

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE VEGETALE



PHENOTYPAGE DES ANACARDIERS (*Anacardium occidentale L*)
DE LA SELECTION MASSALE DANS LA REGION DE
FATICK (SENEGAL)

Mémoire de fin d'études présenté et soutenu publiquement le 09 Janvier 2018 à

9h au Département de Biologie Végétale pour l'obtention du diplôme de

Master en Agroforesterie, Ecologie et Adaptation

par

M^{lle} Mariétou SANKHARE

Devant le jury composé de:

Président : M. Daouda NGOM

Maître de Conférences (UASZ)

Membres : Mme Adja Madjiguène DIALLO

Chargée de Recherches (CNRF/ISRA)

M. Aliou NDIAYE

Maître-Assistant (UCAD)

M. Sékouna DIATTA

Maître-Assistant (UCAD)

M. Soulèye BADIANE

Chargé de Recherches (CNRF/ISRA)

.....
Encadrement : Dr. Adja Madjiguène DIALLO

Chargé de Recherches (CNRF/ISRA)

Dr. Sékouna DIATTA

Maître-Assistant (UCAD)

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Feu Ablaye Sankharè, Feu Salimata Sankharè, Feu Moussa Diakhaté et Feu Diéynaba Diakhaté qu'ils reposent en paix.

Mes défunts grands-pères et grand-mère Silmang Sankharè, Lassana Diakhatè et Téning Sankharé une pensée pieuse sur vous.

Ma grand-mère et homonyme Mariètou Diawara que Dieu vous accorde longue vie.

Mes chers parents : Mes Pères Soulye Sankharè et Adama Traoré ; Mes Mères Coumba Diakhatè et Aminata Sankharè. En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les Efforts consentis pour mon éducation ainsi que ma formation.

A mes très chers frères et sœurs pour leur affection, leur compréhension et leur patience.

A mes nièces : Fanta, Lala, Ndièmè, Kani, Khadija, Astou, Kinè, Fatou.

A mes neveux : Ousmane, Maodo, Moussa, Serigne, Coly, Arfang,

A mes jumeaux Awa et Adama, Sidy Lamine, Daouda, Abèdine, Maman Gora, Mame boye, Rokhya, Gorgui, Issa, Omar.

A la grande famille « SANKHARE »

A tous mes amis !!!!

A Tous ceux qui, de près ou de loin ont eu à participer à la réalisation de ce mémoire.

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons à rendre tout d'abord grâce au Bon Dieu, le Clément, le Miséricordieux de nous avoir donné la santé, le courage et la patience de réaliser ce travail.

Nous voulons par les lignes qui suivent exprimer nos remerciements et traduire notre reconnaissance à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre nous ont soutenus, dirigé, conseillé et accompagné tout au long de ces années de formations.

*Nous adressons nos remerciements à **Maître Diaminatou SANOGO**, Directrice du Centre National des Recherches Forestières (CNRF), pour avoir accepté de nous accueillir dans la structure qu'elle dirige. Qu'elle trouve dans ce document notre profonde reconnaissance, à travers sa personne nous visons aussi tout le personnel du centre pour leur accueil et leur soutien.*

*Nos remerciements vont à l'endroit de Monsieur **Soulèye BADIANE**, chargé de recherches au CNRF et coordonnateur du **projet CORAF/ANACARDE**, pour avoir porté son choix sur ma personne; la confiance, les conseils apportés et le temps que vous avez consacré pour la réalisation de ce mémoire.*

*Nous sommes redevables au **Dr Adja Madjiguène DIALLO DIOP** à qui nous réservons un remerciement spécial, pour son encadrement, sa générosité, son soutien, ses conseils, sa disponibilité malgré ses nombreuses charges ainsi que son aide scientifique, qui nous ont été d'une importance capitale. Nous lui devons bien plus qu'un simple merci. .*

*Un profond respect à notre regretté **Professeur Léonard Elie AKPO**, pour sa rigueur scientifique et son accompagnement durant ces années de formation. C'est l'occasion de lui rendre hommage.*

*Au **Dr Sékouna DIATTA** pour avoir facilité ce travail en coencadrant malgré ses nombreuses charges au département, pour l'intérêt qu'il a tant accordé à ce travail. Nous lui exprimons notre profonde gratitude.*

*Au **Capitaine Cheikh Oumar SAMB**, que nous remercions beaucoup, pour son sens du travail bien fait, ses qualités scientifiques, sa rigueur. Son appui technique et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail ont été très bénéfiques, Merci infiniment Capitaine.*

*Toute notre reconnaissance aux personnes qui ont apporté leur contribution à ce travail: **Dr Mamoudou Abdoul TOURE**, **Mme Alimatou Sadyane BA DIOUF**, **Dr Mamadou Ousseynou LY**, dont les remarques et suggestions nous ont permis d'améliorer ce travail.*

*Que que tous les prestigieux **membres du Jury** qui ont eu à juger les résultats du présent travail soient sincèrement remerciés pour leurs observations, commentaires et suggestions visant à améliorer le contenu des pages qui suivront. Nous sommes très reconnaissantes au **Dr Daouda NGOM** pour avoir accepté de présider ce jury. Nous vous remercions également pour les connaissances que vous nous avez inculqué en deuxième année de master sur la*

Biodiversité qui continuent de nous servir aussi bien dans la recherche que dans la vie quotidienne.

*Au **Dr Aliou NDIAYE** qui a bien voulu nous faire l'honneur de participer à ce jury. Merci d'avoir accepté d'évaluer ce travail malgré vos nombreuses charges au département.*

Nous exprimons notre reconnaissance à tous les professeurs qui ont participé à notre formation et plus particulièrement durant nos études à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD.

*Au **professeur Aliou GUISSÉ**, ainsi que tout le laboratoire d'Ecologie particulièrement **aux Docteurs : Emile AGBANGBA, Amy BAKHOUM SECK.***

*Nos remerciements vont à l'endroit du **Dr Mame Samba MBAYE**, chef du Département de Biologie Végétale, par sa personne nous visons aussi tous les enseignants du département.*

*Nous remercions chaleureusement **Dr El Hadji TRAORE**, directeur scientifique de l'ISRA ; pour sa sympathie, sa disponibilité, son attention particulière à notre égard, ses conseils ainsi que pour son aide de tous les jours, merci infiniment Directeur.*

*Nous tenons à remercier vivement le Directeur du CERAAS **Dr NDiaga CISSE**, tout le personnel du centre et particulièrement **Dr Bassirou SINE**, responsable du laboratoire d'Agronomie au CERAAS pour son accueil, ses conseils et sa disponibilité.*

*Une mention spéciale à mes chauffeurs de terrain, leur apport a été très déterminant, nous voudrions principalement nommer: **M. Gana POUYE** ainsi que **M. El Hadji DIOUF**.*

*Toute notre reconnaissance aux **producteurs et productrices d'anacardiens de la région de Fatick** qui, malgré la pénibilité de leur travail dans les plantations, nous ont offert leur hospitalité et leur confiance en répondant patiemment à nos multiples sollicitations.*

*Nous ne saurions trouver les mots adéquats pour remercier nos camarades de promotion du Département de Biologie Végétale, au master d'Agroforesterie, Ecologie, Adaptation (AFECA) : **AFECA family 2015** pour leur sympathie, soutien, conseil et encouragement. Nous vous serons toujours reconnaissantes.*

*A nos **parents**, les mots ne pourront jamais traduire notre éternelle reconnaissance pour l'éducation, l'amour, l'encadrement et tous les autres soins que vous nous avez apportés. A nos **frères et sœurs**, vous aurez toujours une place particulière dans notre cœur. A nos **oncles, tantes, cousins, cousines**, nous vous aimons beaucoup.*

Et à tous ceux qui trouveront ici leurs sources d'inspirations.

Table des matières

Dédicaces	ii
Remerciements	iii
Liste des Abréviations et Acronyme	vi
Liste des tableaux, photos et figures	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Introduction	1
CHAPITRE I.....	4
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1 Présentation de l'espèce.....	5
1.2 Aire de distribution de l'espèce	6
1.3 Importance de l'étude de la variabilité phénotypique dans les programmes de sélection et d'amélioration.....	8
CHAPITRE II.....	9
MATERIEL ET METHODES	9
2.1 Présentation de la zone d'étude	10
2.2 Sélection massale et variabilité phénotypique des individus identifiés.....	10
2.3 Caractérisation de la partie végétative.....	11
2.3.1 Caractérisation des paramètres dendrométriques.....	11
2.3.2 Caractérisation morphologique des feuilles.....	12
2.3.3 Caractérisation florale des APEs	13
2.4 Production et caractérisation des noix des APEs.....	13
2.5 Analyse statistique des données	14
CHAPITRE III	16
RESULTATS ET DISCUSSION	16
3.1. Résultats.....	17
3.2 Discussion.....	23
Conclusion et perspectives	26
Références bibliographiques	27
Annexes	x
Annexe 1 : Présentation de la structure d'accueil.....	x
Annexe 2 : Fiche de collecte des données dendrométriques	xi
Annexe 3 : Fiche de collecte des données de feuille	xii
Annexe 4 : Fiche de collecte des données de fleurs	xiii
Annexe 5 : Fiche de collecte des données de noix	xiv

Liste des Abréviations et Acronyme

ACP :	Analyse en composantes principales
ANOVA :	Analysis of variance (Analyse de la variance)
ANSD :	Agence National de la Statistique et de Démographie
APE :	Arbre Potentiel Elite
CHA :	Classification hiérarchique ascendante
CERAAS :	Centre d'Etude Régionale pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse
Cm :	Centimètre
Cm ² :	Centimètre-Carré
CNRF :	Centre National de Recherches Forestières
CORAF /WECARD :	Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricole
CV :	Coefficient de variation
°C :	Degré Celsius
g:	Gramme
h :	Heure
IBPGR :	International Board for Plant Genetic Resources
ISRA :	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
Kg :	Kilogramme
m :	Mètre
mm :	Millimètre
mm ² :	Millimètre - carré
pH :	Potentiel Hydrogène
UCAD :	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UPGMA :	Unweighted Pair Group Method of Arithmetic Averages
USAID :	United States Agency for International Development

Liste des tableaux, photos et figures

Tableau I : Nombre d'arbres potentiels élites (APE) sélectionnés dans trois communes et huit villages de la région de Fatick.....	11
Tableau II : Test de significativité des variables phénotypiques étudiées entre communes et villages.	18
Tableau III : Variation des traits quantitatifs des anacardiens de la collection.....	19
Tableau IV : Classification des groupes d'individus générés par le dendrogramme.	21
Tableau V : Caractéristiques de trois groupes obtenus à partir du dendrogramme.	21
Tableau VI : Corrélation entre variables phénotypiques	22
Photo 1. Anacardiens (Fatick/ Sénégal)	6
Photo 2. Mise en évidence des feuilles (a), fleurs (b) et fruits (c) de l'Anacardier	6
Photo 3. Mesures dendrométriques : diamètre à 1,30 m du sol (a), houppier (b) et hauteur (c)	11
Photo 4. Collecte (a), ensachage (b) et mensuration des feuilles (c) de <i>A. occidentale</i> L.	12
Photo 5. Détermination de la surface foliaire (a) et de la biomasse sèche (b et c) des feuilles de <i>A. occidentale</i> L.....	13
Photo 7. Evaluation de la production et caractéristiques des noix	14
Figure 1 : Carte de distribution mondiale de l'anacardier avec l'Amérique du Sud comme origine naturelle (Tandjiekpon, 2005).....	7
Figure 2 : Carte de répartition géographique de l'Anacardier au Sénégal (USAID, 2006)	7
Figure 3 : Carte de localisation des arbres candidats de la région de Fatick (Bakhoum, 2017)	10
Figure 4 : Dendrogramme montrant la relation entre les 45 individus d'anacardiens.....	21
Figure 5 : Analyse en composantes principales des 45 individus sélectionnés dans la région de Fatick (Sénégal).....	22

Résumé

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L., *Anacardiaceae*), représente une des espèces fruitières et forestières les plus importantes aussi bien sur le plan social, économique qu'environnemental, en Afrique Subsaharienne. Le produit principal de l'espèce est la noix de cajou qui est très appréciée dans le commerce international. Toutefois, la chaîne de valeur de la noix de cajou rencontre des difficultés liées principalement à la faible productivité et les actions menées pour la mise en place d'un programme d'amélioration de l'espèce restent toujours limitées au Sénégal. L'objectif est d'étudier la diversité phénotypique de 45 anacardiers de la collection du CNRF dans la région de Fatick. L'approche méthodologique consistait à évaluer les paramètres de croissance et à caractériser les feuilles, fleurs et noix en relation avec la production. L'analyse de variance a montré des différences significatives entre les communes et les villages pour la plupart des variables étudiées. L'analyse basée sur la méthode UPGMA a permis de séparer les 45 individus en trois groupes. Le premier, constitué d'individus à floraison précoce produit en moyenne 10,4kg, avec un grainage de 137 noix au kg. Le second groupe regroupe les individus à floraison précoce avec un diamètre supérieur de 45% et une production en noix faible de 5,32 kg par rapport au groupe I. Le troisième groupe qui est principalement caractérisé par des individus à grosses noix, une floraison tardive à 79% avec trois pics de floraison, regroupe essentiellement les individus du village de Keur Babou Diouf. Une grande variabilité a été notée dans la collection indiquant ainsi que la sélection pour les génotypes intéressants est possible. Les arbres des villages de Keur Babou Diouf et Keur Aliou Gueye présentent des caractéristiques de noix et production intéressantes pouvant être utilisées comme population d'amélioration de l'espèce.

Mots clés : *Anacardium occidentale*, amélioration, noix, production, variabilité phénotypique, Sénégal.

Abstract

Cashew nuts represent an important commodity for international trade. However, despite its importance, little information exists about the genetics of the species in Senegal and actions undertaken for the implementation of a breeding program are still limited in Senegal. This study aims to characterize phenotypic diversity of the 45 individuals of the collection in Fatick. We assessed growth parameters and characterized morphological variability of leaves, flowers, and nut in relation to nut production. Analyses of variance showed significant differences among municipality and villages for most of the studied traits. The UPGMA method grouped the 45 individuals into three groups and the ACP revealed that nut dimensions and size, nut yield and growth parameters accounted for most of the variation. Cluster I consisted of early flowering individuals is characterized by a mean production of 10.4 kg and average nut count per kilo of 137. The second group is characterized by early flowering and low yielding individuals (5.32kg) having same nut characteristics as cluster I and diameter growth 45% bigger compared to Cluster I. In contrast, cluster III which is exclusively composed of individuals from Keur Babou Diouf recorded highest nut performance and late flowering trees on which 79% had three flowering peaks. Large variability was observed in the collection indicating that selection for desirable genotypes is possible. Individuals from Keur Babou Diouf and Keur Aliou Gueye villages showed interesting nut and yield potential that could be used as effective parents for future breeding program.

Key words: *Anacardium occidentale*, improvement, nut production, phenotypic variability, Senegal.

Introduction

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L., *Anacardiaceae*), représente une des espèces fruitières et forestières les plus importantes en Afrique Subsaharienne. L'espèce est populaire du fait du commerce de la noix de cajou, qui est une denrée très demandée dans le commerce international. C'est une espèce à usages multiples. En effet, mis à part son rôle économique important pour les populations rurales, les noix et la pomme produites constituent une source d'alimentation importante. En plus, elle est utilisée comme haie de protection dans les champs mais aussi dans la pharmacopée traditionnelle. L'anacardier est également plantée pour la valorisation des sols pauvres et ou impropres à toutes autres cultures (USAID, 2006).

Le commerce de la noix de cajou représente une activité économique importante dans beaucoup de pays tropicaux (De Figueiredo et *al.*, 2001). En effet, la noix qui est le principal produit commercial de l'anacardier (Martinez et *al.*, 2011), est utilisée dans plusieurs domaines dont l'agroalimentaire, la cosmétologie, la médecine, l'industrie automobile (frein, embrayage) (Aliyu, 2007).

La production mondiale de noix de cajou était de 3 341 000 tonnes en 2015 (Rabany et *al.*, 2015). Elle est répartie principalement à parts égales entre l'Afrique de l'Ouest et l'Asie du Sud-Est (1 500 000 tonnes, chacune), soit 90 % de la production mondiale. Le Vietnam, qui est le principal pays exportateur de noix de cajou, a importé en 2016, 870 000 tonnes de noix de cajou du Cambodge et d'Afrique, pour un montant de 1,1 million de dollars (N'Kalô, 2016).

La Côte d'Ivoire représente le premier pays producteur mondial de noix brute, avec une production estimée à plus de 700 000 tonnes en 2015. Au niveau africain, elle est suivie par la Guinée Bissau (220000 tonnes), le Nigéria (155000 tonnes), la Tanzanie (145000 tonnes) et le Bénin (135000 tonnes). Le Sénégal, qui occupe la 8^{ième} place après le Ghana et le Burkina Faso, avec une production annuelle de 47 000 tonnes, ne contribue qu'à hauteur de 1,4% à la production mondiale (Rabany et *al.*, 2015). Sa part dans la production mondiale n'est pas très significative, mais le commerce de la noix constitue une activité génératrice de revenu pour plus de 351 337 personnes vivant non seulement dans le monde rural mais aussi en milieu urbain (USAID, 2006).

Malgré son importance sur le plan social, environnemental et économique, la chaîne de valeur de la noix de cajou rencontre des difficultés liées principalement à la faible productivité des plantations au Sénégal qui pourrait être tributaire à la non maîtrise des techniques de culture et de gestion, l'utilisation de matériel végétal de source inconnue et la présence de maladies (Shomari, 2002).

Face à ces contraintes, le Centre National de Recherches Forestières avait initié en 1996 un programme d'amélioration de la productivité basé sur la sélection d'arbres « plus » en termes de production et qualité de la noix dans les régions de Fatick et de Kolda. Ce programme de sélection a permis de mettre en place un verger clonal à Kolda afin de comparer les performances des différents clones des arbres « plus ». Malgré toutes ces actions, la production reste toujours faible et peu d'informations existent sur la génétique de l'espèce ainsi que les performances des clones des arbres « plus » déjà identifiés. En effet, les principales études entreprises sur l'espèce portaient essentiellement sur la description des morphotypes et la comparaison de leur capacité germinative (Malou, 2014 ; Niang, 2016, etc.).

Pour une amélioration durable de la production en noix de cajou, il apparaît important d'identifier et de sélectionner les génotypes supérieurs à partir du pool génétique existant en vue de leur utilisation dans les futurs programmes d'amélioration génétique. Pour mettre en place un tel programme, la connaissance du déterminisme génétique des traits d'intérêt s'avère primordiale. En effet, le CNRF, dans le cadre du projet « Renforcement de capacité des acteurs de la chaîne de valeur anacarde en Afrique de l'Ouest » financée par le CORAF, a initié en 2016, un programme de sélection massale consistant à identifier suivant une approche participative les génotypes supérieurs en termes de production et taille des noix dans les quatre principales zones de production (Fatick, Kolda, Ziguinchor, Sédhiou). Au total, 700 individus « supposés performants » ont été identifiés et leur production de noix suivie pendant deux (2) années. Les objectifs de cette sélection massale étaient d'une part de sélectionner les meilleurs phénotypes parmi les 700, et d'autre part d'entreprendre la caractérisation génétique et d'évaluer les paramètres génétiques de la production et de caractéristiques des noix afin d'élucider la part des gènes dans la variation des caractères d'intérêt.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette présente étude dont l'objectif est d'évaluer la variabilité phénotypique des 45 individus de la collection de la région de Fatick en prélude à la caractérisation génétique. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- i)* étudier les caractéristiques dendrométriques et de la production de noix des individus identifiés, et
- ii)* étudier la variabilité phénotypique des feuilles, fleurs et noix en relation avec la production de noix.

Cette étude repose principalement sur deux hypothèses :

- i)* les individus de la sélection massale diffèrent de par leur caractéristiques dendrométriques, foliaires, florales et morpho-pondérales de la noix, et
- ii)* il existe une corrélation entre les caractéristiques morphologiques et la performance en termes de production et de taille de la noix des individus sélectionnés.

Dans cette étude, nous présenterons tout d'abord un résumé bibliographique sur l'état des connaissances sur *A. occidentale L.* et l'importance d'étudier la variabilité phénotypique pour la mise en place d'un programme de sélection, de conservation et d'amélioration de la production de noix de cajou. Ensuite nous allons présenter la méthodologie adoptée suivi des résultats et de la discussion. Enfin, nous allons dégager une conclusion et les perspectives.

CHAPITRE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Présentation de l'espèce

Anacardium occidentale L. qui est une espèce à usages multiples (Tandjiekpon, 2005) appartient à la famille des anacardiaceae (Nakasone et Paull, 1998) et au genre *Anacardium* qui compte huit (8) espèces toutes natives de la zone costale du Nord-Est du Brésil en Amérique Latine et des Caraïbes (Azam-Ali et Judge, 2000). *Anacardium occidentale* L. ou Darkassou en wolof, plus connu sous le nom d'acajou est un arbre allogame, diploïde ($2n=24$) (Purseglove, 1968), à feuille persistante et pouvant atteindre 20 m de hauteur avec une cime en dôme. Le fût est relativement court et généralement bas branchu donnant une apparence d'arbre étalé (Lacroix, 2003, Gnahoua et Louppe, 2003 et Arbonnier, 2000).

Les feuilles sont généralement de forme oblongue à lancéolée ou ovale, larges (7 à 18 cm de long sur 5 à 12 cm de large), épaisses, simples et alternes (Arbonnier, 2000 ; Tandjiekpon, 2005). Elles sont caractérisées par une cuticule épaisse avec des nervures saillantes à la face supérieure plus ou moins pubescente (Tandjiekpon, 2005 ; Arbonnier, 2000)

L'inflorescence est une cyme terminale comportant de petites fleurs unisexuées mâles et hermaphrodites, de couleur verdâtre à violacée (Arbonnier, 2000). La floraison débute à l'âge de 2-3 ans et la pleine floraison se situe vers la 7^e année (Olossoumaï et Agbodjaf, 2001 ; Arbonnier, 2000).

Le fruit ou noix de cajou de couleur grise est un akène en forme de rein dont les dimensions varient de 3 à 5 cm de long et 1,5 à 3,5 cm de large (Gnahoua et Louppe, 2003 ; Lacroix, 2003). La noix est dure et est suspendu sous un pédoncule charnu et juteux appelée pomme de cajou. En forme de poire de couleur rouge ou jaune, la pomme mesure entre 5 à 7 cm de long (Arbonnier, 2000 ; Olossoumaï et Agbodjaf, 2001). La graine est monoembryonnée et représente l'amande de cajou (Gnahoua et Louppe, 2003).



Photo 1. Anacardiers (Fatick/ Sénégal)



a

b

c

Photo 2. Mise en évidence des feuilles (a), fleurs (b) et fruits (c) de l'Anacardier

1.2 Aire de distribution de l'espèce

Anacardium occidentale L. est une espèce tropicale dont l'aire d'origine s'étend du Mexique jusqu'au Nord-Est du Brésil et au Pérou (Lautié et *al.*, 2001 ; Samal et *al.*, 2003 ; Lacroix, 2003 ; Trekpo, 2003 ; Lyannaz, 2006). Elle est devenue une espèce à large aire de distribution suite à son introduction par les espagnols et portugais dans les colonies d'Afrique et d'Asie (Lyannaz, 2006). Mise à part l'Amérique latine qui est sa zone d'origine, on la retrouve en Afrique (Sénégal, Guinée Bissau, Burkina Faso, Ghana, Nigeria, Bénin, Côte d'Ivoire, Tanzanie et Mozambique) mais aussi dans le continent asiatique (Inde, Indonésie) et en Australie (Figure 1). L'espèce tolère une large gamme de sols et est bien adaptée à la

sécheresse et aux sols sablonneux pauvres à pH compris entre 4,5 et 6,5 (Aliyu, 2007). Toutefois, l'anacardier préfère les sols fertiles, bien drainés, profonds, sableux à argileux, une température comprise entre 15 et 35 °C (Lacroix, 2003) et une pluviométrie supérieure à 400 mm à une altitude atteignant 2000 m.

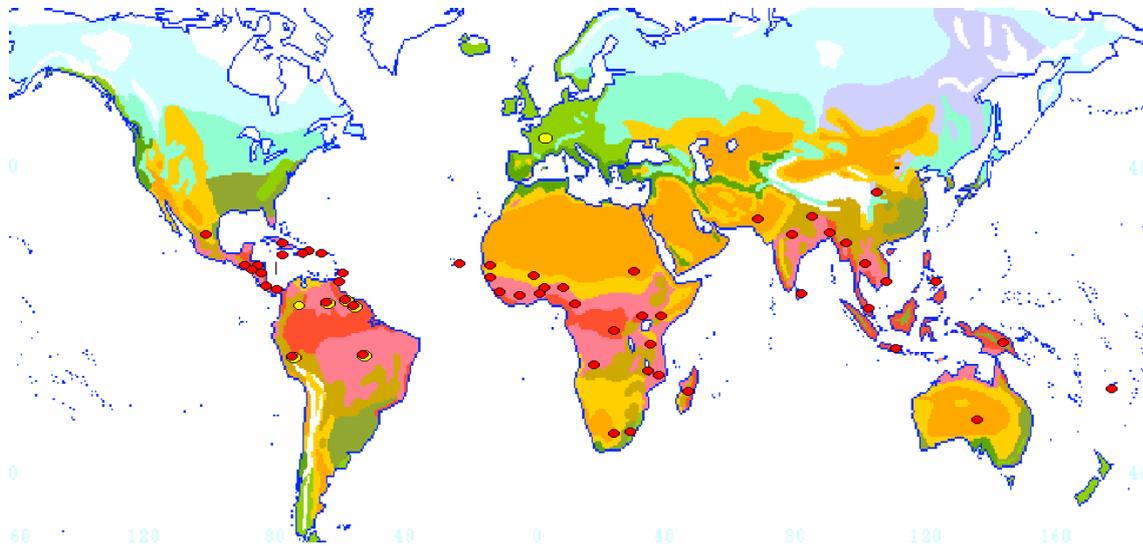


Figure 1 : Carte de distribution mondiale de l'anacardier avec l'Amérique du Sud comme origine naturelle (Tandjiekpon, 2005)

Au Sénégal, l'aire favorable de production couvre actuellement les régions de Fatick, Kolda, Ziguinchor et Sédhiou (Figure 2).

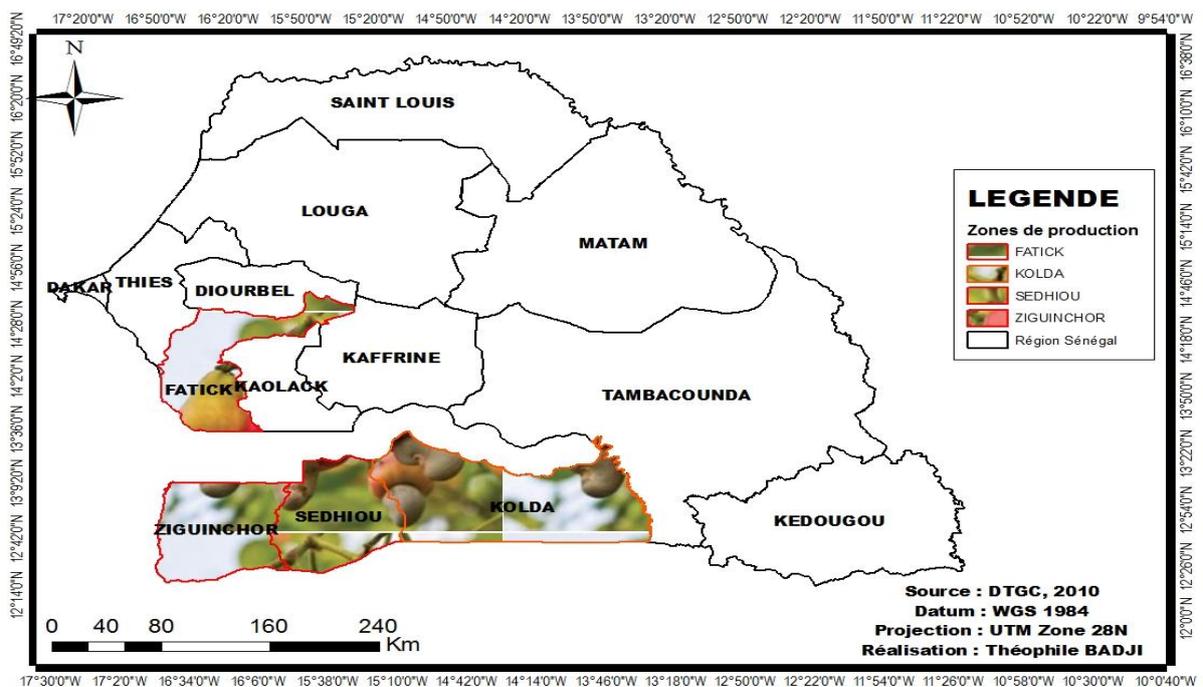


Figure 2 : Carte de répartition géographique de l'Anacardier au Sénégal

1.3. Importance de l'étude de la variabilité phénotypique dans les programmes de sélection et d'amélioration

Dans tout schéma d'amélioration génétique, il est évident que la sélection n'est pertinente et efficace que s'il y a présence d'une variabilité (Kremer, 1986). Les espèces forestières sont réputées être des organismes très variables comparés aux espèces annuelles grâce à leur mode de reproduction qui est principalement l'allogamie (Kremer, 1994). Cette importante variabilité avait d'ailleurs motivé les sélectionneurs à pratiquer des méthodes traditionnelles de sélection à court terme à travers la sélection en forêt d'arbres présentant des phénotypes exceptionnels et la multiplication en masse de ces génotypes par voie végétative ou sexuée pour la mise en place de vergers clonaux ou à graines.

Au stade actuel des programmes d'amélioration des arbres forestiers, l'estimation de la variabilité phénotypique constitue une étape importante dans la mesure où elle permet l'obtention d'une population d'amélioration de base issue d'une phase de sélection en forêt et constituée d'individus à phénotypes intéressants dans laquelle seront pratiquées les cycles successifs de sélection et de croisements en vue de la création des variétés. Il est aussi important de signaler que l'estimation de cette variabilité constitue un préalable nécessaire à l'estimation des paramètres génétiques afin d'élucider le déterminisme génétique des caractères d'intérêts en s'appuyant sur les outils de la génétique quantitative.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

Cette étude a été menée dans la région de Fatick ($14^{\circ} 22' N$ et $16^{\circ} 08' W$) (Figure 1). La région est localisée dans la zone soudano sahélienne avec une pluviométrie moyenne annuelle fluctuant entre 500-800 mm et une température moyenne de $29^{\circ} C$ (ANSD, 2012). Trois types de sols sont rencontrés dans la zone: sols ferrugineux, sols hydromorphes et des sols halomorphes. La végétation naturelle est constituée principalement de ligneux (exemple *Guiera senegalensis*), et un tapis herbacé où dominent les Poacées (*Andropogon gayanus*) (Sambou, 2016).

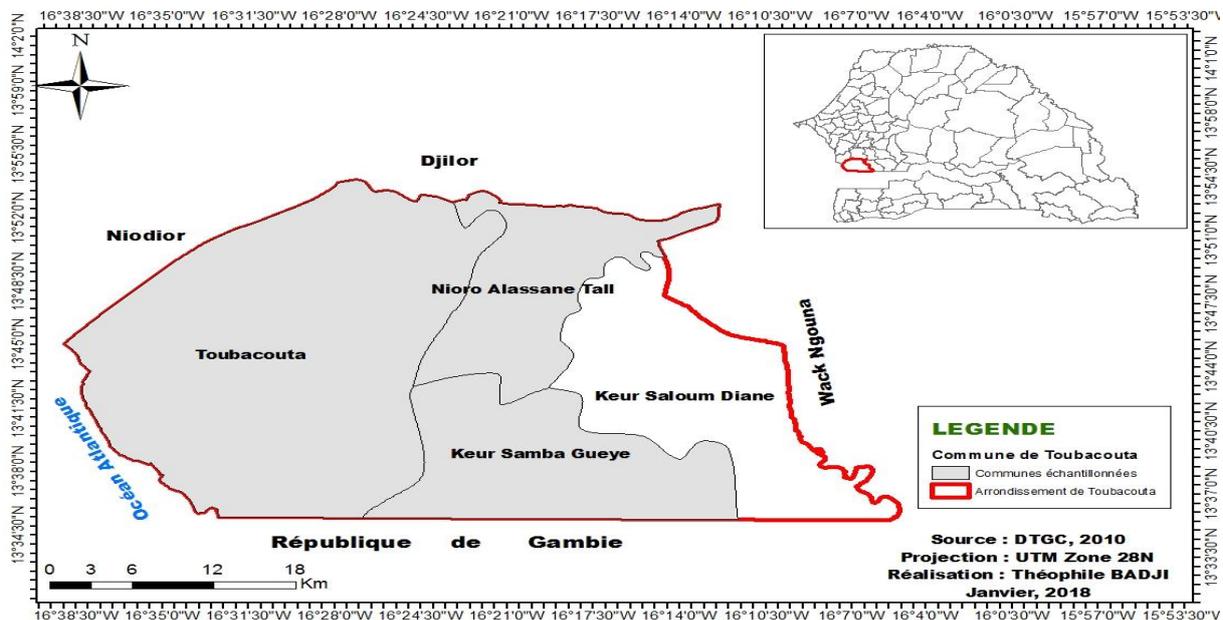


Figure 3 : Carte de localisation des arbres candidats de la région de Fatick

2.2 Sélection massive et variabilité phénotypique des individus identifiés

Dans le cadre du projet CORAF/WECARD, le Centre Nationale de Recherches Forestières (CNRF) a entrepris une sélection massive en 2016 dans le but d'améliorer la productivité des plantations au Sénégal. Suivant une approche participative, 700 arbres ont été sélectionnés dans les quatre zones de production du Sénégal (Fatick, Kolda, Ziguinchor et Sédhiou) (Figure 2). Dans chaque région, les individus présentant des traits phénotypiques intéressants (production en noix, poids et dimensions de la noix, bon état sanitaire) ont été sélectionnés. Les arbres sélectionnés (Arbres Potentiels Elites : APE) ont été géo-référencés et leur production suivie pendant deux ans. Cette présente étude se focalise dans la zone de Fatick où 45 APEs ont été sélectionnés dans huit villages localisés dans trois communes: Nioro Alassane Tall, Toubacouta et Keur Samba Gueye (Figure 3, Tableau I).

Tableau I : Nombre d'arbres potentiels élites (APE) sélectionnés dans trois communes et huit villages de la région de Fatick.

Communes	Villages	Nombre d'arbres Identifiés
Keur Samba Gueye	Keur Samba Gueye	3
	Touba Barya	3
Nioro Alassane Tall	Keur Mama Lamine	4
	Keur Samba Are	7
	Touba Mouride	3
Toubacouta	Keur Aliou Gueye	5
	Keur Badou Diouf	14
	Missira Niombato	6
Total		45

Les APEs sélectionnés ont fait l'objet d'une caractérisation morphologique à trois niveaux différents.

2.3 Caractérisation de la partie végétative

2.3.1 Caractérisation des paramètres dendrométriques

En Février 2017, une évaluation des paramètres dendrométriques des 45 APEs a été menée. La caractérisation consistait à mesurer la hauteur avec une perche, le diamètre à 1,30 m du sol avec un compas forestier et le houppier à l'aide d'un ruban. En plus, le port de chaque APE a été déterminé selon le descriptif de l'anacardier (IPBGR, 1986) avec trois niveaux: port érigé à canopée compacte, port érigé à canopée ouverte et port rampant.



a

b

c

Photo 3. Mesures dendrométriques : diamètre à 1,30 m du sol (a), houppier (b) et hauteur (c)

2.3.2 Caractérisation morphologique des feuilles

Pour comparer la morphologie des feuilles des 45 individus, 20 feuilles ont été collectées suivant les quatre points cardinaux, soit cinq par côté. La méthode de collecte consistait à sélectionner la quatrième feuille en partant du bourgeon apical sur quatre rameaux différents afin de comparer des feuilles relativement de même âge. Les variables étudiées portaient d'une part sur les dimensions des feuilles (longueur et largeur) avec une règle graduée mais également la forme des feuilles en utilisant le descriptif de l'anacardier (IPBGR, 1986) et d'autre part sur la surface foliaire et la biomasse sèche. Pour ce faire, un échantillon composite de quatre feuilles sélectionnées au hasard et provenant chacune d'un côté de l'arbre a été constitué. Les échantillons ont été envoyés au Laboratoire du CERAAS pour la détermination de la surface foliaire à l'aide d'un planimètre LI-COR 3100 C. Cet appareil appelé aussi LI-COR 3100 C Area Meter est un appareil qui permet de mesurer la surface foliaire d'une large gamme de feuilles avec une précision de $0,1 \text{ mm}^2$. La méthode est basée sur la mesure de la quantité de la lumière fluorescente réfléchiée par les échantillons de feuilles après passage à travers la source fluorescente de l'appareil. Cette lumière réfléchiée est captée par un système composé de trois miroirs et convertie en mm^2 et visualisée soit sur l'écran de l'appareil ou sur l'ordinateur connecté à l'appareil. Cette technique est simple, rapide, facile à mettre en œuvre et permet d'obtenir des résultats avec une haute précision.

Après la détermination de la surface foliaire, les échantillons ont été mis à l'étuve à $80 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 48 h pour la détermination de la biomasse sèche.



Photo 4. Collecte (a), ensachage (b) et mensuration des feuilles (c) de *A. occidentale* L.



Photo 5. Détermination de la surface foliaire (a) et de la biomasse sèche (b et c) des feuilles de *A. occidentale* L.

2.3.3 Caractérisation florale des APEs

L'échantillonnage consistait à collecter une panicule de chaque côté de l'arbre (est, ouest, nord, sud), soit quatre panicules par APE. La caractérisation florale consistait à compter le nombre de fleurs mâles, le nombre de fleurs hermaphrodites et à calculer le ratio. D'autres paramètres qualitatifs tels que la saison de floraison (floraison précoce ou tardive) et le nombre de pics de floraison ont été également évalués suivant une approche participative.



Photo 6. Collecte et caractérisation des fleurs : panicule (a), collecte (b) et caractérisation (c) des panicules de *A. occidentale* L.

2.4 Production et caractérisation des noix des APEs

La production en noix de chaque APE a été suivie sur deux années consécutives (2016 et 2017). Deux kilogrammes de la production de chaque individu ont été collectés et acheminés au Laboratoire National de Recherches sur les Semences Forestières du CNRF pour les

besoins de la caractérisation des noix. Le nombre de noix au kilo ou grainage a été déterminé pour chaque APE par comptage direct. La caractérisation des noix a porté sur 25 noix tirées au hasard dans chaque lot. La longueur, la largeur et l'épaisseur ont été déterminées à l'aide d'un pied à coulisse (plage de mesure maximum 150 mm ; lecture 0,01 mm ; précision $\pm 0,02$ mm sur la plage 0 à 100 ; $\pm 0,03$ mm sur la plage 100 – 150 mm) alors que le poids de chaque noix a été déterminé avec une balance de précision (Digital Scale Professional-Mini).



Lot d'un Kilo de noix



Lots de 25 noix



Longueur noix



Largeur noix



Epaisseur noix



Poids noix

Photo 7. Evaluation de la production et caractéristiques des noix

2.5 Analyse statistique des données

Les variables quantitatives et qualitatives ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) utilisant la procédure du model linéaire général implémentée dans le logiciel R (version 3.3.3). Le model statistique suivant a été utilisé pour calculer la valeur de probabilité :

$$Y_{ij} = \mu + C_i + C:V_{ij} + e_{ij}$$

Où Y_{ij} est la variable phénotypique considérée (production noix, diamètre, longueur, etc.), μ représente la grande moyenne, C_i est l'effet de la commune i , $C:V_{ij}$ représente l'effet aléatoire des villages j imbriqués dans la commune i , et e_{ij} est l'erreur résiduelle.

Les données ont ensuite été soumises à une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) basée sur la matrice de distance de Gower (1971) par la méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Averages) sous R puis à une Analyse en Composante Principale (ACP) afin de visualiser la relation entre les APEs.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

- ✚ L'analyse de variance a montré un effet significatif des communes et des villages pour la plupart des variables étudiées.
- Un effet village très significatif a été observé pour tous les paramètres dendrométriques à l'exception du houppier alors qu'un effet des communes a été seulement noté pour la variable port de l'arbre (Tableau II).

Trois groupes ont été obtenus suivant la hauteur (Tableau III). Le premier groupe représenté par les APEs du village de Keur Aliou Gueye est caractérisé par des arbres 24 % plus développés que ceux du second groupe constitué des APEs des villages de Keur Babou Diouf, Keur Samba Are, Keur Mama Lamine, Missira Niombato et de Touba Barya. Par contre, les villages de Keur Samba Gueye et Touba Mouride constituent un groupe intermédiaire.

La même tendance a été plus ou moins observée pour la variable diamètre avec la prévalence d'APes à gros diamètre dans les villages de Keur Aliou Gueye ($36,0 \pm 9,4$ cm), Touba Mouride ($36,0 \pm 4,0$ cm) et Keur Samba Gueye ($34,2 \pm 6,53$ cm) (Tableau III). Par ailleurs la variable diamètre a présenté un coefficient de variation élevé de 32 % témoignant une variabilité entre les géotypes sélectionnés.

- Une différence significative des communes et villages a été observée pour la variable longueur de la feuille alors que la surface foliaire et la biomasse sèche se trouvent seulement dépendante des communes (Tableau II).

En effet, les APEs de Keur Samba Gueye possèdent des feuilles ayant une longueur de plus de 22 % par rapport à celles des APEs de Touba Mouride (Tableau III).

- L'analyse de la morphologie florale a montré que les communes et les villages différaient significativement pour les variables nombre de fleurs mâles, saison de floraison, et nombre de pics de floraison, mais pas pour le nombre de fleurs hermaphrodites (Tableaux II et III).

En effet, les panicules des APEs de Keur Samba Are sont caractérisées par un nombre de fleurs mâles supérieur de 78 % par rapport à ceux des individus du village de Keur Aliou Gueye (Tableau III). La variable saison de floraison quant à elle, a permis de discriminer trois

groupes : le premier groupe qui renferme les villages de Touba Mouride et Keur Babou Diouf est constitué d'individus à floraison tardive alors que les APEs à floraison précoce sont concentrés dans les villages de Keur Mama Lamine, Keur Samba Gueye, Missira Niombato et Touba Barya. Un groupe intermédiaire dans lequel les deux types (floraison précoce et tardive) prévalent mais à des proportions différentes est composé des APEs de Keur Aliou Gueye et Keur Samba Gueye. Concernant le nombre de pics de floraison, la même tendance a été notée avec deux groupes: le premier groupe qui se compose d'arbres des villages de Touba Mouride et de Keur Samba Are avec deux pics de floraison tandis que le second groupe représentant le reste des villages est caractérisé par des individus ayant trois pics de floraison.

Tableau II : Test de significativité des variables phénotypiques étudiées entre communes et villages.

Variables	<u>Communes</u>		<u>Communes: Villages</u>		Moyenne (e.t)
	F	P>F	F	P>F	
<u>Paramètres dendrométriques</u>					
Hauteur (m)	0,27	0,77	6,5	0,0002	6,75 (0,87)
Diamètre (cm)	0,1	0,9	5,71	0,0005	26,3 (8,5)
Houppier (m)	0,75	0,48	2,24	0,07	12,59 (2,03)
Port de l'arbre	14,8	1,87 E-05	8,22	2,69E-05	5,53 (1,67)
<u>Morphologie foliaire</u>					
Longueur (cm)	647,45	2,20E-16	103,77	2,20E-16	10,82 (0,65)
Largeur (cm)	1,03	0,37	1,2	0,33	7,36 (0,87)
Surface foliaire (cm ²)	10,24	0,0003	1,33	0,27	69,26 (12,15)
Biomasse sèche (g)	3,62	0,04	2,31	0,06	0,61 (0,16)
Forme	3,7	0,08	0,39	0,86	1,53 (0,94)
<u>Morphologie florale</u>					
Nombre de fleurs mâles	3,78	0,03	3,07	0,02	47,8 (20,91)
Nombre de fleurs hermaphrodites	2,02	0,15	0,83	0,54	10,9 (6,54)
Ratio	2,63	0,09	1,25	0,31	8,51 (9,33)
Saison de floraison	4,53	0,02	7,86	4,03E-05	1,37 (0,5)
Nombre de pics de floraison	103,92	6,57E-16	27,91	1,32E-11	2,75 (0,43)
<u>Production et caractérisation des noix</u>					
Longueur (mm)	1,99	9,66E-05	4,16	0,004	36,49 (3,98)
Largeur (mm)	12,76	6,09E-05	5,22	0,001	22,41 (2,53)
Epaisseur (mm)	9,45	0,0003	2,09	0,08	18,21 (1,87)
Poids (g)	22,97	3,27E-07	5,4	0,0008	8,81 (2,32)
Production 2016 (kg)	9,78	0,0004	7,84	4,09E-05	8,61 (7,81)
Nombre de noix au kilo	28,88	2,71E-08	4,88	0,002	121,22 (34,73)
Production 2017 (kg)	1,87	0,17	5,6	0,0006	8,66 (14,99)
Production moyenne (kg)	3,79	0,03	7,96	3,57e -05	8,64 (10,40)

Les nombres en parenthèses représentent l'écart type.

- L'analyse de variance portée sur les noix a révélé que les variables relatives à la dimension de la noix (longueur, largeur) et au grainage sont fortement dépendantes des communes et villages, exception faite pour la variable épaisseur.

En effet, la meilleure performance a été observée chez les APEs de Keur Babou Diouf qui possèdent des noix avec une longueur supérieur à 26 %, une largeur grande de 22 %, un poids important de 60 % et un nombre de noix au kilo plus faible par rapport aux noix des APEs de Touba Barya (Tableau III).

- La production en noix en 2016 et 2017 s'est révélée aussi fortement dépendante des villages alors qu'un effet significatif des communes a été seulement noté en première année de suivi (2016) (Tableau II).

La meilleure performance a été enregistrée chez les APEs de Keur Aliou Gueye et Touba Barya avec une production moyenne avoisinant 28,86 et 14,33 kg, respectivement.

Tableau III : Variation des traits quantitatifs des anacardiens de la collection

Traits	Villages								
	Keur Babou Diouf	Keur Mama Lamine	Keur Samba Are	Keur Aliou Gueye	Keur Samba Gueye	Missira niombato	Touba barya	Touba mouride	CV (%)
Hauteur (m)	6,54 ^b	6,30 ^b	6,52 ^b	8,04 ^a	7,47 ^{ab}	6,19 ^b	6,40 ^b	7,56 ^{ab}	12,89
Diamètre (cm)	23,50 ^b	19,45 ^b	26,49 ^b	36,00 ^a	34,17 ^{ab}	23,25 ^b	20,47 ^b	36,00 ^a	32,32
Longueur feuille (cm)	10,55 ^{cd}	11,20 ^b	10,87 ^c	11,00 ^b	12,25 ^a	10,12 ^{cd}	12,08 ^a	9,87 ^d	6,01
Nombre de fleurs mâles	52,25 ^{ab}	42,25 ^{ab}	71,25 ^a	34,10 ^b	23,42 ^b	44,67 ^{ab}	41,42 ^{ab}	39,58 ^{ab}	43,74
Longueur noix (mm)	40,39 ^a	35,64 ^{ab}	34,61 ^{ab}	35,46 ^b	35,71 ^b	36,15 ^{ab}	30,80 ^b	32,29 ^b	10,91
Largeur noix (mm)	25,03 ^a	22,47 ^a	20,83 ^{ab}	22,44 ^{ab}	20,84 ^{ab}	21,25 ^b	20,11 ^{ab}	19,42 ^{ab}	11,29
Poids noix (g)	11,37 ^a	8,18 ^b	7,56 ^b	9,13 ^b	6,55 ^b	8,00 ^b	6,11 ^b	6,46 ^b	26,33
Production 2016 (kg)	8,62 ^b	7,55 ^b	2,28 ^b	24,4 ^a	3,77 ^b	8,46 ^b	5,07 ^b	7,17 ^b	90,71
Nombre de noix au kg	85,57 ^c	126,5 ^{ab}	139,14 ^{ab}	109,6 ^{bc}	152,67 ^{ab}	129 ^{ab}	173,33 ^a	159 ^{ab}	28,65
Production 2017 (kg)	4,53 ^b	7,34 ^b	2,04 ^b	33,28 ^a	1,89 ^b	5,43 ^b	23,58 ^{ab}	2,42 ^b	173,09
Production moyenne (kg)	6,57 ^b	7,45 ^b	2,16 ^b	28,86 ^a	2,83 ^b	6,95 ^b	14,33 ^{ab}	4,79 ^b	120,37

✚ Structuration de la variabilité phénotypique

L'analyse de la structuration de la variabilité phénotypique observée par la méthode UPGMA a permis de classer les 45 APEs en trois groupes distincts à un niveau de dissimilarité de 0,70 (Figure 4, Tableau IV). En accord avec le profil du dendrogramme, l'ACP a également permis de visualiser trois groupes (Figure 5) avec un groupe représentant les APEs du village de Keur Babou Diouf.

- Le groupe I qui regroupe 58 % de l'effectif total est constitué d'APEs de tous les villages à l'exception de Keur Babou Diouf et Touba mouride (Tableau IV).

Ce groupe est caractérisé par une production moyenne de 10,4 kg par arbre, des noix de petite taille avec un grainage assez important (137 noix au kilo) (Tableau V). Les APEs de ce groupe sont tous de type floraison précoce et 77 % de ces APEs ont trois pics de floraison (Décembre - Février - Mai). Les 23 % restants ont deux pics de floraison par année. Il est important de signaler que le groupe I regroupe le top cinq des APEs à haut rendement représenté par quatre arbres du village de Keur Aliou Gueye à savoir A647 avec 50,84 kg, A643 avec 44,47 kg, A646 avec 22,77 kg et A645 avec 17,32 kg et un APE de Touba Barya A581 avec une production moyenne de 31,13 kg par année.

- Le groupe II renferme seulement cinq (5) APEs dont trois de Touba Mouride, un de Keur Samba Are et un autre de Keur Aliou Gueye (Tableau IV).

Ce groupe dont les caractéristiques des noix sont similaires à ceux du groupe I est composé d'arbres à floraison précoce caractérisés par un diamètre plus grand de 45 %, une faible production en noix (5,32 kg), comparés aux APEs du groupe I (Tableau V).

- Le groupe III est un groupe homogène constitué uniquement des 14 APEs du village de Keur Babou Diouf (Tableau IV).

Les individus de ce groupe sont caractérisés principalement par les dimensions de la noix et le grainage. En effet, ces APEs produisent de très grosses noix avec un grainage excellent (86 noix au kg). C'est un groupe majoritairement constitué d'arbres à floraison tardive (79 %) avec trois pics de floraison par an.

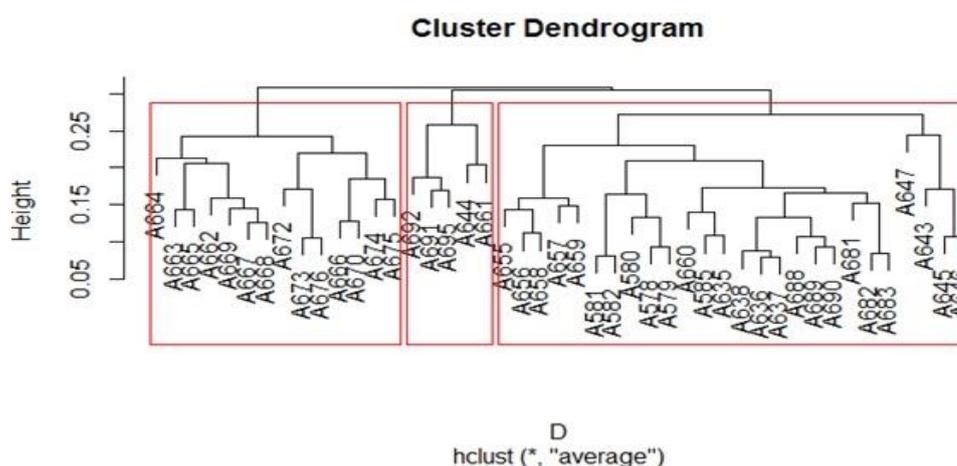


Figure 4 : Dendrogramme montrant la relation entre les 45 individus d’anacardiers par la méthode UPGMA basée sur la distance selon Gower (1971)

Tableau IV : Classification des groupes d’individus générés par le dendrogramme.

Groupe	Liste des villages	Liste des APEs
I	Keur Mama Lamine	A635 ; A636 ; A637 ; A638
	Keur Samba Are	A655 ; A656 ; A657 ; A658 ; A659 ; A660
	Keur Aliou Gueye	A643 ; A645 ; A646 ; A647
	Keur Samba Gueye	A578 ; A579 ; A580
	Missira Niombato	A681 ; A682 ; A683 ; A688 ; A689 ; A690
	Touba Barya	A581 ; A582 ; A585
II	Touba Mouride	A691 ; A692 ; A695
	Keur Samba Are	A661
	Keur Aliou Gueye	A644
III	Keur Babou Diouf	A662 ; A663 ; A664 ; A665 ; A666 ; A667 ; A668 ; A669 ; A670 ; A672 ; A673 ; A674 ; A675 ; A676

En gras, les cinq meilleurs individus gros producteurs de noix.

Tableau V : Caractéristiques des trois groupes obtenus à partir du dendrogramme.

Traits	Groupe I	Groupe II	Groupe III
Hauteur (m)	6,71 (0,91)	7,62 (0,93)	6,54 (0,64)
Diamètre (cm)	25,64 (8,11)	37,60 (5,03)	23,5 (7,23)
Houppier (cm)	12,53 (1,72)	13,61 (1,74)	12,33 (2,63)
Surface foliaire (cm ²)	66,16 (6,02)	58,55 (7,53)	79,00 (15,81)
Biomasse sèche (g)	0,61 (0,13)	0,46 (0,08)	0,66 (0,22)
Longueur noix (mm)	35,00 (2,65)	34,37 (2,9)	40,39 (1,75)
Largeur noix (mm)	21,00 (1,56)	21,16 (2,41)	25,03 (2,12)
Epaisseur (mm)	18,00 (1,69)	17,27 (1,74)	19,75 (1,31)
Poids noix	7,64 (1,52)	7,77 (1,83)	11,37 (1,64)
Nombre de noix au kg	137,00 (28,59)	137,00 (32,97)	86 ,00(13,74)
Production moyenne (kg)	10,40 (13,14)	5,32 (3,04)	6,57 (3,86)

Les nombres en parenthèses représentent l’écart type.

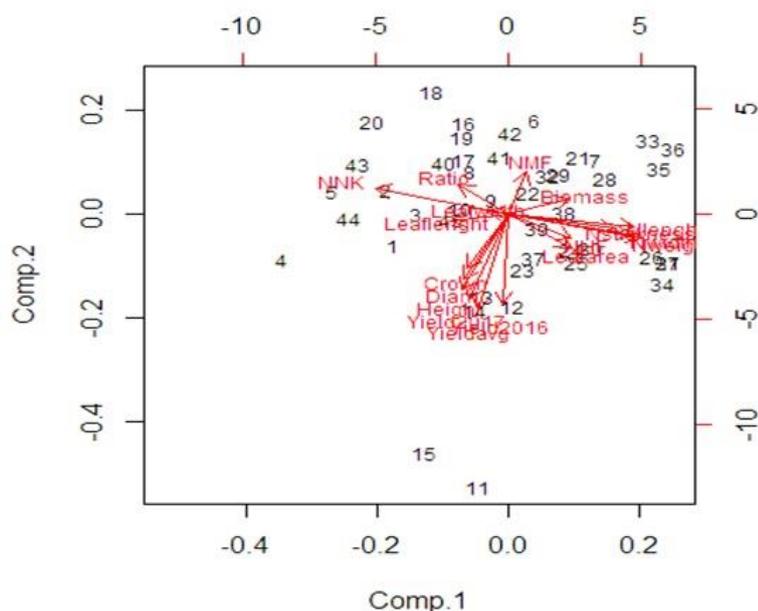


Figure 5 : Analyse en composantes principales des 45 individus sélectionnés dans la région de Fatick (Sénégal)

✚ Corrélation entre les variables étudiées

L'analyse du tableau VI indique une faible corrélation entre les paramètres de dendrométriques (hauteur et diamètre à 1, 30 m), foliaires (surface foliaire) et floraux (nombre de fleurs mâles) et la production et les caractéristiques des noix. A l'opposée, une corrélation relativement modérée a été observée entre production suivant les années ($r = 0,55$). Cependant, une bonne corrélation a été observée entre les variables liées à la taille de la noix.

Tableau VI : Corrélation entre variables phénotypiques

	Hauteur	Diamètre	Longueur noix	Largeur noix	Poids noix	Production 2016	Production 2017	Production moyenne	Surface foliaire	Nombre de fleurs mâles
Hauteur	1									
Diamètre	0,69	1								
Longueur noix	-0,30	-0,11	1							
Largeur noix	-0,21	-0,16	0,85	1						
Poids noix	-0,22	-0,15	0,84	0,92	1					
Production 2016	0,31	0,18	-0,06	0,09	0,15	1				
Production 2017	0,39	0,21	-0,09	0,08	0,13	0,55	1			
Production moyenne	0,38	0,19	-0,11	0,05	0,12	0,90	0,81	1		
Surface foliaire	-0,07	-0,11	0,04	0,36	0,43	0,52	0,50	0,43	1	
Nombre de fleurs mâles	-0,33	-0,1	-0,05	-0,33	0,14	-0,22	-0,19	-0,22	-0,11	1

3.2 Discussion

Diversité phénotypique des APEs

La présente étude est la première qui présente la caractérisation phénotypique des anacardiens au Sénégal. Nous avons observé une grande variabilité pour la plupart des variables étudiées, indiquant ainsi la présence d'une large variabilité génétique d'une part et d'autre part que la sélection pour les traits d'intérêt est possible. Ces résultats corroborent ceux obtenus au Malawi, Benin et en Côte d'Ivoire (Chipojola et *al.*, 2009; Sika et *al.*, 2015 ; Djaha et *al.*, 2014). Les arbres de la collection ont montré des différences morphologiques importantes qui pourraient être expliquées soit par leur potentiel génétique ou l'environnement. Plusieurs études ont mis en évidence une large gamme de morphotypes dépendant de la couleur de la pomme et de la taille de la noix (Djaha et *al.*, 2014; Sika et *al.*, 2015). Cette étude a montré un effet très significatif de l'environnement (communes et villages). En effet, les APEs de Keur Aliou Gueye, situés dans la commune de Toubacouta ont montré une meilleure croissance en diamètre et en hauteur comparés à ceux de Keur Samba Are localisés dans la commune de Keur Samba Gueye. Ces différences suivant la commune pourraient être expliquées par l'âge des APEs, les facteurs environnementaux tels que les types de sols différents et plus important, par la sélection faite par les producteurs. Ceci est confirmé par l'analyse de la structuration de la diversité à travers le dendrogramme qui a montré le regroupement des APEs de différents villages dans un groupe suggérant un niveau élevé de similarité entre les individus. La même tendance a été observée dans les accessions de Benin et du Malawi où des accessions provenant de différentes zones se sont montrées très similaires (Chipojola et *al.*, 2009; Sika et *al.*, 2015). En effet, vue l'importance du commerce de la noix qui devient de plus en plus lucratif, les producteurs utilisent soit les mêmes critères de sélection (production et taille des noix) pour la mise en place de leurs nouvelles plantations ou bien du matériel de même provenance dans les plantations. Ceci corroborent les résultats de (Chabi et *al.*, 2013) qui a montré que les producteurs du Bénin considèrent les paramètres production et taille de la noix comme critères de sélection majeurs pour la mise en place de leurs nouvelles plantations. Ce qui par conséquent diminue la diversité dans les plantations d'anacardiens au Sénégal.

Potentiel d'amélioration génétique

L'analyse du dendrogramme couplé à l'ACP a montré une tendance bien particulière concernant le groupe qui se trouve essentiellement constitué d'APEs du village de Keur

Babou Diouf. En effet, ce groupe a enregistré les meilleures performances en termes de poids de la noix jamais enregistrées dans le monde. La performance de ces APEs (11,37g) dépasse de loin celle de l'hybride (AC4 x AZA17) de la Tanzanie qui a enregistré un poids moyen de 8,33 g (Masawe et *al.*, 1998) et aussi celle du clone W227 du Ghana avec 8,6 g (Dadzie et *al.*, 2014). Ce groupe d'individus représente un unique pool de gènes, génétiquement différent des autres individus et qui pourrait être utilisé comme population d'amélioration de base pour le développement d'hybrides améliorés. En effet, le caractère taille de la noix constitue un critère de choix aussi bien pour les producteurs, consommateurs et transformateurs que pour les améliorateurs. En plus, des études récentes utilisant des noix de Keur Babou Diouf ont montré une bonne corrélation entre poids de la noix et celui de l'amande ($r = 0.91$) (Bakhoum, 2018), ce qui corrobore, Dadzie et *al.*, (2014) qui a reporté que les petites noix produisent généralement des amandes de petite taille.

Le rendement représente également l'un des éléments essentiels à considérer dans presque tout programme d'amélioration. La moyenne de la production par village dans notre étude a varié entre 2,16 et 28,86 kg par arbre indiquant qu'une importante variabilité est présente dans notre collection (avec un coefficient de variation de 120 %). Cette énorme variabilité observée pourrait être attribuée aux facteurs génétiques et/ou environnementaux (Martin et coll., 1998; Aliyu, 2004). Cependant, il est intéressant de noter que la majorité des individus gros producteurs de noix se concentrent dans le village de Keur Aliou Gueye alors les plus faibles performances sont enregistrées dans le village de Keur Samba Are. En effet, il a été reporté que la production en noix est fortement corrélée au nombre de fleurs hermaphrodites de l'individu (de Azevedo et *al.*, 1998). Dans notre étude, le nombre de fleurs hermaphrodites ne diffère pas suivant les villages. La faible performance des APEs de Keur Samba Are pourrait être attribuée à la forte prévalence de fleurs mâles. En effet, les panicules des APEs de Keur Samba Are possèdent plus 78 % de fleurs mâles par rapport à celles des APEs de Keur Aliou Gueye confirmant ainsi l'hypothèse de (de Azevedo et al. 1998). Par conséquent, nos résultats suggèrent que la sélection pour les phénotypes gros producteurs pourrait être basée sur l'évaluation du nombre de fleurs mâles.

Aucune différence significative n'a été observée pour les variables relatives à la surface foliaire et à la biomasse sèche entre les villages. Cependant, la variation observée pour la variable longueur des feuilles pourrait probablement induire une différence de performance au niveau physiologique car la taille de la feuille semble impacter sur la photosynthèse.

Une faible corrélation a été observée entre les paramètres de croissance, foliaires et floraux et la production et les caractéristiques des noix. A l'opposée, une corrélation relativement modérée a été observée entre production suivant les années ($r = 0.55$), indiquant qu'un programme d'amélioration pourrait être basé sur seulement une année de production. Cependant, on recommande d'évaluer la production en noix sur plus de deux années pour estimer avec précision le potentiel de production des individus. L'absence de corrélation entre paramètres de croissance et production et caractéristiques des noix implique que la production est faiblement corrélée à la taille des arbres et qu'une sélection indirecte est impossible. Ces résultats confirment ceux de Dadzie et *al.*, (2014) et sont en phase avec ceux de Diallo et *al.*, (2015) qui a reporté une faible corrélation entre taille des arbres et production de gomme arabique chez *Acacia senegal*.

Conclusion et perspectives

Notre étude a montré l'importance d'étudier la variabilité phénotypique de *Anacardium occidentale* L. au Sénégal. Cette présente étude nous permet de proposer deux populations d'amélioration de base dans le cadre d'un programme d'amélioration de l'espèce dépendant du caractère qu'on veut améliorer. Les arbres gros producteurs du village de Keur Aliou Gueye qui produisent substantiellement plus de 15 kg de noix par arbre pourraient être utilisés comme parents pour les prochaines générations alors que ceux de Keur Babou Diouf représentent une population d'amélioration idéale au regard des caractéristiques de leurs noix.

En amélioration génétique, il est essentiel de connaître le degré d'héritabilité du caractère d'intérêt (production ou taille de la noix). Au Sénégal, des efforts en matière d'amélioration de la production de noix de cajou ont été entrepris par le CNRF aboutissant à la mise en place d'un essai clonal à Kolda en 1996. Malgré ces efforts, peu d'informations existent sur l'état de cet essai ainsi que du potentiel de production des individus « plus » introduits. Par conséquent, ce patrimoine génétique, combiné à la nouvelle collection représente un bon début pour la mise en place d'un programme d'amélioration génétique. La mise en œuvre d'un tel programme nécessite l'installation d'essais descendance et /ou clonal avec les APEs identifiés comme supérieurs.

Mis à part le programme d'amélioration, les individus à phénotype intéressant déjà identifiés dans cette étude pourraient être utilisés dans les futurs programmes de restauration et de reforestation.

Pour une amélioration durable de la production de noix de cajou en quantité et en qualité au Sénégal, des études plus approfondies sont nécessaires pour :

- ❖ l'estimation de la diversité génétique au sein de la collection du CNRF ;
- ❖ la détermination des paramètres génétiques (héritabilité et variance additive) de la production et taille des noix ;
- ❖ la phénologie des arbres présentant des caractères d'intérêt et
- ❖ l'adaptation des individus identifiés aux stress biotiques et abiotiques (hydrique et salin).

Références bibliographiques

- **Aliyu OM, (2004).** Characterization and Compatibility Studies in Cashew (*Anacardium occidentale* L.): Ph.D. Thesis, *University of Ilorin*, (Nigeria).
- **Aliyu OM, (2007).** Clonal propagation in cashew (*Anacardium occidentale*): Effect of rooting media on the root-ability and sprouting of air-layers. *Trop. Sci*, 65-72.
- **ANSD, (2012).** Situation économique et sociale régionale, Ministère de l'économie et des finances. *Agence Nationale de la Statistique et de la démographie*, 12p.
- **Arbonnier M, (2000).** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique. *CIRAD /MNHN*, 541 p.
- **Azam-Ali SH. et Judge EC., (2001).** Small-scale cashew nut processing. ITDGS chumacher Centre for Technology and Development Bourton on Dunsmore, *Rugby, Warwickshire, UK; FAO* 2001.
- **Bakhoun LN, (2017).** Etude des traits morphométriques et germination de noix des arbres plus des plantations d'anacardes (*Anacardium occidentale* L.) dans la région de Fatick. Mémoire de Master : *Université Cheikh Anta Diop de Dakar*, (Senegal).
- **Chabi Sika K, Adoukonou-Sagbadja H, Ahoton LE, Adebo I, & Adigoun FA, (2013).** Indigenous knowledge and traditional management of cashew (*Anacardium occidentale* L.) genetic resources in Benin. *J Exp Bio Agri Sci*, 375-382.
- **Chipojola FM, Mwase WF, Kwapata MB, Bokosi JM, & Njoloma JP, (2009).** Morphological characterization of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in four populations in Malawi. *Afr J Biotechnol*, 5173-5181.
- **Dadzie AM, Adu-Gyamfi PKK, Opoku SY, Yeboah J, Akpertey A, Opoku-Ameyaw, Assuah M, Gyedu-Akoto & Danquah WB, (2014).** Evaluation of Potential Cashew Clones for Utilization in Ghana. *Adv Biol Chem*, 232-239.
- **De Azevedo DMP, Crisóstomo JR, Imeda FCG, & Rossetti AG, (1998).** Estimates of genetic correlations and correlated responses to selection in cashew (*Anacardium occidentale* L.) *Genet. Mol. Biol*, 344-400.
- **De Figueiredo RW, Lajolo FM, Alves RE, Filgueiras HAC, (2001).** Physico-chemical changes in early dwarf cashew pseudo fruits during development and maturation. *Food Chemistry*, 343– 347.
- **Diallo AM, Nielsen LR, Hansen JK, Ræbild A, & Kjær ED, (2015).** Study of quantitative genetics of gum Arabic production complicated by variability in ploidy level of *Acacia senegal* (L.) Willd. *Tree Genet Genomes*, 80–92.

- **Djaha AJB, N'da HA, Koffi KE, N'da Adopo A et Ake S, (2014).** Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) introduits côte d'ivoire. *UFR Biosciences, Laboratoire de Physiologie Végétale*, 15p.
- **Gnahoua G.M, Louppe D, (2003).** Anacardier, 2 p.
- **Gower J, (1971).** A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. *Biometrics*, 857-871.
- **International Board for Plant Genetic Resource: IBPGR (1986).** Cashew (*Anacardium occidentale* L) descriptors for plant genetics, Genetic Resource Centre, Plant Production and Protection Division. *FAO via delle Terme Di caracalla, 00100 Rome, Italy*, 33p.
- **Kremer A, (1986).** Méthodes et Stratégies de sélection. *RFFXXXVIII n°sp. 1986*, 1 - 13p.
- **Kremer A, (1994).** Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. *Gent sel*, 105 – 123.
- **Lacroix E, (2003).** Les anacardiens, les noix de cajou et la filière anacarde à Bassila et au Bénin. Projet restauration des ressources forestières de Bassila. *GTZ République du Bénin*, 75 p.
- **Lautié E, Dorniera M, De Souza Filhoc M, Reynes M, (2001).** Les produits de l'anacardier: caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*, 235-248.
- **Lyannaz JP, (2006).** Vers une relance de l'anacarde au Mozambique. *Fruits*, 125–130.
- **Malou G, (2014).** Caractérisation et germination des semences de quatre variétés de *Anacardium occidentale* L. : Bénin jaune, Costa Rica, Henry et James, Mémoire de Master : *Université Assane Seck de Ziguinchor (Senegal)*, 35 p.
- **Martinez AR, Penarredona MA, Pheng B, Hoyos DE, Ting JCH, Alvarez NFP, (2011).** *Global Enterprise Experience, INDICASHEW, TEAM*, 8 p.
- **Martin PJ, Kasuga LJ, & Bashiru RA, (1998).** Cashew Farming Upgrading: Agronomic Options for Cashew Production by Smallholder Farmers in Tanzania. *Exp Agr Journal*, 137-152.
- **Masawe PAL, Cundall EP, & Caligari PDS, (1998).** Performance in South-Eastern Tanzania of Local Cashew Germplasm and Selected Clones. *Proceeding of the International Cashew and Coconut Conference*, 17-21 February 1997, Dar es Salam, Tanzania.
- **Nakasone HY and Paull RE, (1998).** Tropical Fruits (Crop Production Science in Horticulture, No 7). *Centre for Agriculture and Biosciences International, ISBN 0851992544*, p.1.

- **N'Kalô, (2016).** Regard ailleurs - Cajou. <http://www.commodafrica.com/26-05-2016-le-vietnam-importera-870-000-tonnes-de-noix-de-cajou-brutes-en-2016>.
- **Niang PM, (2016).** Caractérisation de noix et tests de germination de six variétés de *Anacardium occidentale L* de la région de Sédhiou, Mémoire de Master : *Université de Thiès* (Sénégal), 50p.
- **Olossoumaï IF, Agbodjaf AC, (2001).** Plantation d'anacardier (*Anacardium occidentale*) : production et commercialisation de noix de cajou à IGBOMAKRO dans la sous-préfecture de Bassila. Mémoire de Fin de cycle : *Lycée Agricole Medji de Sékou* (Bénin), 43 p.
- **Purseglove JW, (1968).** Tropical crops: *dicotyledons 1 & 2*. Longmans, London. pp. xiv + viii + 719.
- **Rabany C, Rullier N, & Ricau P, (2015).** The African Cashew sector in 2015: General trends and country profiles. Analysis of cashew production, processing and trade in Africa. *Rongead*, 37p.
- **Samal S, Rout GR, Lenka PC, (2003).** Analysis of genetic Relationship between populations of cashew (*Anacardium occidentale L.*) by morphological characterization and RADP markers. *Plant Soil Environ*, 176–182.
- **Sambou, (2016).** Vegetation change, tree diversity and food security in the Sahel: A case from the salinity-affected Fatick province in Senegal. PhD Thesis: *University of Copenhagen* (Denmark).
- **Shomari SH, (2002).** Opportunities and constraints to the development of cashew exports in eastern and southern Africa.
- **Sika KC, Adoukonou-Sagbadja H, Ahoton L, Saidou A, Ahanchede A, Kefela T, Gachomo EW, Baba-Moussa & Kotchoni SO, 2015.** Genetic Characterization of Cashew (*Anacardium occidentale L*) Cultivars from Benin. *Hortic J* 1-7.
- **Tandjiekpon AM, (2005).** Caractérisation du système agroforestier à base d'anacardier (*Anacardium occidentale Linnaeus*) en zone de savane au Bénin. Mémoire du diplôme d'Etudes Approfondies (DEA), *FLASH, ABOMEY-CALAVI*, 104 p.
- **Trepko P, (2003).** La culture de l'anacardier dans la Région de Bassila au Nord Bénin. Projet de restauration des ressources forestières de Bassila, *République du Bénin, GTZ*, 53p.
- **USAID, (2006)** « La chaîne de valeur Anacarde au Sénégal : Analyse et cadre stratégique d'initiative pour la croissance de la filière », 77 p.

Annexes

Annexe 1 : Présentation de la structure d'accueil

Le CNRF (Centre National de Recherches Forestières) est un centre rattaché à l'ISRA. Il est situé dans la région de Dakar à hauteur du parc Zoologique de Hann sur la route des Pères Maristes.

Missions

Le CNRF, conformément aux orientations définies par l'Etat et consignées dans divers documents stratégiques (DSRP, LOASP, NPF), a pour missions principales :

- de contribuer à générer des connaissances, des techniques et des technologies;
- d'apporter un appui et prodiguer des conseils, sur la base des résultats obtenus, aux différents partenaires intervenant dans le domaine du développement rural en général et du développement forestier en particulier.
- de développer des recherches en amont (outils, méthodologies) pour proposer des solutions aux partenaires de la recherche et de développement.

Programmes de recherches

Le CNRF travaille sur deux programmes de recherche dont le premier est **l'aménagement durable des écosystèmes forestiers et agroforestiers (PADEFA)** et le second programme est axé sur **l'amélioration et la valorisation des produits forestiers (PAVPF)** Les objectifs de ces deux programmes sont de contribuer à la gestion durable des écosystèmes forestiers et agroforestiers, de promouvoir la formation des acteurs par la recherche pour une meilleure appropriation des acquis et d'assurer une veille scientifique pour plus de proactivité.

Le Programme PADEFA est subdivisé en quatre thèmes :

- Evaluation de la gestion des formations forestières ;
- Ethique et gestion des écosystèmes agroforestiers ;
- Réhabilitation des terres dégradées ;
- Gestion de la biodiversité et changements climatiques.

Les activités du programme PAVPF se focalisent essentiellement sur thèmes suivants :

- Etude des filières de produits forestiers ;
- Amélioration des produits ligneux et non ligneux ;
- Technologie et physiologie des semences.

Annexe 5 : Fiche de collecte des données de noix

Numéro Individu								
N° noix	poids noix	Longueur	Largeur	Epaisseur	Couleur	Forme	Poids de 25 noix	Poids des déchets des 25 noix
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								

