibe et Williams (2002) au Mali, ont montré que les valeurs en protéine (13-15%), en corps gras (4-10 %), en fibre (11%) et en cendre (16%) et en fer (155 μ g/g) sont du même ordre de grandeur que celles observées sur les échantillons du Bénin. Il en est de même pour la pulpe et les graines dans lesquelles les teneurs en protéine, en fibre et en cendre se situent dans les mêmes ordres de grandeur que celles observées par Sidibe et Williams (2002) au Mali.

En comparant nos résultats à ceux de Glew *et al.* (1997, 2005) et ceux de Cook *et al.* (2000) sur la détermination des constituants nutritifs des plantes spontanées dont les organes sont consommés au Burkina-Faso et au Niger, il ressort que les graines de *Adansonia digitata* sont plus riches en protéine (34 %) et en lipide (28%) que celles de *Parkia africana* (20,9% de protéine et 26% de lipide), de *Tamarindus indica* (17,3% de protéine et 7,5% de lipide), de *Sclerocarya birrea* (5,6% de protéine et 19,5% de lipide), de *Vitellaria paradoxa* (4,2% de protéine et 22,5% de lipide) et de *Lannea microcarpa* (4,1% de protéine et 25,5 % de lipide). La pulpe et la feuille de baobab sont nettement moins riches en ces deux éléments nutritifs, que dans les organes de ces plantes spontanées. En dehors du fer qui est nettement plus abondant dans les organes de baobab (110–187 μ g/g), les autres minéraux tels que le calcium (910-1040 μ g/g), le magnésium (1940 – 3235 μ g/g) et le zinc (9,3- 33,5 μ g/g) sont à des taux similaires à ceux des organes des plantes spontanées analysées par Glew *et al.* (1997, 2005) et Cook *et al.* (2000).

En outre, en nous référant aux valeurs nutritionnelles mentionnées dans la table de composition des aliments de la FAO (1984) pour quelques aliments classiques, il ressort que la teneur en fer des feuilles du baobab est au moins 100 fois plus élevée que celle des autres feuilles voire 488 fois dans le cas de la tomate. Par contre, les feuilles de baobab sont moins riches en calcium, en vitamine C, en vitamine A et en lipide que les autres légumes feuilles couramment consommées. Aussi, la composition physico-chimique comparée de la pulpe de baobab avec quelques fruits classiques (avocat, banane, agrumes,

goyave, mangue, papaye et ananas) montre qu'à l'instar des feuilles, la pulpe de baobab s'impose par ses teneurs élevées en protéine et en fer. Elle est 2 à 4 fois plus riche en protéine, 800 fois plus riche en fer que les autres fruits classiquement utilisés. Toujours, en comparant nos résultats aux données de la table de composition des aliments de la FAO (1984), il ressort que les graines de baobab sont plus pourvues en fer (16 à 117 fois) que les graines de légumineuses et d'oléagineux (haricot, fève de soja, noix de cajou, noix de coco, arachide, graine de sésame) classiques consommées. Par contre, elles demeurent plus pauvres en calcium que les graines de légumineuses et d'oléagineux classiques (environ 64 fois moins riche).

La richesse en composants nutritifs des différents organes du baobab serait à la base des multiples utilisations faites de ces organes en milieu rural. Les enquêtes ethnobotaniques effectuées en milieu rural au Bénin (Codjia *et al.*, 2001; chapitre 4) ont montré par exemple que les feuilles, la pulpe et les graines de baobab sont très consommées par les populations rurales surtout celles des zones sèches. En plus, elles les utilisent non seulement dans le traitement de plusieurs maladies dont l'anémie, l'avitaminose A, la fatigue, mais aussi dans la récupération nutritionnelle des enfants mal nourris souffrant du kwashiorkor et du marasme. La présence des micro-nutriments comme le zinc, le fer, le calcium, le potassium, le magnésium dans les organes de baobab seraient, s'ils étaient assimilables, très importants, pour la nutrition des populations rurales compte tenu de leurs différents rôles dans l'organisme. Par exemple, le zinc est un constituant nutritif clef qui joue un rôle fondamental dans le système immunitaire de l'homme (Bhaskaram, 2002; Dardenne, 2002), dans la sécrétion de l'insuline (Chausmer, 1998) et dans le déstockage de la vitamine A du foie (Hwang *et al.*, 2002). Le fer quant à lui a la propriété de fixer l'hémoglobine, empêchant ainsi l'anémie. Il intervient également dans le transport des gaz respiratoires (O_2 et CO_2). Le calcium, en association avec le phosphore, entre dans la constitution du squelette et pour cela est très important pour une large partie de la population et spécialement pour les individus en croissance. En association avec les kinases (enzymes), il joue un rôle important dans la régulation des protéines. Le potassium est un élément fondamental des acides nucléiques et de l'ATP qui fournit 25 % de l'énergie journalière nécessaire pour le maintien de la pompe à sodium. La vitamine A (caroténoïde) a un rôle d'anti-oxydant et sa consommation aurait une incidence sur les maladies cardio-vasculaires et les cancers. Il joue un rôle important contre la xérophtalmie, les troubles de la vision et la kératinisation de la peau. Enfin la vitamine C favorise l'absorption du fer et est un anti-oxydant. Les macro-nutriments tels que les protéines et lipides sont très importants dans la récupération nutritionnelle des enfants souffrant de malnutrition protéino-énergétique.

Mais, en évaluant la valeur nutritionnelle des ressources forestières alimentaires comme le baobab, il est important de savoir comment les divers nutriments qu'elles contiennent sont absorbés. La bio-disponibilité de ces nutriments au niveau de l'homme n'est pas encore bien connue et pourrait être compromise par la co-présence de produits naturels. Le calcium contenu par exemple dans les organes de baobab pourra être complexé par les oxalates et les phytates rendant par conséquent ces cations bivalents non assimilables par absorption intestinale. De grandes quantités de protéases (e.g. trypsine) inhibitrices (VanderJagt *et al.*, 2000) sont aussi mentionnées dans les organes des plantes spontanées et capables d'entraver l'assimilation des protéines et des acides aminés essentiels qu'ils contiennent. De la même façon, d'autres facteurs anti-nutritionnels, comme les acides phytiques, pourraient entraver l'absorption intestinale des cations bivalents comme le magnésium, le calcium et le manganèse, contenus dans les organes. Il est donc nécessaire de conduire des études de bio disponibilité de l'ensemble des minéraux contenus dans les organes de baobab si tant consommés en milieu rural en l'occurrence ceux dont la déficience est prononcée dans les zones où les populations utilisent fortement le baobab.

CHAPITRE 9
OBSERVATIONS PRELIMINAIRES SUR LA GERMINATION ET LA
CROISSANCE DES PLANTULES DE BAOBAB (*ADANSONIA*
***DIGITATA*) AU BENIN**

CHAPITRE 9 - OBSERVATIONS PRELIMINAIRES SUR LA GERMINATION ET LA CROISSANCE DES PLANTULES DE BAOBAB (*ADANSONIA DIGITATA*) AU BENIN

9.1 INTRODUCTION

Adansonia digitata est une espèce largement distribuée dans les zones sèches de l'Afrique (Wickens, 1982). Au Bénin, elle est répartie dans toutes les zones climatiques avec parfois des densités de plus de 5 ind./km² dans la zone soudanienne (zone sèche) et de moins de 1 ind./km² dans la zone guinéenne plus humide (Assogbadjo *et al.*, 2005). Malgré les multiples utilisations reconnues à l'espèce, on observe dans l'ensemble de son aire de distribution en Afrique, non seulement une quasi-absence de ses jeunes plantules et individus, mais aussi une tendance à l'abandon, voire la substitution de ses parcs arborés au Bénin, au Burkina Faso, au Sénégal et au Mali, par des champs de culture industrielle (coton) et vivrière (igname) (Sidibe & Williams, 2002). En conséquence, on assiste d'année en année à une diminution progressive des effectifs de baobab dans les systèmes agroforestiers traditionnels. Compte tenu de l'importance d'*A. digitata* pour les populations rurales, il est nécessaire de développer des stratégies pour son maintien voire son repeuplement dans les systèmes agroforestiers traditionnels. Ceci passera par la maîtrise des différentes techniques de sa germination.

Selon Esenowo (1991), les graines de baobab ont un péricarpe dur et peuvent donc rester des années dans le sol avant de germer. En effet, Razanameharizaka *et al.* (2006) ont montré que la graine d'*A. digitata* a une dormance physique et que sa teneur en eau ne varie pas significativement après son immersion dans de l'eau pendant une durée de 12 h.

Pour Kozlowski *et al.* (1991), les graines ayant un péricarpe dur sont celles couvertes d'une cuticule cireuse empêchant l'imbibition d'eau et la pénétration d'oxygène ce qui impose une très forte résistance au développement de l'embryon. Par conséquent, Sidibé & Williams (2002) avaient stipulé pour la germination des graines de baobab, la nécessité d'un pré-traitement physique ou chimique. Ainsi, Esenowo (1991) avait obtenu un taux de germination de 98 % en utilisant de l'acide sulfurique alors qu'en utilisant de l'acide nitrique, Danthu *et al.* (1995) avaient obtenu un taux de germination de 86 %. Au Mali, la technique utilisée par l'Institut de Recherche Forestière consiste à tremper les graines dans de l'acide sulfurique pendant 24 h ce qui engendre des taux de germination de plus de 92 %. Néanmoins, ces techniques bien qu'efficaces, ne sont pas sans risque pour les populations rurales à cause des accidents occasionnés par une mauvaise manipulation d'acides sulfuriques et nitriques concentrés. Il sera certainement plus avantageux pour les populations rurales si des techniques et méthodes de germination plus simples venaient à être développées sans nécessairement avoir recours à des acides concentrés. Nous avons donc cherché à évaluer l'impact de la scarification mécanique (avec une lame de rasoir) du tégument externe des graines sur le pourcentage de germination. Cette méthode a été choisie parcequ'elle est moins coûteuse et son efficacité a été déjà prouvée sur la germination des graines d'espèces de plantes possédant un péricarpe dur (Teketay, 1996; Moussa *et al.*, 1998; Bationo *et al.*, 2001; Razanameharizaka *et al.* 2006). En effet, cette technique a été déjà testée sur les graines de plusieurs autres espèces tropicales telle que *Hyphaene thebaica* (Moussa *et al.*, 1998) ou *Acacia* spp. (Maithani *et al.*, 1991; Todari & Negi, 1992; Teketay, 1996) pour améliorer leur pourcentage de germination.

Par ailleurs, la longévité des semences et la survie des plantules sont des facteurs déterminants de la régénération des espèces forestières (Bariteau, 1992). Il a déjà été montré pour certaines espèces tropicales telles qu'*Hibiscus cannabinus* (Paul & Smith, 2003) ou *Hyphaene thebaica* (Moussa *et al.*, 1998) que la durée de conservation de leurs graines influencent leur pourcentage de germination. Nous avons donc aussi cherché à évaluer l'impact de la durée de conservation des graines de baobab sur leur pourcentage de germination.

Selon Moussa *et al.* (1998), la provenance des graines est un facteur susceptible d'influencer leur pouvoir germinatif. Au Bénin, il a été identifié trois zones de provenance se distinguant les unes des autres par une certaine variabilité morphologique et génétique de leurs individus de baobab (cf. chapitres 5, 6 et 7). Nous avons donc évalué les différents traitements énumérés ci-dessus sur les graines de chaque zone de provenance en nous basant sur l'hypothèse suivante: le pourcentage de germination des graines et, la croissance en diamètre et en hauteur des plantules qui en résultent, varient en fonction de la zone de provenance des graines, de la scarification ou non de leur péricarpe et/ou en fonction de leur durée de conservation.

Ainsi, les objectifs de la présente étude consistent à: (i) évaluer l'influence de la zone de provenance des graines sur la germination et la croissance des plantules; (ii) évaluer l'effet de la scarification mécanique du tégument externe des graines de baobab sur la germination et la croissance en diamètre et en hauteur des plantules qui en résultent et enfin; (iii) évaluer l'effet de la durée de conservation des graines de baobab sur la germination et le développement des plantules qui en résultent.

9.2 MATERIEL ET METHODES

9.2.1 Zones de provenance des graines

Selon FAO (2003), la provenance est "la source géographique originale de semences, pollen ou de plants". En d'autres termes, il s'agit du lieu où se trouve un peuplement naturel où des graines ont été récoltées. Au Bénin, des variabilités morpho-génétiques ont été observées entre les populations de baobab d'une zone agroclimatique à une autre (cf. chapitres 5, 6 et 7). Sur cette base, les graines utilisées pour les essais de germination ont aléatoirement été collectées sur certains individus de baobabs échantillonnées pour des études génétiques. Les baobabs dont les graines ont été utilisées, sont localisés dans toutes les zones agroclimatiques considérées comme région de provenance des graines. Il s'agit en occurrence des graines collectées à Comè (N: 06°24.621'; E: 001°51.795') dans la zone guinéenne, à Dassa (N: 07°43.214'; E: 002°11.744') dans la zone de transition soudano-guinéenne, puis à Boukoumbé (N: 10°15.986'; E: 001° 18.601') dans la zone soudanienne (figure 9.0).

9.2.2 Milieu d'expérimentation

Les essais préliminaires de germination ont été conduits à la ferme expérimentale de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi en République du Bénin. Le climat de la localité est de type guinéen et est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm et une température moyenne annuelle de 28 °C. Le tableau 9.1 donne les caractéristiques des conditions

climatiques sur la ferme expérimentale durant la période de l'étude (début septembre 2003 à fin février 2004). Les données climatiques ont été obtenues à la direction de la météorologie à Cotonou (Bénin).

Tableau 9.1: Conditions climatiques durant la période de l'essai (septembre 2003- février 2004)

Année / Mois	Variables climatiques					
	Pluie (mm)	ETP (mm)	HR (%)	VV(mm/s)	Temp. Moy.(°C)	DI (en h)
2003						
- Septembre	130,8	143,2	92,5	9	26,9	184
- Octobre	255,5	140,6	94,6	15	27,5	205
- Novembre	57,7	132	91,1	9	28,2	213
- Décembre	0	138,5	94,3	7	28,4	220
2004						
- Janvier	25,9	133,4	94,4	10	28,3	168
- Février	18,1	136,8	90,6	12	28,9	165

Source: Direction de la météorologie de Cotonou (2004). **Légende:** ETP = Evapotranspiration potentielle; HR = Humidité relative moyenne; VV = Vitesse moyenne du Vent; Temp Moy. = Température moyenne; DI = Durée de l'insolation

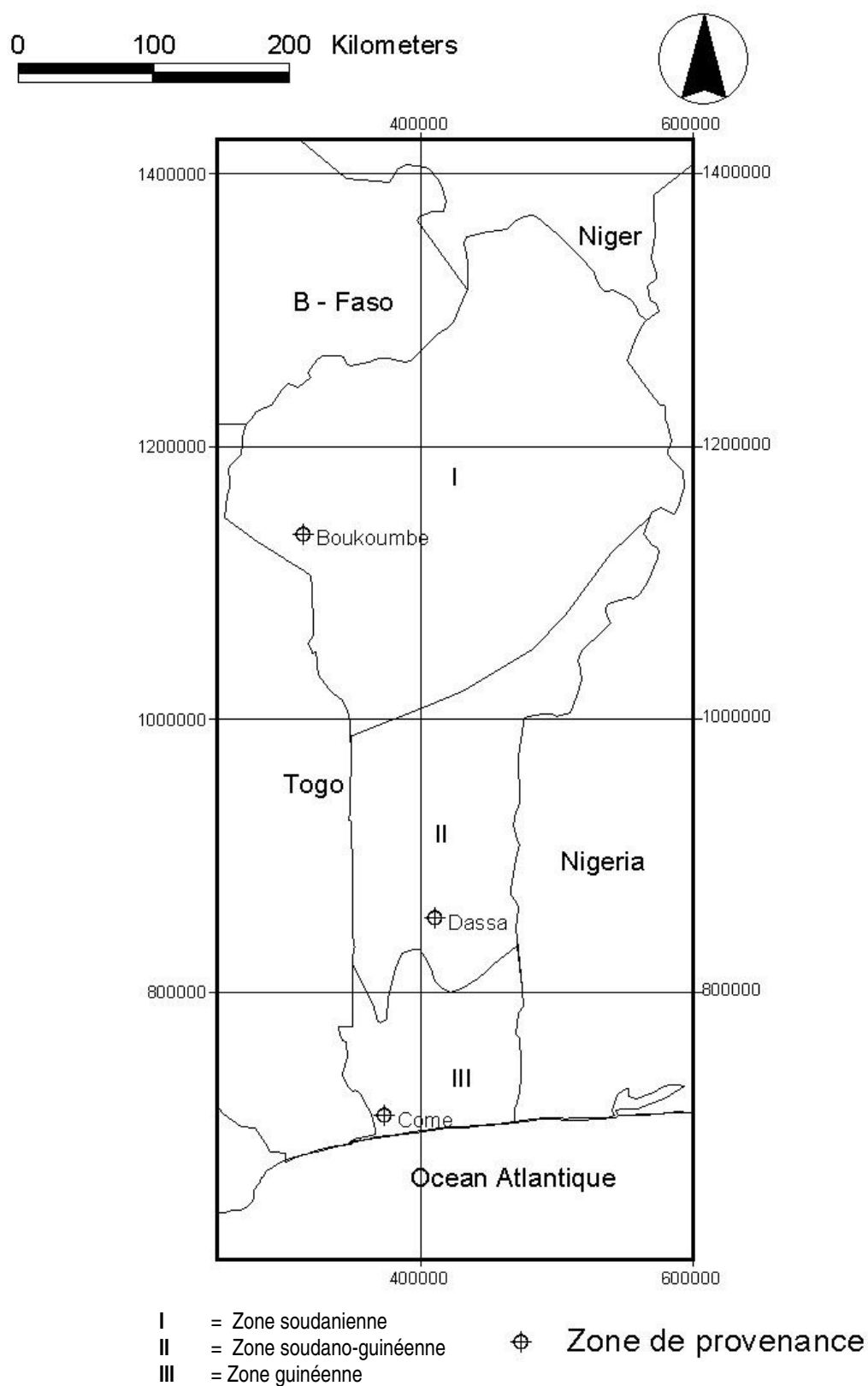


Figure 9.0: Carte montrant les zones de provenances des graines de baobab
 (Réalisée par De Clercq, LFMSIT-UGent, 2006)

Les caractéristiques physico-chimiques (tableau 9.2) des sols utilisés pour les essais de germination ont été décrites après leurs analyses au Laboratoire des Sciences du Sol (LSS) de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi (FSA-UAC) au Bénin. Les protocoles utilisés pour la détermination des différents constituants sont décrits dans Baize (2000).

Tableau 9.2: Caractéristiques physico-chimiques du sol pour les essais de germination

Paramètre	Echantillon			Moyenne	Standard de déviation	Coefficient de variation (%)
	1	2	3			
pH H2O	5,94	5,93	5,8	5,8	0,08	1
pH KCl	5,22	5,27	5	5	0,14	3
N total (%)	0,028	0,027	0,027	0,027	0	0
C organique (%)	0,28	0,29	0,28	0,28	0,01	4
Ca (meq/100g)	5,05	5,3	5,17	5,17	0,13	3
Mg (meq/100g)	2,89	2,56	2,34	2,34	0,28	12
K (meq/100g)	1,55	1,54	1,23	1,23	0,18	15
CEC (meq/100g)	16	16	15	15	0,58	4
Limons grossiers (%)	1	1,25	1,25	1,25	0,14	11
Limons fins (%)	0,75	0,5	1	1	0,25	25
Argile (%)	7,5	6,75	6,75	6,75	0,43	6
Sable (%)	90,75	91,5	91	91	0,38	0
Phosphore assimilable (ppm)	20,04	18,96	20,04	20,04	0,62	3

Source: LSS/FSA/UAC, Bénin, 2003.

Les faibles coefficients de variation observés pour les variables analysées montrent que le sol utilisé pour les essais de germination est relativement homogène. Les conditions du sol varient très peu et n'ont pas été considérées comme source de variation dans l'expérimentation.

9.2.3 Facteurs et traitements étudiés

Trois facteurs principaux ont été considérés: il s'agit de la zone de provenance (figure 9.1), de la durée de conservation et de la scarification ou non des graines.

Le facteur zone de provenance a trois niveaux correspondant aux 3 zones agroclimatiques du Bénin (chapitre 7) à savoir la zone soudanienne, la zone soudano-guinéenne et la zone guinéenne.

Le facteur durée de conservation a trois niveaux que sont (i) graines à 0 mois de conservation (graines fraîches) c'est-à-dire celles extraites de leurs capsules au plus 1 mois avant le semis; (ii) graines à 3 mois de conservation c'est-à-dire celles extraites de leurs capsules 3 mois avant le semis et enfin (iii)

graines à 12 mois de conservation, c'est-à-dire celles extraites de leurs capsules 12 mois avant le semis. Les graines, une fois extraites, sont conservées non emballées en chambre, dans les conditions ambiantes de température (25-30°C) et d'humidité (80 –100 %) jusqu'à leur utilisation.

Le facteur scarification a deux niveaux que sont la scarification manuelle (scarification mécanique) et la non-scarification des graines avant le semis. La scarification a été manuellement effectuée à l'aide d'une lame de rasoir.

Au total, pour les graines de chaque zone de provenance, nous pouvons résumer les facteurs étudiés et leurs niveaux sous forme des différents traitements ci-après:

T1: graines fraîches (moins d'un mois de conservation) et non scarifiées avant semis;

T2: graines fraîches (moins d'un mois de conservation) et scarifiées avant semis;

T3: graines conservées pendant 3 mois et non scarifiées avant semis;

T4: graines conservées pendant 3 mois et scarifiées avant semis;

T5: graines conservées pendant 12 mois et non scarifiées avant semis; et

T6: graines conservées pendant 12 mois et scarifiées avant semis.

9.2.4 Déroulement de l'essai

Pour chaque traitement T_i considéré, 3 répétitions de 30 graines ont été réalisées.

Chaque graine a été semée dans un sachet de polyéthylène rempli de sol (voir caractéristiques du sol utilisé dans le tableau 9.2) et percé à sa base pour laisser s'évacuer l'eau en cas d'apport. En effet, pour éviter les déficits hydriques fréquemment observés durant la période (tableau 9.1: pluie < ETP), des arrosages (environ 5 l d'eau par sachet et par arrosage) ont été effectués deux fois par jour (matin et soir) à partir du jour de semis.

Les comptages de graines germées ont été effectués tous les jours pendant une période de 100 jours. Une graine est dite germée si la tigelle pointe à la surface du sol.

Pour l'évaluation des performances des plantules, les mensurations (hauteur de la plantule et diamètre au collet) ont été prises tous les mois durant 6 mois considérés comme le moment nécessaire pour la transplantation des plantules de la pépinière vers les systèmes agroforestiers traditionnels (Sidibé & Williams, 2002).

La hauteur des plantules a été mesurée avec un mètre ruban ayant une erreur standard de 1 mm alors que le diamètre au collet a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse de 15 cm ayant une erreur standard de 0,05 mm.

Le nombre de plantules émergées et mortes a été également noté sur toute la durée des observations.

9.2.5 Analyse et traitement des données

Pour chaque traitement, les paramètres suivant ont été estimés:

- le pourcentage moyen de germination pour chaque traitement qui est la moyenne des pourcentages de germination à la fin des 100 jours d'observations, des 3 répétitions pour chaque traitement considéré; le pourcentage de germination (en %) pour une répétition est exprimé par le quotient du nombre de graines germées par le nombre de graines semées;

- le délai avant germination ou durée de "vie latente" des graines qui, selon Guédjé (2002), désigne pour une répétition donnée, le nombre de jours minimal entre la date de semis des graines et la date de sortie de la première plantule dans un lot; dans le cas de la présente étude, le nombre minimal de jours observé pour l'ensemble des trois répétitions représente la durée de vie latente pour le traitement considéré;
- la durée de germination qui, selon Guédjé (2002), désigne le nombre de jours maximal entre la germination de la première graine et celle de la dernière; dans le cas de la présente étude, ce nombre correspond pour un traitement donné, à celui de la répétition ayant le plus étalé dans le temps la germination de ses graines;
- le diamètre moyen (en cm) des tiges des plantules sur 6 mois d'essai en considérant la moyenne des diamètres de toutes les plantules pour le traitement considéré;
- la hauteur moyenne (cm) des plantules sur 6 mois d'essai en considérant la moyenne des hauteurs de toutes les plantules pour le traitement considéré.

Les mesures de diamètres et de hauteurs des plantules ont été prises de septembre 2003 à février 2004.

Le taux de mortalité des plantules a été calculé par la formule:

$$M_x = 100 \left[\frac{\ln[n_0/(n_0 - d_i)]}{t_i} \right], \text{ (Hall and Bawa, 1993), où}$$

n_0 désigne le nombre total de plantules au départ, c'est à dire le nombre de plantules obtenu après la germination de la dernière plantule et,

d_i le nombre de plantules mortes durant l'intervalle de temps t_i ($t_i = 6$ mois)

Dans la présente étude, ce taux a été calculé en considérant toutes les plantules issues des graines des 3 zones de provenance. De plus, pour un traitement donné, le taux de mortalité a été calculé en considérant l'ensemble des plantules issues des 3 répétitions relatives à ce traitement.

En vue de tester les effets des facteurs principaux (zone, durée de conservation, scarification) et ceux de leurs interactions, les analyses de variances (ANOVA) ont été effectuées avec le logiciel SASv8. Au cas où l'interaction entre deux facteurs est significative ($p < 0,001$), le test des facteurs principaux ne peut plus être effectué car l'effet d'un facteur dépendra en ce moment des niveaux des autres facteurs. Dans ce cas, des diagrammes d'interaction des différents facteurs sur la variable étudiée (pourcentage de germination, diamètre au collet des plantules, hauteur des plantules) seront construits et permettront donc de décrire et d'analyser les différentes interactions entre les facteurs considérés et leurs niveaux respectifs. Si par contre, aucune des interactions entre les facteurs principaux, pris deux à deux, n'est pas significative ($p > 0,001$), des tests de Newman et Keuls seront effectués à la suite des analyses de variances pour classer dans chaque zone, les différents traitements suivant les variables étudiées.

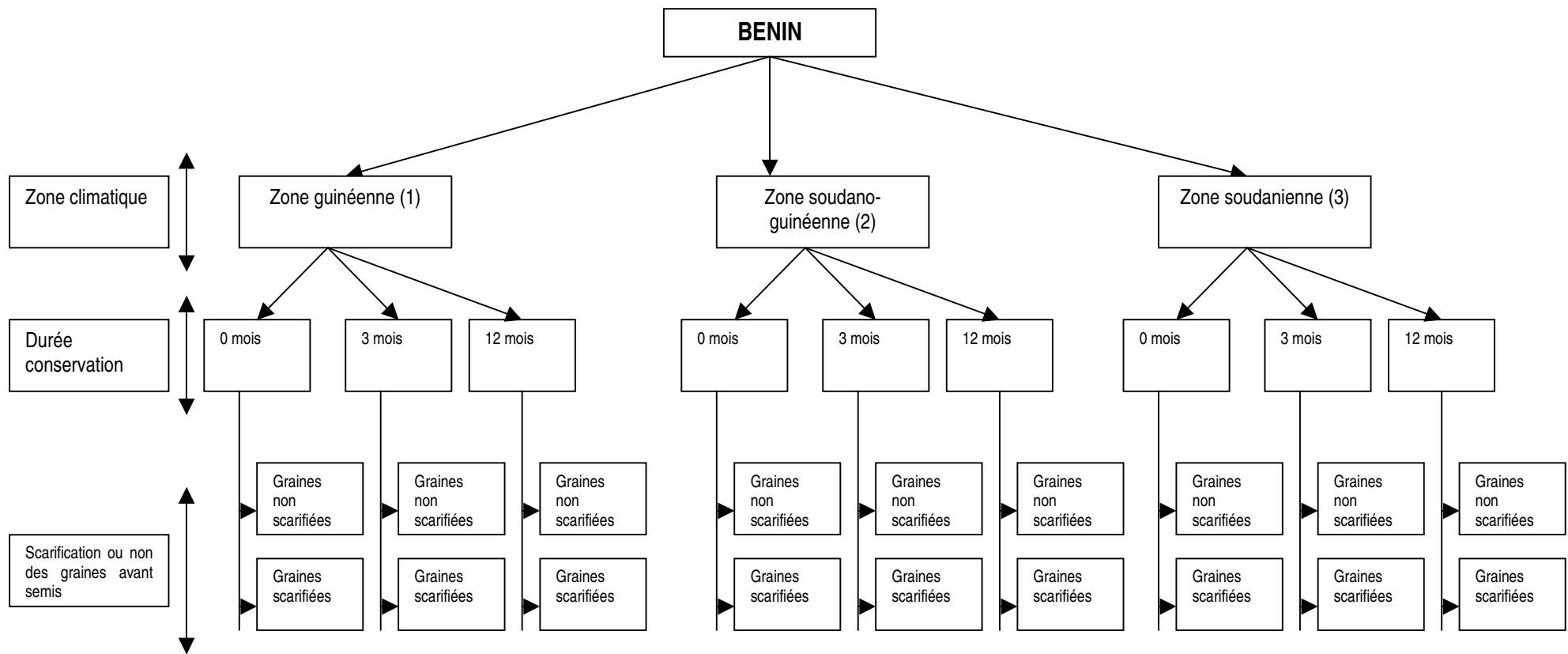


Figure 9.1: Facteurs étudiés et leurs niveaux

9.3 RESULTATS

9.3.1 Germination des graines suivant différents traitements

En considérant séparément les traitements, il ressort du tableau 9.3 qu'avec le traitement T2 (graines fraîches scarifiées avant semis), les graines du domaine soudano-guinéen ont présenté les meilleurs pourcentages de germination (100 %) suivies de celles du domaine guinéen (90,23%) puis de celles du domaine soudanien (89,23%). La photo 9.1 montre l'émergence des plantules de baobab au cours de l'expérimentation.

De plus, il ressort du tableau 9.3 que pour une même durée de conservation, les pourcentages de germination des graines scarifiées avant semis (T2 et T4) sont toujours supérieurs à ceux des graines non scarifiées avant semis (T1 et T3).

Par ailleurs, il a été observé que les graines conservées pendant 3 mois et scarifiées avant semis (T4) ont présenté, quelle que soit leur zone de provenance, des pourcentages de germination qui étaient de 16 à 46 % inférieurs à ceux des graines fraîches scarifiées avant semis (T2) (tableau 9.3).

Enfin, quelle que soit leur zone de provenance, les graines conservées pendant 12 mois n'ont pas germé avant 100 jours même en cas de scarification de leur tégument externe (T5 et T6).

Tableau 9.3: Pourcentages moyens de germination en fonction des différents traitements et des zones de provenances des graines

Traitements	Pourcentage de germination (%)		
	zone guinéenne	zone soudano-guinéenne	zone soudanienne
T1	83,47	86,53	23,30
T2	90,23	100,00	89,23
T3	70,33	50,49	20,10
T4	74	55,27	43,17
T5	0,00	0,00	0,00
T6	0,00	0,00	0,00
Moyenne graines fraîches (T1 + T2)	86,85	93,26	56,26
Moyenne graines conservées 3 mois (T3 + T4)	72,16	53,08	31,63
Moyenne graines conservées 12 mois (T5 + T6)	0,00	0,00	0,00
Moyenne graines non scarifiées (T1 + T3 + T5)	51,26	45,68	14,47
Moyenne graines scarifiées (T2 + T4 + T6)	54,74	51,76	44,13
Moyenne globale (T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6)	53,01	48,72	29,30

Légende: T1: graines fraîches (moins d'un mois de conservation) non scarifiées avant semis; T2: graines fraîches (moins d'un mois de conservation) scarifiées avant semis; T3: graines conservées pendant 3 mois et non scarifiées avant semis; T4: graines conservées pendant 3 mois et scarifiées avant semis; T5: graines conservées pendant 12 mois et non scarifiées avant semis; T6: graines conservées pendant 12 mois et scarifiées avant semis



Photo 9.1 : Emergence des plantules de baobab au cours de l'expérimentation

9.3.2 Interactions des différents facteurs sur la germination des graines

Il ressort du tableau 9.4 que les interactions entre les 3 facteurs pris deux à deux sont très hautement significatives ($P < 0,0001$) pour la variable dépendante 'pourcentage de germination des graines'. Ainsi, le test des facteurs principaux ne peut plus être effectué car, l'effet d'un facteur (% de germination en occurrence) dépend des niveaux des autres facteurs. Nous avons donc décrit et analysé le diagramme d'interaction entre les facteurs pris deux à deux (Figure 9.2).

On note de la figure 9.2a que la zone soudanienne présente pour toutes les 3 durées de conservation les pourcentages de germination les plus faibles. Pour le facteur 'durée de conservation', cette zone a présenté des pourcentages moyens de germination variant de 0 % pour les graines conservées pendant 12 mois à 56,26 % pour les graines fraîches.

La zone soudano-guinéenne donne les meilleurs pourcentages moyens de germination pour les graines fraîches (93,26 %) alors que pour les graines conservées pendant 3 mois, il est dépassé par la zone guinéenne qui donne le pourcentage moyen de germination le plus élevé de 72,16 %.

Par ailleurs, aucune germination n'a été observée sur les graines conservées pendant 12 mois quelle que soit leur zone de provenance.

En somme, l'effet de la zone de provenance des graines sur leur pourcentage de germination n'est observable que sur les graines fraîches et celles conservées pendant 3 mois.

De la figure 9.2b, il ressort que la scarification a un effet positif sur le pourcentage de germination des graines quelle que soit la zone de provenance considérée. Pour les graines de la zone soudanienne, le pourcentage de germination des graines est globalement passé de 14,47 % à 44,13 % avec la scarification (tableau 9.3). Pour les graines des zones guinéenne et soudano-guinéenne, l'amélioration observée avec la scarification est marginale et non significative. En effet, avec ce traitement, les pourcentages moyens de germination sont passés de 51,26 % à 54,74 % pour les graines en provenance de la région guinéenne et de 45,68 % à 51,76 % pour celles en provenance de la région soudano-guinéenne (tableau 9.3).

Par ailleurs, la scarification a un effet positif sur le pourcentage de germination des graines conservées pendant 0 et 3 mois (figure 9.2c). Plus les graines sont fraîches, plus positif est l'effet de la scarification. Il faut rappeler ici que les graines conservées pendant 12 mois n'ont pas germé.

En conclusion, plus les graines sont fraîches, plus élevé est le pourcentage de germination quelle que soit la zone de provenance et quel que soit le traitement. Les graines de la zone guinéenne se présentent comme celles qui donnent les pourcentages de germination les plus élevés. De plus, les graines de cette zone de provenance ont donné les pourcentages de germination qui n'ont pas trop varié avec le traitement scarification. Enfin, pour une amélioration de leur pourcentage de germination, les graines de la zone soudanienne ont besoin d'être scarifiées avant le semis.

Tableau 9.4: ANOVA sur les pourcentages de germination des graines suivant les traitements et les zones de provenance

Source de variation	DDL	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur de F	Pr > F
Zone	2	5744,21505	2872,10752	64,61	< 0,0001
Conservation	2	57852,04496	28926,02248	650,72	< 0,0001
Scarification	1	2029,27520	2029,27520	45,65	< 0,0001
Zone*conservation	4	3879,91954	969,97989	21,82	< 0,0001
Zone * scarification	2	2102,67527	1051,33764	23,65	< 0,0001
Conservation *	2	1975,32763	987,66381	22,22	< 0,0001
scarification					

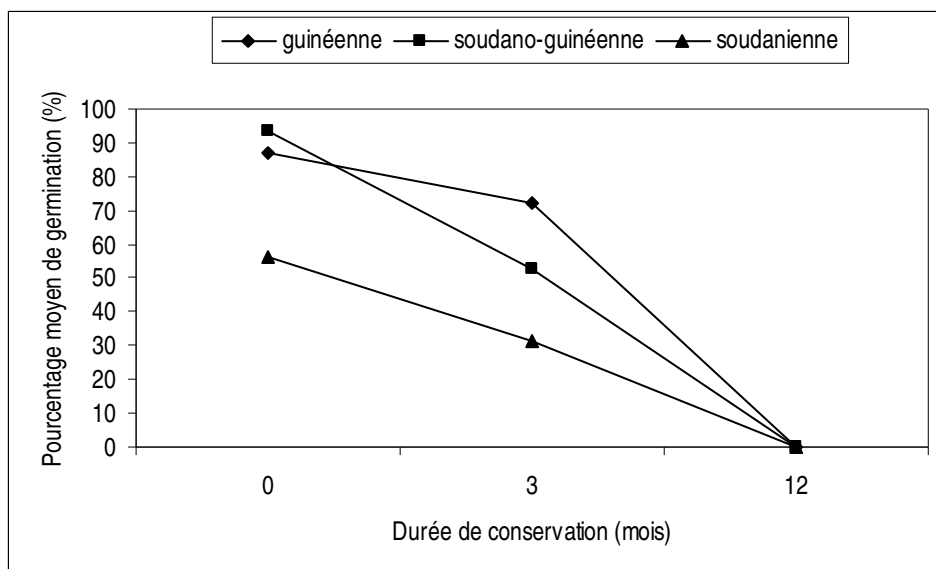
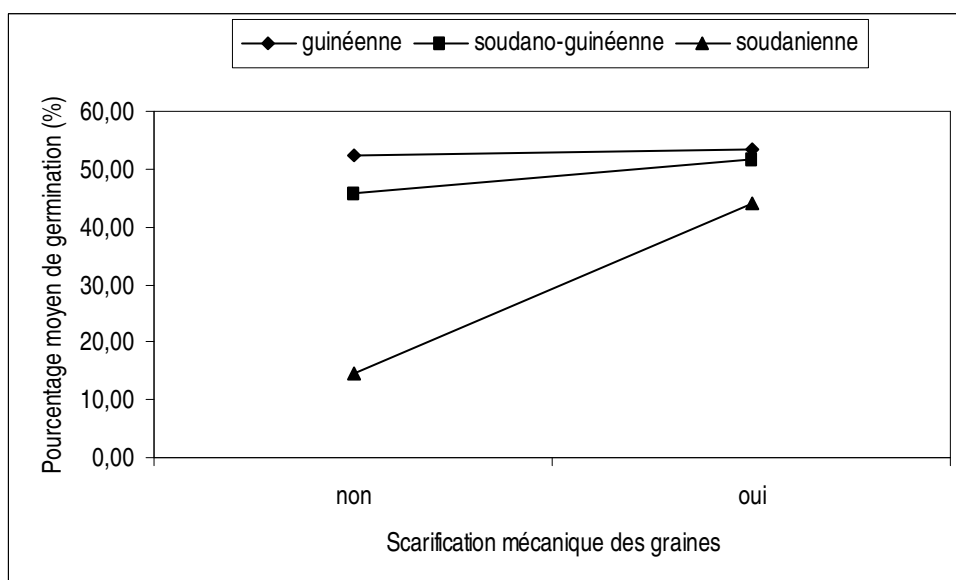


Figure 9.2a: Diagramme d'interaction 'durée de conservation * zone' sur le pourcentage moyen de



germination après 6 mois d'essai

Figure 9.2b: Diagramme d'interaction 'scarification * zone' sur le pourcentage moyen de germination après 6 mois d'essai

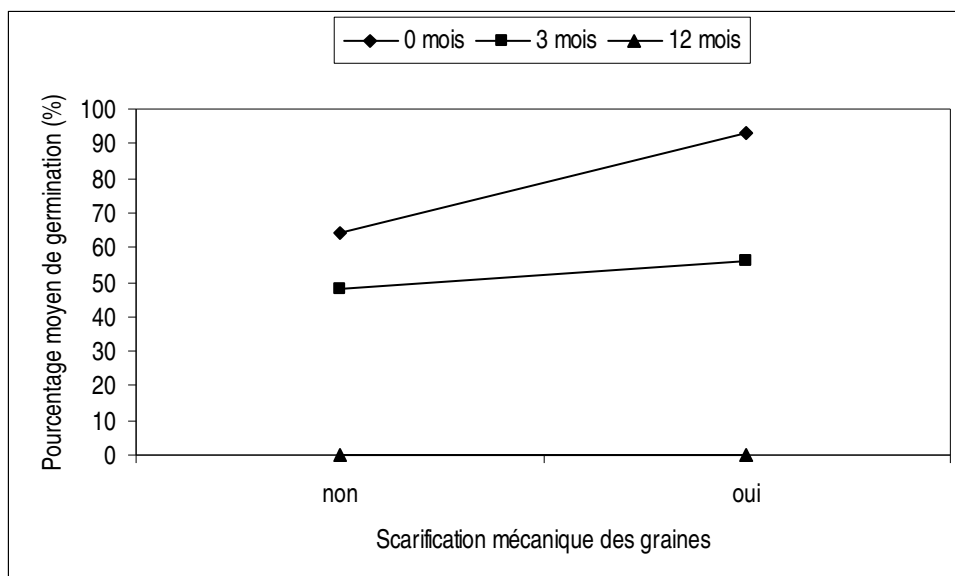


Figure 9.2c: Diagramme d'interaction 'scarification * durée de conservation' sur le pourcentage moyen de germination après 6 mois d'essai

9.3.3 Influence des différents facteurs sur la croissance en diamètre des plantules

Du tableau 9.5, il ressort que les facteurs "zone de provenance" et "scarification" n'influencent pas de façon significative ($p > 0,001$) le diamètre du collet des plantules. Par contre, le facteur durée de conservation a un effet très hautement significatif ($p < 0,0001$) sur le diamètre au collet des plantules. Par ailleurs, seule l'interaction zone * scarification est significative ($P = 0,0004$). Le test des facteurs principaux ne peut donc plus être effectué pour les facteurs car l'effet du facteur zone, dépend des niveaux du facteur scarification et vice versa. Nous avons donc décrit et analysé le diagramme d'interaction entre ces deux facteurs (figure 9.3).

Tableau 9.5: ANOVA sur les diamètres moyens des plantules de 6 mois suivant différent traitements et les zones de provenance

Source de variation	DDL	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur de F	Pr > F
Zone	2	0,6700	0,3350	0,91	0,4090
Conservation	2	256,8424	128,4212	350,50	<,0001
Scarification	1	0,7872	0,7872	2,15	0,1505
Zone*conservation	4	3,6160	0,9040	2,47	0,0602
Zone * scarification	2	6,9807	3,4904	9,53	0,0004
Conservation * scarification	2	1,9229	0,9615	2,62	0,0849

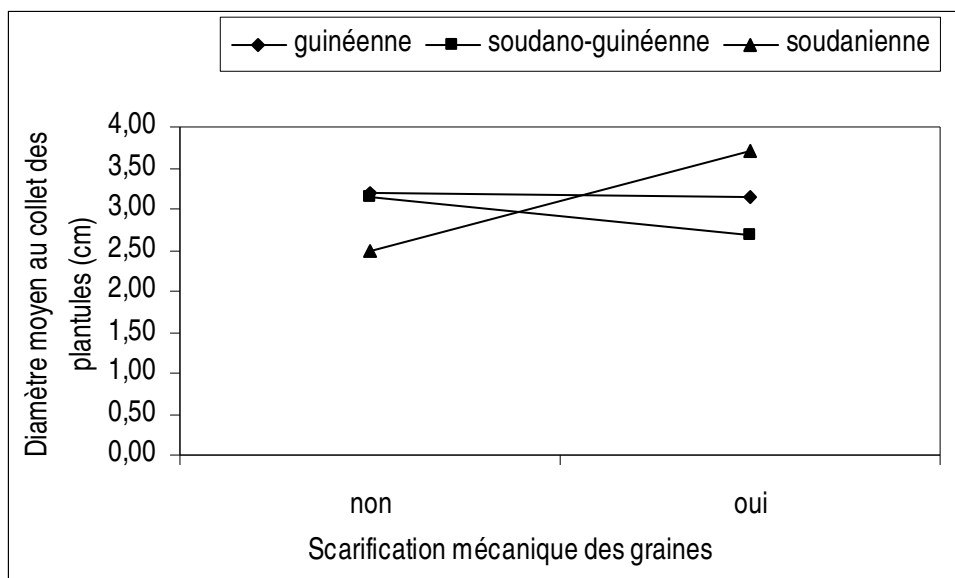


Figure 9.3: Diagramme d'interaction 'scarification * zone' sur le diamètre moyen des plantules après 6 mois d'essai

Il ressort de la figure 9.3 que la scarification a un effet positif, et significatif sur le diamètre au collet des plantules issues des graines provenant de la zone soudanienne. En effet, le diamètre moyen au collet des plantules issues des graines non scarifiées de cette zone est de 2,48 cm alors qu'avec la scarification des graines, il a été évalué à 3,71 cm.

Par contre, la scarification des graines a eu un effet négatif sur le diamètre du collet des plantules qui résultent des graines en provenance de la zone soudano-guinéenne; les diamètres moyens des plantules issues des graines non scarifiées et scarifiées étant respectivement de 3,14 cm et de 2,69 cm. Toutefois, l'effet de la scarification des graines a été marginal sur le diamètre au collet des plantules dont les graines proviennent de la zone guinéenne. Pour ces plantules, les diamètres moyens obtenus sans et avec scarification des graines sont respectivement de 3,20 cm et de 3,14 cm.

Sans la scarification, les plantules issues des graines de la zone guinéenne ont donné les plus grands diamètres alors qu'avec la scarification, ce sont les plantules de la zone soudanienne qui ont montré les plus grands diamètres. L'effet de la scarification des graines sur la croissance en diamètre des plantules dépend donc de leur zone de provenance.

9.3.4 Influence des différents facteurs sur la croissance en hauteur des plantules

Le tableau 9.6 montre que le facteur "zone de provenance" n'influence pas significativement ($p = 0,1142$) la croissance en hauteur des plantules. Par contre, les facteurs "durée de conservation" et "scarification" influencent significativement ($p < 0,0001$) la croissance en hauteur des plantules.

Par ailleurs, les interactions 'zone*scarification' et 'conservation*scarification' sont très hautement significatives ($p < 0,0001$) si nous considérons la croissance en hauteur des plantules. Nous avons

donc décrit et analysé les diagrammes d'interaction entre ces facteurs, en relation avec la hauteur des plantules à 6 mois d'âge (Fig. 9.4a).

Tableau 9.6: ANOVA sur les hauteurs moyennes des plantules de 6 mois suivant les traitements et les zones de provenance

Source de variation	DDL	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur de F	Pr > F
Zone	2	24,0045	12,0023	2,29	0,1142
Conservation	2	1909,0406	954,5203	182,29	<,0001
Scarification	1	176,8732	176,8732	33,78	<,0001
Zone*conservation	4	31,4915	7,8729	1,50	0,2195
Zone * scarification	2	128,9178	64,4589	12,31	<,0001
Conservation * scarification	2	129,5461	64,7730	12,37	<,0001

La scarification a un effet positif sur la croissance en hauteur des plantules issues des graines provenant des zones soudano-guinéenne et soudanienne (figure 9.7a). Cet effet est toutefois marginal et non significatif sur les plantules provenant des graines de la zone guinéenne. Sans la scarification, les plantules issues des graines de la zone guinéenne ont montré les plus grandes hauteurs (8,93 cm) alors qu'avec la scarification, ce sont les graines de la zone soudanienne qui ont présenté les plus grandes croissances en hauteur (11,78 cm).

Par ailleurs, la scarification a un effet positif sur la croissance en hauteur des plantules provenant des graines fraîches et des graines conservées pendant 3 mois (figure 9.4b). Les graines conservées pendant 12 mois n'ont pas germé.

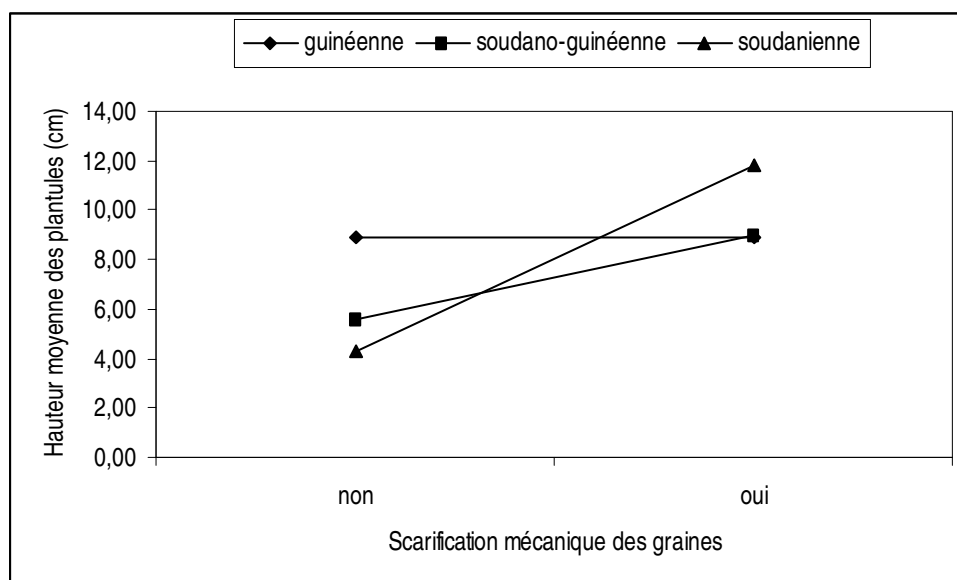


Figure 9.4a: Diagramme d'interaction 'scarification * zone' sur la hauteur moyenne des plantules après 6 mois d'essai

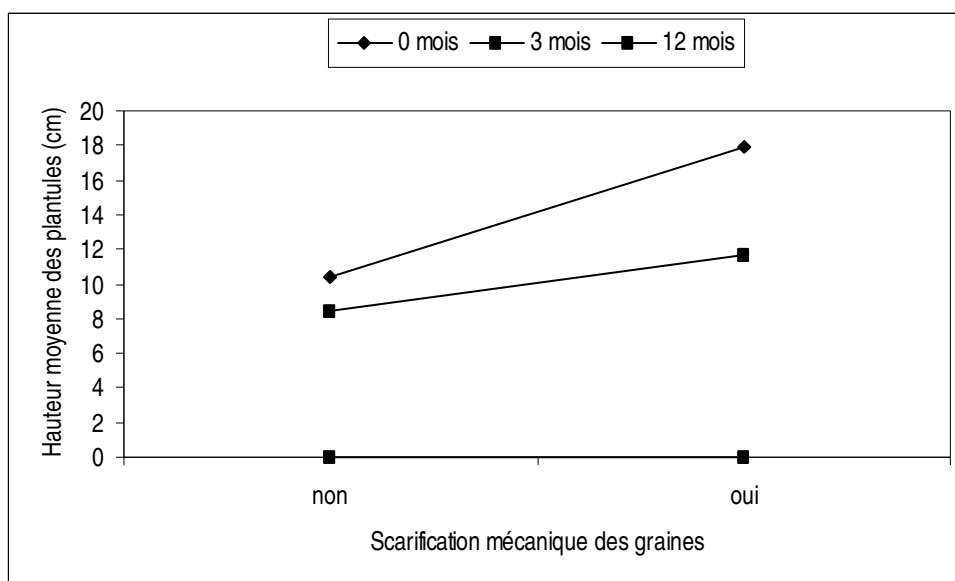


Figure 9.4b: Diagramme d'interaction 'scarification * durée de conservation' sur la hauteur moyenne des plantules après 6 mois d'essai

9.3.2 Durée et délais de germination des graines selon différents traitements

Les durées et délais de germination varient tant pour les graines d'une même provenance, selon les traitements que pour celles de diverses provenances ayant subi les mêmes types de traitement (tableau 9.5).

Les graines du domaine guinéen germent sur 10 jours pour les traitements T1 et T2, et sur 11 et 13 jours respectivement pour les traitements T3 et T4. Les premières émergences pour les graines de cette zone s'observent entre le 4^{ème} jour (traitements T1 et T2) et le 6^{ème} jour (traitement T3 et T4). (tableau 9.7) après semis.

Les provenances de la zone soudano-guinéenne quant à elles, germent sur une durée de 9 à 10 jours pour les traitements T1 et T2, et 25 jours et 34 jours respectivement pour les traitements T3 et T4. Pour les graines de cette zone, les premières émergences ont été observées 4 jours après le semis pour les traitements T1 et T2 et 6 jours après semis pour les traitements T3 et T4 (tableau 9.5).

Les provenances de la zone soudanienne germent sur une durée de 8 jours pour les traitement T1 et T2, et de 9 jours pour les traitements T3 et T4. Pour ces mêmes provenances, les délais avant germination sont de 5 jours pour les traitements T1 et T2, et 6 jours pour les traitements T3 et T4 (tableau 9.7).

En dehors des traitements T5 et T6 dont les graines n'ont pas du tout germé sur la période d'observation, tous les autres traitements ont fait engendrer les premières germinations entre le 4^{ème} et le 6^{ème} jour quelle que soit la provenance des graines. Par ailleurs, nous pouvons aussi conclure que les graines de la zone soudano-guinéenne peuvent émerger 34 jours après leur semis contrairement

aux graines des zones guinéenne et soudanienne qui étalent leur germination sur des périodes allant de 8 à 10 jours

Tableau 9.7: Durée et délais de germination des graines selon différents traitements et par zone de provenance

Traitements	Zone guinéenne		Zone soudano-guinéenne		Zone soudanienne	
	Délai avant germination des graines (jours)	Durée de germination des graines (jours)	Délai avant germination des graines (jours)	Durée de germination des graines (jours)	Délai avant germination des graines (jours)	Durée de germination des graines (jours)
T1	4	10	4	9	5	8
T2	4	10	4	10	5	8
T3	6	11	6	25	6	9
T4	6	13	6	34	6	9
T5	?	?	?	?	?	?
T6	?	?	?	?	?	?

Légende: T1: graines fraîches (moins d'un mois de conservation) non scarifiées avant semis; T2: graines fraîches (moins d'un mois de conservation) scarifiées avant semis; T3: graines conservées pendant 3 mois et non scarifiées avant semis; T4: graines conservées pendant 3 mois et scarifiées avant semis; T5: graines conservées pendant 12 mois et non scarifiées avant semis; T6: graines conservées pendant 12 mois et scarifiées avant semis; ? = indéterminée

9.3.4 Influence des différents facteurs étudiés sur la mortalité des plantules

Le tableau 9.8 présente les taux de mortalité des plantules selon les divers traitements et les régions de provenance des graines après 6 mois d'observation.

Le taux de mortalité le plus élevé obtenu au niveau des plantules issues des graines des provenances guinéenne et soudanienne est de 0,35 % avec le traitement T4. Avec le traitement T3, il a été obtenu un taux de mortalité plus élevé de 0,66 % avec les graines issues de la zone soudano-guinéenne. Ceci suppose qu'une conservation de plus de 3 mois des graines induit des effets négatifs sur la survie des plantules issues d'elles.

A l'exception des graines de la zone soudano-guinéenne qui ont donné des plantules ayant un taux de mortalité de 0,24 % avec le traitement T2 (graines fraîches scarifiées avant semis), toutes les autres graines (de provenance guinéenne et soudanienne) ayant reçu le même traitement n'ont pas engendré de mortalité des plantules après 6 mois d'essai.

Tableau 9.8: Paramètres de viabilité liés aux plantules selon les divers traitements et les régions de provenances

Paramètres pour le calcul du taux de mortalité	Zone de provenance											
	guinéenne				soudano-Guinéenne				soudanienne			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
no: Nombre de plantules obtenues juste après la durée de germination (sur 90 graines au départ par traitement Ti)	75	81	67	63	78	90	46	50	21	80	18	39
di: Le nombre de plantules mortes durant la période Tx d'essais	2	0	0	3	4	3	4	4	1	0	1	1
Tx: Période d'essais (mois)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mx: Taux de mortalité (%)	0,19	0	0	0,35	0,38	0,24	0,66	0,60	0,09	0	0,18	0,35

9.4 DISCUSSION

Cette étude a montré pour l'ensemble des traitements que les pourcentages moyens de germination les plus élevés ont été obtenus avec les graines scarifiées avant semis. Les mêmes constats ont également été faits par Razanameharizaka *et al.* (2006) sur les graines d'autres espèces du genre *Adansonia* (*A. rubrostipa*, *A. za*, *A. madagascariensis* et *A. perrieri*) pour lesquelles la scarification manuelle des téguments externes a significativement amélioré le pourcentage de germination. L'effet positif de la scarification mécanique a aussi été signalé sur les graines à péricarpe dur et imperméable d'*Hyphaene thebaica* (Moussa *et al.*, 1998) et sur celles d'espèces d'*Acacia* spp. par Todaria & Negi (1992), Cavanagh (1987), Teketay (1996), Prins & Maghembe (1994) et Maithani *et al.* (1991), entre autres.

Razanameharizaka *et al.* (2006) ont aussi montré que la graine d'*A. digitata* a un tégument imperméable à l'eau nécessitant une scarification avant d'amorcer la germination de la graine. Ainsi, les faibles taux de régénération d'*A. digitata* dans ses habitats naturels (Sidibe & Williams, 2002; Assogbadjo *et al.*, 2005) seraient liés en partie à la morphologie de sa graine.

Dans la nature, la scarification des péricarpes des graines de plantes serait assurée par les termites et les fourmies qui les attaquent à la recherche d'aliments (Moussa *et al.*, 1998). Dans le cas où les embryons des graines ne seraient pas atteints à la suite des attaques d'insectes et de termites, ces graines devenues perméables à l'eau et à l'oxygène pourront alors normalement germer en période de pluie. Le baobab étant essentiellement retrouvé dans les champs de culture, les pratiques agricoles destructrices de ces termites et fourmies, seraient donc défavorables à la régénération naturelle de l'espèce. En effet, les paysans à la recherche d'un bon rendement pour leurs cultures industrielles

(coton, café, cacao) et vivrières (maïs, niébé) utilisent des insecticides à large spectre qui tuent la quasi-totalité des insectes et termites se trouvant dans le même environnement. En conséquence, les graines de baobab se trouvant aussi dans le même milieu ne seront plus naturellement scarifiées ce qui défavoriserait leur germination et par conséquent réduirait le taux de régénération naturel. Dans de pareilles circonstances, on pourra donc conclure que le faible taux de régénération naturelle d'*A. digitata* dans ses habitats naturels serait lié aux problèmes de levée de dormance de ses graines, occasionnés par les pratiques agricoles destructrices de la microfaune des habitats naturels de l'espèce.

Une longue durée de conservation des graines de baobab, collectées dans différentes zones agroclimatiques du Bénin, a eu un impact négatif sur leur germination. Ceci laisse entrevoir que les graines de baobab utilisées dans le cadre de la présente étude ont perdu progressivement leur pouvoir germinatif de telle sorte qu'après une année de conservation, plus aucune germination n'a été observée même avec la scarification du tégument externe. Toutefois, Razanameharizaka *et al.* (2006) ont montré que les graines des espèces du genre *Adansonia* collectées au Sénégal (*A. digitata*) et au Madagascar (les autres espèces endémiques à Madagascar, cf. chapitre 3) sont orthodoxes car n'ayant pas perdu leur pouvoir germinatif au-delà de 2 années de conservation à l'air libre dans les conditions ambiantes de température (15-25°C). Ces observations de Razanameharizaka *et al.* (2006) s'opposent à nos observations. Mais selon Danthu *et al.* (1995), tout dépend des lots de graines de baobab utilisées. Ainsi, cette contradiction pourra s'expliquer par la zone de provenance et la propriété génétique des graines utilisées pour les essais de germination. Comme on a pu montrer (tableau 9.4) dans la présente étude, les zones de provenance ont une influence significative sur le pourcentage de germination des graines. De plus, dans le chapitre 7 (cf. aussi Assogbadjo *et al.* 2006), il a été montré qu'il existe une différenciation génétique entre les populations d'*A. digitata* des 3 zones agroclimatiques du Bénin. Entre le Sénégal et le Bénin, cette différenciation génétique entre les populations d'*A. digitata* pourrait être encore plus prononcée; ceci pourra donc conduire aux observations ci-dessus énoncées si le pouvoir germinatif des graines était lié à un déterminisme génétique au niveau du baobab africain. En effet, Dangasuk *et al.* (1997) ont montré pour 12 provenances africaines de *Faidherbia albida*, des variations génétiques liées aux traits des graines et qui ont été susceptibles d'influencer leur pouvoir germinatif. En conséquence, la nature orthodoxe des graines d'*A. digitata* telle que signalée par Razanameharizaka *et al.* (2006) devrait être nuancée et des essais complémentaires de germination devraient être effectués sur des graines d'*A. digitata* d'autres zones de provenances avant de tirer une conclusion beaucoup plus globale.

Les faibles pourcentages de germination des graines conservées pendant 3 mois par rapport à celles de 0 mois de conservation et la non germination des graines conservées pendant 12 mois pourraient aussi s'expliquer par les teneurs en lipide des graines utilisées. En effet, une teneur moyenne en lipide d'environ 29 % a été obtenue pour les graines de baobab collectées dans les différentes zones agroclimatiques du Bénin (chapitre 8). Il semblerait que c'est cette teneur élevée qui ne permet pas d'assurer leur viabilité sur une longue période de conservation. Dans le même temps, on ne dispose pas d'information sur les teneurs en lipide des graines de baobab en provenance du Sénégal qui étaient utilisées par Razanameharizaka *et al.* (2006). Des observations similaires en ce qui concerne l'effet négatif de la durée de conservation des graines sur leur pouvoir germinatif ont également été effectuées

sur les graines d'*Hyphaene thebaica* (Moussa *et al.*, 1998) au Niger et sur celles d'*Uapaca kirkiana* (Ngulube & Kanandji, 1989) au Malawi. Pour cette dernière espèce, une durée de conservation de 1 mois a suffit pour que toutes les graines perdent entièrement leur viabilité. Il s'agit en effet de graines récalcitrantes caractérisées par une forte teneur (49 % MS) en lipide (Ngulube & Kanandji, 1989).

En outre, nos graines de baobab, fraîches ou conservées pendant 3 mois, germent en station sans grande difficulté contrairement aux observations de Sidibe & Williams (2002) qui ont montré la nécessité d'un pré-traitement physique ou chimique des graines avant d'amorcer leur germination. En effet, les pourcentages moyens de germination de 83,47 % dans la zone guinéenne et de 86,53 % dans la zone soudano-guinéenne ont été observés pour la germination de graines à 0 mois de conservation et non scarifiées avant semis. Mais il est important de signaler que les taux de germination sont encore plus élevés si le pré-traitement des graines est une scarification mécanique ou chimique. En effet, les graines trempées dans de l'acide sulfurique concentré pendant 6-12 h peuvent donner des pourcentages de germination supérieure à 90 % (Danthu *et al.*, 1995). Dans la présente étude, il a été montré que les graines scarifiées avec une lame de rasoir peuvent encore avoir des pourcentages de germination meilleurs (100 %). Les délais avant germination des graines varient de 5 à 7 jours selon les traitements appliqués dans la présente étude. Les valeurs sont légèrement au-dessus de celles obtenues pour des graines pré-traitées à l'acide où les délais avant germination sont de 4 ou 5 jours (Sidibe et Williams, 2002). En outre, les durées de germination des graines observées pour les traitements ayant engendré les meilleurs pourcentages de germination (5 à 16 jours), sont en-dessous de celles des graines pré-traitées, à l'acide qui peuvent aller jusqu'à 18 jours (Sidibe et Williams, 2002). Par ailleurs, la hauteur moyenne maximale d'environ 12 cm observée pour les plantules à 6 mois d'âge sont largement en dessous de celle observée au Mali pour les plantules (40-50 cm) du même âge mais issues de graines pré-traitées à l'acide (Sidibe et Williams, 2002). En supposant toutes les autres conditions (facteurs abiotiques) égales par ailleurs, nous pouvons donc confirmer l'influence directe des différents traitements chimiques des graines sur la croissance en hauteur des plantules. En effet, des avantages liés à un pré-traitement optimal des graines ont été soulignés par Bellefontaine et Gaméné (1999) qui ont montré la réduction de certaines anomalies (enracinements déficients, plants nains et chétifs, etc.) sur des plantules issues de graines pré-traitées. Les plantules de baobab peuvent selon von Maydell (1986) atteindre une hauteur moyenne de 2 m en 2 ans et d'environ 12 m en 15 ans. Pour Sidibe *et al.* (1996), les individus transplantés à 0,5 m de hauteur peuvent atteindre 2 m un an après leur transplantation. Dans le cas de notre étude, une hauteur moyenne maximale de 12 cm est obtenue en 6 mois d'essai. Le baobab africain est donc une espèce à croissance lente. Compte tenu de son importance pour les populations rurales, des programmes d'amélioration génétique sont indispensables, pour l'établissement de variétés à croissance plus rapide. Il ressort de tout ce qui précède qu'au Bénin, la production de plantules de baobab dans les pépinières doit utiliser des graines fraîchement extraites de leur capsule et scarifiées avant semis. Au cas où d'anciennes graines doivent être utilisées, elles ne devraient pas alors être conservées pour plus de 3 mois une fois extraite de leurs capsules. De plus pour de telles graines, il est plus indiqué de scarifier leur péricarpe avant de les semer. Ainsi, le protocole utilisant des graines fraîchement extraites de leur capsule (0 mois de conservation) et scarifiées avant semis peut être conseillé aux forestiers et paysans qui veulent s'investir dans l'installation de pépinières de baobab.

CHAPITRE 10
DISCUSSION GENERALE, CONCLUSIONS ET
RECOMMANDATIONS

CHAPITRE 10 - DISCUSSION GENERALE, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

10.1 DISCUSSION GENERALE & CONCLUSIONS

Le baobab (*A. digitata*) est une espèce à usage multiple utilisée par les populations rurales africaines à des fins alimentaire, médicinale, culturelle et économique (Sidibe & Williams, 2002). Malgré ses multiples usages, l'espèce demeure sous-valorisée au profit des communautés rurales. De plus, l'espèce est menacée dans son aire de distribution par les feux de végétation, l'agriculture, le pâturage des bovins et la pollution des agrosystèmes par les pesticides (Sidibe & Williams, 2002; Assogbadjo *et al.*, 2005). Face aux menaces d'ordres anthropique et climatique sur la survie de l'espèce et dans le contexte économique de manque de moyens financiers pour essayer de tout faire, il importe d'acquérir le plus possible d'informations sur l'espèce en vue de sa bonne gestion dans les systèmes agroforestiers traditionnels. C'est pour ces différentes raisons que la présente étude sur *A. digitata* a été initiée au Bénin et devrait conduire à moyen terme à sa domestication. Dans un premier temps, l'étude a été concentrée sur l'évaluation des connaissances ethnobotaniques liées à l'espèce, son importance économique, sa variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique puis enfin sur une étude préliminaire sur la germination de ses graines.

Nous discutons ici les stratégies de valorisation du baobab au profit des populations, des stratégies de sa conservation durable au Bénin puis enfin des stratégies de sa restauration dans les systèmes agroforestiers traditionnels dégradés.

10.1.1 Valorisation des produits de baobab

En nous basant sur les différentes utilisations reconnues aux organes du baobab (chapitre 4), nous pouvons déduire que les marchés actuels et potentiels qui s'offrent aux produits peuvent se diviser en 3 segments à savoir: alimentation et boisson, produits pharmaceutiques et produits cosmétiques. Actuellement, dans l'espace européen, il est de plus en plus apprécié par les consommateurs, des produits alimentaires ayant des propriétés médicinales. En conséquence, il se développe de plus en plus de nouveaux marchés pour les 'aliments fonctionnels' qui en plus de leur rôle alimentaire ont un effet positif sur la santé. Pour Gruenwald & Mueller (2004), chaque individu de l'espace européen investi 175 euros chaque année dans la consommation d'aliments fonctionnels. Les produits du baobab répondent bien à ces critères des consommateurs européens. Par exemple, les propriétés médicinales reconnues à sa pulpe (utilisée traditionnellement dans la lutte contre la diarrhée, l'asthme, la dysenterie, les plaies cutanées, etc.; ayant des propriétés anti-inflammatoire et d'antioxydant) combinées à ses fonctions alimentaires (forte teneur en fibres, en calcium et en fer; utilisation dans la fermentation alcoolique) font d'elle un potentiel candidat pour intégrer cette nouvelle génération d'aliments fonctionnels. Par ailleurs, le développement de nouveaux produits à base d'organes de baobab (par exemple 'ice cream' ou boissons stabilisées à base de pulpe de baobab) serait une opportunité pour accroître le revenu des femmes impliquées dans la commercialisation des produits. Cependant, le marché des produits alimentaires est très compétitif et exige la mise en conformité à des normes

internationales. Il se pose alors un problème de définition des normes (harmonisation à des normes exigées pour les produits alimentaires et ayant des propriétés médicinales, gestion de la qualité, emballage, impact environnemental, tarifs et quota) pour chacun des produits afin de favoriser leur exportation vers les marchés plus rémunérateurs notamment ceux de l'Union Européenne. Cette harmonisation à des normes internationales ne sera pas une tâche aisée pour les produits de baobab compte tenu de la grande variabilité observée au sein de l'espèce et qui se traduit par l'existence de plusieurs morphotypes se distinguant les uns des autres par la forme et les dimensions de leurs fruits (courts, moyens et allongés), le goût (acides ou sucrés) et la couleur (jaunâtre, blanchâtre, rosâtre) de leurs pulpes, le goût (amère ou délicieux) et l'apparence (poilues ou non poilues) de leurs feuilles, la couleur de leurs graines (noirâtre ou rosâtre), etc. Ceci n'est pas non plus impossible, d'autant plus que les pays comme le Sénégal arrive déjà à écouler des produits de baobab sur le marché européen notamment vers la firme dénommée 'Baobab Fruit Company' basée en Italie et qui est spécialisée dans la valorisation de la pulpe de baobab (Gruenwald & Galizia, 2005). Pour ces derniers, le marché de pulpe de baobab est loin d'être saturé pour cette firme. Ceci constitue donc une opportunité pour d'autres pays comme le Bénin si la filière venait à être mieux organisée. Il s'agira donc de penser à la mise en place d'organisations paysannes spécialisées dans la gestion de produits agroforestiers dont le baobab. Ces organisations pourraient accompagner les paysans dans les activités de cueillette, assurer le transport des produits vers différents centres spécialisés de transformation (extraction, séchage et emballage) et de normalisation (tri et harmonisation à des normes), puis enfin favoriser avec l'aide des services compétents l'exportation des produits vers des marchés plus rémunérateurs. Cette organisation de la filière sera très bénéfique pour les femmes rurales impliquées dans la transformation et la commercialisation des produits de baobab. En effet, le prix d'achat du kilogramme de pulpe est estimé actuellement à 200 euros chez les détaillants européens (Gruenwald & Galizia, 2005) alors que cette même quantité est vendue par exemple au Bénin à moins de 0,5 euro soit 400 fois moins cher. En outre, les graines sont également valorisées par certaines industries européennes pour la production d'huile et de produits cosmétiques (Gruenwald & Galizia, 2005). Ce sont là autant d'opportunités qui imposent une prise de conscience de la part des décideurs politiques, des aménagistes, des gestionnaires et des scientifiques sur les potentialités que représentent les ressources agroforestières pour les populations rurales pauvres en Afrique. Si l'on est rassuré que les productions naturelles sont suffisantes pour satisfaire à l'heure actuelle la durabilité d'une telle filière, il est indispensable d'entreprendre des démarches dans ce sens. L'organisation de la filière devra être cependant accompagnée par le développement de nouveaux systèmes de production notamment l'enrichissement des systèmes agroforestiers avec de nouvelles plantations de baobab. Les zones forestières déboisées pourront être aussi utilisées à cet effet et ceci limiterait la culture itinérante sur brûlis qui est l'une des principales causes de la déforestation.

10.1.2 Conservation des ressources génétiques d'*Adansonia digitata* au Bénin

Les principaux objectifs attendus de la conservation des ressources génétiques d'une espèce sont (i) d'assurer le maintien de la variation génétique présente au sein de l'espèce; (ii) de piéger la variation nécessaire pour répondre aux changements futurs de l'environnement; (iii) d'assurer les processus

évolutifs en cours, tels que le flux de gènes et la sélection naturelle, tout en minimisant la dérive génétique. Deux méthodes de conservation sont bien connues, à savoir la conservation *in situ* et la conservation *ex situ*.

La conservation *in situ* consiste à maintenir les espèces menacées dans le milieu où elles ont développé leurs caractères distinctifs, de façon naturelle. Seule cette méthode est en mesure de garantir une adaptation continue aux conditions locales, même si celles-ci viennent à se modifier dans des limites compatibles avec la survie de l'espèce (évolution des facteurs physicochimiques de l'environnement, réchauffement et pollution de l'atmosphère, modification rapide du paysage phytosanitaire) (Sina, 2006). Les inconvénients ici sont que sans protection et suivi, les espèces sous conservation *in situ* sont vulnérables et peuvent subir des dégradations humaines et animales, conduisant ainsi au recul des ressources génétiques (Sina, 2006). En effet, les menaces qui pèsent sur la diversité de nombreuses espèces, incluant une utilisation excessive des ressources, la dégradation des peuplements et la perte d'habitat, condamnent certaines d'entre elles à la disparition si des mesures ne sont pas prises en dehors de la préservation *in situ*.

La conservation *ex situ*, quant à elle, consiste à préserver les ressources génétiques hors de leur habitat naturel. Suivant les propriétés de la ressource, celle-ci sera conservée dans une banque de gènes, de graines (Linington & Pritchard 2001), un arboretum, une collection plantée dans un champ spécifique, ou *in vitro* sous la forme d'embryons. Le principal inconvénient de cette méthode est la mise à l'écart de l'espèce de son habitat naturel (Sina, 2006). L'espèce ainsi conservée *ex situ* n'évolue plus sous la pression de l'environnement et pourrait devenir incapable de résister par exemple à des parasites qui, eux, auront continué d'évoluer naturellement pour survivre. Un autre inconvénient de la méthode, c'est que la plante conservée *ex situ* se trouve à la merci de l'activité humaine qui la maintient en vie (coupures d'électricité ou de crédits, défauts d'étiquetage, restrictions de personnel, etc.).

La conservation *ex situ* "à la ferme" ou "au champ" qui constitue un intermédiaire entre la conservation *in situ* et la conservation *ex situ, stricto sensu*, permet de conserver des variétés cultivées sur pied dans leur région et leur système de culture d'origine, ce qui les laisse subir les contraintes du milieu. Ces méthodes ne sont pas incompatibles et peuvent être utilisées de façon complémentaire, ce qui atténue les inconvénients de l'une ou l'autre approche. La situation idéale serait de mettre en place parallèlement ces deux types de conservation pour garantir le maintien de la diversité et la survie des espèces.

Par ailleurs, l'échantillonnage des populations et individus à conserver *in situ* et *ex situ* est une étape cruciale dans la conservation et l'utilisation des ressources génétiques forestières. Ainsi, Brown & Hardner (2000) recommandent d'éviter 3 pièges, notamment (i) un échantillon trop limité, qui ne couvrirait pas la variation existante au sein de la population; (ii) un échantillon biaisé soit au niveau de la population soit au niveau des individus avec le risque d'omission de certaines variantes; (iii) un échantillon trop grand et difficile à gérer, occasionnant une perte d'énergie et d'argent. Nous analysons alors l'ensemble de nos résultats en considérant les aspects généraux ci-dessus énumérés.

Dans la présente étude, il a été montré que la diversité génétique et la diversité écologique des populations de baobab, varient significativement d'une zone climatique à une autre (Chapitre 5, 6 & 7). L'étude sur la diversité génétique des populations d'*A. digitata* au Bénin (chapitre 7) a révélé l'existence de 6 pools de gènes. Généralement, les individus de baobab se trouvant dans une même zone

climatique sont inférés dans les mêmes pools de gènes indiquant que la structuration génétique des individus de baobab est corrélée avec leur région de provenance (chapitre 7). La diversité génétique de Nei et le taux de polymorphisme au sein des populations ont montré une grande variation intra-populations (chapitre 7), ce qui indique que la grande majorité de la composition génétique de l'espèce est présente au sein des populations. En effet, 82,4 % de la variation totale est intra-populations et 17,6 % entre les populations. L'échantillonnage au niveau intra-population vise donc à piéger la variation génétique de base existant au sein de l'espèce. De plus, 14,7 % de la variation totale se trouve entre les 3 trois régions alors que 5 % de la variation génétique entre les populations se trouve à l'intérieur des régions. En outre, la corrélation entre la différenciation génétique et les distances géographiques entre les populations est significative ($P < 0,001$) indiquant ainsi un isolement par distance. En conséquence, la conservation *in situ* des ressources génétiques du baobab au Bénin devra consister à définir pour chaque zone climatique des unités de conservation. Il ne s'agira pas d'une protection absolue de domaine sous forme d'aire protégée, mais plutôt d'un nouveau système de production valorisant d'une part, les populations naturelles de baobab à travers leur protection et d'autre part, les cultures annuelles non polluantes de l'environnement.

La conservation *ex situ* pourra se faire, d'une part, à travers la création de banque de gènes des ressources génétiques du baobab et d'autre part par l'établissement des plantations de baobab à conserver sous forme de systèmes agroforestiers.

Pour l'échantillonnage des individus et populations à conserver, un nombre modéré d'arbres pourrait former un échantillon représentatif de la constitution génétique d'une population. Marshall & Brown (1975) suggèrent un échantillon n'excédant pas 50 à 100 arbre-mères car un tel échantillon aurait 95 % de chance de capturer tous les allèles présents à une fréquence supérieure à 0,05. Selon Brown & Briggs (1991), la variation génétique utile augmenterait proportionnellement avec le logarithme de la taille et non avec la taille absolue de la population. Autrement dit, l'augmentation du nombre de populations ne s'accompagne pas d'un accroissement proportionnel de la variation génétique. Ceci veut dire donc qu'au-delà d'un certain nombre de populations ou d'individus, les efforts croissants d'échantillonnage ne s'accompagnent plus de gain génétique. Ce phénomène s'explique par la «loi des rendements non-proportionnels» ou «loi sur les rendements décroissants». En effet, Brown & Briggs (1991) considèrent que les 10 premiers individus échantillonnés dans une population sont aussi importants sinon plus importants que les 90 individus additionnels en terme de gain génétique. C'est en vertu de ce concept que Brown & Briggs (1991) ont proposé la stratégie d'échantillonnage d'un minimum de 5 populations par espèce et 10 individus par populations. Cette considération introduit une préoccupation fondamentale qui est celle de trouver le nécessaire équilibre entre le gain génétique et l'efficacité économique dans l'échantillonnage à des fins de conservation ou de reboisement.

Comme la différenciation génétique entre les populations de baobab est relativement faible ($F_{st} = 0,176$), la récolte dans un petit nombre de populations devrait également suffire pour capturer le maximum de diversité répartie entre les populations de l'espèce. Avec seulement 18 % de la variation génétique entre les populations, l'échantillonnage inter-populations visera moins à piéger la variation génétique que la variation géographique et écotypique. Cette différenciation quoique quantitativement faible, peut représenter un potentiel significatif d'adaptation et d'évolution. Toutefois, le rendement génétique obtenu en augmentant le nombre de populations sera d'autant plus faible que la

différentiation génétique entre les populations est faible (Falk, 1991). Ce rendement se rétrécira au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de populations échantillonnées. Ceci conduit à la constitution de "core collections" ou "collections noyau" qui sont des collections réduites mais conservant le plus de diversité.

D'un autre côté, plusieurs études ont mis en évidence des différences génétiques entre des populations de mêmes espèces (Ouedraogo 1986, Brown & Hardner 2000, Diallo et al. 2000, Teklehaimanot 2004, Ræbild et al. 2003). Dans le cas de *A. digitata*, des variabilités morphologiques et une structuration génétique des individus et populations ont été observées suivant les zones climatiques du Bénin (chapitres 5 & 7). Ainsi, nous pouvons valablement considérer ces dernières comme étant des régions de provenance étant donné l'existence d'une grande variabilité des caractéristiques morphologiques entre individus de baobab, d'une zone climatique à une autre (chapitre 5). De plus, la répartition de cette variabilité est fortement influencée par les conditions environnementales notamment édaphiques et climatiques (chapitre 5). Les populations de baobab des 3 zones climatiques peuvent être donc considérées comme des provenances car elles auraient acquis certaines aptitudes adaptées aux conditions environnementales et dont il convient de tenir compte pour orienter le choix des populations à préserver. En se basant sur la variation éco-géographique comme critère d'échantillonnage, cela permet de considérer des micro-habitats différents et de maximiser les chances d'avoir des génotypes uniques. Ceci traduit l'importance des paramètres éco-géographiques et la nécessité de considérer chacune des régions de provenances dans le cadre de stratégie de collecte.

En outre, les densités des populations de baobab varient d'une zone à une autre (chapitre 5). En considérant la densité comme un reflet de la qualité d'un écosystème, Gram & Sork (1999) suggèrent qu'elle peut être utilisée comme critère fiable d'identification de populations présentant des génotypes différents.

Sur la base des constats ci-dessus énumérés, nous suggérons qu'une attention particulière soit portée aux différentes populations de baobab des 3 zones climatiques du Bénin, particulièrement dans les parties où l'état de dégradation de l'espèce est avéré.

Dans la zone soudanienne, la différenciation inter-populations est faible. Ceci traduit un important flux de gène entre les différentes populations de cette zone. De plus il est observé dans cette zone une forte variation intra-populations (tableaux 7.6 ; chapitre 7). Cette zone est celle dans laquelle les baobabs produisent des graines ayant les plus faibles pouvoirs germinatifs, surtout celles conservées pendant plus de 3 mois (chapitre 9). La forte représentativité de l'espèce dans cette zone (chapitre 5) et les différentes pressions (feux de végétation, pâturage des bovins, surexploitation) induisant une quasi absence de sa régénération naturelle (chapitre 5), nécessitent qu'un effort relativement plus important y soit consenti pour l'échantillonnage des populations dans la stratégie de conservation. La conservation d'un grand nombre d'individus dans un petit nombre de populations, devra donc suffire pour capturer le maximum de diversité génétique dans cette zone.

Dans la zone soudano-guinéenne, il est également observé une faible différenciation inter-populations (tableau 7.6 : chapitre 7) et une forte variation génétique intra-populations (tableau 7.5). Par ailleurs, cette zone a la particularité d'abriter au sein de ses populations tous les pools de gènes inférés (tableau 7.3 ; chapitre 7). De plus, c'est dans cette zone que se trouvent des baobabs produisant les plus grandes quantités de pulpe, de graines et d'amandes (tableaux 10.1 ; chapitre 5) et où les baobabs

produisant des graines ayant les plus forts pouvoirs de germination (chapitre 9). Cette zone de transition mériterait donc une attention particulière durant les opérations d'échantillonnage des graines et de conservation *in situ*. Dans cette zone, l'espèce est relativement moins dense (chapitre 5) et moins menacée que dans la zone soudanienne. Il sera alors préférable d'échantillonner tout comme dans la zone soudanienne un grand nombre d'individus dans un plus petit nombre de populations que dans la zone soudanienne pour espérer capturer le maximum de diversité.

Enfin, la zone guinéenne est celle caractérisée par une différenciation inter-populations 2,5 fois plus élevées que celle obtenue pour les zones soudanienne et soudano-guinéenne respectivement (tableau 7.6 ; chapitre 7). En outre, cette zone se particularise par les plus faibles densités de baobab (chapitre 5). De plus, tous les pools de gènes inférés ne sont pas représentés au sein des populations de cette zone. La conservation d'un petit nombre d'individus dans un plus grand nombre de populations devra suffire pour conserver le maximum de diversité dans cette zone.

Compte tenu des considérations ci-dessus énumérées, nous suggérons logiquement qu'environ 50 % de l'échantillon global (nombre total d'individus) soient conservés dans la zone soudanienne, 30 % dans la zone soudano-guinéenne et 20 % dans la zone guinéenne.

Sur la base des considérations théoriques de Brown & Briggs (1991), la récolte de semences de baobab destinées aux reboisements et à la conservation *ex situ* pourrait se faire valablement dans 10 populations réparties sur toute l'étendue du territoire nationale de la manière suivante: 3 populations dans la zone soudanienne; 2 populations dans la zone soudano-guinéenne; et 5 populations dans la zone guinéenne.

Par ailleurs, il existe une forte variation des traits morphologiques liés à l'espèce qui est essentiellement due aux facteurs du milieu (chapitre 5). La sélection des populations dans chaque zone devra donc se faire sur la base des variations microclimatiques, édaphiques et des pressions diverses susceptibles d'affecter l'intégrité des populations. En d'autres termes, la sélection des populations et individus à échantillonner pourra s'effectuer dans les habitats différents pour maximiser la chance d'avoir des génotypes différents. Ainsi, dans la zone soudanienne le choix pourrait être porté sur 2 populations de baobab à Boukoumbé (N 10°18'214"; E 001°20'546") et sur 1 population de baobab à Karimama (N 11°43'431"; E 003°13'265"). Dans la zone de transition soudano-guinéenne, le choix pourrait être porté sur 1 population à Dassa (N 07°45'172"; E 002°11'220") et 1 population dans la région de Bassila (08°42.705 N ; 001°38.694 E). Enfin, dans la zone guinéenne, on pourra conserver 3 populations dans les localités de Comè (6°24.621 N; 001°51.795 E) et 2 populations dans les localités de Sèhouè (06°54.249 N; 002°15.326 E).

En considérant 10 individus en moyenne par population tel que suggéré par Brown & Briggs (1991), un total de 100 individus (10 ind./pop. x 10 pop.) devrait suffire pour capturer le maximum de diversité dans le pays. En considérant les différents pourcentages des effectifs à conserver par zone, les 100 individus pourront se répartir dans les 3 zones comme suit : 50 individus dans la zone soudanienne (à répartir dans 3 populations), 30 individus dans la zone de transition soudano-guinéenne (à répartir dans 2 populations) et 20 individus dans la zone guinéenne (à répartir dans 5 populations). Ces effectifs pourraient toutefois évoluer pour les récoltes destinées au reboisement, en fonction des besoins exprimés par les utilisateurs.

Dans une population donnée, le choix des individus qui conviennent le mieux devra se faire selon un échantillonnage systématique qui considère une grille ou des transects sur lesquels des individus régulièrement espacés sont choisis (Brown & Briggs 1991). L'échantillon ainsi prélevé provient de toute l'étendue de la population. Dans la mesure où la variation phénotypique du baobab est beaucoup plus d'origine environnementale (chapitres 5 & 7), la sélection des individus destinés à la conservation, basée sur des caractères comme la forme, la taille, etc., n'est pas vraiment recommandée. Toutefois, dans certains cas, ces caractères peuvent être pris en compte s'ils font partir des traits désirables par les populations locales. En effet, l'expression phénotypique d'un génotype dépend des conditions environnementales dans lesquelles se sont développés les individus. Pour la plupart des caractères, le phénotype résulte des effets conjoints de 3 composantes: le génotype, l'environnement qui contribue toujours pour une part au phénotype et l'interaction entre le génotype et l'environnement. L'expression d'un gène n'est donc pas indépendante du milieu dans lequel ce gène s'exprime. Ainsi on sait qu'un individu de bonne qualité phénotypique possède un potentiel génétique de bonne performance. En revanche si le phénotype est mauvais, la cause n'est pas connue. En conséquence, dans les milieux relativement homogènes et peu perturbés, le choix de semenciers pour les besoins de plantations pourrait se faire sur la base du phénotype. En particulier les individus ayant des phénotypes exceptionnellement médiocres (mauvais état sanitaire, traits non désirables, etc.) devraient être évités. Par ailleurs pour la récolte de graines à conserver *ex situ*, il est recommandé une distance d'au moins 100 m entre les arbres-mères, appliquant ainsi une méthodologie conventionnelle recommandée par la FAO (Palmborg 1985). En effet, ce principe d'échantillonnage d'ordre général permet de capturer le maximum de variation génétique existant au sein des espèces et d'éviter de collecter les individus apparentés. Il convient de noter que la récolte sur des individus suffisamment distants les uns des autres présente l'avantage de prendre en compte dans l'échantillon la variation écotypique de la population considérée.

La viabilité des semences en conservation d'une population est primordiale dans la conservation *ex situ* des ressources génétiques. En considérant les résultats obtenus pour les essais de germination des graines d'*A. digitata* collectées dans les 3 zones climatiques du pays (chapitre 9), il serait préférable de déterminer par une autre étude les conditions optimales pour la conservation des graines de baobab et que le matériel végétal soit conservé et manipulé suivant les recommandations qui seront issues de cette étude. Mais en attendant, nous suggérons que des collectes de graines se réalisent au moins une fois par an pour renouveler le stock existant. Ceci sera d'autant plus aisé car un arbre de baobab peut produire jusqu'à 34000 graines (tableau 5.2; chapitre 5)

Enfin, une fois les populations de baobab à intégrer dans la stratégie de conservation identifiées, elles pourront alors être gérées de commun accord avec les communautés riveraines. Il s'agira alors pour les Organisations Non Gouvernementales (ONGs) intéressées par les programmes agroforestiers et des services étatiques ayant en charge la valorisation des ressources génétiques, de responsabiliser des populations locales organisées en groupements pour la récolte des semences et le suivi des peuplements semenciers répartis à travers le pays.

10.1.3 Conditions écologiques et restauration du baobab dans les systèmes agroforestiers dégradés

Adansonia digitata, en dépit de son importance socio-économique, est en général soumise à de fortes pressions d'origines diverses notamment dans la zone soudanienne du Bénin. Dans le pays, le statut de l'espèce est mal connu bien qu'en nous basant sur les résultats de ce travail, on pourrait la classer vulnérable à cause d'un manque de régénération naturelle (chapitre 5) et des fortes menaces qu'elle subit notamment dans la zone guinéenne et soudanienne (chapitre 4). Par ses pratiques, l'Homme imprime une dynamique aux peuplements de *A. digitata* dont la densité est variable selon les zones (chapitre 5). En effet, la densité des arbres est nettement plus importante dans la zone soudanienne que dans la zone guinéenne peut être en raison d'une relative moindre importance de l'espèce dans cette zone (chapitre 4 ; tableau 10.1). Il apparaît donc que le niveau de menace est variable d'une zone à une autre. Les peuplements de la zone soudanienne où le baobab est fortement valorisé par les populations locales (chapitre 4), sont périodiquement menacés par les feux de végétation et le pâturage des bovins. Ceux de la zone guinéenne, localisés dans les localités de forte concentration humaine, sont également menacés par la réduction de la période de jachère dans les parcs, l'absence de régénération et la mutilation des arbres sous prétexte qu'ils abritent les mauvais esprits.

Par ailleurs, des études écologiques, morphologiques et de production ont montré une grande variabilité entre individus d'*A. digitata* selon les différentes zones agroclimatiques du Bénin (chapitre 5). Une comparaison des trois zones agroclimatiques du Bénin a montré que dans la zone guinéenne, les baobabs produisent en moyenne un nombre relativement moins élevé de capsules (≈ 57 capsules / arbre) et généralement des quantités de pulpe ($\approx 2,5$ kg / arbre), d'amandes (≈ 2 kg / arbre) et de graines (≈ 5 kg / arbre) moins élevées que ceux des deux autres zones (chapitre 5). Dans la zone soudanienne, se trouvent des baobabs ayant les plus gros diamètres (> 5 m). Les baobabs de la zone soudano-guinéenne quant à eux sont souvent moins gros que ceux de la zone soudanienne et souvent plus gros que ceux de la zone guinéenne (chapitre 5 et chapitre 7). En terme de production, les baobabs de la zone soudano-guinéenne produisent des quantités généralement plus élevées de graines (≈ 27527 graines/arbre), de pulpe (≈ 6 kg / arbre) et d'amandes (≈ 4 kg / arbre) que ceux des 2 autres zones. Il sera alors préférable de privilégier les baobabs de cette zone pour la multiplication végétative à cause des avantages liés aux effets additifs induits par cette technique de propagation.

La répartition de cette variabilité morphologique au sein des populations de baobab est essentiellement liée aux conditions environnementales notamment édaphiques et climatiques (chapitre 5). En effet, les corrélations entre les variables abiotiques (pluviométrie, température, humidité relative, évapotranspiration) et celles biotiques (production et variables dendrométriques) ont révélé que les zones de fortes valeurs d'évapotranspiration potentielle, d'humidité relative, de température et de pluviométrie, ou celles présentant des caractéristiques de sols limoneux ou argileux sont celles dans lesquelles on trouve des baobabs qui produisent de faibles quantités de graines, de pulpe et d'amandes (chapitre 5). Les sols ayant un rapport C/N élevé favorisent la production des graines et défavorisent la production de pulpe, d'amande et le bon développement des baobabs (chapitre 5). Les performances des provenances sont donc liées à leur adaptation à certains types d'environnement. C'est ce qui explique que le repeuplement ou le reboisement de zones dégradées doit se faire préférentiellement

avec des semences de la même origine ou d'origine géographiquement proche de la zone à reconstituer.

En tenant compte des conditions environnementales des 3 zones climatiques (chapitre 2) et des conditions agro-écologiques favorables pour un développement du baobab (chapitre 5), il apparaît que les parcs dégradés de la zone soudanienne et dans une moindre mesure ceux de la zone de transition soudano-guinéenne sont les plus propices pour l'installation des plantations de baobab sous forme de conservation *ex situ* dans les systèmes agroforestiers. La zone guinéenne ne présentant pas les conditions écologiques favorables à une bonne productivité du baobab, pourrait être privilégiée pour la stratégie de conservation *in situ*.

Enfin, le chapitre 9 a présenté les résultats d'une expérimentation comparant les pourcentages de germination des graines de baobab en provenance des trois zones agroclimatiques pour trois durées de conservation (0; 3 et 12 mois) suivi de la scarification manuelle ou non de leur péricarpe. De l'expérimentation, il a été montré pour l'ensemble des traitements que les pourcentages moyens de germination les plus élevés ont été obtenus avec les graines scarifiées avant leur semis. De plus, l'étude a montré qu'une durée de conservation de plus de 3 mois des graines a eu un impact négatif sur leur germination et ceci, quelle que soit leur zone de provenance. En conséquence, pour la production de plantules de baobab dans les pépinières, il est recommandé d'utiliser des graines fraîchement extraites de leur capsule et de les scarifier avant le semis.

Tableau 10.1: Synthèse des résultats de l'étude

		Zones climatiques		
		Guinéenne	Soudano-guinéenne	Soudanienne
Caractéristiques du milieu	Localisation	6°25'N – 7°30'N	7°30N - 9°45N	9°45'N - 12°25N
	Pluviométrie moyenne annuelle	1200 mm sur 250 j	1110 mm sur 113 j	900 mm sur 145 j
	Humidité relative moyenne annuelle	69 % (s.s) 97 % (s. h)	31 % (s.s) 98 % (s. h)	18 % (s.s) 97 % (s. h)
	Température moyenne journalière	25°C – 29°C	25°C – 29°C	25°C – 29°C
Connaissance ethnobotanique	Connaissances endogènes	+	+	++++
	Importance alimentaire	+	+	++++
	Importance médicinale	+	+	++++
	Importance économique	+	+	++++
	Importance culturelle	+	+	++++
Ecologie et productivité	Densité moyenne	< 1 ind. / km ²	1-3 ind. / km ²	3-5 ind. / km ²
	Texture du sol	Texture sableuse	Texture sablo-argileuse	Texture sableuse
	Acidité du sol			

		Zones climatiques		
		Guinéenne	Soudano-guinéenne	Soudanienne
	MO dans le sol Distribution Production moyenne de pulpe / arbre Production moyenne d'amandes / arbre Nombre moyen de graines / arbre Nombre moyen de capsules / arbres Production moyenne de capsules / arbre	pH > 7 pauvre en MO Eparse 2,40 kg 1,58 kg 10923 57 13,70 kg	pH ≈ 7 pauvre en MO Agrégative 6,26 kg 4 kg 27527 157 35,39 kg	6,4 < pH < 7 riche en MO Large 4,83 kg 3 kg 20570 124 27,35 kg
Morphologie	Hauteur moyenne Diamètre à 1,30 m Types de capsules	19,62 m 1,76 m Forme 1 (10 %) Forme 2 (20 %) Forme 3 (20 %) Forme 4 (50 %)	13,80 m 1,50 m Forme 1 (10 %) Forme 2 (20 %) Forme 3 (30 %) Forme 4 (40 %)	17,09 m 2,02 m Forme 1 (50 %) Forme 2 (30 %) Forme 3 (10 %) Forme 4 (10 %)
Génétique	Pools de gène Taux de polymorphisme (P) Diversité génétique de Nei (H) Différenciation génétique inter-populations Flux de gène	2, 5(±) et 6 91% < P < 99 % 0,27 < H < 0,36 0,05 Faible	1(±), 2(±), 3, 4, 5 et 6(±) 89% < P < 95% 0,31 < H < 0,38 0,02 Intense	1, 4 et 3 (±) 90% < P < 94% 0,25 < H < 0,29 0,02 Très intense
Biochimie	Vitamine C (feuille) Vitamine C (pulpe) Vitamine C (graine)	++++ ++++ ++++	++++ ++++ ++++	+ + +
Germination	Pourcentage moyen de germination (T2) Durée moyenne de germination (T2) Délai moyen de germination(T2) Taux de mortalité en 6 mois (T2)	90,23 % 10 jours 4 jours 0	100 % 10 jours 4 jours 3	89,23 % 8 jours 5 jours 0

Légende: s.s = saison sèche; s. h = saison humide; j = jour; T2 = traitement 2 (graines fraîches scarifiées avant semis); + = présent et en faible pourcentage par rapport aux autres zones; ++++ = présent et en pourcentage très élevé par rapport aux autres zones; ± = pool de gène très faiblement représenté; MO = matière organique;

10.2 RECOMMANDATIONS

Dans la présente étude, il a été mis en évidence des technologies endogènes développées par les populations rurales pour la transformation des organes du baobab (chapitre 4). Ces technologies ont toutefois besoin d'être améliorées non seulement sur le plan de l'emballage pour une meilleure protection des produits mais aussi sur le plan des équipements pour amoindrir la pénibilité de certaines opérations (décorticage des graines par exemple) et augmenter la rentabilité du travail. Il faudra alors développer des moyens simples d'emballage compatible aux réalités socio-culturelle afin de donner une valeur ajoutée aux produits de baobab à potentialité économique élevée comme la pulpe et l'amande. De plus, le décorticage des graines constitue l'opération la plus difficile dans la transformation des produits de baobab. Il est donc nécessaire d'associer le génie mécanique pour développer un équipement approprié pour cette opération.

En outre, ce travail a montré une grande diversité de produits alimentaires et médicinaux pour le baobab (chapitre 4) mais peu rencontrés sur le plan national, régional et international. Il faudra alors envisager la stabilisation et la mise en conformité de ces produits aux normes alimentaires et médicinales aux niveaux national, régional et international d'une part, et leur production à grande échelle par l'introduction de l'automatisation, d'autre part. Mais bien avant, il faudra d'abord organiser la filière au niveau national. Ceci pourra se faire par la mise en place d'organisations paysannes spécialisées dans la gestion de produits agroforestiers dont le baobab. Ces organisations pourraient accompagner les paysans dans les activités de cueillette, assurer le transport des produits vers différents centres spécialisés de transformation (extraction, séchage et emballage) et de normalisation (tri et harmonisation à des normes), puis enfin favoriser avec l'aide des services compétents l'exportation des produits vers des marchés plus rémunérateurs.

Il a été révélé à partir de la caractérisation biochimique des produits de baobab que ces derniers sont riches en nutriments (chapitre 8). Il est toutefois important d'étudier la biodisponibilité de ces nutriments en vue d'estimer la consommation adéquate pour satisfaire les besoins journaliers. La contribution des technologues alimentaires et des nutritionnistes pourra aider à résoudre cette question.

Par ailleurs, des modèles mathématiques ont été établis pour prédire la production moyenne en pulpe, graines et amandes d'un arbre de baobab à partir des variables morphométriques des capsules. En se basant sur ces résultats, il est recommandé d'établir des fiches techniques afin de permettre une meilleure utilisation de ce travail par les groupes cibles (populations, services étatiques ou privés d'encadrement du monde rural, organisations non gouvernementales). Ainsi, il sera plus aisé aux agents forestiers et ceux des services étatiques chargés de l'encadrement des paysans de valider ces modèles dans chaque zone agroclimatique, procéder à des ajustements nécessaires et, vulgariser les dits modèles dans le monde rural. Ceci permettra aux paysans de savoir comment estimer les productions de leurs baobabs et par conséquent évaluer le potentiel économique qu'ils constituent au sein de leurs exploitations. De plus, il a été montré à travers cette étude les liens entre les variables de l'environnement (climat et sol) et la production des individus de baobab. Il est alors recommandé aux forestiers de prendre en compte ces données écologiques avant de définir des objectifs d'aménagement dans le cadre de programmes de plantation de baobab dans les terroirs villageois.

Les études génétiques (chapitre 7) ont montré que la majorité de la variation se trouve au sein des populations et que la différenciation entre les populations prises deux à deux est aussi significative. Il a été donc possible de faire des propositions de conservation des ressources génétiques d'*A. digitata* en se fondant sur ces observations. En effet, en nous fondant sur les résultats obtenus, nous proposons pour la conservation *in situ* des ressources génétiques d'*A. digitata* au Bénin de définir pour chaque zone climatique un petit nombre d'unités de conservation de grande superficie. La conservation *ex situ* pourra se faire, d'une part, à travers la création de banque de semences et d'autre part par l'établissement des plantations de baobab. Ceci est justifié non seulement par l'intérêt que représente l'arbre pour les communautés rurales, mais aussi par les pressions qui s'exercent sur lui et qui se traduisent par la quasi-disparition de ses plantules dans la nature. A l'intérieur de chaque zone climatique, la collecte des graines devrait s'opérer sur un grand nombre d'individus pour espérer capturer le maximum de diversité. Compte tenu de la stratégie proposée, nous recommandons de conserver 30 individus de baobab réparties dans 3 populations dans la zone soudanienne, 20 individus de baobab réparties dans 2 populations dans la zone de transition soudano-guinéenne et 25 individus de baobab réparties dans 5 populations dans la zone guinéenne. Pour éviter de collecter des individus apparentés, il est préférable de respecter au moins 100 m d'intervalle entre les arbres mères. Dans la mesure où la variation phénotypique du baobab est beaucoup plus d'origine environnementale et quasiment non génétique (chapitres 5 & 7), la sélection des individus destinés à la conservation, basée sur des caractères comme la forme, la taille, etc., n'est pas vraiment recommandée. Toutefois, certains arbres à collecter peuvent inclure ceux qui présentent pour les populations un intérêt particulier pour telle ou telle caractéristique reconnue à l'arbre surtout si ces arbres se retrouvent dans les localités où les conditions environnementales sont relativement homogènes. Pour rendre beaucoup plus performant la stratégie de conservation des ressources génétiques du baobab, il est nécessaire d'envisager des études de déterminisme génétique (QTL) lié à chacun des traits désirables (goût de la pulpe ou des feuilles par exemple) recherchés par les paysans. Par ailleurs, tous les facteurs susceptibles d'influencer la diversité génétique d'*A. digitata* au Bénin n'ont pu être étudiés. Par exemple, peu d'informations sont disponibles sur les chauves souris responsables de la pollinisation des fleurs d'*A. digitata* au Bénin. Il est recommandé d'entreprendre des travaux dans ce sens afin de pouvoir mieux expliquer les flux de pollen entre les baobabs localisés au sein d'une même zone ou entre différentes zones agroclimatiques.

Comme suite à donner à ce travail sur *A. digitata*, on peut noter: (1) la mise en conformité des produits alimentaires et médicinaux du baobab à des normes de commerce internationale; (2) l'identification des zones agroclimatiques où l'on peut promouvoir le développement du baobab au profit des populations rurales; (3) l'étude sur le déterminisme génétique des traits désirables par les populations rurales sur les individus de baobab; (4) l'étude sur la biodisponibilité des nutriments (Fe, vitamines C et A, Zn etc..) contenus dans les différents produits de baobab; (5) la collecte et la conservation de germplasm d'*A. digitata* dans les différentes zones agroclimatiques du Bénin; (6) la poursuite des études sur la germination des graines et sur les différentes techniques/méthodes de multiplication végétative; (7) la sélection variétale et l'amélioration génétique et; (8) le développement des modèles de domestication d'*A. digitata* avec les populations rurales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (Réalisées avec le logiciel EndNote 9.0)

- A.O.A.C. (1980). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC, 13^{ème} édition.
- A.O.A.C. (1984). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC.
- Adanson, M. (1771). Description d'un arbre nouveau genre appelé Baobab, observé au Sénégal. *Hist. Acad. Roy. Sci. (Paris)* 1791: 218-243.
- Addy, E. O. H., Salami, L. I., Igboeli, L. C. & Remawa, H. S. (1995a). Effect of processing on nutrient composition and anti-nutritive substances of African locust bean (*Parkia filicoidea*) and baobab seed (*Adansonia digitata*). *Plant Foods for Human Nutrition* 48(2): 113-117.
- Addy, E. O. H., Salami, L. I., Igboeli, L. C. & Remawa, H. S. (1995b). Effect of processing on nutrient composition and anti-nutritive substances of African locust bean (*Parkia filicoidea*) and baobab seed (*Adansonia digitata*). *Plant Foods for Human Nutrition* 48(2): 113-117.
- Adjanohoun, E. J., Adjakidje, V., Ahyi, M. R. A., Ake Assi, L., Akoegninou, A., d'Almeida, J., F., A., Boukef, K., Chadare, M., Cusset, G., Dramane, K., Eyme, J., Gassita, J.-N., Gbaguidi, N., Goudote, E., Guinko, S., Houngnon, P., Issa, L. O., Keita, A., Kiniffo, H. V., Kone-Bamba, D., Musampa, N., Saadou, M., Sodogandji, T., de Souza, S., Tchabi, A., Zinsou Dossa, C. & Zohoun, T. (1989). *Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Bénin. Médecine traditionnelle et pharmacopée*. Paris: ACCT.
- 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* Paris: ACCT.
- 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*. Paris: ACCT.
- Agbahungba, G. & Depommier, D. (1989). Aspects du parc à Karités-Nérés (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.f. *Parkia biglobosa* Jacq. Benth. dans le sud du Borgou (Bénin). *Bois et Forêts des Tropiques*: 222-224.
- Alexiades, M. N. (1996). *Selected guidelines for Ethnobotanical Research. A field manual*.: The New York Botanical Garden.
- Anani, K., Hudson, J. B., De Souza, C., Akpagana, K., Tower, G. H. N., Amason, J. T. & Gbeassor, M. (2000). Investigation of medicinal plants of Togo for antiviral and antimicrobial activities. *Pharm. Biol* 38(1): 40-45.
- Andrianaivo-Rafehivola, A. A., Siess, M. H. & Gaydou, E. M. (1995). Modifications of hepatic drug metabolizing enzyme activities in rats fed baobab seed oil containing cyclopropenoid fatty acids. *Food and Chemical Toxicology* 33(5): 377-382.
- Anon (1993). Le baobab *Adansonia digitata* L (Bombacacées). *Le Flamboyant* 27: 12-13.
- Arbonnier, M. (2000). *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. Montpellier, France: Cirad., MNHN., UICN.
- Armstrong, P. (1977a). Baobabs – Remnant of Gonwanaland? *New Scientist* 73: 212-213.
- Armstrong, P. (1977b). The baob tree. *Australia Pl.* 9: 226-229.
- Armstrong, P. (1983). The disjunct distribution of the genus *Adansonia*. *National Geographical Journal of India* 29: 142-163.
- Arnold, T. H., Well, M. J. & Wehmeyer, A. S. (1995). Koisan food plants: taxa with potential for economic exploitation. In *Plants for arid lands, allen and unwin.*, 69-86. (Eds J. R. Wickens, Goodin and D. V. Field).

- Assogbadjo, A. E. (2000). Etude de la Biodiversité des Ressources Forestières Alimentaires et Evaluation de leur contribution à l'Alimentation des Populations Locales de la Forêt Classée de la Lama. Thèse d'Ingénieur Agronome. Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey-Calavi, Calavi, Benin. 121 p.
- Assogbadjo, A. E., Kyndt, T., Sinsin, B., Gheysen, G. & Van Damme, P. (2006). Patterns of genetic and morphometric diversity in baobab (*Adansonia digitata* L.) populations across different climatic zones of Benin (West Africa). *Annals of botany* 97: 819-830.
- Assogbadjo, A. E., Sinsin, B., Codjia, J. T. C. & Van Damme, P. (2005a). Ecological diversity and pulp, seed and kernel production of the baobab (*Adansonia digitata*) in Benin. *Belgium Journal of Botany* 138(1): 47-56.
- Assogbadjo, A. E., Sinsin, B. & Van Damme, P. (2005b). Caractères morphologiques et production des capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. *Fruits* 60(5): 327-340.
- Astle, W. L., Webster, R. & Lawrence, C. J. (1969). Land classification for management planning in the Luangwa Valley of Zambia. *Journal of Applied Ecology* 6: 92-96.
- Atangana, A. R. (2000). Caractérisation Biophysique des fruits de *Irvingia gabonensis* A. Lecomte (Irvingiaceae) de forêt dense humide de basse altitude du Cameroun. 44 Yaoundé, Cameroun: Université de Yaoundé I.
- Atangana, A. R., Tchoundjeu, Z., Fondoun, J.-M., Asaah, E., Ndoumbe, M. & Leakey, R. R. B. (2001). Domestication of *Irvingia gabonensis*: 1. Phenotypic variation in fruits and kernels in two populations from Cameroon. *Agroforestry Systems* 53: 55-64.
- Atangana, A. R., Ukafor, V., Anegbeh, P., Asaah, E., Tchoundjeu, Z., Fondoun, J.-M., Ndoumbe, M. & Leakey, R. R. B. (2003). Domestication of *Irvingia gabonensis*: 2. The selection of multiple traits for potential cultivars from Cameroon and Nigeria. *Agroforestry Systems* 55: 221-229.
- Aubreville, A. (1950). *Flore forestière soudano-guinéenne*
Cameroun: AOF AEF.
- Aubreville, A. (1975). Geophyletic studies on the Bombacaceae. *Adansonia* 15(2): 57-64.
- Baize, D. 2000. *Guide des analyses en pédologie*. 2^{ème} édition revue et augmentée. INRA, Paris. 257p
- Baker, H. G. & Baker, I. (1968). Chromosome numbers in the Bombacaceae. *Botanical Gazette* 129: 294-296.
- Bariteau M. (1992). Régénération naturelle de la forêt tropicale humide de Guyane : étude de la répartition spatiale de *Qualea rose* Aublet, *Eperna falcata* Aublet et *Symphonia globulifera* Linnaeus f., *Ann. Sci. For.* 49: 359–392.
- Barminas, J. T., Carles, M. & Emmanuel, D. (1998). Mineral composition of non-conventional leafy vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition* 53(1): 29-36.
- Bationo B. A., Ouedraogo S. J. & Guinko S. (2001). Longévité des graines et contraintes à la survie des plantules d'*Azvelia africana* Sm. dans une savane boisée du Burkina Faso. *Ann. For. Sci.* 58: 69–75.
- Baum, D. A. (1995a). The comparative pollination and floral biology of baobabs (*Adansonia*–*Bombacaceae*). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 82: 322-348.
- Baum, D. A. (1995b). A systematic revision of *Adansonia*, *Bombacaceae*. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 82: 440-470.
- Baum, D. A. (1996). The ecology and conservation of the baobabs in Madagascar. *Primate Report* 46: 311-327.
- Baum, D. A. & Oginuma, K. (1994). A review of chromosome numbers in *Bombacaceae* with new counts for *Adansonia*. *Taxon* 43(1): 11-20.
- Baum, D. A., R.I., S. & Wendel, J. F. (1998). Biogeography and floral evolution of baobabs (*Adansonia* *Bombacaceae*) as inferred from multiple data sets. *Systematic Biology* 47: 181-207.
- Baumer, M. (1995). *Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique Occidentale*. Dakar: Environment and National Development in Africa (ENDA)-Tiers Monde.

- Becker, B. (1983). The contribution of wild plants to human nutrition in the Ferlo (Northern Senegal). *Agroforestry Systems* 1: 257-267.
- Bellefontaine, R. & Gaméné, C. S. (1998). Prétraitements de graines: quand et comment? In *Vers une approche régionale des ressources génétiques forestières en Afrique sub-saharienne, 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*, 155-161 (Ed CNSF). Ouagadougou, Burkina Faso: IPGRI, Rome, Italy.
- Bergeret, A. & Ribot, J. C. (1990). *L'arbre nourricier en pays sahélien*. Paris, France: La Maison des Sciences de l'Homme.
- Bhaskaram, P. (2002). Micronutrient malnutrition, infection, and immunity: an overview. *Nutrition Reviews* 60(2): 40-45.
- Boshier, D. & Boyle, T. (eds) *Forest Conservation Genetics: Principles and Practice*. CSRO Publishing, CABI Publishing, pp 185-196.
- Bouvet, J.-M., Fontaine, C., Sanou, H. & Cardi, C. (2004). An analysis of the pattern of genetic variation in *Vitellaria paradoxa* using RAPD markers. *Agroforestry Systems* 60: 61-69.
- Bowman, D. M. J. S. (1997). Observations on the demography of the Australian boab (*Adansonia gibbosa*) in the north-west of the Northern Territory, Australia. *Australian Journal of Botany* 45(5): 893-890.
- Brondani, R. P. V., Gaiotto, F. A., Missiaglia, A. A., Kirst, M., Gribel, R. & Grattapaglia, D (2003). Microsatellite markers for *Ceiba pentandra* (Bombacaceae), an endangered tree species of the Amazon forest. *Molecular ecology notes* 3: 177-179.
- Brown, A. H. D. & Briggs, J. D. (1991). Sampling strategies for genetic variation in ex situ collections of endangered plant species. In: Falk DA & Holsinger KE (eds) *Genetics and Conservation of Rare Plants*. New York, Oxford University Press, pp 99-119.
- Brown, A. H. D. & Hardner CM (2000). Sampling the gene pools of forest trees for ex situ conservation. In: Young A, Boshier D & Boyle T (eds) *Forest Conservation Genetics: Principles and Practice*. CSRO Publishing, CABI Publishing, pp 185-196.
- Burkill, H. M. (1985). *The Useful Plants of West Tropical Africa*. Royal Botanic Gardens, Kew, UK.
- Bussell, J. D. (1999). The distribution of random amplified polymorphic DNA (RAPD) diversity amongst populations of *Isotoma petraea* (Lobeliaceae). *Molecular Ecology* 8: 775-789.
- Chabot, S. B., Margolis, H. A. & Weber, J. C. (2004). Variation in coppice-shoot growth among provenances of *Calycophyllum spruceanum* Benth. in the Peruvian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management* 198: 249-260.
- Chevalier, A. (1906). Les Baobabs (*Adansonia*) de l'Afrique continentale. *Bull. Soc. Bot. France* 53: 480-496.
- Chuine, I., Belmonte, J. & Mignot, A. (2000). A modelling analysis of the genetic variation of phenology between tree populations. *Journal of Ecology*: 561-570.
- Codjia, J. T. C., Assogbadjo, A. E. & Ekué, M. R. M. (2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources forestières alimentaires végétales du Bénin. *Cahiers Agricultures* 12: 321- 331.
- Codjia, J. T. C., Fonton-Kiki, B., Assogbadjo, A. E. & Ekué, M. R. M. (2001). *Le baobab (Adansonia digitata), une espèce à usage multiple au Bénin*. Cotonou, Bénin: Coco Multimédia.
- Coe, M. J. & Isaac, F. M. (1965). Pollination of the baobab, *Adansonia digitata* L by the lesser bush-baby, *Galago crassicaudatus*. *East African Wildlife Journal* 3: 123-124.
- Cook, J. A., VanderJagt, D. J., Pastuszyn, A., Mounkaila, G., Glew, R. S., Millson, M. & Glew, R. H. (2000). Nutrient and Chemical Composition of 13 Wild Plant Foods of Niger. *Journal of Food Composition and Analysis* 13: 83-92.
- Crocker, W. & Barton, L. V. (1953). *Physiology of Seeds*. USA: Waltham, MA.
- Cunningham, A. B. (1997). Revue de documentation ethnobotanique relative à l'Afrique orientale et australe. *Bulletin du réseau africain d'ethnobotanique*: 23-87.

- Danthu, P., Roussel, J., Gaye, A. & El Mazzoudi, E. H. (1995). Baobab (*Adansonia digitata* L.) seed pretreatments for germination improvement. *Seed Science and Technology* 23: 469-475.
- Danthu, P. S., P (2000). Propagation par greffage de trois espèces forestières fruitières des zones tropicales sèches: *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca* et *Tamarindus indica*. *Le Flamboyant* 53: 22-24.
- Dardenne, M. (2002). Zinc and immune function. *European Journal of Clinical Nutrition* 56(3): 20-23.
- De Foresta, H. & Michon, G. (1994). Agroforestry in Sumatra: where ecology meets economy. *Agroforestry Today* 6(4): 12-13.
- DeCaluwe, E. (2005). Etnobotanie, morfologische ariabiliteit en natuurlijke regeneratie van *Adansonia digitata* in Atacora (Benin). 189: University of Ghent, Belgium.
- Delisle, H., Bakari, S., Gevry, G., Picard, C. & Ferland, G. (1997). Provitamin A content of traditional green leaves from Niger. Original Title: Teneur en provitamine A de feuilles vertes traditionnelles du Niger. *Cahiers Agricultures* 6(8): 553-560.
- Dhillon, S. S. & Amundsen, C. (2000). Bioprospecting and the maintenance of biodiversity. In *Responding to Bioprospecting, from Biodiversity in the South to Medicines in the North*, 103-131 (Eds H. Svarstad and S. S. Dhillon). Spartacus Press, Oslo, Norway
- Diallo, O. B. (2001). Biologie de reproduction et évaluation de la diversité génétique chez une légumineuse *Tamarindus indica* L. (Ceasalpinioideae). 119 Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc.
- Diallo, B. O., Sanou, J., Some Dao, M., Cao, T. V. & Salwu, A. (2000). Rapport d'activités final. Projet FAC N°94/CD/78/BKA Volet 1: « Amélioration génétique des ligneux soudano-sahéliens » INERA/CNRST, CIRADForêt, Mission de Coopération et d'Action Culturelle / Coopération Française. 199p.
- Diop, A. G., Sakho, M., Dornier, M., Cisse, M. & Reynes, M. (2005). Le baobab africain (*Adansonia digitata* L.): principales caractéristiques et utilisations. *Fruits* 61(1): 55-69.
- Dosba, F. & Saunier, R. (1998). La caractérisation variétale fruitière en France. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 1-236.
- Dovie, B. D. K., Shackleton, C. M. & Witkowski, E. T. F. (2001). Involving local people: Reviewing participatory approaches for inventorying the resource base, harvesting and utilization of non-wood forest products. In *Harvesting of Non-Woods Products*, 175-187 (Ed FAO/ECE/ILO). Ministry of Forestry, Turkey.
- Dweck, A. C. (1997). Ethnobotanical use of plants. Part 2, Africa. *Comsmetics and Toiletries* 112: 4.
- Empilli, S., Castagna, R. & Brandolini, A. (2000). Morpho-agronomic variability of the diploid wheat *Triticum monococcum* L. *Plant Genetic Resources Newsletter*. 36-40.
- Esenowo, G. J. (1991). Studies on germination of *Adansonia digitata* seeds. *Journal of Agricultural Science* 117(1): 81-84.
- Excoffier, L., Smouse, P. E. & Quattro, J. M. (1992). Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131: 479-491.
- Eyog Matig, O., Gaoué, O. G. & Dossou, B. (2002). Réseau « Espèces Ligneuses Alimentaires ». Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 11-13 décembre 2000 au CNSF Ouagadougou, Burkina Faso 241: Institut International des Ressources Phytogénétiques.
- Falk (1991). Joining biological and economic models for conserving plant genetic diversity. In: Falk DA & Holsinger KE (eds) *Genetics and Conservation of Rare Plants*. New York, Oxford University Press, pp 209-223.
- FAO (1981). *An eco-climatic classification of Inter-Tropical Africa Plant production and protection paper 31*. Rome, Italy: FAO.
- FAO (1984). *Guide des aliments de base dans le monde*. Rome, Italy: FAO.

- FAO (1988). *Traditional Food Plants. FAO Food and Nutrition Paper 42*. Rome, Italy: FAO.
- FAO (1998). *La Gestion de l'Information sur les Sols et les Eaux pour la Sécurité Alimentaire au Bénin. Rapport technique*. Rome, Italy: FAO.
- FAO (1999). *State of the world's forests*. Rome, Italy: FAO.
- FAO (2003). *Glossaire sur les ressources génétiques forestières*. Rome, Italie: Doc FAO, Rome.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39: 783-791.
- Fleuret, A. (1980). Non food uses of plants in Usambara. *Economic Botany* 34: 320-333.
- François, M. (1993). *Transformer les fruits tropicaux: guide technique*. Paris, France: GRET.
- Fuchs, E. J., J.A., L. & Quesada, M. (2003). Effects of forest fragmentation and flowering phenology on the reproductive success and mating patterns of the tropical dry forest tree, *Pachira quinata* (Bombacaceae). *Conservation Biology* 17: 149-157.
- Fussel, J. (1992). Adoption of agroclimatograms for assisting species selection in the tropics. *Agroforestry Systems* 17(2): 87-96.
- Gebauer, J., El_Siddig, K. & Ebert, G. (2002). Baobab (*Adansonia digitata* L): a Review on a Multipurpose Tree with Promising Future in the Sudan. *Gartenbauwissenschaft* 67(4): 155-160.
- Gelfand, M., Mavi, S., Drummond, R. B. & Ndemera, B. (1985). *The traditional medical practitioner in Zimbabwe*. Mambo Press.
- Gijsbers, H. J. M., Kessler, J. J. & Knevel, M. K. (1994). Dynamics and natural regeneration of woody species in farmed parklands in the Sahel region (Province of Passore, Burkina Faso). *Forest Ecol. Manag* 64: 1-12.
- Glew, R. H., D.J., V., C., L., Grivetti, L. E., Smith, G. C., A., P. & Mark, M. (1997). Amino Acid, Fatty Acid, and Mineral Composition of 24 Indigenous Plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis* 10: 205-217.
- Glew, R. S., VanderJagt, D. J., Bosse, R., Huang, Y.-S., Chuang, L.-T. & Glew, R. H. (2005). The nutrient content of three edible plants of the Republic of Niger. *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 15-57.
- Gower, J. C. (1966). Some distance properties of latent root and vector methods used multivariate analysis. *Biometrika* 53: 325-338.
- Grand, A. L. E. & Wondergem, P. (1985). *Medicinal plants of the tree-savanna. Part 1. An inventory of phytotherapy among the Diola in southern Senegal*. Amsterdam; Netherlands.
- Gruenwald & Galizia (2005). *Market brief in the European Union for selected natural ingredients derived from native species: baobab (Adansonia digitata L.)*. UNCTAD/DITC/TED.
- Gruenwald, J. & Mueller, C. (2004). The European Market. *Nutraceuticals World* 3.
- Guedje N.M., Lejoly J., Nkongmeneck B.A. & Jonkers W.B.J. (2003). Population dynamics of *Garcinia lucida* (Clusiaceae) in Cameroonian Atlantic forests. *Forest Ecol Manag.* 177: 231-241.
- Guedje N.M. (2002). *La gestion des populations d'arbres comme outil pour une exploitation durable des Produits Forestiers Non-Ligneux: l'exemple de Garcinia lucida (Sud-Cameroun)*. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 211 pages
- Guinko, S. & Pasgo, L. J. (1992). Harvesting and marketing of edible products from local woody species in Zitenga, Burkina Faso. *Unasyiva* 43: 16-19.
- Haddad, C. (2000). *Fruitiers sauvages du Sénégal*. Montpellier, France: Univ. Montpellier I.
- Hall, J. B., Aebischer, D. P., Tomlinson, H. F., Osei-Amaning & Hindle, J. R. (1996). *Vitellaria paradoxa: a Monograph School of Agricultural Sciences Publication Number 8*. University of Wales, Bangor.
- Hall, P. & Bawa, K. (1993). Methods to access the impact of extraction of non-timber forest tropical products on plant populations. *Econ. Bot.* 47(3): 234-247.
- Hall, P., Chase, M. R. & K.S., B. (1994). Low genetic variation but high population differentiation in a common tropical forest tree species. *Conservation Biology* 8: 471-482.

- Hamrick, J. I. & M.J.W., G. (1989). Allozyme diversity in plant species. In *Plant Populations Genetics, Breeding, and Genetic Resources*, 43-63 (Eds A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler and B. S. Weir).
- Harris, B. J. & Baker, H. G. (1959). Pollination of flowers by bats in Ghana. *Nigerian Field* 24: 151-159.
- Harrison, M. N. & Jackson, J. K. (1958). Ecological classification of the vegetation of the Sudan. In *Forests Bulletin, no. 2* Khartoum, Sudan: Sudan Ministry of Agriculture.
- Hecht, S. & Schwartzman, S. (1988). The good and the ugly: extraction colonist agriculture and livestock in comparative economic perspective. Los Angeles, Calif: Graduate school of Architecture and Urban Planning, UCLA.
- Hedberg, I. & Staugard, F. (1989). *Traditional medicinal plants. Traditional medicine in Botswana*. Ipeleng Publishers.
- Humbert, H. (1955). *Flore de Madagascar et des Comores. Plantes vasculaires*. Paris, France: Mus. Natl. Hist. Nat.
- Humphries, C. J. (1982). Bombacaceae. In *Flowering Plants of the World*, 93-94 (Ed V. H). USA: New Jersey: Prentice Hall.
- Hwang, C. S., Rhie, G. E., Oh, J. H., Huh, W. K., Yim, H. S. & Kang, S. O. (2002). Copper- and zinc-containing superoxide dismutase (Cu/ZnSOD) is required for the protection of *Candida albicans* against oxidative stresses and the expression of its full virulence. *Microbiology* 148(11): 3705-3713.
- Ibiyemi, S. A., Abiodun, A. & Akanji, S. A. (1988). *Adansonia digitata*, *Bombax* and *Parkia filicoideae* Welw: fruit pulp for the soft drink industry. *Food Chemistry* 28(2): 111-116
- Igboeli, L. C., Addy, E. O. H. & Salami, L. I. (1997). Effects of some processing techniques on the antinutrient contents of baobab seeds (*Adansonia digitata*). *Bioresource Technology* 59(1): 29-31.
- INSAE-RGPH (2002). Recensement général de la population et de l'habitat. Résultats provisoires. Cotonou-Bénin.
- IPGRI (1999). Vers une approche régionale des ressources génétiques forestières en Afrique subsaharienne. In *Premier atelier régional de formation sur la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques forestières en Afrique de l'Ouest, Afrique Centrale et de Madagascar*, 299 Burkina-Faso.
- Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bulletin De La Societe Vaudoise De Sciences Naturelles* 44: 223-270.
- Jaeger, P. (1945). Épanouissement et pollinisation de la fleur du Baobab. *Comptes Rendus De L'academie Des Sciences De Paris* 220: 369-371.
- Jaeger, P. (1954). Les aspects actuels du problème de la chéirotérogamie. *Bulletin Institut France Afrique Noire* 16: 796-821.
- Jenczewsk, I. E., Prospero, J. M. & Ronfort, J. (1999). Differentiation between natural and cultivated populations of *Medicago sativa* (Leguminosae) from Spain: analysis with random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers and comparison to allozymes. *Molecular Ecology* 8: 1317-1330.
- Jenik, J. & Hall, J. B. (1976). Plant communities of the Accra Plain Ghana. *Folia Geobotanica* 11: 163-212.
- Jimenez, J. F., Sanchez-Gomez, P., Gümemes, J., Werner, O. & El Rosello, J. A. (2002). Genetic variability in a marrow endemic snapdragon (*Antirrhium subaeticum*, Scrophulariaceae) using RAPD markers. *Heredity* 89: 387-393.
- Kelly, B. A., Hardy, O. J. & Bouvet, J.-M. (2004). Temporal and spatial genetic structure in *Vitellaria paradoxa* (shea tree) in an agroforestry system in southern Mali. *Molecular Ecology* 13: 1231-1240.

- Kenne Fopa, O. (1994). Contribution à l'étude de l'activité antidiarrhéique de la pulpe de fruit de *Adansonia digitata* L. (Bombacaceae). Dakar, Sénégal: Univ. Cheikh Anta Diop, Fac. Méd. Pharm
- Kerharo, J. & Adam, J. G. (1974). *La pharmacopée sénégalaise traditionnelle – Plantes médicinales et toxiques*. Paris, France: Vigot Frères.
- Kouyaté, A. M. (2005). Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de *Detarium microcarpum* guill. & perr. au Mali. Thèse de doctorat (PhD). 207: University of Ghent, Belgium.
- Kouyaté, A. M. & Van Damme, P. (2002). Caractères morphologiques de *Detarium microcarpum* Guill. Et Perr. au sud du Mali. *Fruits* 57: 231-238.
- Krauss, S. (2000). Accurate gene diversity estimates from amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Molecular Ecology* 9: 1241-1245.
- Krüger, A. M., Hellwig, F. H. & Oberprieler, C. (2002). Genetic diversity in natural and anthropogenic inland populations of salt-tolerant plants: random amplified polymorphic DNA analyses of *Aster tripolium* L. (Compositae) and *Salicornia ramosissima* Woods. (Chenopodiaceae). *Molecular Ecology* 11: 1647-1655.
- Kwesiga, F. & Mwanza, S. (1994). Underexploited wild genetic resources: the case of indigenous fruit trees in eastern Zambia. In *Domestication of tropical trees for timber and non-timber products* (Eds R. R. B. Leakey and A. C. Newton). Paris, France: MAB Digets 17, UNESCO.
- Kyndt, T., Romeijn-Peeters, E., Van Droogenbroeck, B., Romero-Motochi, J. P., Gheysen, G. & Goetghebeur, P. (2005). Species relationships in the genus *Vasconcellea* (Caricaceae) based on molecular and morphological evidence. *American Journal of Botany* 92: 1033-1044.
- Leakey, R. (2005). Domestication potential of *Marula* (*Sclerocarya birrea*). Africa and Namibia: 3. Multiple trait selection. *Agroforestry Systems* 64: 51-59.
- Leakey, R., Pate, K. & Lombard, C. (2005a). Domestication potential of *Marula* (*Sclerocarya birrea* subsp *caffra*) in South Africa and Namibia: 2. Phenotypic variation in nut and kernel traits. *Agroforestry Systems* 64.: 37-49.
- Leakey, R., Shackleton, S. & du Plessis, P. (2005b). Domestication potential of *Marula* (*Sclerocarya birrea* subsp *caffra*) in South Africa and Namibia: 1. phenotypic variation in fruit traits. *Agroforestry Systems* 64: 25-35.
- Leakey, R. R. B. (2001a). Win:Win landuse strategies for Africa: 1. Building on experience with agroforests in Asia and Latin America. *Int. Forest. Rev.* 3: 1-10.
- Leakey, R. R. B. (2001b). Win:Win landuse strategies for Africa: 2. Capturing economic and environmental benefits with multistrata agroforests. *Int. Forest. Rev* 3: 11-18.
- Leakey, R. R. B., Fondoun, J.-M., Atangana, A. & Tchoundjeu, Z. (2000). Quantitative descriptors of variation in the fruits and seeds of *Irvingia gabonensis*. *Agroforestry Systems* 50: 47-58.
- Leakey, R. R. B., Schreckenberg, K. & Tchoundjeu, Z. (2003). The potential relevance in Latin America of the West African experience with participatory domestication of indigenous fruits. *Int. Forest. Rev* 5: 338-347.
- Leakey, R. R. B., Tchoundjeu, Z., Smith, R. I., Munro, R. C., Fondoun, J.-M., Kengue, J., Anegbeh, P. O., Atangana, A. R., Waruhiu, A. N., Asaah, E., Usoro, C. & Ukafor, V. (2004). Evidence that subsistence farmers have domesticated indigenous fruits (*Dacryodes edulis* and *Irvingia gabonensis*) in Cameroon and Nigeria. *Agroforestry Systems* 60: 101-111.
- Ledig, F. T. (1992). Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos* 63: 87-108.
- Ledig, F. T., Capo-Arteaga, A. M., Hodgskiss, P. D. & al. (2001). Genetic diversity and the mating system of a rare mexican pinon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus Maximartinezii* (Pinaceae). *American Journal of Botany* 88(11): 1977-1987.
- Lington, S. H. & Pritchard, H. W. (2001). Gene banks. *Encyclopedia of Biodiversity* 3: 165-181.

- Lobo, J. A., Quesada, M. & Stoner, K. E. (2005). Effects of pollination by bats on the mating system of *Ceiba pentandra* (Bombacaceae) populations in two tropical life zones in Costa Rica. *American Journal of Botany* 92(2): 370-376.
- Loh, J. P., Kiew, R., Set, O., Gan, L. H. & Gan, Y.-Y. (2000). Amplified fragment Length Polymorphism Fingerprinting of 16 Banana Cultivars (*Musa cvs*). *Molecular Phylogenetics And Evolution* 17(3): 360-366.
- Lovett, P. N. & Haq, N. (2000). Evidence for anthropic selection of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agroforestry Systems* 48: 273-278.
- Lowe, A., Harris, S. & Ashton, P. (2004). *Ecological genetics: design, analysis and application*. Blackwell Publishing. .
- Lynch, M. & Milligan, B. G. (1994). Analysis of population genetic structure with RAPD markers. *Molecular Ecology* 3: 91-99.
- Mackill, D. J., Zhang, Z., Redona, E. D. & Colowit, P. M. (1996). Level of polymorphism and genetic mapping of AFLP markers in rice. *Genome* 39: 969-977.
- Madge, C. (1995). Ethnography and agroforestry research: a case study from the Gambia. *Agroforestry Systems* 32: 127-146.
- Mahapatra, A. & Mitchell, P. C. (1997). Sustainable development of non-timber forest products: implications for forest management in India. *Forest Ecology and Management* 94: 15-29.
- Maithani, G. P., Bahuguna, V. K. & Pyare, L. (1991). Seed germination behaviour of *Dsemodium tiliaefolium* G. Don: an important shrub species of Himalayas. *Indian Forester* 117: 593-595.
- Maki, M. & Horie, S. (1999). Random Amplified Polymorphism DNA (RAPD) markers reveal less genetic variation in the endangered plant *Cerastium fischerianum* var *molle* than in the widespread conspecific *C fischerianum* var *fischerianum* (Caryophyllaceae). *Molecular Ecology* 8: 145-150.
- Maley, J. (1991). The African rain forest vegetation and palaeoenvironments during late Quaternary. *Climatic Change* 19: 79-98.
- Maley, J. (1996). Les fluctuations majeures de la forêt dense humide africaine au cours des vingt derniers millénaires. In *L'alimentation en forêt tropicale: Interaction bioculturelle et applications au développement*, 55-76 (Ed C. M. Hladik). Paris, France: UNESCO.
- Maley, J. (1997). Middle to late Holocene changes in tropical Africa and other continents. Paleomonsoon and sea surface temperature variations. In *Third millenium BC climate change and Old World collapse*, 611-640 (Eds H. N. Dalfes, G. Kukla and H. Weiss). Berlin, Germany: Global Environmental Change, Springer-Verlag.
- Maley, J. (1999). L'expansion du palmier à huile (*Elaeis guineensis*) au cours des trois derniers millénaires: nouvelles données et interprétations. In *L'homme et la forêt tropicale*, 237-254 (Eds S. Bahuchet and al.). Marseille, France: Travaux Société d'Ecologie Humaine.
- Maley, J. & Brenac, P. (1998). Vegetation dynamics, palaeoenvironments and climatic changes in the forests of West Cameroon during the last 28,000 years. *Rev. Palaeobotany et Palynology* 99: 157-188.
- Malgras, D. (1992). *Arbres et arbustes guérisseurs des savanes maliennes*. Paris, France: ACCT-Karthala.
- Mantel, N. A. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Resources* 27: 209-220.
- Maranz, S. & Wiesman, Z. (2003). Evidence for indigenous selection and distribution of the shea tree, *Vitellaria paradoxa*, and its potential significance to prevailing parkland savanna tree patterns in sub-Saharan Africa north of the equator. *Journal of Biogeography* 30: 1505-1516.
- Marshall, D. R. & Brown, A. H. D. (1975). Optimum sampling strategies in genetic conservation. In: Frankel OH & Hawkes JG (eds) *Crop genetic resources for today and tomorrow*. Cambridge University Press, pp 53-80.

- MEHU (2002). Stratégie Nationale et Plan d'Action pour la Conservation de la Diversité Biologique au Bénin. 144 Cotonou, Bénin: MEHU.
- Mercier (1968). *Tradition, changement, histoire. Les « Somba » du Dahomey Septentrional*. Paris, France.
- Miège, J. (1974). Étude du genre *Adansonia* L II Caryologie et Blastogenèse. *Candollea* 29: 457-475.
- Miège, J. (1975). Contribution à l'étude de genre *Adansonia* L. III. Intérêt taxonomique de l'examen électrophorétique des protéines des graines. *Boissiera* 24: 345-352.
- Miège, J. & Burdet, H. (1968). Étude du genre *Adansonia* L I Caryologie. *Candollea* 23: 59-66.
- Morawetz, W. (1986). Remark on karyological differentiation patterns in tropical woody plants. *Plant Systematics and Evolution* 152: 49-100.
- Mostacedo, B. & Fredericksen, T. S. (1999). Regeneration status of important tropical forest tree species in Bolivia: assessment and recommendations. *Forest Ecology and Management* 124: 263-273.
- Moussa, H., Margolis, H. A., Dube, P.-A. & Odongo, J. (1998). Factors affecting the germination of doum palm (*Hyphaene thebaica* Mart.) seeds from the semi-arid zone of Niger, West Africa. *For. Ecol. Manage* 104: 27-41.
- Müller-Schärer, H. & Fischer, M. (2001). Genetic structure of the annual weed *Scenario vulgaris* in relation to habitat type and population size. *Molecular Ecology* 10: 17-28.
- Natta A. K. (2003). Ecological assessment of riparian forests in Benin: Phytodiversity, phytosociology, and spatial distribution of tree species. PhD thesis. WUR-The Netherlands. 226 p
- Ndiaye, M., Keita, F. & Martin, P. (2003). Principaux fruits de cueillette consommés et commercialisés en Guinée. *Fruits* 58 (2): 99-116.
- Ndoye, O., Ruiz-Perez, M. & Eyebe, A. (1999). Non-wood forest products markets and potential degradation of forest resources. In *Non-wood forest products of Central Africa: Current research issues and prospects for conservation and development* (Eds T. C. H. Sunderland and al.). Rome, Italy: FAO.
- Nebauer, S. G., del Castillo-Agudo, L. & Segura, J. (1999). RAPD variation within and among natural populations of outcrossing willow-leaved foxglove (*Digitalis obscura* L). *Theoretical And Applied Genetics* 98: 985-994.
- Nei, M. (1973). Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 70: 3321-3323.
- Ngulube, M. R. & Kananji, B. (1989). *Seed problems of edible indigenous fruit in Malawi*. Zomba: Forestry Research Institute of Malawi.
- Nordeide, M. B., Hatloy, A., Folling, M., Lied, E. & Oshaug, A. (1996). Nutrient composition and nutritional importance of green leaves and wild food resources in an agricultural district, Koutiala, in Southern Mali. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 47(6): 455-468
- Nybom, H. & Bartish, I. V. (2000). Effect of life history traits and sampling strategies on genetic diversity estimates obtained with RAPD markers in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 3: 93-114.
- Obizoba, I. C. & Amaechi, N. A. (1993). The effect of processing methods on the chemical composition of baobab (*Adansonia digitata* L.) pulp and seed. *Ecology of Food and Nutrition* 29(3): 199-205.
- Olivier, B. (1868). *Flora of Tropical Africa*. London, UK.
- Ouedraogo, L. G. (2000). Rapport du Burkina-Faso In *Réseau Espèces Ligneuses Alimentaires: Compte rendu de la première réunion du Réseau tenue 11-13 décembre 2000 au CNSF Ouagadougou, Burkina Faso*, 19-35. (Eds O. Eyog Matig, O. G. Gaoué and B. Dossou). IPGRI, Rome, Italie
- Ouédraogo, A. S. (1986). Essai comparatif de provenances d'*Acacia albida* à Gonsé, Burkina Faso. *Semences Forêts-Développement*, No 00, 27-32.

- Ouinsavi, C., Sokpon, N. & Bada, O. (2005). Utilization and traditional strategies of in situ conservation of iroko (*Milicia excelsa* Welw. C.C. Berg) in Benin. *Forest Ecology and Management* 207: 341-350.
- Owen, J. (1974). A contribution to the ecology of the African baobab (*Adansonia digitata*). *Savanna* 3: 1-12.
- Palgrave, K. C. (1977). *Trees of Southern Africa*. Cape Town, South Africa.
- Palmberg, C. (1985). Sampling in seed collection. In: Forest tree improvement. FAO Forestry Paper No. 20: 41-45. FAO Rome.
- Paul, S., Wachira, F. N., Powell, W. & Waugh, R. (1997). Diversity and genetic differentiation among populations of Indian and Kenyan tea (*Camellia sinensis* (L) O Kuntze) revealed by AFLP markers. *Theoretical And Applied Genetics* 94: 255-263.
- Pele, J. & Berre, S. (1967). Les aliments d'origine végétale au Cameroun. *Cameroun Agricole Pastorale et Forestier* 108: 16-33.
- Peters, C. (1990). Valuation of an Amazonian rainforest. *Nature* 339: 655-656.
- Pijl L., V. D. (1936). Fledermöuse und Blumen. *Flora* 131: 1-40.
- Powell, W., Morgante, M., Andre, C., Hanafey, M., Vogel, J., Tingey, S. & Rafalski, A. (1996). The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Molecular Breeding* 2: 225-238.
- Prins, H. & Maghembe, J. A. (1994). Germination studies on seed of fruit trees indigenous to Malawi. *For. Ecol. Manage.* 64: 111-125.
- Pritchard, J. K., Stephens, M. & Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.
- Ræbild, A., Graudal, L. & Ouédraogo, L. G. (2003). Evaluation of a species and provenances trial of *Acacia nilotica*, *A.seyal* and *A. tortilis* at Gonsé, Burkina Faso. Trial no. 10 in the arid zone series. Results and Documentation No.9. CNSF, Danida Forest Seed Centre, FAO, 72p.
- Rajagopal, J., Bashyam, L., Bhatia, S. & al. (2000). Evaluation of genetic diversity in the Himalayan poplar using RAPD markers. *Silvae Genetica* 49(2): 49-66.
- Ramadan, A., Harraz, F. M. & El Mougny, S. A. (1994). Anti-inflammatory, analgesic and antipyretic effects of the fruit pulp of *Adansonia digitata*. *Fitoterapia* 65(5): 418-422.
- Razanameharizaka, J., Grouzis, M., Ravelomanana, D. & Danthu, P. (2006). Seed storage behaviour and seed germination in African and Malagasy baobabs (*Adansonia* species). *Seed Science Research* 16: 83-88.
- Reisch, C., Anke, A. & Röhl, M. (2005). Molecular variation within and between ten populations of *Primula farisona* (Primulaceae) along an altitudinal gradient in the northern Alps. *Basic and Applied Ecology* 6: 35-45.
- 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.
- Richardson, T. E., Hrinkevich, A., Kao, T. & Stephenson, A. G. (1990). Preliminary studies into age dependent breakdown of self-incompatibility in *Campanula rapunculoides*: seed set, pollen tube growth, and molecular data. *Plant Cell Incompatibility Newsletter* 22: 41-47.
- Riley, H. P. (1960). Chromosomes of some plants from the Kruger national park. *Journal of South African Botany* 26: 37-44.
- Robyns, A. (1963). Bombacaceae. In *Flore du Congo, du Rwanda et du Burundi*, Vol. 10, 191-204 Belgium.
- Rodin, R. J. (1985). *The ethnobotany of the kwanyama ovambos*. Missouri Botanical Garden.
- Rohlf, F. J. (2000). NTSYS-pc Numerical taxonomy and multivariate analysis system. New York, USA: Exeter Software, Setauket.
- Rosevear, D. R. (1937). Forest conditions in the Gambia. *Empire Forestry Journal* 16: 217-226.

- Saitou, N. & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4: 406-425.
- Santoni, S., Faivre-Rampant, P., Prado, E. & Prat, D. (2000). Molecular markers for genetic resource analysis and plant breeding. *Cahiers Agricultures* 9(4): 311-327.
- Schierenbeck, K. A., Skupski, M., Lieberman, D. & Lieberman, M. (1997). Population structure and genetic diversity in four tropical tree species in Costa Rica. *Molecular Ecology* 6(2): 137-144.
- Schneider, S., Roessli, D. & Excoffier, L. (2000). Arlequin: A software for population genetic data. Switzerland.: Genetics and Biometry Laboratory, University of Geneva.
- Sena, L. P., Vanderjagt, D. J., Rivera, C., Tsin, A. T. C., Muhamadu, I., Mahamadou, O., Millson, M., Pastuszyn, A. & Glew, R. H. (1998). Analysis of nutritional components of eight famine foods of the Republic of Niger. *Plant Foods for Human Nutrition* 52(1): 17-30.
- Sene, E. H. (1985). Arbres, production alimentaire et lutte contre la désertification. *Unasylva*: 19-26.
- Sidibe, M., Scheuring, J. F., Tembely, D., Sidibe, M. M., Hofman, P. & Frigg, M. (1996). Baobab - homegrown vitamin C for Africa. *Agroforestry Today* 8(2): 13-15
- Sidibé, M. & Williams, J. T. (2002). *Baobab Adansonia digitata*. Southampton, UK: International Centre for Underutilised Crops.
- Silva-Montellano, A. & Eguiarte, L. E. (2003). Geographic patterns in the reproductive ecology of *Agave lechuguilla* (Agavaceae) in the chihuahuan desert. II. Genetic variation, differentiation, and inbreeding estimates. *American Journal of Botany* 90(5): 700-706.
- Simpson, M. (1995). *The ecology of the baobab (Adansonia digitata L.)*. A literature Review. Bangor, U.K.: Dissertation, School of Agriculture and Forest Sciences, University of Wales.
- Sina, S. (2006). Reproduction et diversité génétique chez *Parkia biglobosa* (Jacq.) G Don. Thèse de doctorat. University of Wageningen, The Netherlands. 101 P.
- Sinsin, B., Eyog, M. O., Assogbadjo, A. E., Gaoué, O. G. & Sinadouwirou, T. (2004). Dendrometric characteristics as indicators of pressure of *Azelia Africa* Sm. dynamics changes in trees found in different climate zones of Benin. *Biodiversity and Conservation* 13(8): 1555-1570.
- Sinsin, B. & Owolabi, L. (2001). Rapport sur la monographie de la Diversité Biologique du Bénin. Cotonou, Bénin: Ministère de l'Environnement et de l'Urbanisme (MEHU).
- Sokal, R. R. & Michener, C. D. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *University Of Kansas Science Bulletin* 38: 1409-1438.
- 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* 59: 109-119.
- Soo, O. H. G., Kang, S. S. & Chung, M. G. (1996). Temporal genetic structure in *Camellia japonica* (Theaceae). *Genes and Genetic System* 71: 9-13.
- Sosef, M. S. (1994). Refuge Begonias; taxonomy, phylogeny and historical biogeography of *Begonia* sect. *Loasibegonia* and sect. *Scutobegonia* in relation to glacial rain forest refuges in Africa. In *Wageningen Agric. Univ. Papers 94-1*, 306 Wageningen, The Netherlands.
- Sounigo, O., Bekele, F., Bidaisee, G., Christopher, Y. & Unaharan, R. (1997). Comparison between genetic diversity data obtained from morphological, biochemical and molecular studies. 20-29 Trinidad: Cocoa Research Unit.
- Start, A. N. (1972). Pollination of the Baobab (*Adansonia digitata*) by the fruit bat (*Rousethus aegyptiacus*). *East African Wildlife Journal* 10: 71-72.
- Tchoundjeu, Z., Duguma, B., Foudoun, J.-M. & Kengue, J. (1998). Strategy for the domestication of indigenous fruit trees of West Africa: case of *Irvingia gabonensis* in southern Cameroon. *Cameroon Journal of Biology and Biochemical Sciences* 4: 21-28.
- Teketay, D. (1996). Germination ecology of twelve indigenous and eight exotic multipurpose leguminous species from Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 80: 209-223.

- Teklehaimanot, Z. (2004). Improved management of agroforestry parkland systems in Sub-Saharan Africa. Final Project Report. Contract number ERBIC18CT98-0261.
- Thompson, H. N. (1910). Gold Coast: Report on Forests. London, UK.: Miscellaneous Colonial Reports.
- Todaria, N. P. & Negi, A. K. (1992). Pretreatment of some Indian Cassia seeds to improve their germination. *Seed Sci. Technol.* 20: 583-588.
- Ukafor, V. (2001). Variability studies in fruit and tree characteristics of *Dacryodes edulis* in southeastern Nigeria. MSc thesis. Port Harcourt, Nigeria: Rivers State University of Science and Technology.
- Van de Peer, Y. & De Wachter, R. (1994). TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Computer Applications In The Biosciences* 10: 569-570.
- 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. 33-99.: Université de Gent, Belgique.
- Van Droogenbroeck, B., Breyne, P., Goetghebeur, P., Romeijn-Peeters, E., Kyndt, T. & Gheysen, G. (2002). AFLP analysis of genetic relationships among papaya and its wild relatives (Caricaceae) from Ecuador. *Theoretical And Applied Genetics* 105: 289-297.
- Vandebroek, I., Van Damme, P., Van Puyvelde, L., Arrazola, S. & De Kimpe, N. (2004). A comparison of traditional healers' medicinal plant knowledge in the Bolivian Andes and Amazon. *Social Science & Medicine*: 837-849.
- VanderJagt, D. J., Freiberger, C. E., Vu, H.-T. N., Moukaila, G., Glew, R. S. & Glew, R. H. (2000). The trypsin inhibitor content of 61 wild edible plant foods of Niger. *Plant Foods for Human Nutrition* 55: 335-346.
- Vekemans, X. (2002). AFLP-surf version 10. Laboratoire de Génétique et Ecologie Végétale, Université Libre de Bruxelles, Belgium.
- Villiers, J.-F. (1975). Bombacaceae. In *Flore du Cameroun*, Vol. 19, 71-98 Paris, France.
- Vogler, D. W., C., D. & A.G., S. (1998). Phenotypic plasticity in the expression of self-incompatibility in *Campanula rapunculoides*. *Heredity* 81: 546-555.
- Von Breitenbach, F. (1985). Aantekeninge oor die groeitempo van aangeplante kremetartbome (*Adansonia digitata*) en opmerkinge ten opsigte van lewenstyd, groeifases en genetiese variasie van die spesie. *Journal of Dendrology* 5: 1-21.
- Von Carlowitz, P. G. (1991). *Multipurpose Trees and Shrubs*. Nairobi, Kenya: ICRAF.
- Von Maydell, H.-J. (1986). *Tree and Shrubs of the Sahel: Their Characteristics and Uses*. Eschborn, Germany: GTZ.
- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., Van De Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M. & Zabeau, M. (1995). AFLP a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Resources* 23: 319-332.
- Watt, J. M. & Breyer-Brandwijk, M. G. (Eds) (1962). *The medicinal and poisonous plants of southern and eastern Africa*.
- White, F. (1983). *The vegetation of Africa*. Paris, France: UNESCO Natural Resources.
- Wickens, G. E. (1982). The baobab –Africa's upside-down tree. *Kew Bulletin* 37: 173-209.
- Wild, H. (1961). Bombacaceae. In *Flora Zambesiaca*, 511-517 London, UK.
- Williamson, J. (1975). *Useful Plants of Malawi*. Limbe: University of Malawi.
- Wilson, R. T. (1988). Vital statistics of the baobab, *Adansonia digitata*. *African Journal of Ecology* 26(3): 197-206.
- Worsfold, W. B. (1899). *Portuguese Nyasaland*. London, UK: Sampson Low, Marston and Co.
- Wright, S. (1943). Isolation by distance. *Genetics* 28: 114-138.
- Wright, S. (1946). Isolation by distance under diverse systems of mating. *Genetics* 31: 39-59.
- Wright, S. (1951). The genetic structure of populations. *Annals of Eugenics* 15: 354.

- Yazzie, D., VanderJagt, D. J., Pastuszyn, A., Okolo, A. & Glew, R. H. (1994). The amino acid and mineral content of baobab (*Adansonia digitata* L.) leaves. *Journal of Food Composition and Analysis* 7(3): 189-193.
- Zahar, M. & Smith, D. E. (1990). Vitamin A quantification in fluid dairy products: rapid method for vitamin A extraction for high performance liquid chromatography. *Journal of Dairy Science*. 73(12): 3402-3407
- Zawko, G., Krauss, S. L., Dixon, K. W. & Sivasithamparam, K. (2001). Conservation genetics of the rare and endangered *Leucopogon obtectus* (Ericaceae). *Molecular Ecology* 10: 2389-2396.
- Zhang, D. (2002). Marqueurs moléculaires. Outils de choix pour le génotypage des plantes. In *Les apports de la biologie moléculaire en arboriculture fruitière*, 3 Bordeaux, France: 12e colloque sur les recherches fruitières.
- Zhivotovsky, L. A. (1999). Estimating population structure in diploids with multilocus dominant markers. *Molecular Ecology* 8: 907-913.

CURRICULUM VITAE

CURRICULUM VITAE

IDENTITY

Full name: ASSOGBADJO Achille Ephrem
Nationality: Beninese
Date and place of birth: 03 / 05 / 1974 at Savalou, Benin
Sex: Male
Profession: Agronomical Engineer and Forester, PhD
 Researcher at the Laboratory of Applied Ecology / Faculty of Agronomic Science (Benin)

STATUTE: Married with 1 child

PERMANENT ADDRESS

05 BP 1752, Cotonou, Republic of Benin
Tel: + 229 05 59 75
Fax: + 229 30 30 84
E-mail : assogbadjo@yahoo.fr

EDUCATION

- 2002-2006: PhD Research, Faculty of Bioscience Engineering, University of Ghent, Belgium.
- 1998-2000: Agronomical Engineer and Forester degree (Management of environment and natural resources). Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey-Calavi (FSA/UAC), Republic of Benin.
- 1994-1998: Agronomist degree, Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey-Calavi (FSA/UAC), Republic of Benin.
- 1987 – 1993: Secondary and High School, Republic of Benin

LANGUAGE PROFICIENCY

French:	Very good (reading, understanding and writing)
English:	Good (reading, understanding and writing)
Netherlands:	Passive knowledge (Basic)
Fon:	Mother tongue

INFORMATIQUE

- Master of WORD, EXCEL, POWER POINT; SAS, POPGENE, NTSYS-pc, SPSS, MINITAB and DISTANCE software.
- Master of Internet

RESEARCH INTEREST

- Ethnobotany and plant domestication in traditional agroforestry systems
- Management and conservation of forest food resources;
- Research in the field of applied ecology;
- Management of protected Areas (national parks, hunting zones, community areas);
- Biodiversity monograph (Forest edible resources);
- Assessment and monitoring of rural development projects.
- Wildlife census;
- Bio Monitoring of wildlife.

RESEARCH GRANTS

- 2006: Vavilov-Frankel Fellowship (IPGRI / Hi-Bred Int.)
- 2005: Rothamstead International Grants / African Fellows Programme (RI/AFP)
- 2004: African Forest Research Network (AFORNET) Grants
- 2004: International Foundation for Sciences (IFS) Grants
- 2004: World Agroforestry Centre / African Network for Agroforestry Education Grants
- 2000: World Agroforestry Centre / African Network for Agroforestry Education Grants

RESEARCH EXPERIENCE

- Molecular characterization of *Adansonia digitata* (AFLP & SSR markers) for its sustainable management in the traditional parklands agroforestry systems of Benin, West-Africa.
- Ecological and genetic characterization of two fodder tree species in Benin: *Khaya senegalensis* (Desv) A. Juss et *Azelia africana* Sm.
- Research on morphological characters and production of baobab's (*Adansonia digitata* L.) capsules across the bioclimatic zones of Benin.
- Research on ethnobotanical knowledge of rural populations and valorisation of baobab tree (*Adansonia digitata*) in Benin.
- Research on ecological diversity and pulp, seed and kernel production of the baobab (*Adansonia digitata*) in Benin.
- Research on Germination and seedlings survival of baobab tree.
- Research on forest vegetable edible resources, which have an agroforestry, and economical potentiality in the north of Benin (*Adansonia digitata*, *Parkia africana*, *Vitellaria paradoxa*, *Blighia sapida*, *Vitex doniana*, *Irvingia gabonensis*, etc.).
- Research on production and socio-economical importance of *Parkia africana* in the north of Benin.
- Research on forest edible resources' biodiversity and density in the Lama forest reserve (south of Benin).
- Fieldwork on the contribution of forest edible resources as local population food security in south of Benin.
- Study of wildlife (primates and endangered species) in the swamp forest of Lokoli (south of Benin).
- Research on biodiversity of edible mushroom and ethno mycological knowledge of local people of "Bassila", "Wari-Maró" and "Monts-Kouffé" forest reserves in the center of Benin.
- Research on different uses of baobab tree (*Adansonia digitata*) in Benin with partial analysis of its organs' chemical component.
- Fieldwork on diversity and cultural role of rodent in Benin.

CURRENT / FUTURE RESEARCH

- Ethnobotany, ecology and genetic diversity assessment of the multipurpose baobab tree (*Adansonia digitata*) for its sustainable utilisation and management in Benin parklands agroforestry system.
- Integrated study of medicinal plants in the swamp forest of Benin (*Nauclea xanthoxylon*, *Alstonia congensis*, etc.);
- Research on and capitalization of indigenous knowledge of local populations on forest edible resources in Benin;
- Modeling of ungulates populations dynamic in Pendjari's Biosphere Reserve (Benin) based on census using Line Transect methods;
- Research on endangered and threatened primates in Benin: *Colobus vellerosus*, *Procolobus verus* and *Cercopithecus erythrogaster erythrogaster* ;
- Research on traditional agroforestry system in Benin.

SUPERVISION & CO- SUPERVISION OF BSc. & MSc. STUDENTS

○ 2005-2006

1- Name of the student: Gbaguidi Alice (Beninese)

Theme: Effet de la scarification sur la germination des graines de baobab (*Adansonia digitata* L.) de différentes régions de provenance et évaluation des stress de déficit hydrique et d'émondage sur le développement des plantules

Diploma: Bachelor of Science, Collège Polytechnique Universitaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

2- Name of the student: Sebastiaan De Smedt (Belgian)

Theme : Morfologie, standplaats, etnobotanie en beheer van de Baobab (*Adansonia digitata*) in Karimama, Noord-Benin

Diploma: MSc in Applied Biological Sciences, Faculty of Bioscience Engineering, University of Ghent, Belgium

3- Name of the student: Elias REBAI (Belgian)

Theme: Importance socioculturelle et économique des produits de baobab (*Adansonia digitata* L.) dans le Nord-Bénin : Cas des régions de Karimama et de Malanville

Diploma: Master of Applied Bio-engineering, Agrigulture; Département des Sciences Biotechnologiques, de la Gestion du Paysage et de l'Agronomie, Hogeschool Gent, Belgium.

4- Name of student: Edward Vandevivere (Belgian)

Theme: The baobab-tree (*Adansonia digitata* L.) in the traditional agroforestry system in Nord-Benin: Local perception and morphologic characterisation.

Diploma: Master of Applied Bio-engineering: Horticulture; Département des Sciences Biotechnologiques, de la Gestion du Paysage et de l'Agronomie, Hogeschool Gent, Belgium.

○ 2004-2005

1- Name of student: Emmy DeCaluwe (Belgian)

Theme: Etnobotanie, morfologische ariabiliteit en natuurlijke regeneratie van *Adansonia digitata* in atacora (benin)

Diploma: MSc in Applied Biological Sciences, Faculty of Bioscience Engineering, University of Ghent, Belgium

2- Name of student: Pauline De Groot (Belgian)

Theme: Kieming en groeiparameters van baobab (*Adansonia digitata*) in Benin

Diploma: MSc in Applied Biological Sciences, Faculty of Bioscience Engineering, University of Ghent, Belgium

○ **2002-2003**

1- Name of student: Amadou HAYA (Nigerian)

Theme: Importances socio-économiques et culturelles du baobab dans les systèmes agroforestiers de l'Alibori : cas de la commune de Malanville au Bénin

Diploma: Bachelor of Science, Collège Polytechnique Universitaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

2- Name of student: ADAM Chabi BOUKO (Beninese)

Theme: Le néré (*parkia biglobosa*) dans le système agroforestier traditionnel dans la commune de n'dali : cas de l'arrondissement de sirarou au Bénin

Diploma: Bachelor of Science, Collège Polytechnique Universitaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

- **Scientific Articles**

- **Papers in press**

- Codjia J.T.C Assogbadjo A.E, & Ekué M.R.M. (In press). Importance socio-économique, culturelle et alimentaire du baobab (*Adansonia digitata*) chez les peuples otammari en milieu soudanien au Bénin. Sous presse dans *BASE*.

- **2006**

- Assogbadjo AE, Kyndt T, Sinsin B, Gheysen G, Van Damme P (2006). Patterns of genetic and morphometric diversity in baobab (*Adansonia digitata* L.) populations across different climatic zones of Benin (West Africa). *Annals of botany* 97: 819-830.

- **2005**

- Assogbadjo A.E., Codjia J.T.C., Sinsin B., Ekue M.R.M. & Mensah G.A. (2005). Importance of rodents as a human food source in Benin. *Belgian Journal of Zoology* 135: 11-15
- Assogbadjo A.E., Sinsin B., Codjia J.T.C. and Van Damme P. (2005). Ecological diversity and pulp, seed and kernel production of the baobab (*Adansonia digitata*) in Benin. *Belgian Journal of Botany* 138 (1): 47-56.
- Assogbadjo A.E., Sinsin B. and Van Damme P. (2005). Caractères morphologiques et production des capsules de baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. *Fruits* 60 (5): 327-340.

○ **2004**

- Sinsin B., Eyog M.O., Assogbadjo A. E., Gaoué O.G. & Sinadouwirou T. (2004). Dendrometric characteristics as indicators of pressure of *Azelia Africa* Sm. dynamics changes in trees found in different climate zones of Benin. *Biodiversity and Conservation* 13(8): 1555 – 1570.
- Codjia J.T.C & Assogbadjo A. E.(2004) Faune sauvage mammalienne et alimentation des populations hollie et fon de la forêt classée de la Lama au Sud-Bénin. *Cahiers Agricultures* 13 : 341-7.
- Ekué M.R.M., Assogbadjo A.E., Mensah G.A. & Codjia J.T.C. (2004). Aperçu sur la distribution écologique et le système agroforestier traditionnel autour de l'ackée (*Blighia sapida*) en milieu soudanien au Nord Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* 44 : 34-44

○ **2003**

- Codjia J.T.C Assogbadjo A.E, & Ekué M.R.M.(2003). Diversité et valorisation au niveau local des ressources forestières alimentaires végétales du Bénin. *Cahiers Agriculture*, 12 : 321- 31.
- Codjia J.T.C, Assogbadjo A. E. & ATEGBO E.A.D. (2003). Ressources végétales forestières de la forêt classée de la Lama et alimentation des populations riveraines. *Annale des sciences agronomiques du Bénin* (4) 2: 121-142.
- Codjia J.T.C, Assogbadjo A. E., Ekué M.M.R & Yorou N.S. (2003). Diversité des ressources forestières alimentaires du Bénin: Rôle pour les populations locales et possibilité de valorisation pour un développement humain durable. *Acte du IIè séminaire international sur l'aménagement intégré des forêts naturelles des zones tropicales sèches en Afrique de l'Ouest*. Parakou-Bénin 25-29 Juin 2001. Pp. 327-370, septembre 2003. ISSN 1659-651X ; FSA, Cotonou, Bénin.

○ **2002**

- Sinsin B. & Assogbadjo A.E. (2002). Diversité, structure et comportement des primates de la forêt marécageuse de Lokoli au Bénin. *Biogeographica* 78(4) : 129-140
- Sinsin B., Eyog-Matig O., Assogbadjo A. E. et T. Sinadouwirou Th. A. (2002). Caractérisation écologique des essences fourragères *Khaya senegalensis* (Desv) A. Juss et *Azelia africana* Sm. suivant les gradients de latitude et de station au Bénin. In Oyog-Matig O., Gaoué O. G. and Obel-Lawson E (ed) 2002. Development of appropriate conservation strategies for African forest trees identified as priority species by SAFORGEN members countries. International Plant Genetic Resources Institute, Nairobi, Kenya. Pp 15-50.

○ **2000**

- Assogbadjo A. E. (2000). Etude de la Biodiversité des Ressources Forestières Alimentaires et Evaluation de leur contribution à l'Alimentation des Populations Locales de la Forêt Classée de la Lama . Thèse d'ingénieur Agronome. FSA / UAC. 121p + annexes.

- **Scientific communications / Proceedings**

- **2006**

- Assogbadjo A. E, Sinsin B. & Van Damme P. (2006). Abiotic factors influencing ecological diversity and productivity of baobab tree (*Adansonia digitata*) in Benin: consequence for its restoration in the traditional agroforestry systems of Benin. Communication presented during the 5th European Conference on Ecological Restoration. Greifswald, Germany. 21.-25 August 2006.

- **2003**

- Assogbadjo A.E., Ekue M.R.M. Mensah G.A, Codjia J.T.C. & Sinsin B. (2003). Cultural role of rodents in West Africa. *Poster presented during the 9th International Symposium on African Small Mammals*; Pest Management Center / Sokoine University of Agriculture / MOROGORO, Tanzania : 14 – 18 July 2003.
 - Assogbadjo A.E. & Sinsin B (2003). Group size of endangered primates species as indicator of extinction risk and determinant for their protection. *Proceeding of the Regional Workshop on West African's Protected Areas Management*. LEA-FSA-UAC : Parakou, Bénin 2003
 - Assogbadjo A.E., Codjia J.T.C & Ékué M.R.M (2003). Espèces ligneuses forestières comestibles: diversité et importance pour les populations du Nord-Bénin. *Communication présentée durant l'Atelier Scientifique Nord 2003 ; INRAB-MAEP, Bénin.*

- **2002**

- Assogbadjo A .E. & Sinsin B. (2002). Diversité des primates de la forêt marécageuse de Lokoli et élaboration de stratégies pour leur conservation durable. *Proceeding of the international workshop on Mammalogy, ReRE-VZZ, Benin, 30 october – 18 november, 2002.* pp : 132-142
 - Assogbadjo A. E., Kassa B., Sinsin B. et G. A. Mensah (2002). Notions sur les méthodes de dénombrement de la faune sauvage mammalienne: quelques expériences du Laboratoire d'Ecologie Appliquée au Bénin. *Proceedings of the international workshop on Mammalogy, ReRE-VZZ, Benin, 30 october – 18 november 2002.* pp. 201-206.

- **2001**

- Assogbadjo A. E. & Codjia J.T.C (2001). Ressources forestières alimentaires de la Forêt Classée de la Lama : Observations Préliminaires. *Communication présentée lors du séminaire international sur le singe à ventre rouge (février,2001).*

- **Technical reports**

- **2002**

- Sinsin B., Assogbadjo A.E., Van den Akker M. et Van den Akker E. (2002). Inventaire et stratégie de conservation durable des ressources fauniques de la forêt marécageuse de Lokoli au sud du Bénin. LEA-UAC / AGRED ONG. Rapport technique, 32p.
 - Sinsin B., Ahokpè E., Assogbadjo A.E., Ekue M., Yorou S., Kassa B., Mama A., Houéssou L., Dainou K., Hunyet O., Teka O. & Toko I. (2002). Dénombrement terrestre de la faune dans la

Réserve de Biosphère de la Pendjari. Projet Pendjari-GTZ/CENAGREF/MAEP. Rapport technique. 73p.

- Sinsin B., Kassa B., Assogbadjo A.E., Ahokpè E., Sogbohossou E., Toko I., Ekué M., Soulémane Y. N., Nobimè G. et M. Adi (2002). Dénombrement pédestre de la faune sauvage mammalienne dans la forêt classée de Toui-Kilibo. PGFTR / MAEP. Rapport technique. 24p.

- **2001**

- Sinsin B., Tehou A., Assogbadjo A. E., Sogbohossou E., Mama A., Gbangboche A., Yorou S., Ekue M., Teka O., Sinandouwirou T., Toko I. Et Yayi A. (2001). Dénombrement terrestre de la faune dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari. Projet Pendjari-GTZ/CENAGREF/MDR. Rapport technique. 40p. + Annexes.
- Codjia J.T.C, Yorou N. S, Assogbadjo A.E. et M.R.M. Ekué (2001). Etude ethnomycologique des forêts de la sous-préfecture de Bassila. Mise en place d'une filière des champignons comestibles. CECODI-ONG / PRRF-Bassila. Rapport technique. 33p.
- Sinsin B. et Assogbadjo A.E. (2001). Dénombrement des hippopotames (*Hippotamus amphibius*) dans la Réserve de Biosphère de la Pendjari. Projet Pendjari - Gtz / MDR. Rapport technique.
- Sinsin B. et Assogbadjo A.E. (2001). Dénombrement aérien de la faune sauvage mammalienne dans la Réserve de la Biosphère de la Pendjari. Projet Pendjari-Gtz . Rapport technique 13p. + annexes.

- **Manual and books**

- **Paper in press**

- Codjia J.T.C, Assogbadjo A.E., Ekué M.R.M. et Yorou N. S. (in press). Capitalization of the indigenous knowledge of edible fruits and leafy vegetables in Benin.

- **2000**

- Codjia J.T.C., Fonton-Kiki B., Assogbadjo A. E., et M.R.M Ekué (2000). Le baobab (*Adansonia digitata*), une espèce à usage multiple au Bénin. CECODI /CBDD/ Veco/ SNV/ FSA. 47p. ISBN 99919-953-0-7
- Assogbadjo A. E et M.R.M. Ekué (2000). Répertoire actualisé des travaux réalisés sur les rongeurs et leurs prédateurs au Bénin. 55 p.
- Author of 6 chapters (Pp.85 ; pp.87 ; pp.100 ; pp.122 ; pp.151 ; pp.153) in DE VISSER J., G.A. Mensah, J.T.C. Codjia et A.H. Bokonon-Ganta (2000). Guide préliminaire de reconnaissance des rongeurs du Bénin (2001). 252p. Ed. Cocomultimedia ISBN: 99919-902-1-6

TRAINING

- **2005**

- Training on the method of microhistological faecal analysis of assessing botanical diet composition of wild herbivores. **Arnhem / Wageningen, The Netherlands**. 3-14 january 2005

- Training on molecular genetic methods and techniques – Amplified Fragment Length Polymorphism Fingerprinting (AFLP); microsatellite) at the Laboratory of Applied Molecular Genetic, **UGent (Belgium)** November 2004 - June 2005.
 - **2004**
- Training on ethnobotanical and plant domestication research techniques and methodology – literature review on *Adansonia* spp. and related species' ethnobotany and domestication, at the Laboratory of Tropical and Subtropical Agriculture and Ethnobotany, **UGent (Belgium)**, october 2003 – March 2004.
 - **2002**
- Training on conservation and utilization of plant and forest genetic resources in agriculture and forestry. Zschortau / **Germany**, 18 July – 21 august 2002.
- Training on post harvest and marketing of agricultural products. Shefayim / Tel-Aviv ; **Israel**, 27 november – 18 december 2002.
 - **1999**
- Training on different techniques of wildlife census in the protected areas and wildlife reserves. **Benin**, june 1999.
- Training on different management methods and techniques of pastoral and water resources. **Benin**, april 1999.
 - **1998**
- Training on different forest inventory methods and techniques (phytosociological surveys, dendrometric measures of tree) in the forest reserve. Benin, december, 1998.
 - **1995**
- Training on different methods of survey and intervention with local population in rural and urban areas; **Benin**, mars 1995.

MEETINGS / WORKSHOPS / CONFERENCES / SYMPOSIUM

- **2006**
 - Participation at the 5th European Conference on Ecological Restoration. **Greifswald, Germany**. 21.-25 August 2006
 - Participation at the Africa Symposium '*Does the export of agricultural products bring more development to Africa?*' organized by Oxfam Wereldwinkels. **Brussels, Belgium**. 29th april 2006.
- **2005**
 - Participation at the Global Partnership for Plant Conservation (GPPC) hosted by National Botanic Gardens, **Dublin, Ireland**, 22 - 25 October 2005.

- Participation at the International Congress of Ethnobotany (ICEB 2005). Yaditepe University, **Istanbul, Turkey**. 20 – 26 august 2005
- **2004**
- Participation at the African Regional Expert Course in Plant Conservation Strategies; Makerere University in **Kampala / Uganda**. 8 - 23 of november 2004.
- Participation at the CORAF Conference for West and Central Africa on Plant Genetic Resources and Food Security. IITA, Ibadan, **Nigeria**, 26-30 april 2004.
- Participation at the 'African Global Mammal Assessment' (GMA) and International Union for Nature Conservation (IUCN) Workshop hosted by Zoological Society of London (ZSL) and taking place in **London, United Kingdom** : 25 – 31 january 2004.
- **2003**
- Ministerial conference on African Forest Law Enforcement and Governance (AFLEG) taking place at Yaoundé (**Cameroon**), 13-16 october 2003.
- Participation at the 9th international African symposium on small mammal hosted by Pest Management Center / Sokoine University of Agriculture in **MOROGORO, Tanzania** : 14 – 18 july 2003.
- Participation at the regional meeting on management of west African's protected areas hosted by the Laboratory of Applied Ecology at the Faculty of agronomical Sciences of University of Abomey-Calavi (Benin) taking place in Parakou, **Benin** from 14 – 19 avril 2003.
- Participation at the civil society meeting's on African Forest Law Enforcement and Governance (AFLEG) hosted by UICN/BRAO and taking place in Ouagadougou, **Burkina-Faso** from 6 to 7 March 2003.
- **2002**
- Participation at the international workshop on mammalogy organized conjointly by « Réseau Rongeur et Environnement » (Beninese NGO) and The Netherlands Group for Mammal conservation (The Netherlands' NGO). Abomey-Calavi – **Benin** : 30 october - 19 november 2002.
- **2001**
- Participation at the international conference on integrated management of natural dry forests in the African's tropical zones. Parakou, **Benin** : 25-29 June 2001.
- Participation at the meeting on the strategies for sustainable management of protected areas, Possotomè, Benin, 15-17 may 2001.
- **2000**
- Participation at the workshop on Benin's national program of biodiversity management and conservation, Cotonou, Benin, 22-24 December 2000.

- **1999**
- Participation at the 41st international seminary of agricultural students' association taking place in **Togo** and **Benin** in 1999.
- **1996**
- Participation at the 10th meeting of west African's agricultural students; Kumasi, **Ghana**, March 1996.

AFFILIATION / MEMBERSHIP

- Laboratory of Applied Ecology at the Faculty of Agronomical Sciences of University of Abomey-Calavi; 01BP526 Cotonou (Bénin) ; Tel./Fax: (229) 303084 ; E-mail : bsinsin@syfed.bj.refer.org;
- Laboratory of Tropical and Subtropical Agriculture and Ethnobotany at the Faculty of Applied Biological Sciences of Ghent University, Belgium. Coupure Links 653, B-9000, Gent, Belgium; Tel : +32 09 264 6080; Fax: +32 09 264 6241; E-mail: Patrick.VanDamme@UGent.be;
- Laboratory of Non Timber Forest Products' management at the Faculty of Agronomical Sciences of University of Abomey-Calavi; 01 BP 526 Cotonou (Bénin) ; Tel./Fax: (229) 3030 84 ; E-mail : labopfnl@avu.org;
- Laboratory of Applied Molecular Genetic at the Faculty of Agriculture and Applied Biological Sciences, University of Gent; Coupure Links 653, B-9000, Gent, Belgium; Tel: +32 (0)9/264.58.88; Fax: +32 (0); 9/264.62.19 ; E-mail:Godelieve.Gheysen@UGent.be
- Society for Ecological Restoration International. 285 West 18th Street, # 1 Tucson AZ 85701 USA. Tel. +15206225485; fax: +15206225491. Email: jana@ser.org
- African Forest Research Network (AFORNET) / African Academy of Sciences (AAS), P.O Box 24916, Nairobi, Kenya
- Global Facilitation Unit for Underutilized Species, Via dei Tre Denari 472/A, 00057 Maccarese, Rome, Italy, Tel: ++39 06 6118 292, Fax: ++39 06 6197 9661, E-mail: underutilized-species@cgiar.org; <http://www.underutilized-species.org/>
- International Association for Ecology (INTECOL), http://www.intecol.net/about/sub_01.html
- International Foundation for Sciences (IFS), Grev Turegatan 19 SE- 11438 Stockholm Sweden. www.ifs.se ; e-mail: info@ifs.se
- Rothamsted International / African Fellows Programme. Rothamsted International Harpenden, Hertfordshire, AL5 2JQ, UK; Tel: +44 (0) 1582 763133; Fax:+44 (0) 1582 467490; Email: rothamsted.international@bbsrc.ac.uk
- IUCN Species Survival Commission (SSC) specialist group on crop wild relative
- Global Development Network, Second Floor, West Wing, ISID Complex, Vasant Vihar, Institutional Area New Delhi 110 070, INDIA, Tel: (91) 11-2091-0017, Fax: (91) 11-5170-4248
- African Expert Group on Plant Conservation Strategies, Makerere University, Kampala, Uganda, E-mail: stella.simiyu@biodiv.org.
- Biodiversity and Biotechnology Network. InWEnt, Zschortau, Germany; E-mail: bioresearch.schubert@t-online.de
- Zoological Society of London (ZSL) / IUCN-Global Mammal Assessment; Regents Park London NW1 4RY. www.zsl.org
- World Commission on Protected Area (WCPA), Rue Mauverney 28, CH-1196 Gland, Switzerland. Tel.: ++41(22)999-0160; Fax: ++41(22)999-0015; Email: delwyn.dupuis@iucn.org