

# UNIVERSITÉ ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR (UASZ)



UFR DES SCIENCES ET TECHNIQUES (UFR ST)

École doctorale : Sciences, Technologies et Ingénierie (EDSTI)

Année : 2023

N° d'ordre : 88

**Thèse de Doctorat Unique**

**Variabilité agromorphométrique de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) et valorisation de la pomme de cajou en Casamance (Sénégal)**

**Présenté par : M. Landing NDIAYE**

**Pour l'obtention du grade de**

**Docteur en Sciences Agronomiques et Environnement**

**Spécialité : Agroforesterie et Productions végétales**

**Soutenue publiquement le 16/12/2023, devant le jury composé de**

Président	Nicolas Cyrille AYESSOU	Professeur Titulaire	UCAD/ESP
Rapporteurs	Ismaila COLY	Maître de Conférences	UASZ/UFR/ST
	Ngor NDOUR	Maître de Conférences	UASZ/UFR/ST
	Ousmane NDIAYE	Maître de Conférences	UIT/ENSA
Examineurs	Malainy DIATTA	Maître de Recherche	ISRA
	Elhadji FAYE	Professeur Titulaire	UAD/ISFAR
Directeur de Thèse	Mohamed Mahamoud CHARAHABIL	Maître de Conférences	UASZ/UFR/ST

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui ont contribué à ma formation, mon éducation, et ma vie à travers leurs conseils, leurs prières, et leurs accompagnements.

Mon père Malamine qui s'est investi à fond dans mes études. C'est un père exemplaire et adorable qui s'est toujours donné corps et âme pour le bonheur et la réussite de ses enfants. Trouve à travers ce modeste travail le fruit de tous les efforts consentis. Merci infiniment, qu'Allah t'accorde une longévité pour que nous puissions accomplir à merveille nos vœux à ton égard afin que tu puisses jouir pleinement du fruit de ton travail ;

Ma chère maman Lala MARENA qui a su essuyer mes larmes et m'apporter une forte consolation dans les moments difficiles. Une mère qui a sacrifié toute sa vie au service de ses enfants. Grâce à ses accompagnements, j'ai pu atteindre ce niveau d'étude ;

Ma maman Fama DIEYE pour le soutien moral et psychologique permanent dont elle m'a gratifié tout au long de cette formation, trouve ici mon infinie reconnaissance pour tout ce que tu as fait pour moi durant ma formation ;

À ma tendre et douce épouse Coumba Diouma BALDE pour son amour, sa compréhension et son soutien. C'est une épouse gentille, généreuse, endurente, patiente et obéissante ;

À mes enfants Abdoul Aziz Djimou NDIAYE, Mouhamed Moussa NDIAYE, Mouhamed Lamine NDIAYE, Idriss Camara et Binta Hawa NDIAYE ;

À mes gendres Seydou BALDE, Amadou BALDE, Ibrahima BALDE, Saliou BALDE, Fatoumata SANE, Coddou DJIBA, Moussaname NDIAYE, Coumba BALDE, Gnima SAGNA et Farmata BALDE ;

À mes frères, sœurs et cousin (e)s : Yancouba NDIAYE, Oumar NDIAYE, Mamadou NDIAYE, Bacari NDIAYE, Moussa NDIAYE, Bouly NDIAYE, Samba MARENA, Pape Yancouba BIAYE, Mousba NDIAYE, Nafi NDIAYE, Fatou NDIAYE, Maria NDIAYE, Adama NDIAYE, Alimatou NDIAYE, Marie NDIAYE, Awa NDIAYE, Giselle NDIAYE, Mameboye MARENA et Aïssatou MARENA ;

À toutes les épouse (s) des frères et amis : Binta MENDY, Magatte KA, Aïcha MBOUP, Sona TOURE, Adama KANE, Astou DIATTA et Fatou DIOUF ;

À mes ami(e)s : Amadou Moctar CAMARA, Mouhammadou Yahya CAMARA, Diamé SARR, Alpha Omar CAMARA, Mouhammadou BALDE, Momodou BALDE, Mamadou KANE, Ousseynou MANE, Adama BODIAN, Isidore Birame Diouf, Abacar Coly, Abdou Kane, Ghalib Saïd Nassor, Oumy Diop, Habibatou CAMARA, et Aïssatou CAMARA ;

À mes cohabitants(e)s pour leurs convivialités et amabilités ;

À tous mes camarades de promotion plus particulièrement Ibrahima SONKO, Ibrahima SIGNATE, Ismaïla BADJI, Yolande SENGHOR, et Amy Collé DIOUF.

## **Remerciements**

Au terme de cette étude, je rends grâce à Allah Le Tout Puissant qui nous a donné la force, la quiétude, la paix, et la science de mener cette étude dans de bonnes conditions et d'atteindre nos objectifs. Ô Allah ! guide-nous vers la voie du bien.

Que la paix et la bénédiction d'ALLAH soient sur le Prophète MOHAMMAD, sa famille et tous ses compagnons.

À toute l'administration de l'Université Assane Seck de Ziguinchor à travers l'école doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie pour avoir autorisé notre inscription en thèse de doctorat unique.

J'adresse mes sincères remerciements au Dr Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, directeur de cette thèse, pour la confiance accordée à ma modeste personne, qui, après avoir participé activement à ma formation, a bien accepté de guider mes premiers pas dans la recherche avec rigueur scientifique et méthode. Merci de m'avoir permis de découvrir le monde de la recherche. Vos orientations clairvoyantes et perspicaces, vos conseils surs, vos critiques constructives, votre sens d'écoute et de dialogue ont permis d'arriver à terme de cette étude. Votre qualité humaine a sûrement contribué à façonner ma personne. Un grand merci encore de votre soutien inestimable, de vos encouragements et du travail bien fait que vous m'avez inculqué. Sachez que je vous serai à jamais redevable pour ce que je suis devenu aujourd'hui.

Toute ma reconnaissance à Dr Malaïny DIATTA, pour tous les efforts consentis dans ma formation. Je tiens à exprimer toute ma gratitude pour vos contributions, vos soutiens et vos prestigieux conseils que vous ne cessez de me prodiguer.

Merci au ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation qui a accepté de financer cette étude grâce aux Fonds d'Impulsion pour la Recherche Scientifique et Technologique (FIRST).

Toute ma reconnaissance aux enseignants-chercheurs du département d'agroforesterie : Dr Ismaïla COLY, Dr Ngor NDOUR, Dr Siré DIEDHIOU, Dr Antoine SAMBOU, Dr Djibril SARR, Dr Aly DIALLO, Dr Boubacar CAMARA, Dr Joseph Saturnin DIEME, Dr Saboury NDIAYE, Dr Abdoulaye SOUMARE et Dr Oulimata DIATTA pour vos soutiens moraux et intellectuels dans le cadre de cette étude.

Toutes ma gratitude aux enseignants-chercheurs qui ont participé à ma formation en agroforesterie. Je veux nommer Pr Daouda NGOM, Dr Ngor Ndour, Dr Ousmane NDIAYE, Dr Ismaila COLY.

Mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce document par le sentiment du devoir qu'ont les scientifiques de juger objectivement du travail de chacun.

Au professeur, Nicolas Cyrille AYEISSOU, Responsable scientifique du Laboratoire Eau, Énergie, Environnement et Procédés Industriels de l'École Supérieure Polytechnique de Dakar, merci de m'avoir accueilli au sein de votre équipe et m'offrir l'opportunité de réaliser la partie physicochimique et biochimique de cette thèse. Merci très sincèrement d'avoir accepté de présider ce jury. Aux Pr Elhadji FAYE, Dr Ismaila COLY, Dr Ngor NDOUR, Dr Ousmane NDIAYE et Dr Malainy DIATTA pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail et d'avoir accepté d'examiner ce document.

A mes camarades de labo : Dr Seydou Ndiaye, Dr Pape Ibrahima Djighaly, Dr Maurice Dasylda, Dr Arfang Ousmane Kémo Goudiaby, Dr Mamadou Abdoul Ader Diédhiou, Dr Fatou Dieng, Dr Yaya Diatta, Dr Boubacar Bamba, M. Pierre Claver Diédhiou, M. Ibrahim Badiane, M. Jean Basséne, M. Yves Paterné Sagna, M. Bourama Mendy, M. El hadji Yoro Diédhiou, M. Mamadou Sow, M. Amadou Faye Diédhiou, M. Omar Boune Abab Diédhiou, M. Anyfane Manga et Mlle Khémes Marie Odile Thicone.

A mon ami Dr Abdoulaye DIOUF pour son soutien incommensurable lors des traitements de données.

A tous les braves producteurs et Chefs de villages pour vos collaborations lors de mes missions de terrain.

A feu Capitaine Bacary DIATTA, ancien Chef de Secteur des Eaux et Forêts de Goudomp pour votre collaborations et soutien lors des missions de collecte de données. Que la terre de Kartiack vous soit légère.

A ma maman feu Khady CISSE, pour les moments inoubliables et affectifs passer ensemble. Que la terre de Kénia vous soit légère.

Au Responsable du Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales (LNRPV) de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) de Dakar, merci de m'avoir accueilli au sein de votre unité et permis de réaliser la partie génétique de thèse.

A Dr Adama Faye, responsable du laboratoire de la biologie moléculaire du LNRPV pour son soutien total. Merci de m'avoir accueilli au sein de votre équipe et m'offrir l'opportunité de réaliser la partie en trait avec la génétique.

## Liste des sigles, acronymes et abréviations

<b>ACA</b>	Alliance Africaine du Cajou
<b>ACP</b>	Analyse en Composantes Principales
<b>ADN</b>	Acide DésoxyriboNucléique
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation
<b>AFPL</b>	Amplified Fragment Length Polymorphism
<b>ANACIM</b>	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
<b>ANOVA</b>	Analyse de Variance
<b>ANSD</b>	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
<b>ASEPEX</b>	Agence Sénégalaise de Promotion des Exportations
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>CAH</b>	Classification Ascendante Hiérarchique
<b>CERAAS</b>	Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse
<b>CCA</b>	Conseil Anacarde et du Coton
<b>CCD</b>	Coupled Charged Device
<b>CICC</b>	Conseil International Consultatif du Cajou
<b>CIRAD</b>	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CTAB</b>	CéthylTriméthyl Ammonium
<b>D</b>	Diamètre du tronc
<b>DH</b>	Diamètre du Houppier
<b>ECO</b>	Érigé à Canopée Ouverte
<b>ECF</b>	Érigé à Canopée Fermée
<b>ESP</b>	École Supérieur Polytechniques
<b>DPEE</b>	Direction de la Prévision et des Etudes Economiques
<b>FCFA</b>	Franc de la Communauté Financière Africaine
<b>FH</b>	Fleur Hermaphrodite
<b>FIRST</b>	Fonds d'Impulsion de la Recherche Scientifique et Technique
<b>FM</b>	Fleur Mâle
<b>g/l</b>	Gramme par litre
<b>Hbr</b>	Hauteur première branche

<b>HT</b>	Hauteur totale de l'anacardier
<b>IcN</b>	Indice de calibre des noix de cajou
<b>iCA</b>	initiative pour le Cajou Africain
<b>IBPGR</b>	International Board for Plant Genetic Resources
<b>IRD</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>ISF</b>	Indice Synthétique de Fécondité
<b>IREF</b>	Inspection Régionale des Eaux et Forêts
<b>IsN</b>	Indice de sphéricité des noix de cajou
<b>ISRA</b>	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
<b>L3EPI</b>	Laboratoire Eau, Énergie, Environnement et Procédés Industriels
<b>LNRPV</b>	Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales
<b>MDq</b>	diamètre quadratique moyen
<b>LI</b>	Longueur du limbe
<b>Lgl</b>	Largeur du limbe
<b>mg/l</b>	Milligramme par litre
<b>N</b>	Normalité
<b>NBC</b>	Nombre de Branche Charpentière
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>NCB</b>	Noix de Cajou Brute
<b>PADEC</b>	Programme d'Appui pour le Développement Economique de la Casamance
<b>PASA</b>	Projet Anacardier Sénégalo Allemand
<b>PAEFK</b>	Projet d'Appui à l'Entreprenariat Forestier de Kolda
<b>PERMANOVA</b>	analyse multivariée des variances par permutations
<b>PCJ</b>	Pomme de cajou jaune
<b>PCO</b>	Pomme de cajou orange
<b>PCR</b>	Pomme de cajou rouge
<b>PF</b>	Pic Floraison
<b>PFRK</b>	Projet de Foresterie Rurale de Kolda
<b>pg/2C</b>	pico-grammes par génome
<b>PIB</b>	Produit Intérieur Brut
<b>PPFS</b>	Projet de Protection des Forêts du Sud
<b>pH</b>	potentiel Hydrogène

<b>QTL</b>	Quantitative Trait Locus
<b>RAPD</b>	Random Amplification of Polymorphic DNA
<b>RF</b>	Ratio Floral
<b>Rpm</b>	Rotation par minute
<b>PSE</b>	Plan Sénégal Emergent
<b>REDAA</b>	Reversing Environmental Degradation in Africa and Asia
<b>RFLP</b>	Restriction Fragment Length Polymorphism
<b>RGPHAE</b>	Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage
<b>SODENAS</b>	Société de Décorticage des Noix d'Anacarde du Sénégal
<b>RONGEAD</b>	Réseau européen des Organisations Non Gouvernementales sur les questions Agroalimentaires et le Développement
<b>SNP</b>	Single Nucleotide Polymorphism
<b>SSR</b>	Simple Sequence Repeat
<b>STS</b>	Sequenced Tag Site
<b>UEMOA</b>	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
<b>UPGMA</b>	Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean
<b>USAID</b>	Agence Américaine pour le Développement International
<b>T</b>	Tonne
<b>TBM</b>	Taux Brut de Mortalité
<b>TP</b>	Taille pétiole

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : carte de présentation de la zone agroécologique de la Casamance .....	19
<b>Figure 2</b> : carte de présentation des sites d'étude de la région de Ziguinchor .....	20
<b>Figure 3</b> : variation de l'écart à la moyenne pluviométrique de la région de Ziguinchor de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023) .....	21
<b>Figure 4</b> : variabilité de la température moyenne annuelle de la région de Ziguinchor de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023) .....	21
<b>Figure 5</b> : carte pédologique de la région de Ziguinchor .....	22
<b>Figure 6</b> : carte de présentation des sites d'étude de la région de Sédhiou .....	24
<b>Figure 7</b> : variation de l'écart à la moyenne pluviométrique de la région de Sédhiou de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023) .....	25
<b>Figure 8</b> : variabilité de la température moyenne annuelle de la région de Sédhiou de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023) .....	25
<b>Figure 9</b> : carte pédologique de la région de Sédhiou .....	27
<b>Figure 10</b> : carte de présentation des sites d'étude de la région de Kolda .....	29
<b>Figure 11</b> : variation de l'écart à la moyenne pluviométrique de la région de Kolda de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023) .....	30
<b>Figure 12</b> : variabilité de la température moyenne annuelle de la région de Kolda de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023) .....	30
<b>Figure 13</b> : carte pédologique de la région de Kolda .....	31
<b>Figure 14</b> : répartition des anacardiens par centre de classe de hauteur à Ziguinchor, Sédhiou et Kolda avec surimposition de la distribution de Weibull .....	44
<b>Figure 15</b> : répartition des anacardiens par centre de classe de diamètre à Ziguinchor, Sédhiou et Kolda avec surimposition de la distribution de Weibull .....	45
<b>Figure 16</b> : nombre optimal de clusters de la population d'anacardier de la Casamance .....	46
<b>Figure 17</b> : feuille de partitionnement des 411 anacardiens dans trois clusters .....	47
<b>Figure 18</b> : carte de distribution spatiale des anacardiens des morphotype 1,2 et 3 .....	48
<b>Figure 19</b> : matrice de corrélation entre les différents paramètres mesurés sur les anacardiens .....	55
<b>Figure 20</b> : corrélation entre les paramètres dendrométriques, foliaires, floraux, agronomiques et morphologiques des noix de cajou .....	57
<b>Figure 21</b> : distribution de quelques anacardiens sur le plan factoriel .....	58

<b>Figure 22</b> : paramètres dendrométriques, foliaires, floraux et morphopondéraux des noix de cajou des trois morphotypes d'anacardiens de la Casamance .....	59
<b>Figure 23</b> : caractéristiques qualitatives des morphotypes (1, 2 et 3) d'anacardiens de la Casamance.....	60
<b>Figure 24</b> : taux de pureté de l'ADN obtenu avec le protocole d'extraction de Doyle and Doyle 1987 (A), standard au CTAB (B), de Porebski 1997 + PCI (C), des kits zymo research (D) et du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol .....	78
<b>Figure 25</b> : corrélation entre les paramètres physicochimiques et biochimiques et les groupes de pommes de cajou .....	100
<b>Figure 26</b> : distribution des paramètres physicochimiques, biochimiques, pouvoir antioxydant et valeur énergétique de jus de pommes de cajou sur le plan factoriel .....	101
<b>Figure 27</b> : corrélation entre les paramètres physicochimiques, biochimiques, pouvoir antioxydant et valeur énergétique du jus de pommes de cajou .....	102
<b>Figure 28</b> : corrélation entre jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges.....	103
<b>Figure 29</b> : composition physicochimique, biochimique, antioxydante et énergétique des groupes de pomme de cajou .....	104
<b>Figure 30</b> : composition minérale des groupes de pomme de cajou (1 et 2).....	104

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : structuration spatiale des anacardiens des grandes régions productrices de la Casamance étudiés .....	37
<b>Tableau 2</b> : variabilité des variables caractérisées au sein des anacardiens des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda.....	43
<b>Tableau 3</b> : test de significativité des variables phénotypiques étudiés entre les anacardiens des communes et villages de la Casamance .....	49
<b>Tableau 4</b> : test de significativité des variables phénotypiques étudiés entre les anacardiens des départements, des Régions et des Clusters de la Casamance .....	51
<b>Tableau 5</b> : variation des traits quantitatifs des anacardiens de la zone agroécologique de la Casamance.....	53
<b>Tableau 6</b> : anacardiens retenus pour chaque cluster .....	70
<b>Tableau 7</b> : concentration et pureté minimale et maximale des ADN des anacardiens de la Casamance.....	75
<b>Tableau 8</b> : concentration et pureté moyenne des ADN des anacardiens de la Casamance....	76

<b>Tableau 9</b> : concentration et pureté moyenne des ADN des anacardiens des clusters 1, 2 et 3 .....	77
<b>Tableau 10</b> : taux de pureté de l'ADN génomique des trois clusters d'anacardiens obtenus avec le protocole d'extraction de Doyle and Doyle 1987, standard au CTAB, de Porebski 1997 + PCI, des kits zymo research et du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol .....	79
<b>Tableau 11</b> : résultats PCR n°2 et 3 .....	80
<b>Tableau 12</b> : résultats des tests PCR en fonction du MgCl <sub>2</sub> .....	81
<b>Tableau 13</b> : résumé des résultats PCR des différentes méthodes d'extraction .....	82
<b>Tableau 14</b> : caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts de pommes de cajou .....	97
<b>Tableau 15</b> : minéraux des jus bruts extraits des variantes de pommes de cajou .....	99
<b>Tableau 16</b> : caractéristiques physicochimiques des jus bruts de cajou .....	113
<b>Tableau 17</b> : valeur protéique, énergétique et phénolique des pommes de cajou de la Casamance.....	115
<b>Tableau 18</b> : minéraux des jus extraits des variétés de pommes de cajou de la Casamance	116
<b>Tableau 19</b> : pouvoir antioxydant, teneur en vitamine C et en polyphénols totaux de quelques fruits tropicaux .....	119

### Listes des photos

<b>Photo 1</b> : photo de l'anacardier ( <i>Anacardium occidentale</i> ) .....	12
<b>Photo 2</b> : photo de pommes de cajou.....	16
<b>Photo 3</b> : résultat PCR du test 1.....	80
<b>Photo 4</b> : résultat PCR test 2	<b>Photo 5</b> : résultat PCR test 3 .....
81	
<b>Photo 6</b> : résultat PCR avec protocole modifié du CTAB.....	82
<b>Photo 7</b> : pomme de cajou jaune (A1), jus de pomme jaune (A2) ; Pomme de cajou orange (B1), jus de pomme orange (B2) ; Pomme de cajou rouge (C1), jus de pomme rouge (C2)...	93
<b>Photo 8</b> : pomme de cajou jaune (A1), jus de pomme jaune (A2) ; Pomme de cajou orange (B1), jus de pomme orange (B2) ; Pomme de cajou rouge (C1), jus de pomme rouge(C2)..	110

### Listes des annexes

<b>Annexe 1</b> : fiche de collecte de données dendrométriques.....	161
<b>Annexe 2</b> : fiche de collecte de données foliaires.....	162
<b>Annexe 3</b> : fiche de collecte de données florales.....	163

<b>Annexe 4</b> : fiche de collecte de données de la noix et de production.....	164
<b>Annexe 5</b> : carte morphopedologique-légende.....	165
<b>Annexe 6</b> : clusters d'anacardiens de la Casamance .....	166
<b>Annexe 7</b> : articles publiés.....	169
<b>Annexe 8</b> : protocoles d'extraction.....	171
<b>Annexe 9</b> : préparation de la solution de lyse CTAB .....	178
<b>Annexe 10</b> : protocole PCR n°1 .....	179
<b>Annexe 11</b> : protocole PCR n°3 .....	179
<b>Annexe 12</b> : test PCR n°1 en rapport avec le MgCl <sub>2</sub> .....	179
<b>Annexe 13</b> : test PCR n°2 en rapport avec le MgCl <sub>2</sub> .....	180
<b>Annexe 14</b> : description du marqueur microsatellite.....	181

---

## Table des matières

---

Dédicaces .....	i
Remerciements .....	iii
Liste des sigles, acronymes et abréviations.....	vi
Liste des figures .....	ix
Liste des tableaux .....	x
Listes des photos .....	xi
Listes des annexes .....	xi
Résumé .....	xix
Abstract.....	xx
Introduction générale.....	2
CHAPITRE 1 : CADRE CONCEPTUEL ET BIOPHYSIQUE DE L'ÉTUDE .....	6
1.1. Définition des concepts de base .....	7
1.2. Cadre biophysique.....	8
1.2.1. Généralités sur l'anacardier.....	8
1.2.1.1. Anacardier : botanique et écologie .....	8
1.2.1.2. Taxonomie et nomenclature botanique.....	13
1.2.1.3. Aires de répartition et de distribution naturelle .....	13
1.2.1.4. Plantation d'anacardier : historique et distribution.....	14
1.2.1.5. Pomme de cajou : caractéristiques physicochimiques, biochimiques et énergétiques .....	15
1.2.1.6. Diverses utilisations de l'anacardier.....	16
1.2.1.7. Importances de l'anacardier.....	17
1.2.1.8. Connaissance du génome de l'anacardier.....	18
1.2.2. Présentation de la zone d'étude .....	18

1.2.2.1. Région de Ziguinchor .....	19
1.2.2.1.1. Situation géographique et administrative.....	19
1.2.2.1.2. Climat, sols, relief et hydrographie.....	20
1.2.2.1.3. Caractéristiques sociodémographiques .....	23
1.2.2.2. Région de Sédhiou.....	23
1.2.2.2.1. Position géographique et situation administrative .....	23
1.2.2.2.2. Climat, sols, relief et hydrographie.....	24
1.2.2.2.3. Caractéristiques sociodémographiques .....	27
1.2.2.3. Région de Kolda.....	28
1.2.2.3.1. Situation géographique et administrative.....	28
1.2.2.3.2. Climat, sols, relief et hydrographie.....	29
1.2.2.3.3. Caractéristiques sociodémographiques .....	32
<b>CHAPITRE 2 : CARACTÉRISATION STRUCTURALE, AGRO MORPHOLOGIQUE ET PHÉNOTYPIQUE DE LA POPULATION D’ANACARDIERS (<i>Anacardium occidentale</i> L.) DE LA ZONE AGROÉCOLOGIQUE DE LA CASAMANCE (SÉNÉGAL).....</b>	<b>33</b>
Résumé .....	34
Abstract .....	34
Introduction .....	35
2.1. Matériel et méthodes .....	36
2.1.1. Échantillonnage.....	36
2.1.2. Caractérisation agromorphométrique des anacardiérs .....	38
2.1.2.1. Caractérisation dendrométrique.....	38
2.1.2.2. Caractérisation foliaire .....	39
2.1.2.3. Caractérisation florale.....	40
2.1.2.4. Caractérisation morphopondérale du fruit (noix de cajou).....	40
2.1.2.5. Évaluation de la production .....	40
2.1.2.6. Analyse et traitement de données agromorphométriques .....	41
2.2. Résultats.....	42

2.2.1. Caractérisation structurale des anacardiérs de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda .....	42
2.2.2. Structure verticale des anacardiérs étudiés .....	44
2.2.3. Structure horizontale des anacardiérs étudiés .....	45
2.2.4. Typologie des anacardiérs étudiés .....	46
2.2.4.1. Détermination du nombre optimal de clusters .....	46
2.2.4.2. Structuration de la diversité phénotypique des anacardiérs étudiés.....	46
2.2.4.3. Analyse de la variabilité dendrométrique, foliaire, florale, morphopondérale de la noix et de production .....	48
2.2.4.4. Variabilité de la performance des anacardiérs en termes de production et de caractéristiques de noix.....	52
2.2.4.5. Corrélation entre les variables étudiées .....	53
2.2.4.6. Caractéristiques des trois morphotypes obtenus .....	58
2.3. Discussion partielle.....	60
2.4. Conclusion partielle .....	65
<b>CHAPITRE 3 : OPTIMISATION DE PROTOCOLE D'EXTRACTION D'ADN À PARTIR DE FEUILLES D'ANACARDIERS (<i>Anacardium occidentale</i> L.) DE LA ZONE AGROÉCOLOGIQUE DE LA CASAMANCE AU SUD DU SÉNÉGAL.....</b>	
Résumé .....	66
Abstract .....	67
Introduction .....	68
3.1. Matériel et Méthodes .....	70
3.1.1. Matériel végétal .....	70
3.1.2. Méthodes d'étude .....	70
3.1.2.1. Taille de l'échantillon.....	70
3.1.2.2. Protocoles d'extraction de l'ADN des anacardiérs de la Casamance utilisés .....	71
3.1.2.3. Quantification de l'ADN isolé par spectrophotométrie.....	71
3.1.2.4. PCR.....	72

3.1.2.5. Contrôle de la qualité de l'ADN pour le génotypage .....	73
3.2. Résultats.....	74
3.2.1. Qualité et concentration de l'ADN de la population d'anacardier .....	74
3.2.2. Qualité et concentration de l'ADN des clusters d'anacardiens.....	76
3.2.3. Taux de pureté de l'ADN de la population d'anacardier étudiée.....	77
3.2.4. Taux de pureté de l'ADN des clusters d'anacardier étudiés .....	78
3.2.5. Exploitations des résultats PCR.....	79
3.3. Discussion partielle.....	82
3.4. Conclusion et perspectives partielles .....	86
CHAPITRE 4 : CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE, BIOCHIMIQUE, ANTIOXYDANTE ET ÉNERGÉTIQUE DE POMMES DE CAJOU DE LA ZONE AGRO- ECOLOGIQUE DE LA CASAMANCE (SÉNÉGAL) .....	88
Résumé .....	89
Abstract .....	89
Introduction .....	90
4.1. Matériel et Méthodes.....	92
4.1.1. Matériel végétal .....	92
4.1.2. Analyses physicochimiques et biochimiques .....	93
4.1.3. Analyses statistiques.....	94
4.2. Résultats et Discussion partielle .....	94
4.2.1. Caractérisation physicochimique et biochimique et activité antioxydante.....	94
4.2.2. Éléments minéraux .....	97
4.2.3. Analyse multivariée et test de corrélation .....	99
4.2.4. Corrélation entre les variables physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques .....	101
4.2.5. Caractéristiques des groupes (1 et 2).....	103
4.3. Conclusion partielle.....	105

CHAPITRE 5 : VALEUR NUTRITIONNELLE ET ÉNERGÉTIQUE DES POMMES DE CAJOU ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) DE LA CASAMANCE, SÉNÉGAL.....	106
Résumé .....	107
Abstract.....	107
Introduction .....	108
5.1. Matériel et méthodes .....	109
5.1.1. Matériel végétal .....	109
5.1.2. Méthodes analytiques .....	110
5.1.2.1. Détermination du pH .....	110
5.1.2.2. Détermination de l'acidité titrable .....	110
5.1.2.3. Détermination de la teneur en matière sèche .....	111
5.1.2.4. Dosage des cendres.....	111
5.1.2.5. Dosage des lipides .....	111
5.1.2.6. Détermination de la teneur en vitamine C .....	111
5.1.2.7. Dosage des sucres réducteurs .....	111
5.1.2.8. Dosage des protéines .....	111
5.1.2.9. Détermination des propriétés énergétiques et de la densité des jus bruts.....	112
5.1.2.10. Dosage des minéraux .....	112
5.1.2.11. Dosage des polyphénols totaux .....	112
5.1.2.12. Dosage des antioxydants .....	112
5.1.3. Analyse statistique .....	112
5.2. Résultats.....	113
5.2.1. Caractéristiques physicochimiques des jus bruts.....	113
5.2.2. Apport énergétique et en macromolécules .....	114
5.2.3. Apport en éléments minéraux .....	115
5.3. Discussion partielle.....	117
5.3.1. Apport énergétique .....	117

5.3.2. Apport en macromolécules .....	117
5.3.3. Apport en éléments minéraux des jus bruts des pommes de cajou de la Casamance comparée à ceux d'autres fruits tropicaux .....	119
5.4. Conclusion partielle .....	121
CHAPITRE 6 : Discussion et Conclusion générales, perspectives .....	123
VI.I. Discussion générale.....	124
VI.II. Conclusion générale.....	132
VI.III. Recommandation et Perspectives .....	133
Références bibliographiques.....	135
Annexes : .....	161
□ Protocole standard d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles au CTAB 171	
Tampon d'extraction de l'ADN.....	171
Broyage des échantillons .....	171
Extraction d'ADN génomique .....	171
Déprotéinisation.....	172
Précipitation de l'ADN.....	172
Purification de l'ADN .....	172
□ Protocole d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles du CTAB modifié de Doyle and Doyle (1987) .....	173
□ Méthode d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles du CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol.....	174
□ Protocole d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles de Porebski (1997) + PCI (Phénol, Chloroforme, Alcool Isoamylique).....	175
□ Protocole Kit Zymo research d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles 176	

## Résumé

L'anacardier est un fruitier forestier tropical à usages multiples. Sa noix, trop convoitée, fait l'objet d'échange international. Sa pomme, pseudo fruit très peu exploré par les producteurs Sénégalais, présente un fort potentiel nutritionnel. Malgré, son importance sociale, économique et écologique, la production nationale, demeure encore faible et ne représente que 0,8% de la production mondiale estimée à 2 200 000 tonnes par an. Face à la faiblesse de la production nationale et à la méconnaissance du patrimoine génétique de l'anacardier et des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des pommes, il urge d'approfondir la recherche afin de booster la chaîne de valeur anacarde. L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la filière anacarde par le biais de la maîtrise de la diversité morphologique et génétique en liaison avec la variabilité des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des pommes de cajou. La caractérisation agromorphologique a été faite en s'appuyant sur des descripteurs dendrométriques, foliaires et floraux des anacardiens et morphopondéraux de la noix de cajou. L'analyse des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques a permis d'évaluer la qualité nutritionnelle des pommes de cajou. L'étude génétique a été entamée afin de confirmer le fondement génétique des caractères morphologiques obtenus. La typologie des anacardiens a montré trois groupes phénotypiques (morphotypes) bien distincts. Les groupes 1 et 2 ont quasiment la même production en noix de cajou (16,8 et 13,9 kg/pied) en dépit de la différence de leurs ratios floraux estimés respectivement à 4,9% et 11,6%. Le ratio floral et la production en noix de ces anacardiens sont de loin supérieurs à celui du groupe 3 avec 3% et 6,5 kg/pied respectivement. La typologie des pommes de cajou a distingué deux groupes morphotypiques. Le premier groupe est composé uniquement de pommes de couleur orange. Le deuxième groupe comprend les pommes rouges et jaunes. La caractérisation des minéraux dans les jus bruts des pommes rouges, jaunes et oranges a montré la présence de K, P, Mg, Na, Ca, Fe, Zn et Cu avec une teneur très élevée en phosphore (P), en potassium (K) et en magnésium (Mg). Le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987) a permis d'avoir la meilleure concentration en ADN évaluée à  $260,76 \pm 89,61$  ng/ $\mu$ L en moyenne. La pureté de ces ADN est de  $1,81 \pm 0,11$  en moyenne. L'ensemble de ces résultats contribue à une meilleure connaissance du potentiel de production en noix et de la valeur nutritionnelle des pommes de cajou. Ces résultats pourraient constituer des référentiels certains pour une meilleure valorisation de la filière anacarde au Sénégal et plus particulièrement en Casamance.

**Mots clés :** Anacardier, morphotypes, ADN, pomme de cajou, valeur nutritionnelle, Sénégal

## **Abstract**

The cashew tree is a tropical forest fruit tree with multiple uses. Its highly coveted nut is the subject of international trade. Its apple, a pseudo-fruit little explored by Senegalese producers, presents strong nutritional potential. Despite its social, economic and ecological importance, national production still remains low and represents only 0.8% of world production estimated at 2,200,000 tonnes per year. Faced with the weakness of national production and the lack of knowledge of the genetic heritage of the cashew tree and the physicochemical, biochemical, antioxidant and energetic properties of apples, there is an urgent need to deepen research in order to boost the cashew value chain. The general objective of this study is to contribute to the improvement of the cashew sector through the control of morphological and genetic diversity in connection with the variability of the physicochemical, biochemical, antioxidant and energetic properties of cashew apples. The agromorphological characterization was made based on dendrometric, foliar and floral descriptors of cashew trees and morphoweight of cashew nuts. The analysis of the physicochemical, biochemical, antioxidant and energetic properties made it possible to evaluate the nutritional quality of cashew apples. The genetic study was initiated in order to confirm the genetic basis of the morphological characters obtained. The typology of cashew trees showed three very distinct phenotypic groups (morphotypes). Groups 1 and 2 have almost the same cashew nut production (16.8 and 13.9 kg/plant) despite the difference in their floral ratios estimated at 4.9% and 11.6% respectively. The floral ratio and production of these cashew trees are far higher than that of group 3 with 3% and 6.5 kg/plant respectively. The typology of cashew apples has distinguished two morphotypic groups. The first group consists only of orange-colored apples. The second group includes red and yellow apples. The characterization of minerals in the raw juices of red, yellow and orange apples showed the presence of K, P, Mg, Na, Ca, Fe, Zn and Cu with a very high content of phosphorus (P), potassium (K) and magnesium (Mg). The optimized protocol of Doyle and Doyle (1987) resulted in the best DNA concentration evaluated at  $260.76 \pm 89.61$  ng/ $\mu$ L on average. The purity of these DNAs is  $1.81 \pm 0.11$  on average. All of these results contribute to a better understanding of the nut production potential and the nutritional value of cashew apples. These results could constitute certain benchmarks for better development of the cashew sector in Senegal and more particularly in Casamance.

**Key words:** cashew tree, morphotypes, DNA, cashew apple, nutritional value, Senegal

---

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

## **Introduction générale**

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est un arbre dont la culture contribue au développement socioéconomique de plusieurs pays du monde (Martin, 2002 ; Marlos *et al.*, 2007). Ce fruitier forestier tropical est originaire du Brésil (Trevian *et al.*, 2005). La culture a été introduite dans les colonies africaines et asiatiques par les Portugais (Rao et Swamy, 1994). Espèce à usages multiples, l'anacardier est planté pour la valorisation des sols dégradés ou impropres à toutes autres cultures (USAID, 2006). La cajouculture protègerait les sols contre l'érosion hydrique et éolienne. L'anacardier s'adapte bien à différentes zones agroclimatiques grâce à sa grande rusticité.

À ce jour, l'espèce est cultivée dans la quasi-totalité des régions tropicales du monde. Sa production se concentre principalement dans cinq grandes zones notamment l'Amérique du Sud, l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique de l'Est, l'Asie du Sud-Est et les îles du sud de l'Indonésie (PADEC, 2016). La production mondiale est estimée à plus de 8 millions de tonnes en 2020 (FAOSTAT, 2020). La part de l'Afrique y est estimée à 58,4% (FAOSTAT, 2020) dont 1,9 million de tonnes sont produites en Afrique de l'Ouest (Pierre Ricau, 2020). Ce qui fait de là sous région ouest-africaine la première zone de production de noix brute dans le monde (Pierre Ricau, 2020). Sa production a connu une croissance d'au moins de 15 % par an durant les 15 dernières années (Dieng, 2020). Et sa croissance annuelle est de 11,8 % devant l'Asie avec 2,6 % (RONGEAD, 2015). Par conséquent, l'Afrique de l'Ouest produit plus de 40 % de l'offre mondiale.

L'anacardier fut introduit au Sénégal en 1914 comme essence de reboisement (Ndiaye *et al.*, 2017a) et de protection des forêts classées contre les feux de brousse. Très vite, la cajouculture est adoptée du fait de son double avantage. Les noix sont vendues ou échangées contre du riz et le jus de la pomme est utilisé comme substitut du vin de palme. L'arrivée des exportateurs asiatiques en Casamance à partir des années 2000 a réellement contribué à l'extension des plantations.

Dès lors les superficies emblavées pour sa production ont été multipliées par trois en Casamance de 2012 à 2017, passant de 60 000 ha à 193 260 ha (Samb *et al.*, 2018) contribuant ainsi à un bond significatif de la production nationale. Estimée à nos jours à environ trente mille tonnes (Hien, 2019), cette production demeure relativement faible par rapport à la moyenne mondiale et africaine.

Le caractère marginal de la production nationale est lié à la faiblesse de l'investissement sur la culture (Dieng, 2020), au déficit d'utilisation de fertilisants et de produits phytosanitaires

(DPEE, 2019), à la très forte densité des plantations (Ndiaye *et al.*, 2017a), à l'âge des plantations (Ndiaye, 2020), à la non-maîtrise des ressources en eau (DPEE, 2019), au climat (Bello *et al.*, 2017), à la fertilité des sols (Nortcliff et Gregory, 2013), à l'incompatibilité des pollens au moment de la fécondation (Aliyu, 2007), à la présence des insectes ravageurs (Eguagie, 1972; Eguagie, 1973; Eguagie, 1974; Olunloyo, 1989; Asogwa *et al.*, 2009), à l'utilisation de variantes d'anacardiers peu productives et de sources inconnues (Sarr, 2002, Ndiaye *et al.*, 2017a ; Soro *et al.*, 2020) et à la variété (Aliyu *et al.*, 2001 ; Archak *et al.*, 2003 ; Cavalcanti et Wilkinson, 2007 ; Aliyu et Awopetu, 2007 ; Djaha *et al.*, 2010 ; Djaha *et al.*, 2012; Djaha *et al.*, 2014).

Malgré les contraintes de production, la noix de cajou constitue un produit stratégique au Sénégal dans la zone agroécologique de la Casamance (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) et sous zone agroclimatique du Bassin arachidier (Fatick). La cajouculture représente, à travers ses produits et sous-produits, une source de revenus monétaire, d'alimentation et thérapeutique. L'arbre constitue un habitat propice à l'épanouissement de la faune, un abri de protection pour les ruminants et améliore le microclimat (Kumar *et al.*, 2011). L'anacardier joue également un rôle de régulateur thermique (Biah *et al.*, 2018). À cet effet, l'anacardier compte parmi les cultures d'exportations à forte valeur ajoutée sur lesquelles mise le gouvernement du Sénégal à travers son PSE. Au Sénégal, plusieurs structures de recherche, de coordination et de suivi ont été mises en place notamment REDAA, CCA, PADEC, ACA, iCA et le CICC dans le but de promouvoir le développement de la cajouculture (BNC, 2017). Toutefois, les revenus tirés de la production de noix de cajou restent encore relativement faibles soit une moyenne annuelle de 600 000 FCFA/an (Dieng, 2020). Le revenu annuel obtenu de la vente des noix de cajou est imputable à la superficie emblavée, au coût total de la main-d'œuvre, au rendement en noix, au prix de vente du kilogramme de noix, à la situation matrimoniale du producteur et à l'accès aux crédits (Balogoun *et al.*, 2014).

La variabilité au sein des individus de l'espèce influence fortement le rendement en noix et donc la rentabilité de la filière anacarde. En effet, on observe une grande variabilité des caractères phénotypiques des anacardiers au sein des plantations au Sénégal. Faute d'accompagnement des projets de plantations d'anacardier, peu de données sont disponibles pour connaître et comprendre le déterminisme de cette variabilité. Les quelques travaux de recherches sur l'anacardier au Sénégal ont concerné essentiellement la description des morphotypes (Ndiaye *et al.*, 2019), les semences (Lefebvre, 1966 ; Djaha, 2010 ; Malou, 2014, Coly, 2016, Niang, 2016), les effets de l'anacardier sur les propriétés physicochimiques des sols (Ndiaye *et al.*, 2020), l'association de l'anacardier avec les cultures vivrières notamment

le sorgho et l'arachide (Ndiaye et *al.*, 2020) et l'analyse des déterminants techniques et de qualité (Dieng, 2020 ; Ndiaye et *al.*, 2020). L'observation des arbres dans les plantations permet de constater une variabilité de caractères morphologiques (écorces, feuilles, fleurs, noix, pommes, etc.), dont l'impact est très important sur la valeur commerciale des produits et sous-produits de l'anacardier. Cette variabilité serait liée à certains facteurs de croissance notamment le climat, le sol, les soins sylvicoles, et le patrimoine génétique de l'anacardier. La connaissance de ces facteurs de variabilité (morphologique et génétique) chez l'anacardier est indispensable pour améliorer la qualité de la noix d'anacarde sénégalais et là rendre plus compétitive sur le marché international.

Les anacardiers en plantation en Casamance produisent plus de 90% de la production nationale de noix de cajou (Séne, 2014 ; PADEC, 2016). À cet effet, il est important de maîtriser la diversité morphologique et génétique des anacardiers en plantation dans cette contrée du Sénégal et envisager une amélioration du matériel végétal. Aussi, la connaissance des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des pommes de cajou est un levier puissant de création d'emploi et de devise. La pomme de cajou présente en effet un fort potentiel nutritionnel. Cette matière première constitue un substrat privilégié pour combler certaines carences en nutriments notamment chez les enfants et les femmes allaitantes. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette thèse de doctorat dont l'objectif général est de connaître les déterminants de la variabilité morphologique et génétique de l'anacardier pour améliorer la production et la rentabilité de la filière anacarde au Sénégal.

Quatre hypothèses de recherches ont été testées :

- ✚ Il existe une relation entre les variables dendrométriques, la morphométrie des feuilles, des fleurs et des fruits de *Anacardium occidentale* L. et la production en noix de cajou ;
- ✚ Il existe une relation entre la pureté et la concentration de l'ADN génomique extrait et les protocoles d'extraction utilisés ;
- ✚ Il existe une relation entre les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des pommes de cajou et les couleurs des variantes d'anacardiers rouges, jaunes et oranges ;
- ✚ La valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou est supérieure à celle des fruits tropicaux.

Ces hypothèses de recherches ont permis de définir quatre objectifs spécifiques :

- ✚ Déterminer les caractéristiques agromorphométriques des anacardiers ;

- ✚ Déterminer le protocole le plus adapté et le plus adéquat en termes de réactifs, de gestion temps et d'efficacité, pour l'extraction de l'ADN à partir des feuilles déshydratées d'anacardier ;
- ✚ Déterminer les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des variantes d'anacardiens de pommes de cajou rouges, jaunes et oranges ;
- ✚ Évaluer la valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou.

Les questions de recherches qui en découlent sont les suivantes :

- ✓ Comment les variables morphologiques et de production différencient-elles les anacardiens ?
- ✓ Comment la pureté et la concentration de l'ADN génomique extrait différencient-elles les protocoles à base de CTAB et ces variantes aux Kits d'extraction zymo research ?
- ✓ Comment les couleurs des pommes de cajou influencent-elles les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques de leurs jus bruts ?
- ✓ Comment la valeur nutritionnelle et énergétique différencie-t-elle les pommes de cajou des fruits tropicaux ?

Le présent travail est structuré ainsi :

- une introduction générale qui traite du contexte, de la justification de l'étude, de la problématique, des hypothèses et des questions de recherche.
- un premier chapitre qui porte sur la synthèse bibliographique et présentant dans sa première partie l'état de la littérature sur les caractéristiques agromorphologiques et génétiques de l'anacardier et les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de ces coproduits, et dans sa deuxième partie caractérise la zone de l'étude.
- les chapitres 2, 3, 4 et 5 exposent les méthodes et les résultats issus de travaux de terrains et de laboratoires.
- le chapitre 6 porte sur la discussion générale suivie de la conclusion et des perspectives.

---

# **CHAPITRE 1 : CADRE CONCEPTUEL ET BIOPHYSIQUE DE L'ÉTUDE**

---

## 1.1. Définition des concepts de base

La **structure** de la population d'anacardier désigne son architecture biophysique.

La **caractérisation agromorphologique** est un processus d'évaluation de tous les traits (végétatifs et de production) observables qui pourrait permettre d'identifier des variétés, des variantes ou des morphotypes de la population d'anacardier étudiée.

Le **phénotype** de l'anacardier est l'ensemble de ces caractères observables.

L'**optimisation** de protocole d'extraction de l'ADN génomique est un processus d'amélioration de la qualité dudit protocole en termes de réactifs et de concentration et de pureté de ces extraits (ADN).

Le **protocole d'extraction de l'ADN génomique** est un ensemble de techniques de laboratoire utilisés pour briser les parois cellulaires et les enveloppes nucléaires, puis, d'isoler les acides nucléiques, d'autres composants de la cellule végétale.

L'acide désoxyribonucléique (**ADN**) est une macromolécule biologique qui stocke l'ensemble de l'information génétique d'une cellule, qui définit l'ensemble des traits moléculaire et physique sous l'influence de plusieurs facteurs notamment environnementaux, et est transmise de génération en génération.

Les **propriétés physicochimiques** des pommes de cajou permettent de connaître la présence d'un produit et de déterminer le comportement physicochimique de ce produit en termes de santé.

Les **propriétés biochimiques** des pommes de cajou permettent de connaître la présence de certaines substances nutritives, d'évaluer leurs quantités et de déterminer leurs comportements biochimiques sur la santé.

Les **antioxydants** contenus dans les pommes de cajou sont des substances nutritives qui aident l'organisme à protéger ses cellules contre les dommages causés par les radicaux libres.

La **valeur nutritionnelle** est un indicateur de la composition en éléments minéraux des pommes de cajou.

La **valeur énergétique** des pommes de cajou est la quantité d'énergie métabolisable contenue dans ces pommes et qui peut en être extraite et fournie à l'organisme.

Le **code-barre** est une étiquette utilisée pour coder un pied d'anacardier.

## 1.2. Cadre biophysique

### 1.2.1. Généralités sur l'anacardier

#### 1.2.1.1. Anacardier : botanique et écologie

L'anacardier est un arbre à cime élargie dont la hauteur est comprise entre 6 à 13,6 m (Ndiaye, 2014). Son houppier hémisphérique est très développé. L'arbre dispose un feuillage dense, persistant et vert foncé (Massawé, 2006). Les branches dressées et tortueuses en contact avec le sol peuvent provoquer des marcottes naturelles (Lacroix, 2003), lorsque l'arbre n'a pas de concurrence arborée et herbacée (Chan *et al.*, 2018 ; Lacroix, 2003). Son tronc est court et tortueux. Le tronc de l'anacardier en formation naturelle est rugueux résineux, légèrement gris ou brun (Meijer, 1983 ; Van, 1991). L'anacardier de type commun âgé de 40 ans à une circonférence du tronc de 2,5 à 3,5 m à 50 cm du sol pour un tronc unique et environ 4,5 m à la même hauteur pour l'anacardier à troncs multiples (Kapinga *et al.*, 2017). L'écorce de l'anacardier, fibreuse est d'abord lisse et grise, puis rugueuse-grisâtre à blanche rosée (Von, 1983). Elle est riche en tannin et est utilisée en tannerie. L'écorce de l'anacardier sert également à préparer des encres indélébiles et de la poudre noire. L'anacardier est en effet un arbre à racine pivotante. La racine principale peut atteindre 3m de profondeur et présente d'importantes ramifications racinaires latérales. La durée du cycle végétatif de l'anacardier est de 20 à 30 ans en moyenne (Lacroix, 2003). Lorsque l'arbre est vieux, son tronc exsude une résine jaune appelée « gomme d'anacarde » et devient improductif. Les gommes d'anacarde sont solubles dans l'eau et pourraient à cet effet remplacer la gomme arabique (Diouf, 2016). Elles servent également à produire des colles inattaquables par les insectes et à éliminer les verrues et les cors. La multiplication de l'anacardier se fait par semis en pleine terre ou par semis en sachets polyéthylène. La durée de germination des noix de cajou est de 2 à 3 semaines.

Les anacardiers nains, les anacardiers communs, les anacardiers géants et les anacardiers sauvages sont les quatre types d'anacardiers trouvés dans la nature (Mitchell et Mori, 1987). Les anacardiers semi-nains ont été développés par des croisements naturels ou par pollinisation manuelle contrôlée (Masawe, 2009). Maintenant, il existe cinq types d'anacardiers lorsque les anacardiers hybrides sont inclus. Ces anacardiers hybrides sont de tailles variables, résistants aux insectes nuisibles et aux maladies et sont productifs. C'est la raison pour laquelle ces anacardiers hybrides sont développés et le type de parents est utilisé dans l'hybridation. À l'exception des anacardiers sauvages, chacun des types d'anacardiers peut également être classé en trois sous-groupes. Parmi ces sous-groupes figurent des anacardiers avec des ramifications

étendues, des anacardiens avec des ramifications intermédiaires, et des anacardiens avec des ramifications intenses. Les anacardiens avec des ramifications étendues sont susceptibles d'avoir le plus faible rendement en noix cajou, tandis que les anacardiens avec des ramifications intenses ont une grande étendue et semblent avoir de bon rendement, même si certains peuvent aussi avoir de petites noix de cajou.

Les feuilles de l'anacardier sont simples, alternes, coriaces et possèdent une cuticule épaisse avec des nervures saillantes à sa face supérieure (Von ,1983) et 12 à 20 nervures latérales avec un limbe à nervation pennée. Obovales, entières, épaisses, glabres et brillantes, elles mesurent en général, 7 à 18 cm de longueur et 5 à 12 cm de largeur (Lacroix, 2003), avec toutefois une forte variabilité selon les provenances. Les feuilles juvéniles sont rougeâtres ou vert clair et deviennent vert foncé plus tard. Elles sont liées à la tige de l'anacardier par un pétiole épaissi à la base de 1 à 2 cm.

L'anacardier est une espèce allogame. Son mode de reproduction (allogamie) rend difficile le processus d'amélioration de l'arbre. Les fleurs comprennent à la fois des organes reproducteurs mâles et les organes reproducteurs femelles. Trois types de fleurs sont identifiées chez l'anacardier. Ce sont des fleurs mâles, des fleurs hermaphrodites et des fleurs stériles (Damodaran, 1966 ; Mota, 1973 ; Joseph, 1979 ; Thimmaraju, 1980 ; Masawe *et al.*, 1996). Les pétales de la fleur sont au nombre de 5 et les étamines de la fleur au nombre de 10. Les fleurs mâles et les fleurs hermaphrodites de couleurs blanches ou jaunes, pâles striées de rose sont nombreuses, odoriférantes et sont regroupées en racèmes ou en panicules terminales. Elles sont couvertes de larges bractées légèrement pubescentes. Les fleurs apparaissent généralement vers la fin de la saison des pluies aux endroits du houppier de l'anacardier touché par les rayons du soleil (Tandjiekpon, 2005). En général, la fleur terminale de chaque cyme est hermaphrodite et les fleurs latérales sont unisexuées (Lefebvre, 1969). Les premières fleurs à s'ouvrir sont les fleurs mâles et les fleurs stériles suivies par les fleurs hermaphrodites (Moranda, 1941 ; Rao et Hassan, 1957 ; Northwood ,1966 ; Masawe *et al.*, 1996). Les fleurs de l'anacardier sont considérées comme des fleurs autofécondées (Northwood, 1966 ; Free et Williams 1976). Les anacardiens précoces fleurissent dès la troisième année de plantation.

L'ouverture de la fleur chez l'anacardier est imputable à l'humidité relative et à la température. Au sud de l'équateur, les fleurs mâles et les fleurs stériles de l'anacardier commencent à s'ouvrir autour de 8h00 du matin alors que les fleurs hermaphrodites s'ouvrent autour de 9h 00. En Afrique de l'Ouest, l'ouverture des fleurs commence vers 6h00. L'intervalle de temps entre la floraison et la maturité des fruits chez l'anacardier est de 25 à 30 jours.

La pomme de cajou est issue du développement du réceptacle floral. Ce dernier grossit rapidement et prend la forme d'une poire de 5 à 10 cm de longueur. La couleur de la pomme varie du jaune vif au rouge écarlate selon la variante d'anacardier (Tandjiekpon, 2005). Au bout du faux fruit, une noix composée d'une coque âcre et toxique abrite à l'intérieur une amande blanche (Dedehou *et al.*, 2015). La noix de cajou est un akène réniforme dont le péricarde est une coque. Elle est produite en abondance et est considérée comme le fruit de l'anacardier au sens botanique (Lautié *et al.*, 2001). Ce fruit de couleur grise ou brun grisâtre à maturité mesure en moyenne 19 mm à 53 mm de longueur et 14 mm à 35 mm de largeur selon le morphotype. Sa masse varie de 3 à 10 g, en moyenne 5 g (Lautié *et al.*, 2001). Au Brésil, les noix de cajou pèsent jusqu'à 20 g (Lautié *et al.*, 2001). La noix de cajou a deux enveloppes (une coque extérieure dure et une testa). La testa est une fine pelure brune localisée à l'intérieur de la coque dure. Elle est enroulée autour d'une amande charnue légèrement incurvée. La testa protège l'amande contenant des antioxydants (Kapinga *et al.*, 2017) de la pénétration de l'oxygène atmosphérique. Ce qui empêche à l'amande de rancir. L'amande contenue dans la noix de cajou est de couleur blanche et est recouverte d'une pellicule brun rougeâtre ou rose. Son poids varie en moyenne de 0,30 à 3,20 g (Ohler, 1979). L'amande est riche en protéines, en vitamines, en oligo-éléments et en acides gras mono-insaturés (Lautié *et al.*, 2001, Dedehou *et al.*, 2015).

La reproduction chez l'anacardier se fait principalement de manière sexuée. L'arbre dispose d'autres modes de multiplication. Cette reproduction passe par le processus de pollinisation. La pollinisation est un processus naturel dans la phase de reproduction des plantes à fleurs. Elle conduit à la fertilisation et à la nouaison. C'est-à-dire la production de gamètes et la transformation et le développement de la fleur en fruit après double fécondation. La pollinisation est le transfert d'un grain de pollen des étamines vers le pistil. Elle diffère selon les espèces et les conditions environnementales notamment en l'absence d'agent pollinisateur. La pollinisation est faite soit de manière directe, dans ce cas on parle d'autofécondation, c'est la pollinisation directe ou autogamie, soit de manière indirecte ou fécondation croisée, c'est la pollinisation croisée ou allogamie.

Le mode de reproduction prédominant chez l'espèce *Anacardium occidentale* L. est l'allogamie. En effet, l'étamine de la fleur hermaphrodite de l'espèce est dotée de filaments courts qui ne font que la moitié de la longueur du style. Ceci rend difficile l'autopollinisation et favorise la pollinisation croisée (Eradasappa and Mohana, 2016 ; Freitas *et al.*, 2002 ; Paiva *et al.*, 2009).

La pollinisation croisée est un mode de multiplication de la plupart des plantes. Elle favorise la création et l'augmentation de variation génétique, l'élargissement du pool génétique, et conduit à un important patrimoine génétique avec des gènes ayant des valeurs adaptatives différentes (Eradasappa and Mohana, 2016). La présence et l'épanouissement simultané de fleurs mâles et de fleurs hermaphrodites sur une même plante et sur une même panicule favorise l'autopollinisation donc l'endogamie (Freitas *et al.*, 2002). Chez l'anacardier, le type de pollinisation influe sur la diversité génétique, sur le rendement et sur la productivité.

Lors de la pollinisation et de la formation des fruits, les fleurs mâles fournissent des grains de pollen pour la partie femelle des fleurs hermaphrodites (Eradasappa and Mohana, 2016). Les grains de pollen des fleurs mâles sont beaucoup plus fertiles que les grains de pollen issu des mâles hermaphrodites (Wunnaehit *et al.*, 1992). Le pollen des fleurs hermaphrodites, trop riche en sucre et en acides aminés est moins fertile que le pollen issu des fleurs hermaphrodites. Les pollens des fleurs mâles favorisent la pollinisation et la nouaison, alors que le pollen de la fleur hermaphrodite sert de source de nourriture pour attirer la faune pollinisatrice.

Chez les végétaux, la pollinisation est assurée principalement par les insectes, par les animaux et par le vent. Toutefois, le principal agent pollinisateur de l'anacardier est l'abeille. D'autres insectes interviennent aussi dans la pollinisation chez l'anacardier.

L'anacardier pousse sous des régimes climatiques pluvieux de type uni ou bimodal à saisons sèches fortement marquées. On le retrouve dans des zones où les précipitations annuelles sont comprises entre 500 et 4000 mm (Tandjieckpon, 2005). L'espèce se développe particulièrement bien dans des isohyètes comprises entre 1000 et 2000 mm avec un optimum à 1500 mm sur une durée de 4 à 5 mois. L'anacardier se développe bien jusqu'à l'altitude de 1200 mètres en climat chaud et humide et donne de meilleurs rendements dans de basses altitudes. Les pluies et temps nuageux durant la floraison affectent la production de noix de cajou (Webb *et al.*, 1984 ; FAO, 1988 ; Nambiar *et al.*, 1990 ; Gupta, 1993 ; French *et al.*, 1994). L'espèce supporte une température minimale de 12°C et une température maximale de 32°C (Johnson, 1973). L'anacardier exige beaucoup de lumière et pousse bien sur des sols légers, sableux, profonds, aérés et bien drainés avec une teneur d'environ 25% d'argile. Les meilleurs rendements en noix de cajou sont obtenus au niveau des sols légers sablonneux, profonds et bien drainés. Les facteurs (précipitation et sol) déterminent en effet la répartition géographique et la croissance de l'anacardier. L'arbre apparaît ainsi particulièrement sensible au pH du sol et préfère un pH compris entre 6,3 et 7,3 (Gupta, 1993 et Nambiar *et al.*, 1990).

L'anacardier est très résistant à la sécheresse. L'arbre nécessite peu d'entretien et peut produire durant 20 à 30 ans en culture et jusqu'à un demi-siècle à l'état naturel. Bien que l'anacardier soit généralement considéré comme une culture tolérante à la sécheresse (Oliveira *et al.*, 2006), le déficit hydrique prononcé peut réduire considérablement son rendement (Silva *et al.*, 2018).



**Photo 1 :** anacardier (*Anacardium occidentale*)

### 1.2.1.2. Taxonomie et nomenclature botanique

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est une Angiosperme qui appartient au règne des Plantae, à l'embranchement des Spermaphyta, à la classe des Magnoliopsida, à l'ordre des Sapindales et de la famille des Anacardiaceae. Cette famille contient 73 genres et environ 600 espèces (Brizicky, 1962 ; Khosla *et al.*, 1973 ; Ohler, 1979 ; Mitchell et Mori, 1987 ; Orrell *et al.*, 2013). L'anacardier est une espèce diploïde de type  $2n=24$  (Purseglove, 1968 ; CIRAD et GRET, 2002 ; Rawson *et al.*, 2011). Le genre *Anacardium* renferme 6 espèces (*Anacardium giganteum* L. ; *Anacardium parvifolium* L. ; *Anacardium tenuifolium* L. ; *Anacardium spruceanum* L. ; *Anacardium excelsum* L. et *Anacardium occidentale* L.) natives d'Amérique latine (Detienne et Jacquet, 1983), *Anacardium occidentale* L. est la plus importante en termes de rentabilité économique.

L'anacardier est nommé différemment selon le pays ou l'ethnie (Lacroix, 2003). Les noms alloués à l'espèce sont :

- ✓ Nom latin (Genre espèce) : *Anacardium occidentale* L. ;
- ✓ Nom Sénégalais : *Darcassou*, *Darkasé* (Wolof et Sérère et autres), *Daf du rubab* (Sérère), *Finzâ* (Bambara), *Kubisa* (Floup), *Bululumay* (Diola), *Bukayu* (Séléki), *Kadu* (Créole Portugais) ;
- ✓ Nom Français : *Anacardier* (n.m.), *pommier cajou*, *cajou à pommes* ;
- ✓ Nom Anglais : *Cashew nut*, *kernel* (amande), *shell* (coque autour de l'amande).

### 1.2.1.3. Aires de répartition et de distribution naturelle

Originaire des Caraïbes et du nord-est du Brésil (Figure 1), l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) pousse naturellement sous climat tropical et subtropical. L'espèce est largement cultivée dans toutes les zones tropicales, comme en Afrique, aux Antilles, dans le nord-est du Brésil, en Asie du Sud-Est et en Inde (Lautié, 2001 ; Lacroix, 2003 ; Samal *et al.*, 2003 ; Treckpo, 2003 ; Trevian *et al.*, 2005). L'anacardier a été découvert par les Espagnols (Lyannaz, 2006) et les Portugais qui l'ont introduit dans leurs colonies d'Afrique et d'Asie (Lautié *et al.*, 2001 ; Treckpo, 2003) ; en premier lieu au Mozambique et dans l'État du Kerela en Inde. Au Sénégal, l'espèce *Anacardium occidentale* L. serait introduite en 1914 pour le reboisement des zones dégradées (Totjssaint –Morret *et al.*, 1961). L'espèce est utilisée dans des opérations de reboisement notamment dans la fixation des dunes continentales des régions de Dakar et de Thiès et se rencontre dans les régions de Ziguinchor, de Sédhiou, de Kolda, de Fatick et de Kaolack particulièrement dans le département de Nioro (Badiane et Sy, 2005).

#### **1.2.1.4. Plantation d'anacardier : historique et distribution**

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.), espèce de la famille des Anacardiaceae est originaire d'Amérique du Sud, plus précisément de la région du Ceará au Nord-Est de la côte du Brésil (Olher, 1967). Il a été découvert par les Espagnols (Lyannaz, 2006) et les Portugais qui l'ont introduit dans leurs colonies d'Afrique et d'Asie (Lautié *et al.*, 2001 ; Trekpo, 2003). Les pays producteurs de l'hémisphère Nord notamment le Nigeria, le Bénin, le Ghana, la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Mali, la Guinée, l'Inde, le Vietnam, le Cambodge, la Guinée-Bissau, la Gambie et le Sénégal, produisent 80% de la production mondiale de noix brute (NCB). Ceux de l'hémisphère Sud (Indonésie, Brésil, Tanzanie, Kenya et Mozambique) assurent quant à eux, 20% de la production mondiale en NCB (Dandjinou, 2016).

Au Sénégal, *Anacardium occidentale* L. a eu une vocation économique qu'à la fin des années 70 avec l'appui du Projet Anacardier Sénégalo-Allemand (PASA) (PADEC, 2016).

Les programmes de développement de l'espèce ont commencé à se mettre en place au Sénégal à partir de 1988 avec la création de la Société de Décorticage des Noix d'Anacarde du Sénégal (SODENAS), le Projet Anacardier Sénégalo-Allemand (PASA) à Sokone, le Projet de Protection des Forêts du Sud (PPFS) à Ziguinchor et le Projet de Foresterie Rurale de Kolda (PFRK) qui devient par la suite, le Projet d'Appui à l'Entreprenariat Forestier de Kolda (PAEFK) à Kolda. Tous ces projets visaient le développement de la plantation d'anacardier au Sénégal. L'anacardier fut ainsi introduit dans une zone écogéographique favorable à son développement (USAID, 2006). Les premières tentatives ont démarré en Guinée-Bissau puis en Casamance. Les populations de la Casamance échangeaient avec du riz (1 kg de noix pour 1kg de riz) les noix qu'elles ont ramassées, auprès des représentants des comptoirs commerciaux portugais. Les années 2000 ont coïncidé avec l'arrivée des importateurs indiens, d'abord en Guinée-Bissau puis au Sénégal. Le PASA a permis la mise en place entre 1980 et 1990 d'importantes superficies de plantations d'anacardiens dans la région de Fatick et l'introduction de variétés améliorées comme la Costaricaine et la Béninoise. Il en est de même du Projet de Protection des Forêts du Sud (PPFS) pour les régions de Ziguinchor, de Kolda et de Sédhiou. Le Projet de Foresterie Rurale (PFR) et le Projet d'Appui à l'Entreprenariat Forestier de Kolda (PAEFK) sont aussi intervenus dans les régions de Kolda et de Sédhiou et ont contribué au développement de la filière anacarde. Les projets d'appui ont permis de planter plus de 8 230 ha dont 7 481 ha de plantations paysannes et 749 ha de plantations en régie.

À ce jour, les opérateurs asiatiques ont une forte influence sur la commercialisation, ils achètent à l'état brut plus de 95 % de la production (USAID, 2006). Ils ont également augmenté le

nombre d'acteurs nationaux avec l'implication des collecteurs, des commerçants et des transporteurs et ont formé le circuit commercial de l'anacarde dans la sous-région. L'exportation de la production africaine est passée de 590 000 T en 2006 à 750 000 T en 2011. La part du Sénégal représente 7 % soit 50 000 tonnes en 2011 pour une valeur de plus de 20 milliards avec plus de 2 200 emplois créés (USAID, 2011).

#### **1.2.1.5. Pomme de cajou : caractéristiques physicochimiques, biochimiques et énergétiques**

Le degré de maturité et la couleur de la pelure des pommes de cajou influencent les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques. La longueur, la largeur, l'indice de calibre et l'indice de sphéricité des pommes de cajou du Bénin sont compris respectivement entre 64,64 à 69,98 mm ; 40,74 mm à 48,37 mm ; 47,64 à 54,66 et 0,73 à 0,78 (Hédibè *et al.*, 2017). La teneur en sucres totaux de ces pommes de cajou est comprise entre 60,49 g/l à 64,14 g/l. Les pommes de cajou sont très riches en polyphénols et en tanins. Cette richesse en tanins et en polyphénols confère aux pommes de cajou des propriétés antioxydantes. Ces propriétés antioxydantes font des pommes de cajou un remède efficace contre la dysenterie chronique à Cuba et au Brésil (Kubo *et al.*, 2006 ; Cavarlho *et al.*, 2006). Les concentrations de polyphénols et de tanins condensés des pommes de cajou du Bénin varient respectivement de 2506,51 mg/l à 4247,69 mg/l et de 130,30 mg/l à 614,70 mg/l (Hédibè *et al.*, 2017). La teneur en flavonoïde contenue dans ces pommes varie de 134,60 mg/l à 450,95 mg/l. Le pH, l'acidité totale titrable, les teneurs en extrait sec réfractométrique, en matière sèche et en cendres des pommes de cajou sont comprises respectivement entre 3,37 à 4,52 ; 0,24 % à 0,61 % d'acide citrique ; 8,2°brix à 10,2°brix ; 7,20 % à 8,43 % et 0,15 % à 0,23 % (Hédibè *et al.*, 2017). Les pommes de cajou sont réputées par leurs richesses en vitamine C. Elles contiennent trois à six fois plus de vitamine C que le jus d'orange (Assuncao et Mercandante, 2003, Adou *et al.*, 2011) et dix fois plus que le jus d'ananas (Ohler, 1988). Le jus de cajou peut être une bonne alternative à la supplémentation journalière avec la vitamine C pour les enfants et les adultes (Adou *et al.*, 2012).



**Photo 2 : pomes de cajou**

#### **1.2.1.6. Diverses utilisations de l'anacardier**

L'anacardier est surtout cultivé pour sa noix. Sa noix contient une amande. L'amande est consommée sous forme d'apéritifs (grillée, salée ou sucrée) et comme ingrédients de préparation alimentaire (gâteaux, huile, etc.). Elle est l'un des fruits à écale et oléagineux les plus pauvres en lipides et est réputée pour ces divers bienfaits. L'amande de la noix de cajou est très riche en vitamines et en minéraux. L'anacardier est très sollicité en Afrique, pour le reboisement. L'écorce et la pomme de l'anacardier sont utilisées en médecine traditionnelle notamment dans le traitement de certaines maladies telles que la bronchite, la toux, le diabète, la diurétique, la dyspepsie, l'eczéma, la fièvre, la colique intestinale, le psoriasis, la syphilis, les ulcères (bouche), les maladies urinaires (TUO, 2007), la baisse du cholestérol, la diminution du risque de maladies cardiovasculaires, de calculs biliaires et du cancer du côlon.

Les variantes de pomme de cajou (jaune, rouge et vert) ont un goût très sucré, astringent, sont très juteuses et riches en vitamine C. Elles sont consommées fraîches dans les zones de production. Sous forme transformée, en jus (Hédiblé *et al.*, 2017 ; Soro *et al.*, 2017), en confiture, en pulpe, en sirop, en gelées, en séchée, en couscous, en alcool et en aliment pour les animaux ou intrants pour la production de biocarburant, etc.

L'amande de cajou est incorporée dans la pâtisserie, les yaourts, les glaces, les biscuits, les sauces sous diverses formes (entières, poudre, granulée et beurre) et dans l'industrie agroalimentaire. Elle est énergétique, riche en lipides et en protéines. L'amande renferme aussi des vitamines et des oligo-éléments et procure un mélange équilibré de protéines, de lipides et de glucides (Lanka, 2000).

Le baume de cajou est extrait de la coque qui entoure l'amande. C'est une sorte d'huile astringente et corrosive très recherchée par les industriels aéronautiques (Murthy et Sivasambari, 1985 ; Akaranta *et al.*, 1996) pour ses propriétés uniques dans la fabrication de freins d'embrayages, de caoutchoucs, d'isolants, de produits antibactériens et antifongiques (Evans et Raj, 1988 ; Echendu, 1991 ; Weerasena *et al.*, 1993).

La coque de la noix de cajou est transformée en charbon et utilisée comme combustible.

Les résines de noix de cajou sont utilisées dans la fabrication de répulsifs d'insecte et des insecticides naturels (Cavalcante *et al.*, 2003). Le bois de l'anacardier est utilisé en charpenterie dans la construction de bateaux et des ferries (Akinwale, 2000). Le bois de chauffage et le charbon de bois sont les autres produits tirés du bois de l'anacardier (Akinwale, 2000).

#### **1.2.1.7. Importances de l'anacardier**

L'apport économique de l'anacardier, sa répartition mondiale, ses qualités nutritionnelles, médicinales et environnementales justifient son statut d'espèce à usages multiples très utile. Toutes les parties, organes de l'anacardier sont exploitables de l'écorce à la feuille et de la tige aux fruits et pseudo-fruits. L'anacardier est cultivé sur six millions d'hectares dans plus de 30 pays du monde avec une production mondiale de noix de cajou de plus de 4,9 millions de tonnes, dont les principaux producteurs sont le Vietnam, le Nigeria, l'Inde et la Côte d'Ivoire. (Silva *et al.*, 2018). En Afrique entre 2011 et 2018, la production en noix brute de cajou est passée de 1 million de tonnes à 1,8 million de tonnes, soit une croissance annuelle de 5,8% dont la moitié est produite en Côte d'Ivoire, reflétant la valeur économique de l'espèce. Au Sénégal, la production moyenne est estimée à 28 900 tonnes (Hien, 2018), avec un chiffre d'affaires de 25,1 milliards sur tous les maillons de la chaîne de valeur anacarde. Les revenus des producteurs en Casamance connaissent une amélioration significative avec une bonne production et un prix de vente du kilogramme de noix de cajou supérieur à 500 FCFA (Ndiaye *et al.*, 2021).

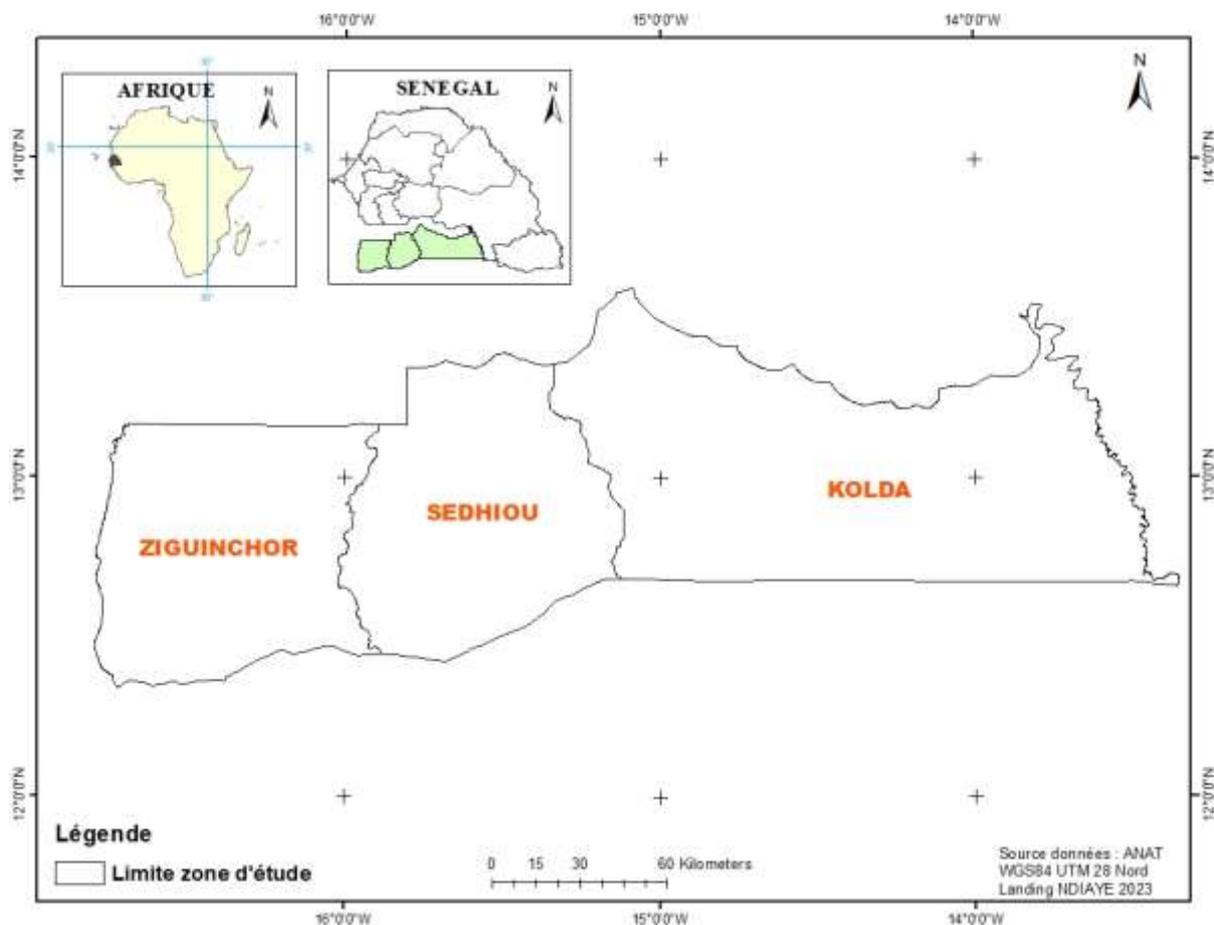
### **1.2.1.8. Connaissance du génome de l'anacardier**

L'anacardier est une espèce diploïde qui possède 12 chromosomes ( $2n = 24$ ) (Purseglove, 1968 ; CIRAD et GRET, 2002). L'arbre est aussi une espèce décrite comme étant polymorphique, diploïde à 42 chromosomes ( $2n=42$ ) avec un caryotype composé principalement de paires de chromosomes métacentriques et submétacentriques (Aliyu and Awopetu, 2007a). Les études cytologiques basées sur la cytométrie en flux ont révélé que la taille absolue moyenne du génome de la noix de cajou est petite et représente environ 0,857 pg/2C soit 419Mb/1C (Aliyu, 2014).

### **1.2.2. Présentation de la zone d'étude**

La région naturelle de la Casamance se situe entre 12° à 14° de latitude Nord et 13°30' à 16°30' de longitude Ouest (figure 1). La Casamance se situe au sud du Sénégal entre l'océan Atlantique et la région de Tambacounda. Elle est limitée au nord par la Gambie et au sud par la Guinée-Bissau et la République de Guinée. La superficie de la Casamance est de 28 340 km<sup>2</sup>. La Gambie et le fleuve Gambie séparent la Casamance du reste du Sénégal. La zone agroécologique de la Casamance correspond aux régions administratives de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda. Sa population est estimée à 2 011 766 habitants en 2019 selon les projections de l'ANSD (2011).

Le climat de la Casamance est caractérisé par deux éléments essentiels qui confèrent à cette région son statut de « grenier vert » du Sénégal. Il s'agit d'une part de sa situation en domaine climatique soudanien atlantique à pluviométrie relativement importante et d'autre part, l'alternance sur cet espace de trois flux de vents (alizé maritime, harmattan et mousson) dont le déplacement est facilité par la platitude du relief (Sagna, 2005). La région a connu au cours de ces quarante dernières années, une forte variabilité pluviométrique à l'instar des pays de l'Afrique de l'Ouest (Leroux, 1982 ; Sagna, 2006).



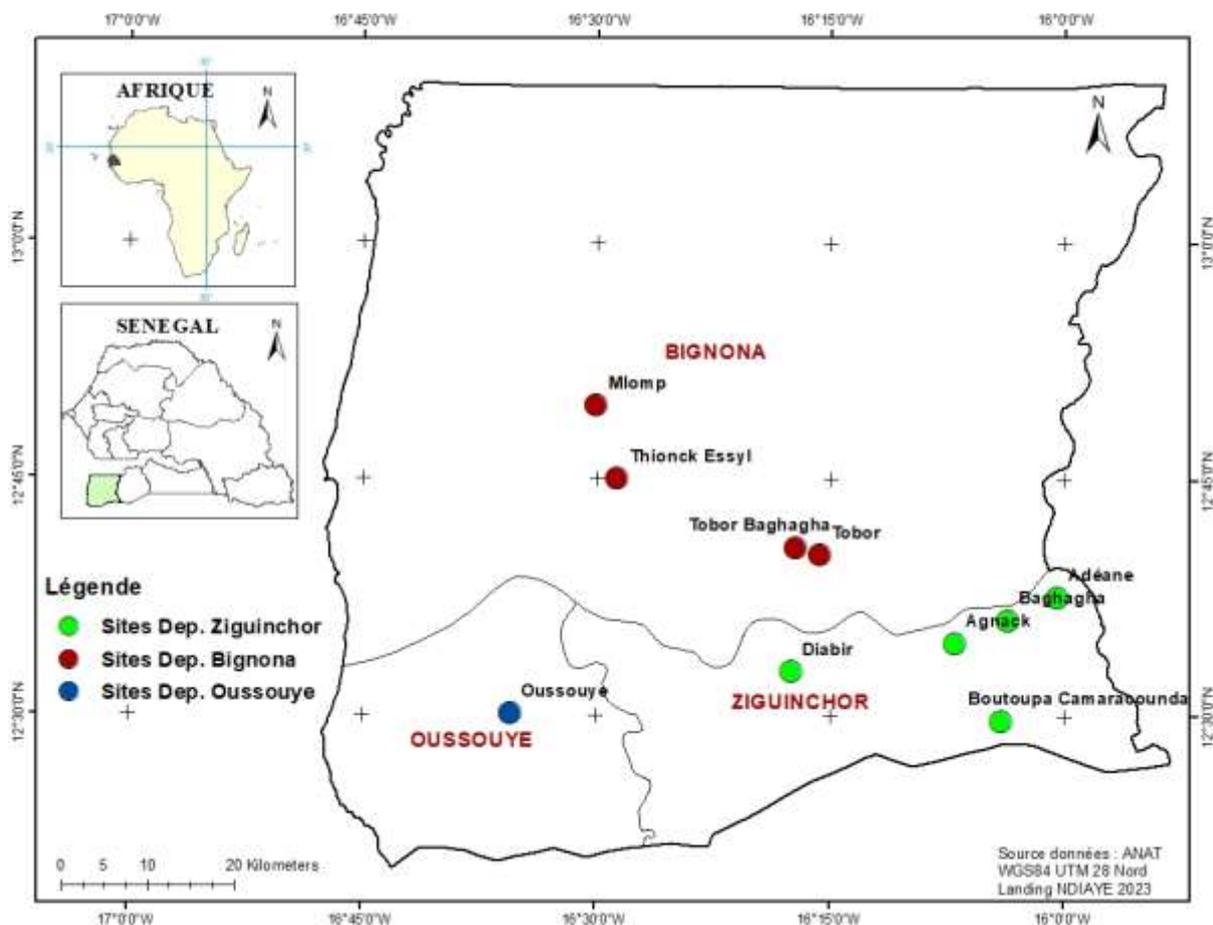
**Figure 1** : localisation de la zone d'étude

### 1.2.2.1. Région de Ziguinchor

#### 1.2.2.1.1. Situation géographique et administrative

La région de Ziguinchor ou sous zone agro climatique de la zone agroécologique de la Casamance est située entre 12°30' à 13°10' de latitude nord et 16° à 17° de longitude ouest. Elle occupe une superficie de 7 339 km<sup>2</sup> soit 3,7% du territoire national. Sur le plan administratif, la région de Ziguinchor est composée de trois départements (Bignona, Oussouye et Ziguinchor), de huit arrondissements, de cinq communes, de vingt-cinq communes rurales et d'environ cinq cent deux villages (ANSD, 2017a).

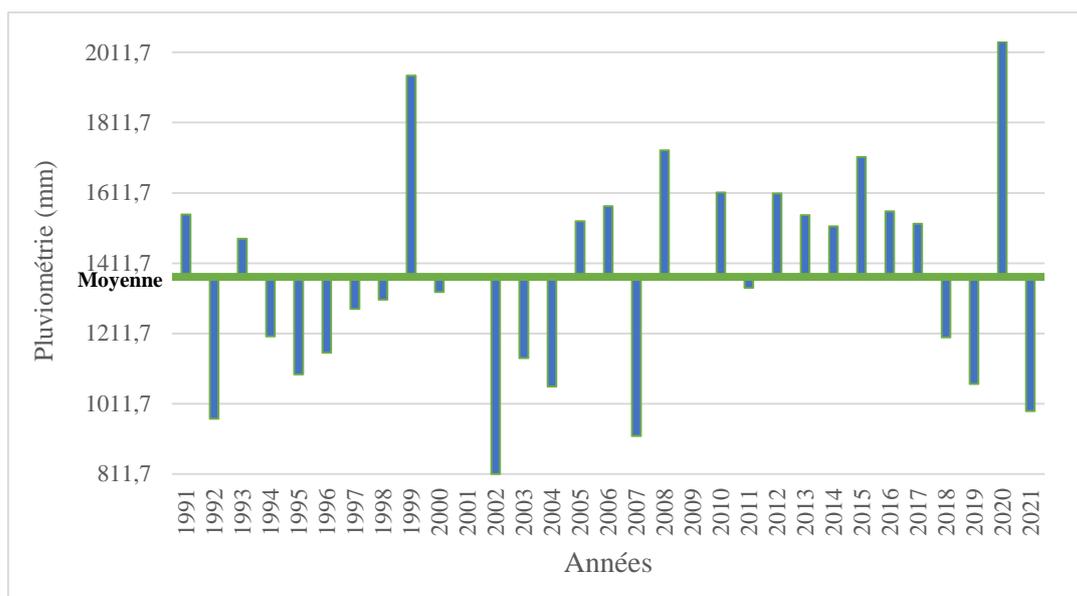
À Ziguinchor, l'étude a été conduite dans les villages de Mlomp, Thionck Essyl, Tobor Baghagha, Tobor, Oussouye, Diabir, Agnack, Boutoupa Camaracounda, Baghagha et Adéane (figure 2). Le choix de ces sites se justifie par le fait que ces dix villages abritent les gros producteurs de noix d'anacarde identifiés suivant une approche participative.



**Figure 2** : localisation des sites d'étude de la région de Ziguinchor

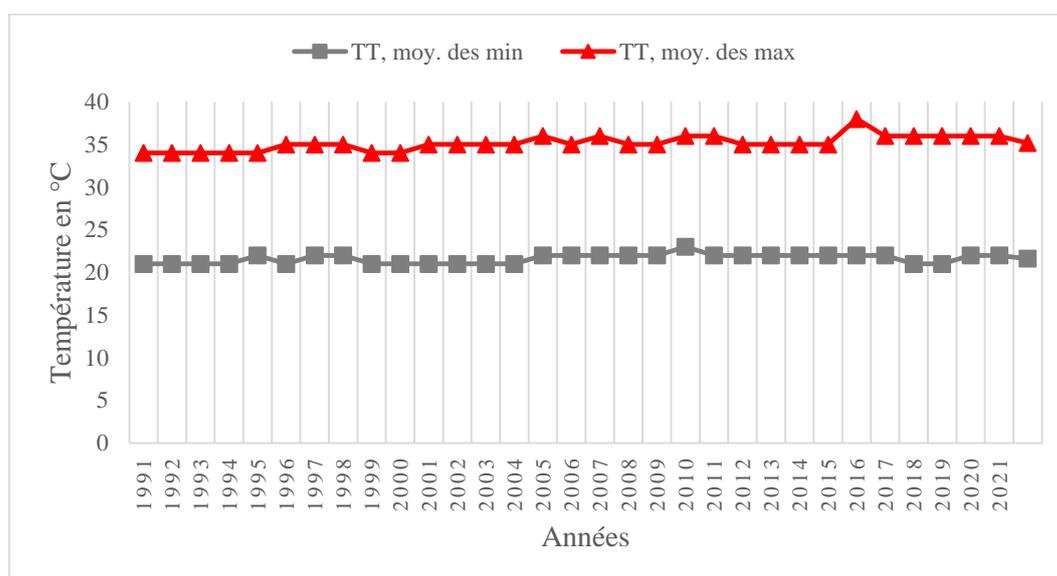
### 1.2.2.1.2. Climat, sols, relief et hydrographie

La région de Ziguinchor se situe dans la zone soudano-guinéenne. Son climat tropical chaud et humide lui confère une importante diversité biologique. La pluviométrie de la région se caractérise par une grande variabilité spatio-temporelle. La saison des pluies s'étale sur environ quatre à cinq mois allant de juin à octobre. La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée de 1991 à 2021, dans la région est de 1373,15 mm de pluie. L'observation de la figure 3 montre une succession des années excédentaires et déficitaires en eau pluviale.



**Figure 3 :** variation de l'écart à la moyenne pluviométrique de la région de Ziguinchor de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023)

Deux types de vents (harmattan et mousson) sont enregistrés dans la localité. Les vents sont chauds et secs (harmattan) de secteur nord-est de novembre à mai et chauds et humide (mousson) de secteur sud-ouest de mai à novembre (Dieng, 2020). Le régime thermique de la région se caractérise par une température moyenne annuelle d'environ 28,5°C. La moyenne annuelle maximale à Ziguinchor est de 35°C et celle minimale de 22°C (figure 4).



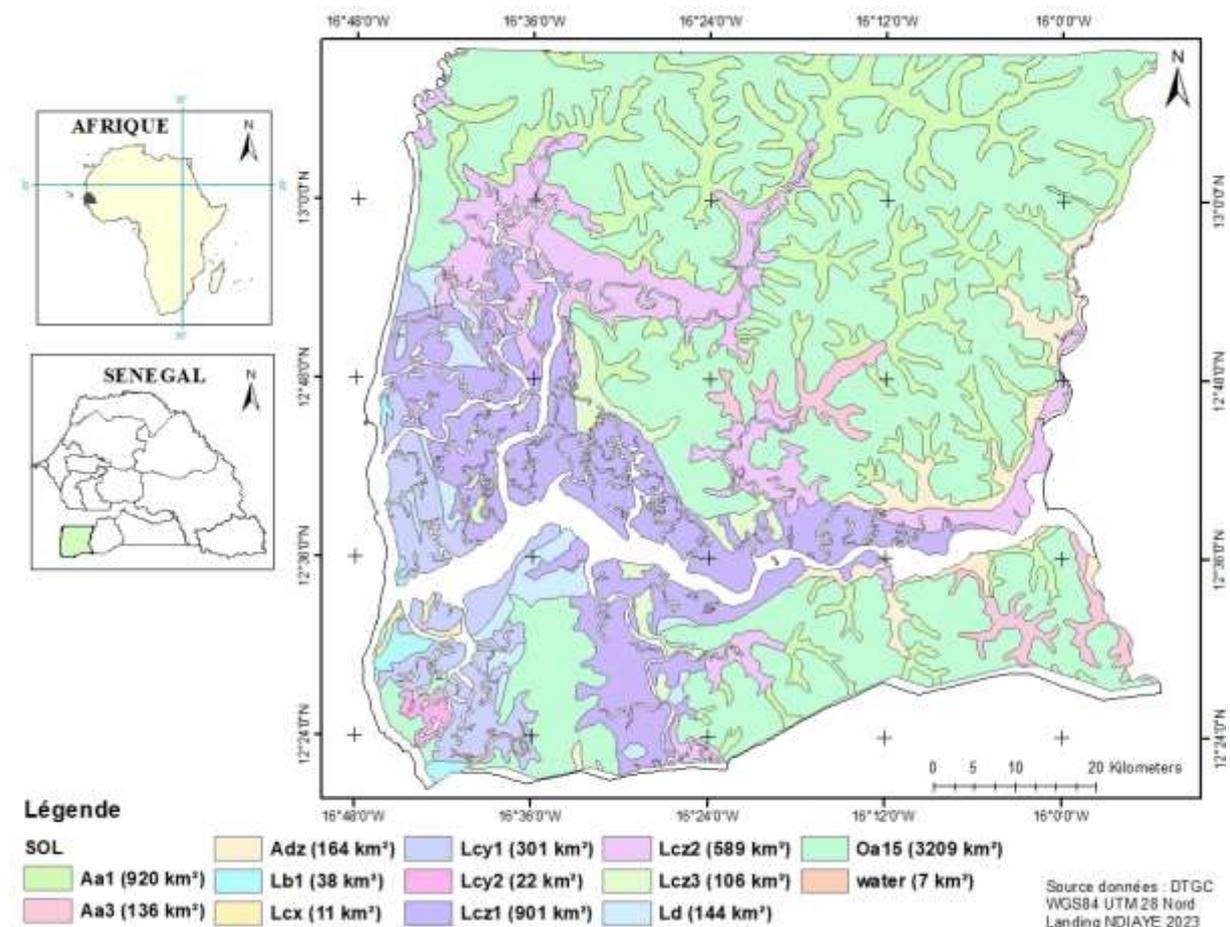
**Figure 4 :** variabilité de la température moyenne annuelle de la région de Ziguinchor de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023)

Les principaux types de sols (figure 5) sont constitués par :

- les sols hydromorphes à Gley (Lg2) aptes à la riziculture et au maraîchage ;
- les sols acidifiés salés (Lg3, Lg4 et Lg5) ;
- et les sols ferrugineux tropicaux lessivés (Oa 15) aptes à la cajouculture. Ils couvrent une superficie de 3209 km<sup>2</sup>. Cette superficie représente 43,73% du territoire régional. L'étendue de la superficie couverte par les sols ferrugineux tropicaux lessivés montre que la région de Ziguinchor regorge d'énorme potentialité de production de noix d'anacarde.

Le relief est généralement plat avec des plateaux ne dépassant pas 50 m.

Le réseau hydrographique est très dense. Le principal cours d'eau est le fleuve Casamance, couvrant un bassin fluvial de 37.000 km<sup>2</sup>. Il possède plusieurs affluents dont les plus importants sont le Soungrougou, les marigots de Baïla, de Bignona, de Nyassia, de Kamobeul et de Guidel. Il faut signaler également l'existence d'un nombre important de marigots et de Bolongs, qui découpent la zone du delta en îles plus ou moins marécageuses (ANSD, 2017a).



**Figure 5** : carte pédologique de la région de Ziguinchor

### **1.2.2.1.3. Caractéristiques sociodémographiques**

Le recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPHAE) effectué en 2020 fait état d'une population résidente de 683.955 habitants au niveau de la région de Ziguinchor, soit 4,1% de la population totale contre 416.374 habitants en 2002 (RGPHAE, 2013) et 398.067 habitants en 1988 (ANSD, 2020). Cette population englobe aussi bien les ménages ordinaires que ceux collectifs. Environ 2,1% de la population totale de la région est composée d'étrangers avec plus d'hommes (57,8%) que de femmes et de résidents en milieu rural (54,5%). Dans l'environnement de résidence, on note une répartition inégale de la population dans la région avec 54 % en faveur du milieu rural (ANSD, 2017a).

La population de la région de Ziguinchor se caractérise par une grande diversité ethnique, source de richesse culturelle, facteur de tolérance et vecteur de cohésion sociale. Plus de la moitié de la population est constituée par l'ethnie Diola (60,7%) ; viennent ensuite le groupe Mandingue (9,3 %), le groupe Peulhs (8,79%), les Ouolofs (4,8%), les Manjaques (3,8 %), les Mancagnes (2,6%), les Balantes (2,5%), les Sérères (2,4%) et les minorités ethniques (5,2%). Le département de Bignona est le plus peuplé de la région avec 252.556 habitants soit 46% de la population totale de la région suivie de celui de Ziguinchor qui en abrite 45%. Le département d'Oussouye, le moins peuplé compte 48.331 habitants soit 9% de la population de la région. Le nombre moyen de naissances des femmes âgées de 45-49 ans est de 5,4 enfants, se rapproche de la fécondité actuelle (ISF, 5,5). L'espérance de vie au niveau de la région (62,9 ans) est en dessous de celle du niveau national (64,8 ans). L'alphabétisation en français est assez répandue au sein de la région de Ziguinchor (58,9%) particulièrement dans le département d'Oussouye avec un taux d'alphabétisation en Français de 62,4%. Il est suivi de près par le département de Ziguinchor avec 61,5% et celui de Bignona avec 55,6% (ANSD, 2017a).

### **1.2.2.2. Région de Sédhiou**

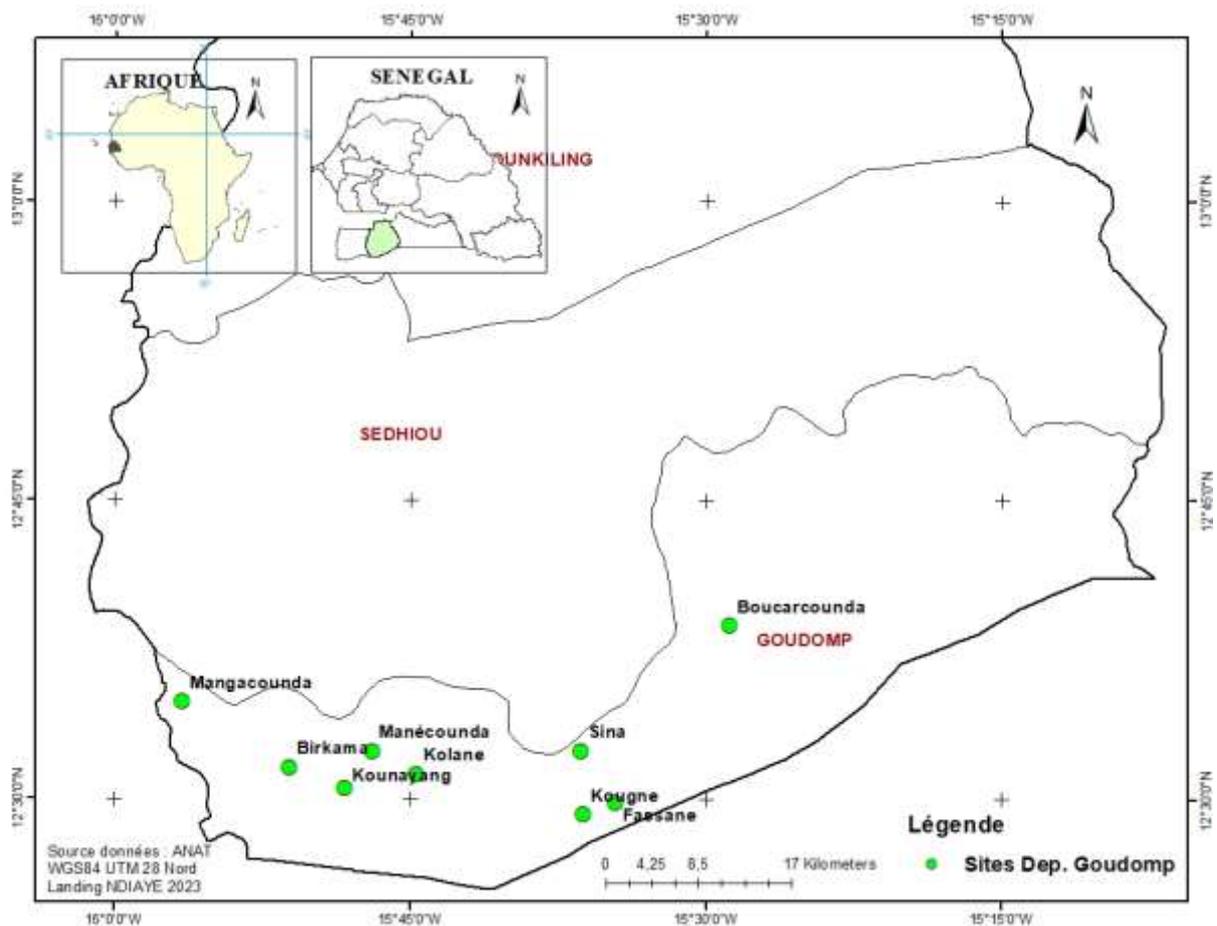
#### **1.2.2.2.1. Position géographique et situation administrative**

Créée par la loi 2008-14 du 18 mars 2008, la région de Sédhiou correspond à la sous zone agro climatique du bloc agroécologique de la Casamance. La région s'étend sur une superficie de 7 330 km<sup>2</sup>, soit 3,7% du territoire national (ANSD, 2017b). Elle se situe entre 12°30' et 13° de latitude nord et 15°10' et 16° de longitude ouest.

Sur le plan administratif, la région de Sédhiou compte trois départements, neuf communes, neuf arrondissements, vingt-neuf communes rurales et neuf cent vingt villages officiels (IREF

Sédhiou, 2012). Le département de Bounkiling est le plus vaste avec 38,6% de la superficie régionale. Il est suivi du département de Sédhiou et Goudomp avec respectivement 37,2% et 24,2%.

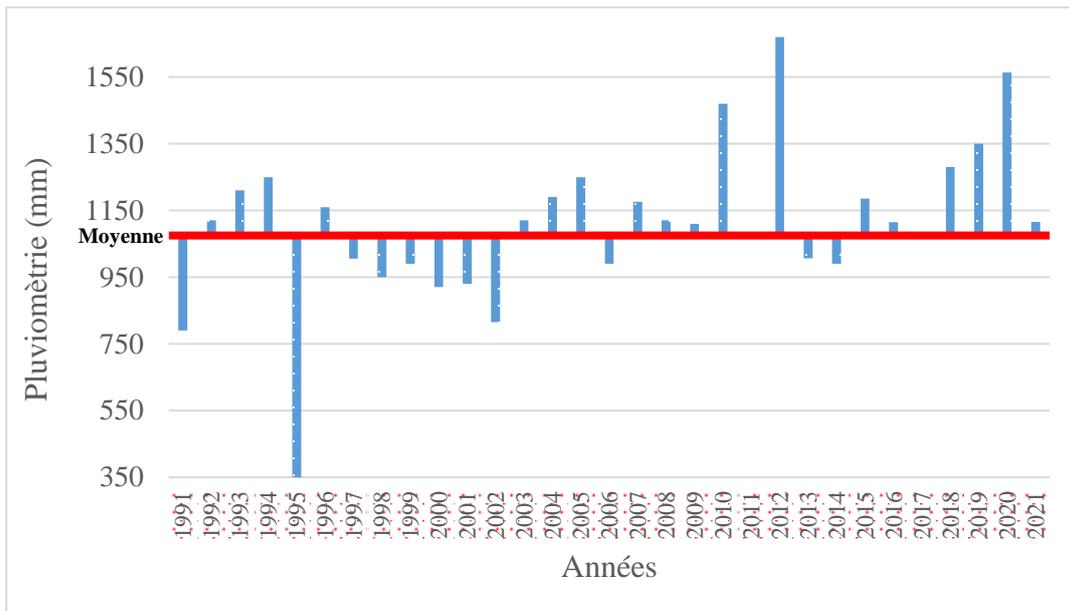
L'étude a eu lieu dans les villages de Birkama, Boucarcounda, Fassane, Kolane, Kounayang, Kougne, Mangacounda, Manécounda et Sina (figure 6), situés à l'extrême sud de la région de Sédhiou. Le choix de ces sites se justifie par le fait que ces neuf villages abritent les gros producteurs de noix d'anacarde identifiés par le Programme d'Appui pour le Développement Economique de la Casamance (PADEC).



**Figure 6 :** localisation des sites d'étude de la région de Sédhiou

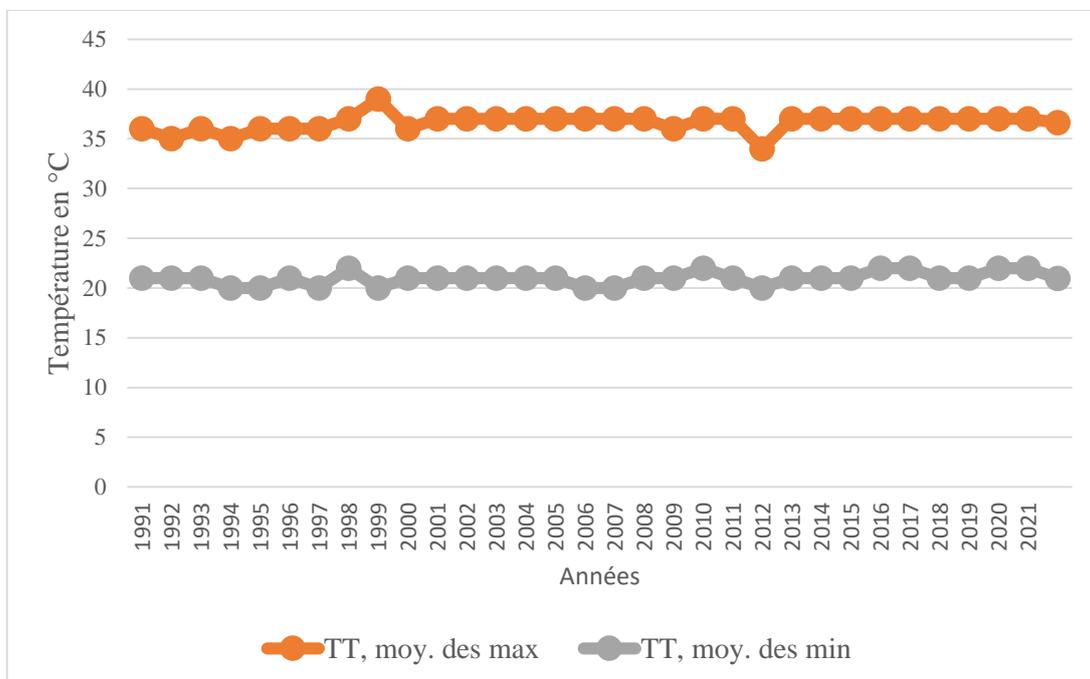
#### 1.2.2.2.2. Climat, sols, relief et hydrographie

Le climat de la région de Sédhiou est de type soudano-côtier. Il présente des précipitations qui s'étalent de juin en octobre et une saison sèche qui couvrent la période de novembre à mai. Les précipitations moyennes annuelles de la région de Sédhiou varient entre 350,8 mm et 1670,3 mm. La moyenne des précipitations est de 1107,84 mm/an. De l'observation de la figure 7 ressort une alternance d'année excédentaire et déficitaire en eau pluviale.



**Figure 7 :** variation de l'écart à la moyenne pluviométrique de la région de Sédhiou de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023)

Les températures moyennes mensuelles des trente années (1991 à 2021) de la station de Sédhiou montrent un maximum de 39°C enregistré en 1999 et un minimum de 20°C. La courbe (figure 8) des maximas de température présente une évolution unimodale caractérisée par un maximum principal (39°C).



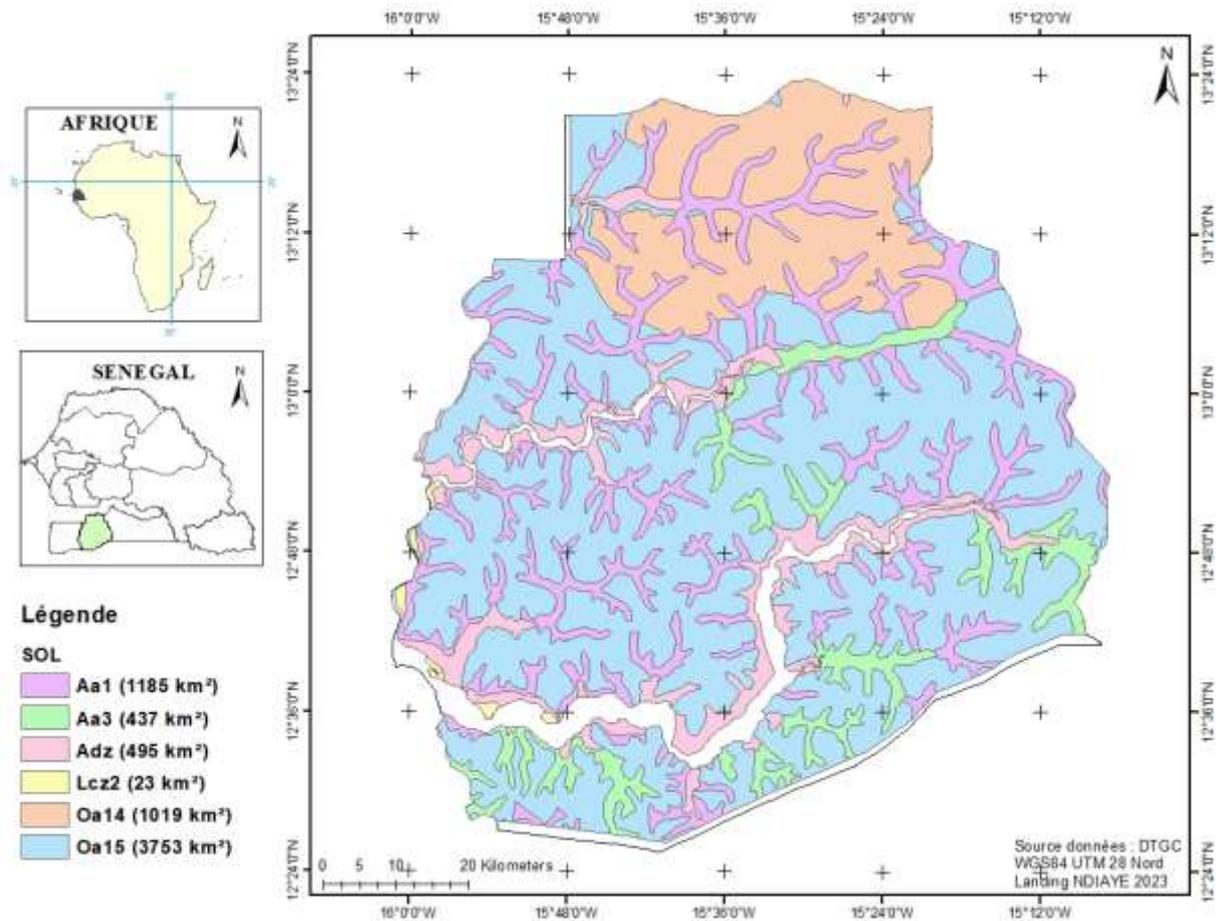
**Figure 8 :** variabilité de la température moyenne annuelle de la région de Sédhiou de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023)

Les types de sols rencontrés dans la région de Sédhiou (figure 9) sont les suivants :

- Les sols ferrugineux tropicaux et/ou les sols ferrallitiques (Oa15) avec des variantes suivant les conditions bioclimatiques. Communément appelés sols « Deck », ils couvrent la majeure partie de la région soit une superficie de 3753 km<sup>2</sup> et sont aptes à la culture de l'anacardier. Cette superficie occupe 51,2% du territoire régional. À Sédhiou, la cajouculture présente beaucoup de potentialités d'extension.
- Les sols argilolimoneux localisés sur les pentes des vallées. C'est le domaine des palmeraies et une zone apte à l'arboriculture et au maraîchage.
- Les sols hydromorphes ou sols gris (Aa3) se localisent en bas des pentes. Ils sont aptes à la riziculture. Les sols hydromorphes à Gley salé (Adz) sont issus du contact alluvial fluviomarín et bordent le fleuve Casamance et son affluent le Soungrourou. Ces sols sont rizicultivables en période hivernale, mais sont souvent exposés à l'intrusion de la langue salée.
- Les sols halomorphes acidifiés. Ces sols sont inutilisables.

Le relief est essentiellement composé de plateaux, de vallées et de bas-fonds.

La région dispose d'un réseau hydrographique assez dense composé essentiellement du fleuve Casamance, de son affluent Soungrourou, des mares temporaires et permanentes et de Bolongs. La nappe maestrichtienne, d'une profondeur voisine de 400 m à l'ouest de l'axe Sénoba-Bafata est accessible à moins de 160 m dans la partie Centre Sud-est de la région. Quant à la nappe lutétienne, elle est exploitable à moins de 60 m à l'Ouest avec des débits de 200 à 300 m<sup>3</sup>/heure. Au nord-ouest de la région, la nappe semi-profonde, résidant dans les sables, peut être atteinte entre 50 et 150 m de profondeur avec des débits pouvant atteindre 20 à 280 m<sup>3</sup>/heure. Les nappes phréatiques sont alimentées par les pluies et les cours d'eau. Leurs profondeurs se situent à moins de 40 m. La qualité de l'eau y est bonne et les débits peuvent varier de 5 à 10 m<sup>3</sup>/heure pour les puits et de 10 à 60 m<sup>3</sup>/heure pour les forages (ANSD, 2017b).



**Figure 9** : carte pédologique de la région de Sédhiou

### 1.2.2.2.3. Caractéristiques sociodémographiques

La population de la région de Sédhiou recensée en 2013 est de 452.994 habitants soit 3,4% de la population nationale. La densité de la population est de 62 habitants au km<sup>2</sup>. Caractérisé par sa jeunesse, l'âge moyen de la population est de 21 ans contre 22,4 ans au niveau national. La moitié de la population a moins de 15 ans (âge médian). La population résidente est en majorité rurale avec 80,8% contre 19,2% de citadins. Sur le plan de la répartition spatiale, il existe une légère disparité entre les départements. L'indice synthétique de fécondité est de 7,2. Le taux brut de mortalité (TBM) dans la région de Sédhiou est de 11‰.

La population se caractérise également par sa composition cosmopolite du fait de la diversité ethnique : Mandingues, Peulhs, Balantes, Diolas, Manjaques, Mancagnes, Ouolofs, Sérères (ANSD, 2017b).

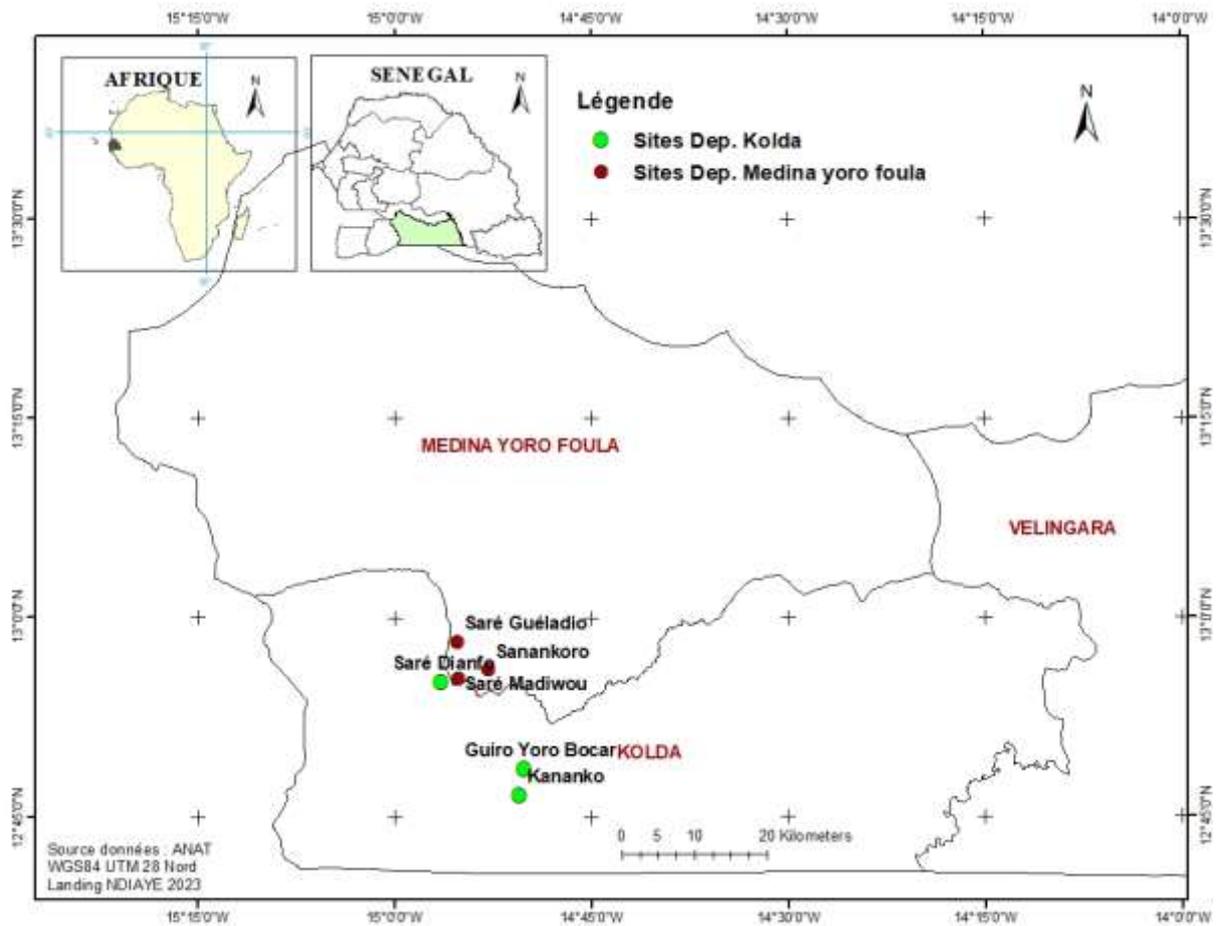
### **1.2.2.3. Région de Kolda**

#### **1.2.2.3.1. Situation géographique et administrative**

La région de Kolda, sous zone agro climatique de la zone agroécologique de la Casamance, dans sa configuration actuelle, est créée par la loi 2008- 14 du 18 mars 2008 modifiant les articles premier et deuxième de la loi n° 72-02 du 1er février 1972 relative à l'organisation de l'administration territoriale. Elle se situe entre 12°40' et 13°10' de latitude nord et 14°30' et 15°10' de longitude ouest. Elle s'étend sur une superficie de 13 721 km<sup>2</sup> soit 7% du territoire national.

Du point de vue administratif, la région est composée de trois départements (Kolda, Médina Yoro Foula et Vélingara). Le département de Vélingara est le plus vaste avec 40% de la superficie régionale, suivi de Médina Yoro Foula avec 34% et de Kolda 26%. La région compte 1589 villages officiels (ANSD, 2017c).

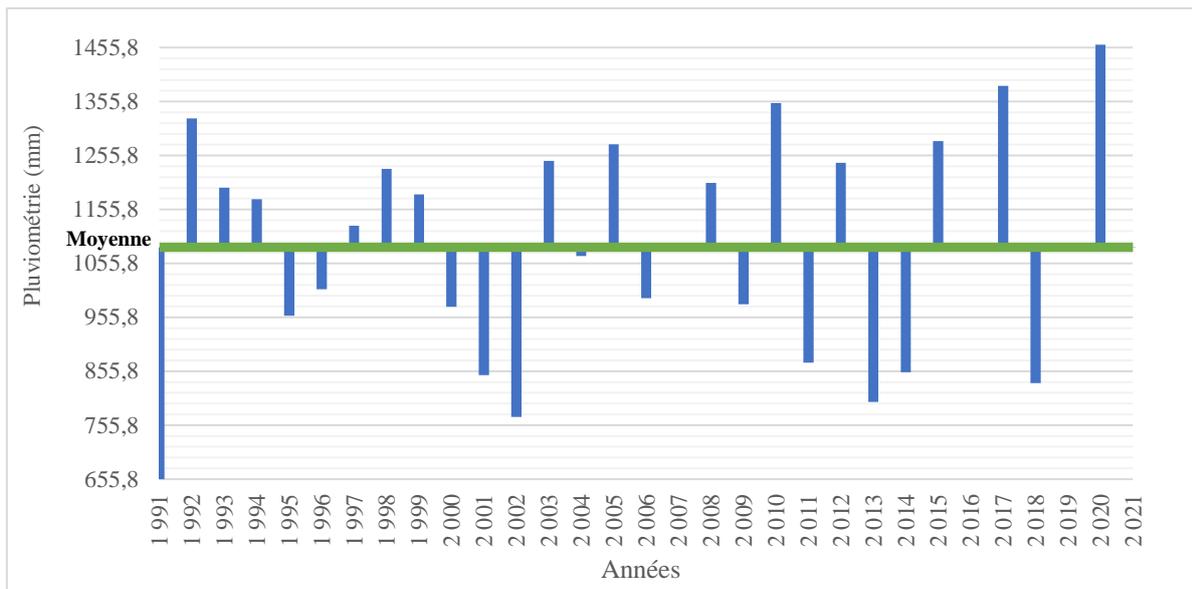
L'étude a été menée dans les villages de Saré Guéladio, Sanankoro, Saré Dianfo, Saré Madiwou, Guiro Yoro Bocar, et Kananko (figure 10). Le choix de ces sites se justifie par le fait que ces six villages abritent les gros producteurs de noix d'anacarde identifiés suivant une approche participative.



**Figure 10** : localisation des sites d'étude de la région de Kolda

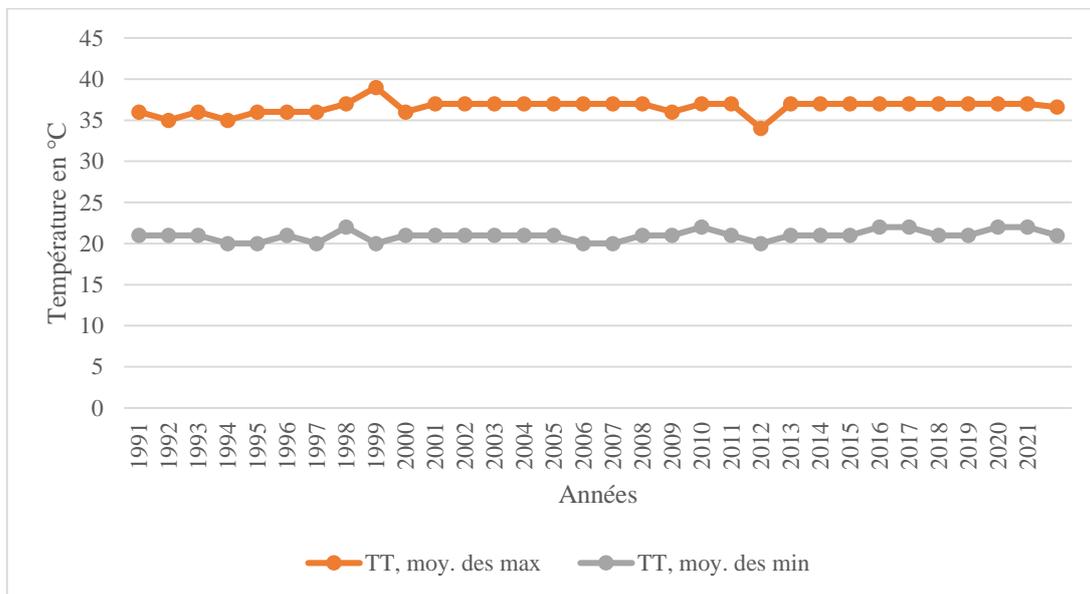
### 1.2.2.3.2. Climat, sols, relief et hydrographie

Le climat est de type soudano-guinéen. Les précipitations s'étalent de juin à octobre avec une intensité maximale sur la période août-septembre. La moyenne pluviométrique de 1991-2021 est 1085,45 mm/an (figure 11). L'observation de la figure 11 montre succession d'année excédentaire et déficitaire en eau pluviale.



**Figure 11 :** variation de l'écart à la moyenne pluviométrique de la région de Kolda de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023)

La température moyenne annuelle de l'air est de 29°C avec une moyenne maximale de 37°C et une moyenne minimale annuelle de 21°C (figure 12).



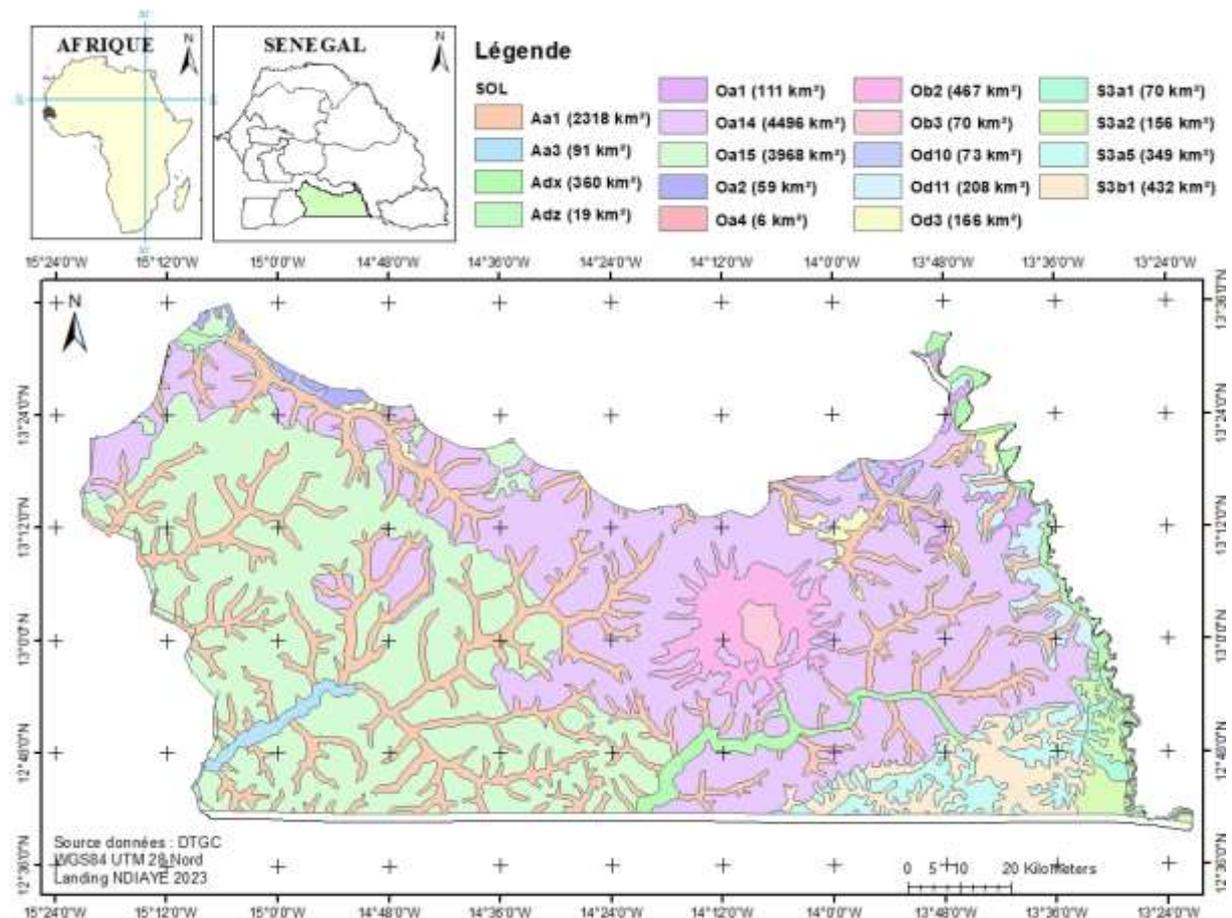
**Figure 12 :** variabilité de la température moyenne annuelle de la région de Kolda de 1991 à 2021 (ANACIM, 2023)

Les types de sols retrouvés (figure 13) sont les sols ferrugineux (Oa15), recouvrant une cuirasse latéritique (Oa1, Oa2 et Oa14) qui affleure par endroits (Sane, 2016). Ces sols conviennent plus à la culture anacardière et couvrent une superficie totale de 8634 km<sup>2</sup>, soit 62,93% du territoire

régional. La région regorge d'énorme potentialité de production de noix de cajou. À Kolda, la cajouculture présente une importante possibilité d'extension.

Le relief est constitué de grès sablés argileux formant des plateaux avec une végétation naturelle abondante (savane ou forêt claire), entrecoupée de vallées dans lesquelles se trouvent les rizières et les pâturages de bas-fonds.

Le réseau hydrographique est composé d'un cours d'eau principal, le fleuve Casamance et ses affluents. Sa rive droite est longée par le marigot de Saré Kouyatel tandis que la rive gauche renferme les marigots de Thiango Dianguina, de Khorine et de Dioulacolon. La zone de Kounkané est arrosée par le fleuve Kayenga et son affluent l'Anambé. Les barrages de Niandouba et d'Anambé élevés respectivement sur ces cours d'eau font que la zone dispose de l'eau de façon continue. En plus, les eaux de pluie alimentent les nappes superficielles du Continental terminal, du miocène (50 et 150 m de profondeur) et du quaternaire. Le Maestrichen est accessible à moins de 160 m au centre sud et au sud-est de la région. La qualité de l'eau est bonne (ANSD, 2017c).



**Figure 13 :** carte pédologique de la région de Kolda

### **1.2.2.3.3. Caractéristiques sociodémographiques**

Le Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage effectué en 2013 fait état d'une population résidente de 662.455 individus au niveau de la région de Kolda. Les Peulhs représentent l'ethnie majoritaire. Le département de Vélingara est le plus peuplé de la région avec 278.381 habitants soit 42% de la population totale de la région. Il est suivi du département de Kolda avec 37,1 % de la population totale de la région. Le département de Médina Yoro Foula, le moins peuplé de la région compte 138.084 habitants soit 20,8% de la population totale.

La zone agroécologique de la Casamance présente une importante superficie de sols apte à la cajouculture et permet l'extension des plantations d'anacardiers. La Casamance représente plus de 90% de la production nationale de noix de cajou (Séne, 2014 ; PADEC, 2016). À cet effet, il est important de maîtriser la diversité morphologique et génétique des anacardiers en plantation dans cette région pour envisager une amélioration du matériel végétal et de la productivité de l'espèce.

---

**CHAPITRE 2 : CARACTÉRISATION STRUCTURALE, AGRO  
MORPHOLOGIQUE ET PHÉNOTYPIQUE DE LA POPULATION  
D'ANACARDIERS (*Anacardium occidentale* L.) DE LA ZONE  
AGROÉCOLOGIQUE DE LA CASAMANCE (SÉNÉGAL)**

---

- Ce chapitre a fait l'objet d'une communication écrite au colloque international « *Écologie, Santé et Sociétés en Afrique* » organisé au Grand Amphithéâtre de la Faculté de Médecine de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, les 21, 22, 23 février 2023
- et d'une communication orale à la 11<sup>ème</sup> édition des journées scientifiques de l'Université Gaston Berger de Saint-Louis, les 25, 26 et 27 juillet 2023

## Résumé

L'objectif principal de la présente étude est de déterminer l'hétérogénéité morphologique des anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) cultivés dans la zone agroécologique de la Casamance au sud du Sénégal. La description standard des critères morphologiques de ces anacardiens a été faite grâce à la méthode International Board for Plant Genetic Resource (IBPGR). Les mesures effectuées sur 411 arbres ont porté sur les feuilles, les inflorescences, les fleurs, les noix ainsi que la taille des arbres. Grâce à la méthode d'optimisation des clusters, à l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et à la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), trois morphotypes bien distincts ont été identifiés. Le morphotype 1 constitué d'arbres de grande taille (Ht = 11,9 m), caulescents (Hbr = 85,3 cm), pourvu d'un ratio floral (RF) de 4,9% et une production en noix de 16,8kg/pied en moyenne. L'indice de sphéricité des noix de cajou de ces anacardiens est estimé à  $0,71 \pm 0,98$ . Les arbres du morphotype 2 sont de taille moyenne (Ht = 9,2 m), bas branchus (Hbr = 65,5 cm), procurés d'un ratio floral (RF) de 11,6% et production en noix de 13,9kg/pied en moyenne. Les noix des anacardiens de ce morphotype ont un indice de sphéricité de  $0,73 \pm 0,63$ . Le morphotype 3 comprend des arbres de petite taille (Ht = 7,8 m), bas branchus (Hbr = 65,6 cm), avec un faible ratio floral de 3% et production en noix de 6,5kg/pied en moyenne. L'indice de sphéricité des noix du morphotype 3 est de  $0,72 \pm 0,55$ . L'étude a montré une importante variabilité phénotypique au sein des anacardiens étudiés de même que des corrélations intramorphologiques significatives entre les variables dendrométriques, foliaires, florales et morphopondérales des noix de cajou. Ainsi des études génétiques devront suivre pour permettre de fixer la variabilité génétique du matériel végétal utilisé et confirmer le fondement génétique des caractères morphologiques obtenus et souhaités.

**Mots clés :** hétérogénéité phénotypique, morphotypes, *Anacardium occidentale* L., cultivées, Casamance

## Abstract

The main objective of the present study is to determine the morphological heterogeneity of cashew trees (*Anacardium occidentale* L.) grown in the agroecological zone of Casamance in southern Senegal. The standard description of the morphological criteria of these cashew trees was made using the International Board for Plant Genetic Resource (IBPGR) method. Measurements carried out on 411 trees focused on the leaves, inflorescence, flowers, nuts as well as the size of the trees. Thanks to the cluster optimization method, Principal Component Analysis (PCA) and Ascending Hierarchical Classification (CAH), three very distinct

morphotypes were identified. Morphotype 1 consists of large trees (Ht = 11.9 m), caulescent (Hbr = 85.3 cm), with a floral ratio (RF) of 4.9% and a nut production of 16.8kg/foot on average. The sphericity index of cashew nuts from these cashew trees is estimated at  $0.71 \pm 0.98$ . The trees of morphotype 2 are of medium size (Ht = 9.2 m), low branched (Hbr = 65.5 cm), provided with a floral ratio (RF) of 11.6% and nut production of 13.9kg/foot on average. The nuts of cashew trees of this morphotype have a sphericity index of  $0.73 \pm 0.63$ . Morphotype 3 includes small trees (Ht = 7.8 m), low branching (Hbr = 65.6 cm), with a low floral ratio of 3% and nut production of 6.5 kg/foot on average. The sphericity index of morphotype 3 nuts is  $0.72 \pm 0.55$ . The study showed significant phenotypic variability within the cashew trees studied as well as significant intramorphological correlations between dendrometric, foliar, floral and morphoweight variables of cashew nuts. Thus, genetic studies must follow to help determine the genetic variability of the plant material used and confirm the genetic basis of the morphological characters obtained and desired.

**Key words:** phenotypic heterogeneity, morphotypes, *Anacardium occidentale* L., Cultivated, Casamance

## **Introduction**

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.), de la famille des *Anacardiaceae* est une espèce ligneuse originaire d'Amérique du Sud, plus précisément de la région du Céara au nord-est de la côte du Brésil (Olher, 1979 ; Trévian *et al.*, 2005). C'est une plante à intérêt multiple et varié (Ainan, 1996). La spéculation est cultivée dans la quasi-totalité des zones tropicales du monde. En Afrique, la filière est inscrite au cœur des politiques publiques dans tous les pays producteurs de noix de cajou comme la Côte d'Ivoire, la Guinée-Bissau, le Burkina Faso, le Nigéria, la Tanzanie, le Mozambique, le Bénin, le Kenya, le Sénégal et la Gambie (iCA, 2014). Au Sénégal, la filière anacarde constitue un levier puissant dans la lutte contre la pauvreté et le chômage. Aujourd'hui, l'exploitation de la noix de cajou est devenue l'activité agricole la plus rentable dans la zone agroécologique de la Casamance au Sénégal (Dieng, 2020).

La Casamance qui polarise les régions administratives de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda correspond à la zone d'étude. Sa part dans les productions nationales estimées à 28 900 tonnes (Hien, 2019) est de 90% pour la noix de cajou (PADEC, 2016). Dans cette contrée du Sénégal, les producteurs d'anacardiers rencontrent d'énormes difficultés dues à plusieurs facteurs tels que l'encadrement technique insuffisant, l'utilisation de variantes d'anacardiers peu productives et de sources inconnues (Sarr, 2002, Ndiaye *et al.*, 2017a).

Les travaux de recherches sur l'anacardier au Sénégal ont concerné essentiellement la description des morphotypes (Ndiaye et *al.*, 2019 ; Ndiaye et *al.*, 2020), la comparaison de leurs capacités germinatives (Malou, 2014 ; Coly, 2016 ; Niang, 2016), la caractérisation des plantations (Balogoun et *al.*, 2014 ; Ndiaye et *al.*, 2017a) et l'influence de la flore associée dans la production des parcs à base de *Anacardium occidentale* L. (Ndiaye et *al.*, 2017b). Les études portant sur la caractérisation des variantes d'anacardiers utilisés par les paysans et leurs rendements respectifs suivant les régions productrices de la Casamance sont rares et disparates.

Or, l'amélioration de la productivité de l'espèce *Anacardium occidentale* est sujette à la bonne connaissance et gestion du matériel végétal utilisé. À cet effet, il est important de caractériser davantage les variétés cultivées par le paysan pour mieux accompagner les travaux d'amélioration de la productivité de l'anacardier au Sénégal et ainsi rehausser le niveau de vie des populations démunies de la Casamance. C'est dans ce contexte que la présente étude a été réalisée.

Il s'agit ici de caractériser le pool variétal des plantations d'anacardiers de la zone agroécologique de la Casamance à travers la description morphologique et phénotypique des caractères étudiés.

## **2.1. Matériel et méthodes**

### **2.1.1. Échantillonnage**

L'expédition de germoplasmes, réalisée par le Programme d'Appui pour le Développement Economique de la Casamance (PADEC) de 2012 à 2017 du pool variétal des zones de Sokone (Fatick) et du Balantacounda (Sédhiou) au Sénégal, a aidé à identifier 460 anacardiers « plus » supposés à haut rendement. Parmi ces anacardiers « plus » supposés à haut rendement, un effectif de 150 arbres a été caractérisé dans la région de Sédhiou. Suivant une approche participative, deux cent soixante et un (261) autres anacardiers ont été choisis dans les régions de Ziguinchor (150 arbres) et de Kolda (111 arbres) et rajoutés aux cent cinquante (150) anacardiers « plus » pour constituer l'échantillon (411 anacardiers) de la présente étude (tableau 1). La présente étude a été menée dans les trois régions administratives de la zone agroécologique de la Casamance. Elles appartiennent intégralement à la zone soudanienne située au sud du pays. Le choix de la Casamance pour la présente étude s'explique par le fait qu'elle est l'une des deux zones agroécologiques du Sénégal où les superficies réservées à des plantations d'anacardiers sont les plus étendues du pays. Dans chaque région, six (06) localités

au moins ont été visitées afin d’avoir un échantillon représentatif. Ainsi, dans chaque plantation, au moins huit anacardiens ont été choisis au hasard suivant les deux diagonales de la plantation (Banito *et al.*, 2007 ; Déwa *et al.*, 2011).

**Tableau 1** : structuration spatiale des anacardiens des grandes régions productrices de la Casamance étudiés

<b>Régions</b>	<b>Communes</b>	<b>Villages</b>	<b>Anacardiens caractérisés</b>
<b>Ziguinchor</b>	Adéane	Adéane	15
	Niaguis	Agnack	15
	Boutoupa Camaracounda	Boutoupa Camaracounda	15
	Ziguinchor	Diabir	15
	Oussouye	Oussouye	15
	Thionk-Essyl	Thionk-Essyl	15
	Mlomp	Mlomp	15
	Ziguinchor	Tobor	15
	Ziguinchor	Baghagha-Tobor	15
	Baghagha	Baghagha	15
<b>Sédhiou</b>	Djibanar	Birkama	20
	Simbandi Brassou	Boukarcounda	8
	Samine	Fassane	9
	Simbandi Balante	Kolane	28
	Samine	Kougne	13
	Djibanar	Kounayang	20
	Simbandi balante	Manécounda	21
	Kaour	Mangacounda	13
	Simbandi balante	Sina	18
<b>Kolda</b>	Bignarabé	Sanankoro	10
	Bignarabé	Saré Guéladio	10
	Bignarabé	Saré madiwou	15
	Kolda	Saré dianfo	20
	Guiro Yoro Bocar	Guiro Yoro Bocar	36
	Bagadadji	Sananco	20
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>411</b>

La caractérisation des noix de cajou et la quantification de la production en noix de cajou ont nécessité l'usage de la méthode d'échantillonnage stratifié. La méthode d'échantillonnage stratifié a permis de diviser la population d'anacardier de la Casamance en groupes homogènes (clusters) distincts les uns des autres. Ainsi, pour déterminer le nombre d'anacardiers à caractériser dans chaque cluster, la méthode d'échantillonnage proportionnel a été utilisée. Elle consiste d'abord à déterminer le poids de chaque cluster d'anacardier. Ensuite, de déterminer le nombre total d'anacardiers de la population qui correspond au 20% de sondage. Enfin, de multiplier le poids de chaque cluster par le nombre d'anacardiers correspondant au 20% de sondage. Ceci a permis de caractériser 82 anacardiers répartis comme suit : 25 dans le cluster 1, 27 dans le cluster 2 et 30 dans le cluster 3. Le choix de ces anacardiers des trois clusters a été fait suivant la méthode d'échantillonnage aléatoire avec critère. Il a porté sur des anacardiers de toutes les classes de diamètre qui se trouvent en pleine production de fruits et qui se sont très bien exprimés avec les descripteurs analytiques (dendrométriques, foliaires et floraux). Sur ce, le code-barre de tous les anacardiers répondant au mieux aux critères précités de chaque cluster a été gravé chacun dans un bout de papier et une seule fois. Les codes-barres des anacardiers retenus de chaque cluster ont été mis dans un bocal, soit un total de trois bocaux utilisés. Le tirage sans remise a été effectué pour chaque morphotype (cluster).

## **2.1.2. Caractérisation agromorphométrique des anacardiers**

### **2.1.2.1. Caractérisation dendrométrique**

La caractérisation dendrométrique a permis d'évaluer la diversité morphométrique des pieds d'anacardiers étudiés. Cette caractérisation a permis aussi d'identifier des individus et des morphotypes élités pour des caractères d'intérêts. L'évaluation a été faite par des descripteurs dendrométriques. Les quatre cent onze (411) anacardiers ont été d'abord marqués par des codes-barres et à l'aide de peinture puis géolocalisés. Sur chaque site, sur chaque arbre, les mensurations ont porté sur les variables dendrométriques notamment la hauteur totale « Ht » et le diamètre du tronc à hauteur de poitrine «  $D_{1,30m}$  » et sur les variables de l'architecture du houppier dont la hauteur de première branche « Hbr » et le diamètre du houppier « DH ». L'état du feuillage (port) de l'anacardier a été défini à trois niveaux. Ces données ont permis d'étudier le lien qui existe entre la morphologie des arbres et les caractères de production. La hauteur totale de l'arbre a été mesurée à l'aide d'un Blum-less (Akadié *et al.*, 2014). Le Blum-less comporte 4 échelles de lecture (15, 20, 30 et 40 m) des hauteurs. La valeur sur l'échelle qui

correspond à la distance d'éloignement choisie par rapport à l'anacardier a été lue. Pour déterminer la hauteur totale de l'anacardier, on se met à la distance d'une des échelles de lecture de hauteur précitées. Pour ce présent travail, on s'est mis à 15 m ou à 20 m du pied de l'arbre et on visait successivement la cime et le pied de l'anacardier. Ensuite, on a effectué les lectures correspondantes à l'échelle de distance choisie en additionnant les 2 valeurs si elles se situent de part et d'autre des zéros des échelles. Le diamètre du tronc à hauteur de poitrine a été mesuré à l'aide d'un compas forestier. Lorsque l'arbre est fourchu avant 1,30 m, les différentes fourches sont mesurées et on procède au calcul du diamètre quadratique. La circonférence, mesurée à partir du ruban mètre pour les anacardiers dont le diamètre du tronc à 1,30 m est supérieur à 50 cm. Les diamètres du houppier suivant les sens est-ouest et nord-sud ont été mesurés à l'aide d'un ruban mètre de 30 m afin d'évaluer le recouvrement. La hauteur de l'arbre, le diamètre du tronc et le diamètre du houppier sont des variables qui permettent de mieux cerner l'espace occupé réellement par les arbres pour une meilleure gestion à long terme des plantations d'anacardiers (Tandjiekpon, 2005).

La hauteur de la première branche, longueur de la partie rectiligne comprise entre le collet de l'arbre et la première ramification, a été mesurée à l'aide d'un ruban mètre. L'aspect et la couleur de l'écorce ont été définis. L'état du feuillage de chaque anacardier a été apprécié selon le descriptif de l'anacardier (IPBGR, 1986) avec trois niveaux : port érigé à canopée compacte, port érigé à canopée ouverte et port rampant.

Le facteur dendrochronologique (âge) et les facteurs écologiques (région, département, commune et village) de chaque anacardier ont été déterminés.

#### **2.1.2.2. Caractérisation foliaire**

L'étude de la morphologie foliaire a été effectuée sur les quatre cent onze (411) anacardiers étudiés, en raison 40 feuilles par pied, collectées suivant les quatre directions (est, ouest, nord et sud) du houppier de l'arbre, soit 10 feuilles par point cardinal. Un total de seize mille quatre cent quarante (16 440) feuilles d'anacardiers a été caractérisé. La méthode de collecte consiste à sélectionner la quatrième feuille en partant du méristème apical sur dix rameaux différents afin de comparer des feuilles de même âge (Sankharé, 2018). Le choix des rameaux a été fait au hasard. Les variables qualitatives qui ont été évaluées sont la forme du limbe et la couleur de la feuille sur la base de la méthode IBPGR (1986) et du petit lexique de botanique à l'usage du débutant (Douzet, 2007). Les variables quantitatives quant à elles renvoient aux mensurations qui ont porté sur la longueur et la largeur du limbe et la taille du pétiole.

### **2.1.2.3. Caractérisation florale**

La principale variable étudiée dans cette partie est le ratio floral (RF). Le ratio floral est un facteur déterminant pour la production de l'arbre. Sa formule proposée par l'IBPGR (1986) est mentionnée dans la partie analyse et traitement des données agromorphométrique.

Ainsi, un échantillon de quatre inflorescences par arbre a été collecté de manière aléatoire, correspondant à une panicule par côté ; soit un total de 1644 inflorescences récoltées sur les quatre cent onze (411) anacardiens étudiés. Sur chaque inflorescence, le nombre total de fleurs mâles et le nombre total de fleurs hermaphrodites a été évalué et le ratio floral calculé. La distinction des sexes de la fleur est basée sur la présence ou non de stigmate. D'autres variables qualitatives telles que la saison de floraison (floraison précoce ou floraison tardive) et le nombre de pics de floraison ont été également évalués suivant une approche participative.

### **2.1.2.4. Caractérisation morphopondérale du fruit (noix de cajou)**

Les noix de cajou ont été prélevées sur ces 82 anacardiens retenus parmi 411 pieds enrôlés dans une étude agromorphométrique en raison de 30 noix par pied ; soit un total de 2460 noix caractérisées. Le choix des noix a été fait au hasard. La description morphopondérale a porté sur :

- les dimensions (longueur « LN », largeur « LgN » et épaisseur « EN ») de la noix de cajou ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse à affichage digital (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) ;
- le rapport LgN / LN a été évalué ;
- l'indice de calibre et l'indice de sphéricité des noix de cajou ont été calculés suivant la méthode de Silou (1996) ;
- la masse unitaire a été déterminée à l'aide d'une balance de précision (Digital Scale Professionnal-Mini) ;
- la couleur et la forme de la noix de cajou ont été identifiées grâce au descriptif de l'anacardier (IPBGR, 1986).

### **2.1.2.5. Évaluation de la production**

L'évaluation de la production en noix de cajou a porté sur ces 82 anacardiens. La quantité totale de noix de cajou produite par l'arbre a été pesée. Pour ce faire, des sacs en jute ont été distribués

à tous les propriétaires des pieds d'anacardiers sélectionnés pour la collecte des noix de cajou. Les mêmes numéros ont été gravés à la fois sur le sac et sur le pied de l'arbre à évaluer.

### 2.1.2.6. Analyse et traitement de données agromorphométriques

Le diamètre quadratique moyen (MDq) de l'anacardier a été déterminé par la méthode utilisée par Saïdou *et al.* (2012) pour dégager une donnée unique par arbre pour les individus multicaules. Le diamètre moyen du houppier (DH) à partir des deux mesures prises au niveau de chaque arbre mesuré a été calculé avec la formule proposée par Rondeux (1999). La superficie couverte (Sc) par le houppier de chaque arbre a été calculée. Le ratio floral (RF) de chaque anacardier a été calculé par la formule proposée par l'IBPGR (1986). L'indice de calibre (IcN) et l'indice de sphéricité (IsN) de la noix de cajou ont été calculés. Le rapport largeur et longueur de la noix de cajou (LgN / LN) donnant une indication sur la forme des noix a été évalué par la formule de Cowan and Smith (1993).

$$\text{MDq} = \sqrt{(d1^2 + d2^2 + \dots + dn^2)} \quad \text{DH} = \sqrt{(D1^2 + D2^2) \div 2} \quad \text{Sc} = \frac{(\pi D^2)}{4}$$

- ✚ **MDq** = diamètre quadratique moyen, **d1** = diamètre tige 1, **d2** = diamètre tige 2, **dn** = diamètre tige n ;
- ✚ **DH** = diamètre du houppier, **D1** = diamètre du houppier sens est-ouest, **D2** = diamètre du houppier sens nord-sud ;
- ✚ **Sc** = superficie couverte, **D** = diamètre du tronc.

$$\text{RF} = \frac{\text{Nombre de fleurs hermaphrodites}}{(\text{Nombre de fleurs hermaphrodites} + \text{Nombre de fleurs mâles})}$$

$$\text{IcN} = \sqrt{LN * LgN * EN} \quad \text{IsN} = \sqrt[3]{LN * LgN * EN / LN}$$

- ✚ **IcN** = indice de calibre de la noix, **IsN** = indice de sphéricité de la noix, **LN** = longueur de la noix, **LgN** = largeur de la noix, **EN** = épaisseur de la noix.

Les données quantitatives des variables dendrométriques, foliaires, florales, et morphopondérales de la noix de cajou collectées ont été soumises à une Analyse en Composantes Principales (ACP) sous R package FactoMineR en vue de déterminer l'interdépendance qui existe entre les différentes variables étudiées. L'ACP permet de visualiser et d'analyser les corrélations entre les *n* variables et les *m* observations initialement décrites par les *n* variables sur un graphique à deux ou trois dimensions (Philippeau, 1986). Des corrélations

ont été établies entre les descripteurs dendrométriques et ceux foliaires, floraux et morphopondéraux des noix de cajou.

Le clustering consiste à regrouper les points les plus proches ou les plus semblables. Ce concept repose fortement sur ceux de distance et de similarité (Cleuziou, 2004). Le nombre de clusters  $k$  a été défini à l'aide de trois méthodes complémentaires. La méthode du coude (elbow) se base sur la « règle de la majorité » (Kassambara, 2017). L'alternative à la méthode elbow, celle de la silhouette moyenne a été utilisée. L'idée de la méthode de la silhouette moyenne est de calculer l'algorithme PAM en utilisant différentes valeurs de clusters  $k$ . La silhouette moyenne mesure la qualité d'un regroupement. Une silhouette moyenne à haute largeur indique un bon regroupement. Le nombre optimal de clusters  $k$  est celui qui maximise la silhouette moyenne sur une plage de valeurs possibles pour  $k$  (Kaufman et Rousseeuw, 1990). L'algorithme de la silhouette moyenne est similaire à la méthode du coude. La statistique d'écart (gap statistic), méthode sophistiquée et fiable, fournit une procédure statistique pour formaliser le coude/silhouette heuristique afin d'estimer le nombre optimal de clusters  $k$ . La méthode compare la variation totale intragrappée pour différentes valeurs de  $k$  avec leurs valeurs attendues sous une distribution de référence nulle des données (Kassambara, 2017). L'estimation des clusters optimaux se base sur la valeur qui donne la statistique d'écart la plus grande.

Les données de diamètre et de hauteur des anacardiens ont été utilisées pour estimer les paramètres structuraux  $a$ ,  $b$  et  $c$  grâce à un algorithme basé sur la méthode du maximum de vraisemblance (Burk et Newberry, 1984 ; Zarnock et Dell, 1985), disponible dans le logiciel Minitab 16. La forme de la distribution de Weibull à 3 paramètres ( $a$ ,  $b$  et  $c$ ) selon les valeurs du paramètre  $c$  a été analysée grâce aux travaux de Rondeux (1999).

La distribution spatiale des arbres des trois morphotypes a été déterminée à l'aide du logiciel Arc GIS version 10.8. Les coordonnées GPS des anacardiens et la base de données géographique (base géo) de l'agence nationale de l'aménagement du territoire (anat, 2014) ont été utilisées à cette fin.

## **2.2. Résultats**

### **2.2.1. Caractérisation structurale des anacardiens de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda**

Les résultats analytiques obtenus de la caractérisation dendrochronologique, dendrométrique, foliaire et florale des anacardiens des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda sont résumés dans le tableau 2. Les anacardiens de Ziguinchor sont plus âgés que ceux des régions

de Sédhiou et de Kolda. Ces anacardiers ont enregistré les meilleures performances en termes de variables dendrométriques notamment, diamètre du tronc (D), hauteur totale (HT) de l'arbre, hauteur de première branche (Hbr), diamètre du houppier (DH) et nombre de branches charpentières (NBC). Les anacardiers en plantation à Sédhiou ont enregistré les meilleurs résultats en termes de variables foliaires notamment, longueur du limbe (Ll), largeur du limbe (Lgl) et taille du pétiole (TP). Ces anacardiers ont aussi enregistré les meilleures performances en termes de variables florales, dont l'effectif total de fleurs mâles (FM), et de fleurs hermaphrodites (FH) par inflorescence, de ratio floral (RF) par inflorescence et de pics de floraisons (PF) par anacardier.

Globalement, les anacardiers de la région de Kolda ont enregistré les contre-performances en termes de variables dendrométriques, de variables foliaires et de variables florales.

**Tableau 2 :** variabilité des variables caractérisées au sein des anacardiers des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda

Régions Variables	Ziguinchor				Sédhiou				Kolda			
	Min	Max	Moy	Sd	Min	Max	Moy	Sd	Min	Max	Moy	Sd
<b>Variable dendrochronologique</b>												
Âge_ans	14	49	26,61	8,48	12	29	19,85	4,48	15	28	22,41	4,74
<b>Variables dendrométriques</b>												
D_cm	20	90,16	52,81	16,47	18,6	105,68	45,55	13,53	18,3	103,45	44,92	17,34
HT_m	4,6	18,6	16,69	3,11	5,2	14,8	8,96	2,08	4,75	13,5	8,09	1,91
Hbr_cm	5	304	91,95	66,76	10	232	75,14	42,85	10	180	52,87	42,95
DH_m	5,42	26,71	14,77	3,52	7,21	27,07	12,9	2,94	5,73	16,42	10,09	2,41
NBC	2	9	2,96	1,21	2	10	3,07	1,11	1	11	3,05	1,5
<b>Variables foliaires</b>												
Ll_cm	10,42	17,92	13,96	1,43	1,83	19,72	14,78	1,98	9,44	23,9	12,23	1,91
Lgl_cm	6,34	13,35	8,42	1	6,58	12,72	8,61	0,95	5,63	13,41	7,45	1,06
TP_cm	0,73	2,36	1,36	0,29	0,54	2,28	1,37	0,31	0,64	1,86	1,17	0,21
<b>Variables florales</b>												
FM_inflo	3	63,25	20,99	12,24	9	77	36,48	15,52	9,5	49	26,2	8,79
FH_inflo	0	6,75	0,97	1,12	0	11,25	2,4	2,16	0	5	0,69	0,88
RF_inflo	0	0,43	0,06	0,07	0	0,31	0,07	0,06	0	0,19	0,03	0,03
PF_pied	2	3	2,3	0,46	2	3	2,53	0,5	2	3	2,09	0,29

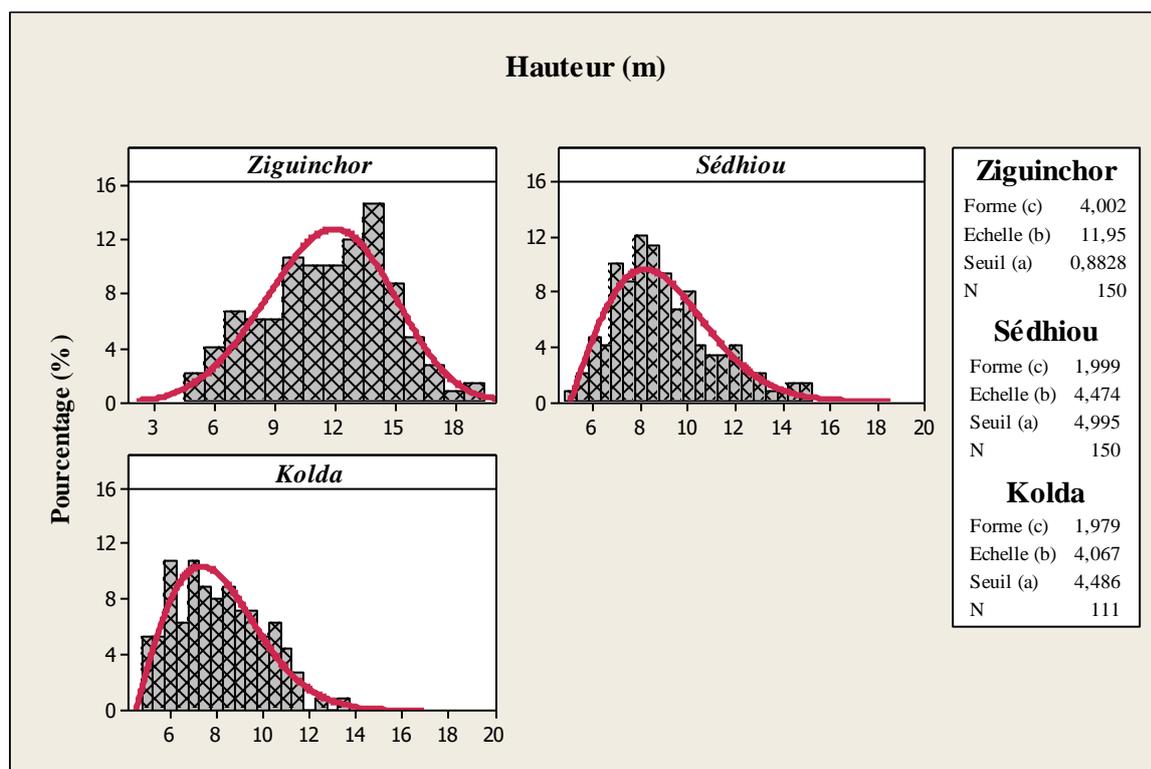
**Min** = valeur minimale ; **Max** = valeur maximale ; **Moy** = valeur moyenne ; **Sd** = écart-type ; **D** = diamètre du tronc ; **HT** = hauteur totale ; **Hbr** = hauteur de la première ramification ; **DH** = diamètre du houppier ; **NBC** = nombre de branche charpentière ; **Ll** = longueur du limbe ; **Lgl** = largeur du limbe ; **TP** = taille du pétiole ;

**FM\_inflo** = effectif fleurs mâles par inflorescence ; **FH\_inflo** = effectif fleurs hermaphrodites par inflorescence ;  
**RF\_inflo** = ratio floral ; effectif pics de floraison, **PF** = nombre de pics de floraison par arbre

### 2.2.2. Structure verticale des anacardiens étudiés

Les individus de l'espèce *Anacardium occidentale* mesurés lors des relevés de végétation ont été répartis suivant des centres de classes de hauteur. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure 14.

La structure verticale des anacardiens est en courbe en cloche à dissymétrie droite à Ziguinchor et en courbe en cloche à dissymétrie gauche à Sédhiou et à Kolda avec des coefficients de forme respectifs de 4,002, 1,999 et 1,979. À Ziguinchor, les anacardiens dont la hauteur est comprise entre 9 m et 15 m sont les plus nombreux alors qu'à Sédhiou et à Kolda, les sujets dont la hauteur est comprise entre 6 m et 10 m sont les plus représentés. La structure verticale des anacardiens des régions de Sédhiou et de Kolda est similaire et diffère de celle de Ziguinchor.



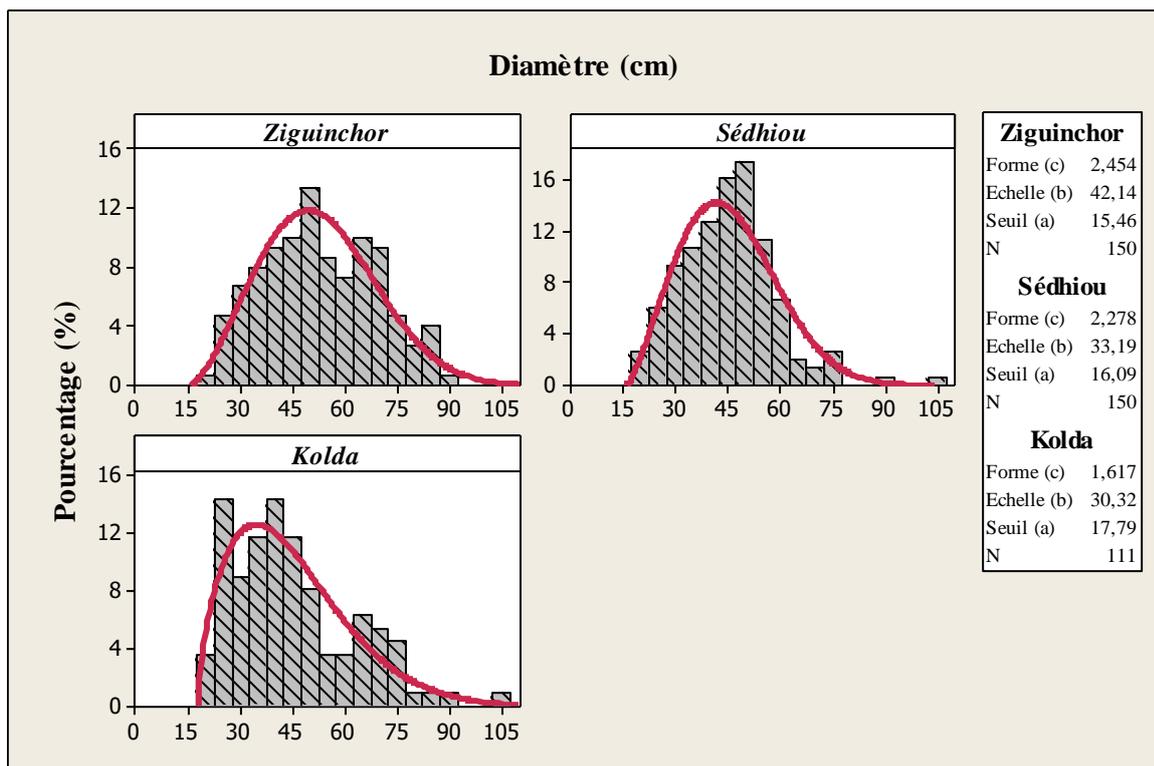
**Figure 14 :** répartition des anacardiens par centre de classe de hauteur à Ziguinchor, Sédhiou et Kolda avec surimposition de la distribution de Weibull

### 2.2.3. Structure horizontale des anacardiers étudiés

Les résultats analytiques obtenus de la distribution horizontale des anacardiers de la Casamance sont consignés dans la figure 15.

La structure horizontale des anacardiers est en courbe en cloche à dissymétrie gauche à Ziguinchor, à Sédhiou et à Kolda avec des coefficients de forme respectifs de 2,454, 2,278 et 1,617 compris entre 1 et 3,6. Cette distribution de WEIBULL (dissymétrie gauche) est caractéristique des peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre. Les anacardiers dont le diamètre est compris entre 30 cm et 75 cm sont les plus nombreux à Ziguinchor. À Sédhiou, les anacardiers dont le diamètre est compris entre 30 cm et 60 cm sont les plus représentés alors qu'à Kolda, les anacardiers dont le diamètre est compris entre 22,5 cm et 52,5 cm sont les plus nombreux.

La structure horizontale des anacardiers des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda est similaire.

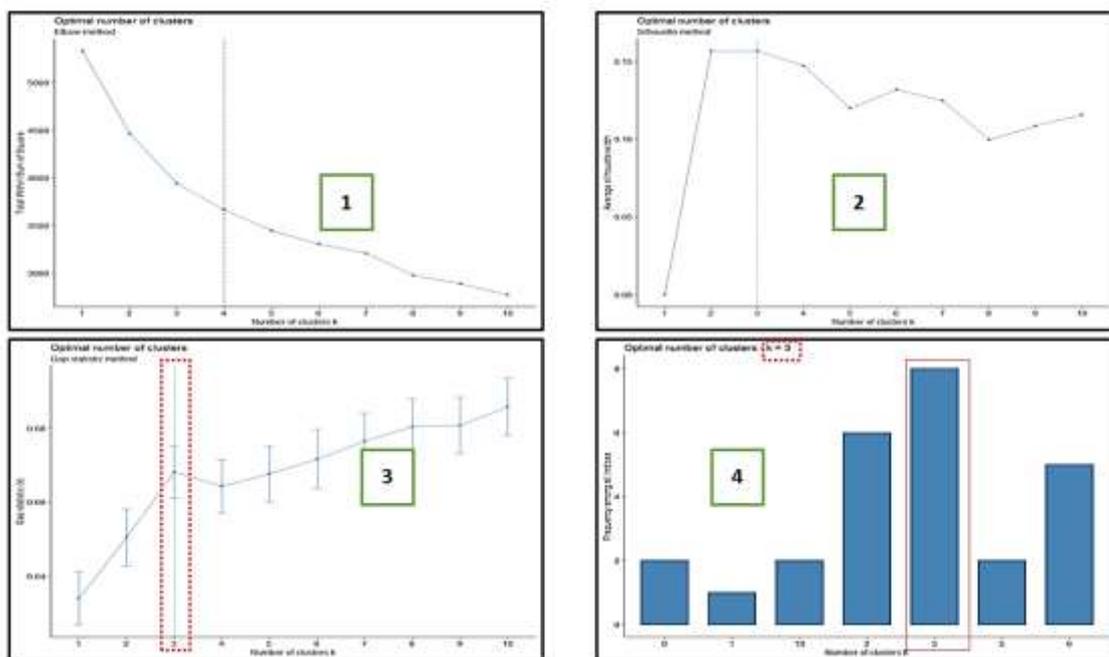


**Figure 15** : répartition des anacardiers par centre de classe de diamètre à Ziguinchor, Sédhiou et Kolda avec surimposition de la distribution de Weibull

## 2.2.4. Typologie des anacardiens étudiés

### 2.2.4.1. Détermination du nombre optimal de clusters

Les résultats expérimentaux sur le nombre optimal de clusters d'anacardiens étudiés sont consignés dans la figure 16. La méthode du coude (elbow) a, dans un premier temps, rangé les anacardiens de la Casamance dans 4 clusters distincts. Ensuite, par la méthode de la silhouette moyenne ce nombre est optimisé à 3 clusters. Ce nombre est confirmé par les résultats de la statistique d'écart. La figure 16.3 représente la courbe de variance au sein des clusters d'anacardiens obtenus. Elle croît lorsque k augmente, et forme une courbure (ou "coude") à k = 3. Cette courbure indique que les clusters au-delà de ce nombre ont peu de valeur scientifique.



**Figure 16 :** nombre optimal de clusters de la population d'anacardier de la Casamance

### 2.2.4.2. Structuration de la diversité phénotypique des anacardiens étudiés

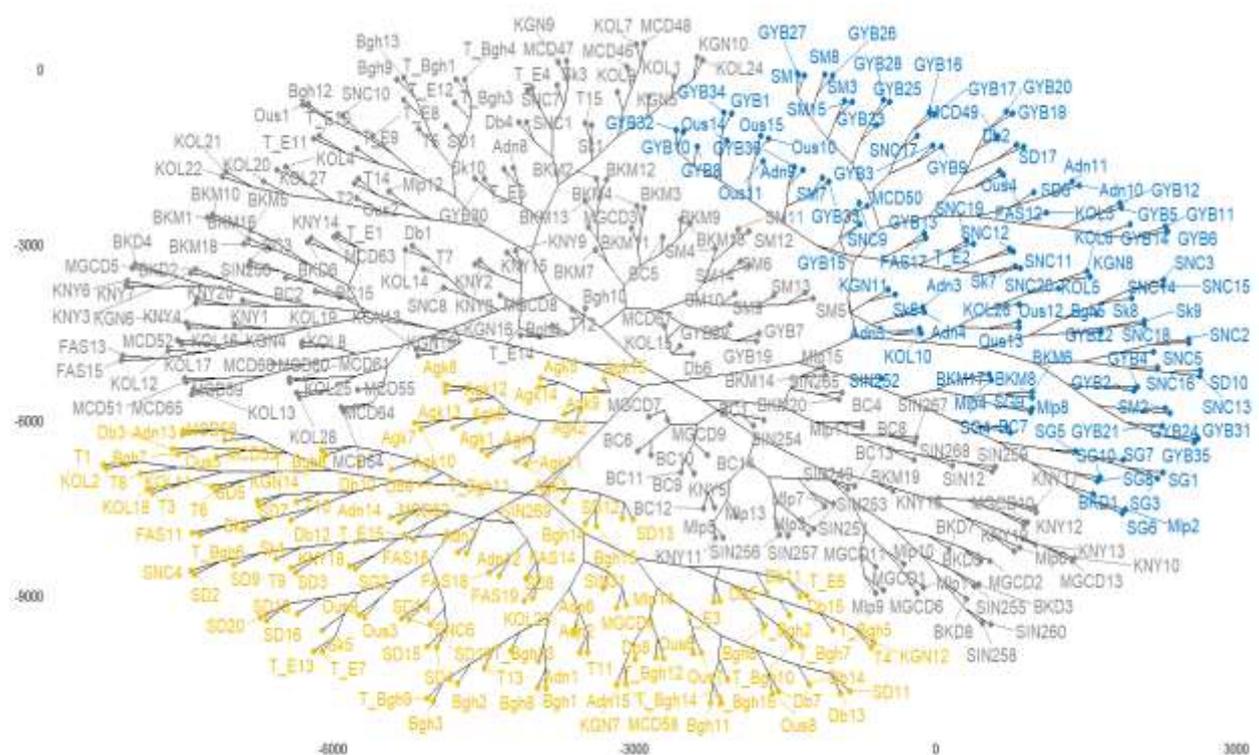
Les résultats du partitionnement des anacardiens en cluster sont présentés dans la figure 17. De l'analyse, ressort que les 411 anacardiens caractérisés dans la zone agroécologique de la Casamance sont rangés dans trois clusters bien distincts selon les différentes variables dendrométriques, florales et foliaires. Sur chaque cluster, on rencontre simultanément des anacardiens à pommes rouges, à pommes jaunes et à pommes oranges.

Le premier cluster est composé de 127 anacardiens répartis dans les trois régions administratives (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) de la Casamance. Ces anacardiens sont localisés dans 15

communes et 18 villages et ont un poids de 30,9% de la population d'anacardier caractérisée. Les codes-barres des anacardiers de ce morphotype sont de couleur jaune.

Le deuxième cluster est représenté par 133 anacardiers boisés dans les trois régions de la Casamance. Ces arbres sont répartis dans 11 communes et 18 villages. Le poids du groupe 2 est de 32,4% de la population totale d'anacardier caractérisé. La couleur des codes-barres des anacardiers du cluster 2 est noire.

Le cluster 3 avec 151 anacardiers de toutes les provenances (régions) est structuré autour des individus appartenant à 15 communes et 20 villages et a un poids de 36,7% de la population d'anacardier caractérisé en Casamance. Les codes-barres des anacardiers de ce cluster sont en couleur bleue.

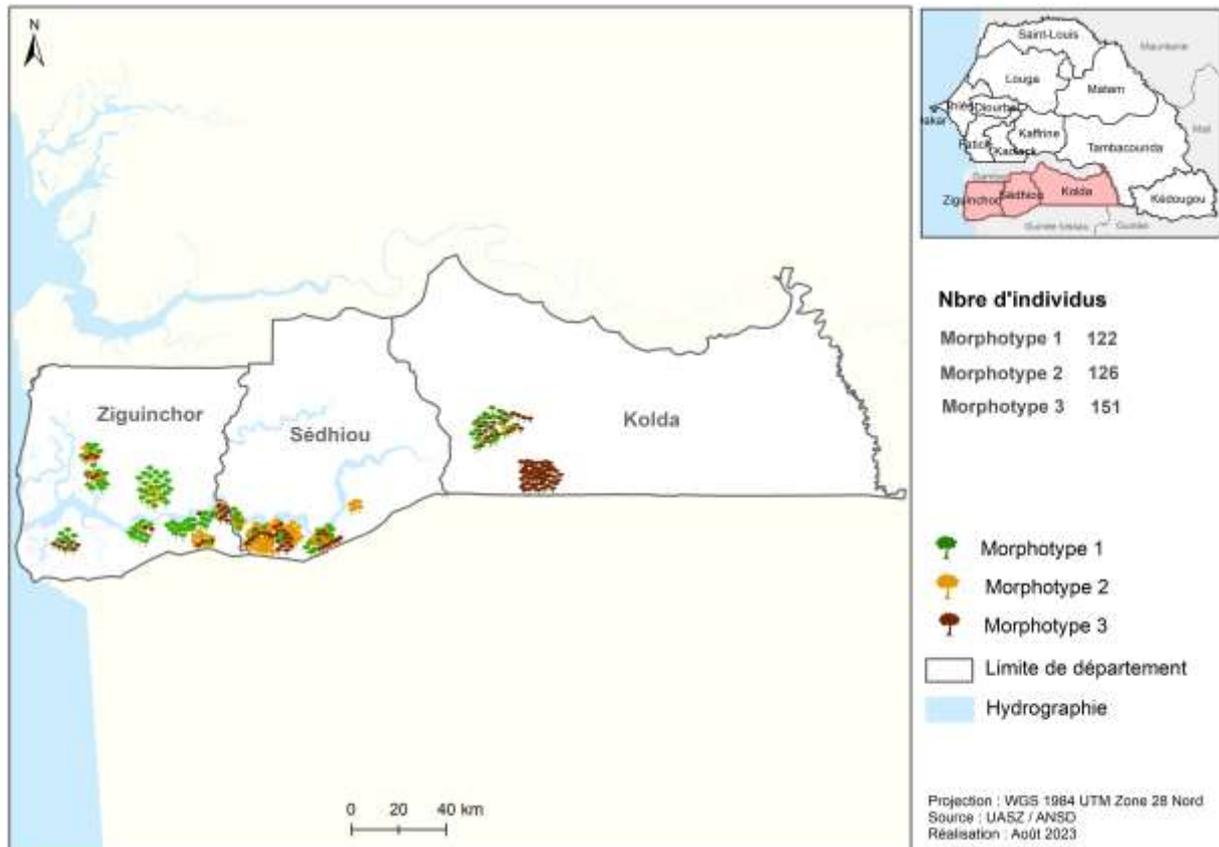


**Figure 17 :** feuille de partitionnement des 411 anacardiers dans trois clusters

La figure 18 représente la carte de distribution spatiale des anacardiers des morphotypes 1, 2 et 3. Les anacardiers des morphotypes 1 et 2, plus productifs dans la zone agroécologique de la Casamance sont quasiment rencontrés dans les régions de Ziguinchor et de Sédhiou. Cependant, la région de Kolda regroupe plus d'anacardiers du morphotype 3, donc peu productif. Toutefois, des anacardiers des morphotypes 1 et 2 sont aussi faiblement observés à Kolda.

Les anacardiers des régions de Ziguinchor et de Sédhiou, composés majoritairement d'individus des morphotypes 1 et 2, ont enregistré les meilleures performances en termes de

hauteur, de diamètre du houppier et de diamètre du tronc. Les feuilles de ces anacardiers ont enregistré les meilleures performances en termes de la longueur et de la largeur du limbe et de la taille du pétiole. Ces anacardiers sont plus pourvus en fleurs hermaphrodites et donc plus productifs.



**Figure 18** : distribution spatiale des anacardiers des morphotype 1,2 et 3

### 2.2.4.3. Analyse de la variabilité dendrométrique, foliaire, florale, morphopondérale de la noix et de production

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse de variance des variables dendrométriques, florales, foliaires et morphopondérales des noix de cajou des anacardiers caractérisés en Casamance. L'analyse de variance des variables quantitatives dendrométriques, foliaires, florales des anacardiers, et morphopondérales des noix de cajou a montré un effet significatif des communes et des villages sur la plupart des variables étudiées chez les anacardiers, sauf sur la hauteur de la première branche, le nombre de branches charpentières, la taille du pétiole, le nombre de fleurs mâles, l'épaisseur des noix et l'indice de sphéricité des noix. Le rendement en noix de cajou des anacardiers des communes caractérisées en Casamance n'a pas significativement varié d'un anacardier à l'autre.

À l'échelle communale et villageoise, une différence très significative a été observée pour l'ensemble des variables qualitatives foliaires (forme et couleur de la feuille). L'aspect de l'écorce et la couleur de l'écorce des anacardiés caractérisés varient significativement d'un arbre à un autre. Le port de l'arbre varie significativement d'un échelon à l'autre. Une variation significative a été notée pour les variables saison de floraison et nombre de pic de floraison.

**Tableau 3** : test de significativité des variables phénotypiques étudiées entre les anacardiés des communes et villages de la Casamance

<b>Variables</b>	<b>Communes</b>	<b>Villages</b>
	<b>Probabilité</b>	<b>Probabilité</b>
<b>Variable dendrochronologique</b>		
Âge (ans)	0,0000	0,0000
<b>Variables dendrométriques</b>		
Hauteur (m)	0,0002	0,0000
Diamètre du tronc (cm)	0,0029	0,0000
Diamètre du houppier (m)	0,0066	0,0000
Hauteur première branche (cm)	0,0005	0,8364
Nombre de branches charpentière	0,1373	0,0700
Port arbre	0,001	0,001
Couleur écorce	0,001	0,001
Aspect écorce	0,001	0,001
<b>Morphologie foliaire</b>		
Longueur du limbe (cm)	0,0079	0,0000
Largeur du limbe (cm)	0,0031	0,0000
Taille du pétiole (cm)	0,0595	0,0755
Forme feuille	0,003	0,003
Couleur feuille	0,001	0,001
<b>Morphologie florale</b>		
Nombre de fleurs hermaphrodites	0,0003	0,0000
Nombre de fleurs mâles	0,1181	0,1162
Ratio floral (%)	0,0555	0,0066
Saison floraison	0,001	0,001
Nombre de pic de floraison	< 0,001	< 0,001

<b>Morphologie de la noix</b>		
Longueur noix (mm)	0,0029	0,0027
Largeur noix (mm)	0,0250	0,0243
Épaisseur noix (mm)	0,1160	0,0712
Poids noix (mm)	0,0016	0,0078
Indice de calibre noix	0,0252	0,0289
Indice de sphéricité noix	0,7353	0,4139
Production (Kg)	0,7372	0,0115

\* *Niveau de significativité :  $0,01 < p < 0,05$  = différence significative ;  $0,001 < p < 0,01$  = différence hautement significative ;  $p < 0,001$  = différence très hautement significative*

À l'échelle départementale (tableau 4), les variables dendrométriques notamment la hauteur, le diamètre du tronc et le diamètre du houppier des anacardiens varient significativement d'un pied à l'autre et d'une localité à une autre. La variable foliaire (largeur du limbe) diffère significativement d'un anacardier à l'autre et selon les départements. Les variables, longueur du limbe et la taille du pétiole des anacardiens caractérisés ne présentent pas de différence significative d'un pied à l'autre et selon les contrées. Aucune variable mesurée sur la fleur n'a présenté de différence significative au seuil de significativité de 5%. Le même constat est observé sur les traits caractéristiques des noix de cajou des anacardiens boisés en Casamance, excepté la largeur de la noix. Le rendement en noix des anacardiens varie significativement d'un pied à l'autre.

À l'échelle régionale, il existe une différence significative pour l'ensemble des variables dendrométriques mesurées excepté le nombre de branches charpentières des anacardiens. Les variables florales et foliaires des anacardiens et morphopondérales des noix mesurées sur les anacardiens sont significativement différentes d'une région à une autre. Cependant, la production des anacardiens des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda n'est pas significativement différente.

Au niveau intra et inter clusters, les anacardiens boisés en Casamance, sont significativement différents pour l'ensemble des variables dendrométriques mesurées, excepté la hauteur de la première ramification et le nombre de branches charpentières. Ces anacardiens présentent aussi des différences significatives pour toutes les variables mesurées sur les feuilles. Cependant, aucune différence significative n'a été notée sur les variables florales, morphopondérales des noix de cajou et de production de noix excepté le nombre de fleurs hermaphrodites qui diffère d'un anacardier à un autre et suivant les clusters.

À l'échelle départementale, régionale et clustering, une différence significative a été observée pour l'ensemble des variables qualitatives foliaires (forme et couleur de la feuille). Des différences significatives sur l'aspect de l'écorce et la couleur de l'écorce ont été identifiées pour tous les anacardiés caractérisés. Le port de l'arbre a significativement varié en fonction des anacardiés suivant les échelles précitées. Une variation significative a été notée pour les variables saison de floraison et nombre de pic de floraison.

**Tableau 4** : test de significativité des variables phénotypiques étudiées entre les anacardiés des départements, des Régions et des Clusters de la Casamance

<b>Variables</b>	<b>Départements</b>	<b>Régions</b>	<b>Clusters</b>
	<b>Probabilité</b>	<b>Probabilité</b>	<b>Probabilité</b>
<b>Variable dendrochronologique</b>			
Âge (ans)	1,0000	0,0000	0,1143
<b>Variables dendrométriques</b>			
Hauteur (m)	0,0005	0,0561	0,0000
Diamètre du tronc (cm)	0,0001	0,0000	0,0000
Diamètre du houppier (m)	0,0000	0,0362	0,0000
Hauteur première branche (cm)	0,5527	0,0189	0,2055
Nombre de branches charpentière	0,1175	0,9401	0,8948
Port arbre	0,001	0,001	0,001
Couleur écorce	0,001	0,001	0,001
Aspect écorce	0,001	0,001	0,001
<b>Morphologie foliaire</b>			
Longueur du limbe (cm)	0,4721	0,0000	0,0000
Largeur du limbe (cm)	0,0086	0,0000	0,0172
Taille du pétiole (cm)	0,8583	0,0025	0,0001
Forme feuille	0,003	0,003	0,003
Couleur feuille	0,001	0,001	0,001
<b>Morphologie florale</b>			
Nombre de fleurs hermaphrodites	0,1012	0,0000	0,0012
Nombre de fleurs mâles	0,1069	0,0128	0,0670
Ratio floral (%)	0,5483	0,0095	0,0637
Saison floraison	0,001	0,001	0,001

Nombre de pics de floraison	< 0,001	< 0,001	< 0,001
<b>Morphologie de la noix</b>			
Longueur noix (mm)	0,2070	0,0000	0,6953
Largeur noix (mm)	0,0427	0,0000	0,7688
Épaisseur noix (mm)	0,3099	0,0000	0,8246
Poids noix (g)	0,1342	0,0000	0,7582
Indice de calibre noix	0,0801	0,0000	0,2821
Indice de sphéricité noix	0,4268	0,0004	0,4503
Production (Kg)	0,0112	0,8421	0,0566

\* Niveau de significativité :  $0,01 < p < 0,05$  = différence significative ;  $0,001 < p < 0,01$  = différence hautement significative ;  $p < 0,001$  = différence très hautement significative

#### **2.2.4.4. Variabilité de la performance des anacardiens en termes de production et de caractéristiques de noix**

Les résultats de l'analyse de variance des variables dendrométriques, florales, et foliaires des anacardiens, et morphopondérales des noix de cajou et de production sont consignés dans le tableau 5. Ledit tableau présente les valeurs moyennes, les écarts-types et les coefficients de variations des différentes variables mesurées sur les anacardiens des différents clusters. Il permet ainsi d'interpréter et de connaître les caractéristiques de ces anacardiens. L'analyse dudit tableau montre que les anacardiens du cluster 1 présentent les meilleures performances en termes de variables dendrométriques comparées à ceux des clusters 2 et 3. Ces performances sont aussi observées sur la production en noix de cajou. Le rendement moyen en noix de cajou des anacardiens des clusters 1, 2 et 3 ne présente pas de différence significative au seuil de significativité de 5 %. Les anacardiens des clusters 1 et 2 produisent 2 à 2,58 fois plus que ceux du cluster 3. Cependant, les variables mesurées sur les fleurs et les noix de cajou des anacardiens des clusters 1, 2 et 3 ne présentent aucune différence significative.

**Tableau 5** : variation des traits quantitatifs des anacardières de la zone agroécologique de la Casamance

Variables	Clusters			CV_%
	Cluster1	Cluster2	Cluster3	
Âge (ans)	24,1 ± 4,17 <sup>a</sup>	21,1 ± 1,92 <sup>a</sup>	21,1 ± 4,44 <sup>a</sup>	5,6
Hauteur (m)	11,9 ± 2,17 <sup>c</sup>	9,2 ± 1,89 <sup>b</sup>	7,8 ± 1,63 <sup>a</sup>	3,8
Diamètre du tronc (cm)	68,4 ± 10,43 <sup>c</sup>	45,5 ± 9,51 <sup>b</sup>	38,1 ± 9,35 <sup>a</sup>	3,1
Diamètre du houppier (m)	15,7 ± 3,18 <sup>c</sup>	13,4 ± 2,94 <sup>b</sup>	9,8 ± 1,84 <sup>a</sup>	3,5
Hauteur première branche (cm)	85,3 ± 71,75 <sup>a</sup>	65,5 ± 40,7 <sup>a</sup>	65,6 ± 47,66 <sup>a</sup>	1,3
Nombre de branches charpentière	3,6 ± 1,44 <sup>a</sup>	3 ± 0,85 <sup>a</sup>	3,2 ± 1,68 <sup>a</sup>	2,3
Longueur du limbe (cm)	13,8 ± 1,67 <sup>b</sup>	16,8 ± 1,44 <sup>c</sup>	12,5 ± 2,49 <sup>a</sup>	5,4
Largeur du limbe (cm)	8,3 ± 0,62 <sup>b</sup>	9,4 ± 1,1 <sup>c</sup>	7,5 ± 0,85 <sup>a</sup>	7,1
Taille du pétiole (cm)	1,4 ± 0,29 <sup>b</sup>	1,7 ± 0,34 <sup>c</sup>	1,2 ± 0,19 <sup>a</sup>	4,1
Nombre de fleurs hermaphrodites	1,6 ± 1,33 <sup>b</sup>	3,5 ± 2,43 <sup>c</sup>	0,8 ± 0,89 <sup>a</sup>	1
Nombre de fleurs mâles	33,3 ± 16,33 <sup>a</sup>	32,9 ± 17,38 <sup>a</sup>	27,1 ± 12,57 <sup>a</sup>	2
Ratio floral (%)	4,9 ± 4,09 <sup>a</sup>	11,6 ± 7,43 <sup>a</sup>	3 ± 4,61 <sup>a</sup>	1
Nombre de pics de floraison	2,3 ± 0,46 <sup>a</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	2,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	5
Longueur noix (mm)	31,2 ± 5,06 <sup>a</sup>	31,9 ± 3,44 <sup>a</sup>	31,2 ± 3,74 <sup>a</sup>	7,7
Largeur noix (mm)	23,3 ± 3,48 <sup>a</sup>	23,8 ± 2,56 <sup>a</sup>	23,2 ± 3,02 <sup>a</sup>	7,8
Rapport LgN/LN	0,8 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,7 ± 0,05 <sup>a</sup>	4,6
Épaisseur noix (mm)	16,6 ± 2,04 <sup>a</sup>	16,5 ± 2,37 <sup>a</sup>	16,4 ± 1,86 <sup>a</sup>	8
Poids noix (g)	6,2 ± 2,34 <sup>a</sup>	6,7 ± 1,56 <sup>a</sup>	5,8 ± 1,83 <sup>a</sup>	3,2
Indice de calibre des noix	10,7 ± 30,95 <sup>a</sup>	11,3 ± 18,64 <sup>a</sup>	10,9 ± 18,25 <sup>a</sup>	4,8
Indice de sphéricité	0,71 ± 0,98 <sup>a</sup>	0,73 ± 0,63 <sup>a</sup>	0,72 ± 0,55 <sup>a</sup>	9,9
Production moyenne (Kg)	16,8 ± 10,63 <sup>a</sup>	13,9 ± 7,49 <sup>a</sup>	6,5 ± 6,5 <sup>a</sup>	1,4

#### 2.2.4.5. Corrélation entre les variables étudiées

La matrice de corrélation permet de visualiser la relation qui existe entre les différentes variables quantitatives mesurées (figure 19). L'estimation de la corrélation entre les variables dendrométriques a montré que seules trois ont été très significatives. Plus l'anacardier croit en

hauteur, plus son diamètre du tronc à hauteur de poitrine ( $R = 0,62$ ) et son diamètre du houppier ( $R = 0,76$ ) augmentent.

Entre les descripteurs foliaires, l'estimateur de corrélation a montré qu'une seule a été très significative. La longueur et la largeur du limbe de la feuille des anacardiens évoluent dans le même sens avec une corrélation de  $R = 0,59$ .

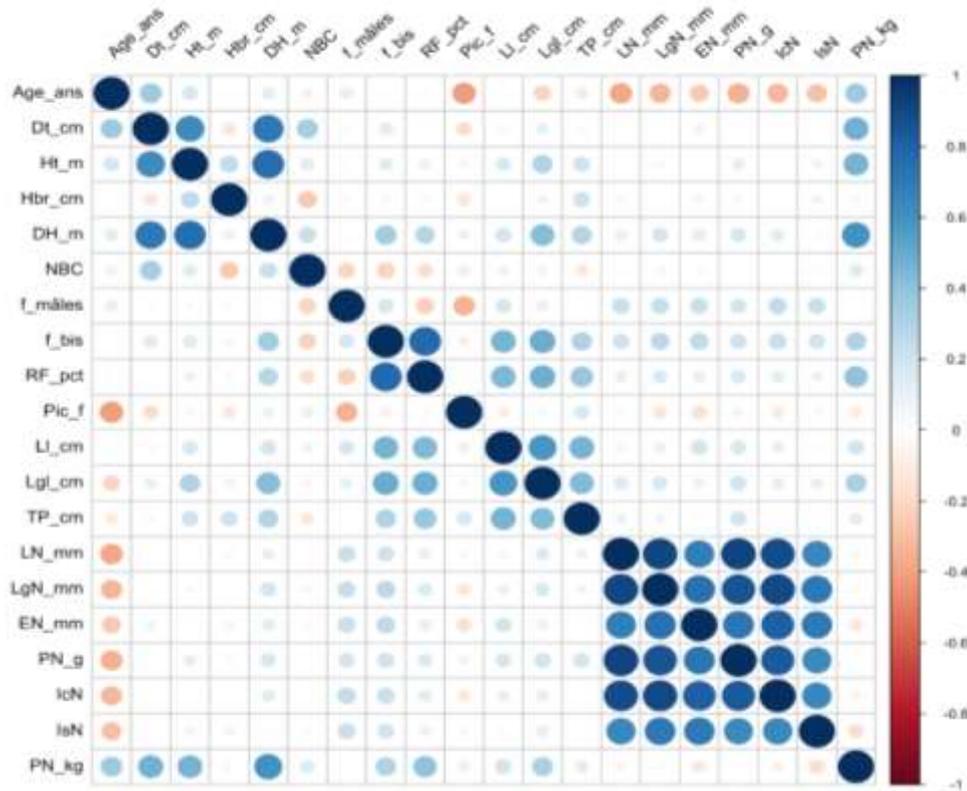
Concernant les variables florales, l'estimateur de corrélation a montré aussi une qui a été très significative. Le nombre de fleurs hermaphrodites et le ratio floral évoluent dans la même direction avec une corrélation de  $R = 0,77$ .

La longueur de la noix des anacardiens en plantation en Casamance évolue dans la même direction que la largeur de la noix avec une corrélation de  $R = 0,90$ . La longueur de la noix et le poids de la noix évoluent dans la même direction ( $R = 0,92$ ). La longueur de la noix et l'indice de calibre de la noix augmentent ensemble avec une corrélation de  $R = 0,88$ . La largeur de la noix est corrélée à l'épaisseur de la noix ( $R = 0,75$ ), au poids de la noix ( $R = 0,85$ ) à l'indice de calibre ( $R = 0,90$ ) et à l'indice de sphéricité ( $R = 0,71$ ) de la noix de cajou. Ces variables précitées prises deux à deux évoluent dans la même direction. Le rendement en noix de cajou et le diamètre du houppier de l'anacardier évoluent dans le même sens avec une corrélation de  $R = 0,60$ . Plus le diamètre du houppier augmente, plus le rendement en noix de cajou augmente. Les variables mesurées varient d'un cluster à un autre, donc les plantations sont hétérogènes. Les tests de corrélation entre les différentes variables mesurées montrent que les corrélations ne sont significatives qu'entre :

- les variables dendrométriques ;
- les variables mesurées sur les feuilles ;
- les variables mesurées sur les fleurs ;
- celles mesurées sur les noix de cajou.

Cependant, aucune corrélation significative n'existe entre les variables des quatre groupes de descripteurs : les variables dendrométriques, les variables liées aux feuilles, les variables liées

aux fleurs et les variables liées aux noix.



**Figure 19 :** matrice de corrélation entre les différentes variables mesurées sur les anacardiers

Le cercle de corrélation met en exergue les variables qui ont le plus contribué à la discrimination des anacardiers en plantation en Casamance en groupes phénotypiques. De l'analyse de ces résultats, ressort que parmi ces variables, figurent des descripteurs dendrométriques notamment le diamètre du houppier (DH), le diamètre du tronc (Dt), la hauteur totale de l'arbre (Ht) et la hauteur de la première branche (Hbr). En cela s'ajoute, des descripteurs floraux dont les fleurs hermaphrodites (f\_bis) et les fleurs mâles (f\_mâles). Les descripteurs morphopondéraux des noix de cajou les plus discriminants dans le partitionnement des anacardiers sont entre autres l'épaisseur de la noix (EN), l'indice de calibre de la noix (IcN) et l'indice de sphéricité de la noix (IsN). Le marqueur dendrochronologique (âge) des anacardiers a aussi beaucoup contribué au partitionnement des anacardiers. Les variables dont la longueur du limbe (Li), la largeur du limbe (Lgl), la taille du pétiole (TP), la longueur de la noix (LN), la largeur de la noix (LgN), le poids de la noix (PN\_g), la production de noix (PN\_kg), le nombre de branches charpentières (NBC), le nombre de pics de floraison (Pic\_f) et le ratio floral évalué dans le cadre de cette étude n'ont été très discriminantes dans la répartition des anacardiers en clusters.

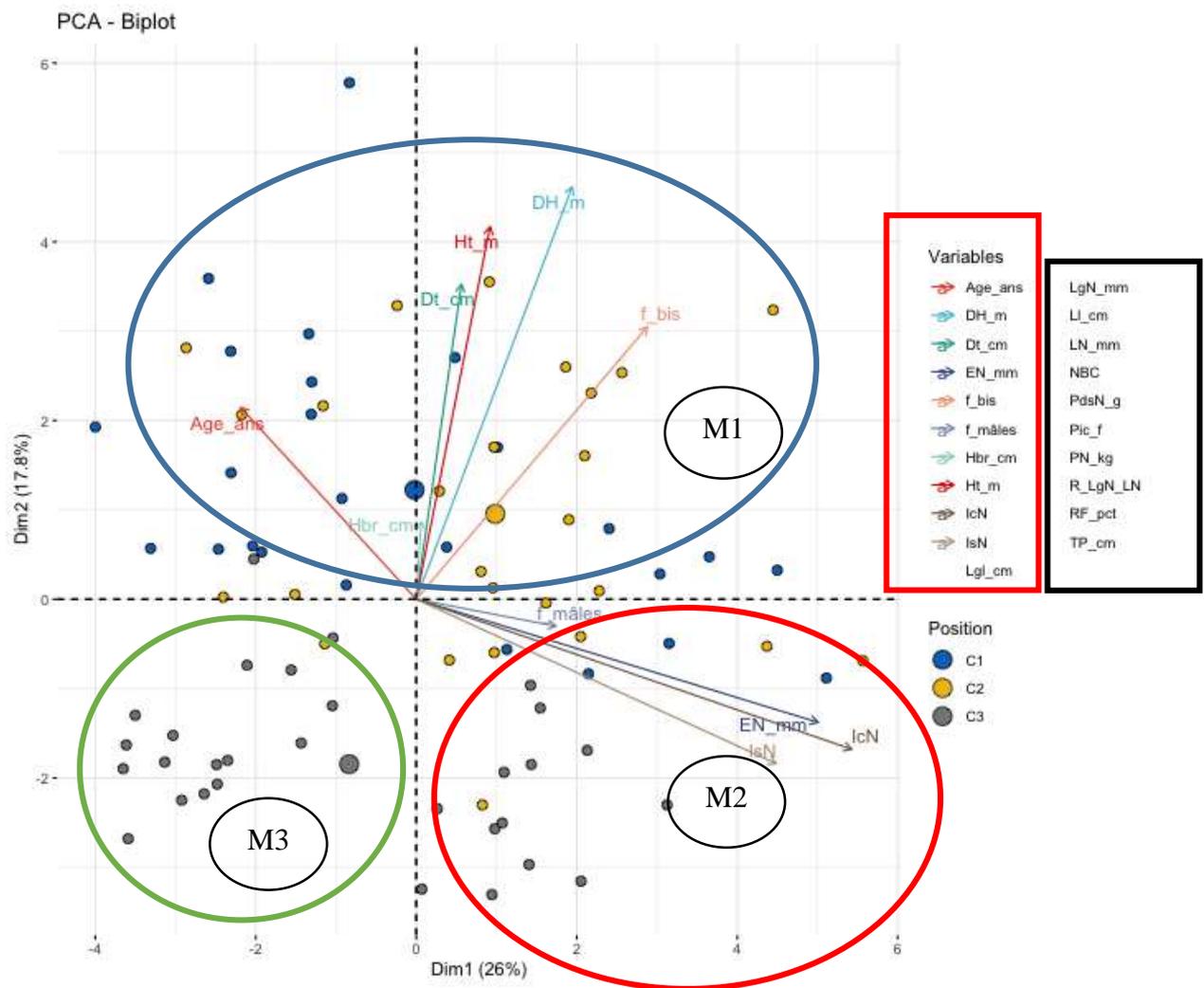
Le cercle de corrélation montre que les variables morphopondérales des noix de cajou (épaisseur noix, indice de calibre noix et indice de sphéricité noix) et florales notamment le nombre de fleurs mâles (f\_mâles) sont très bien représentées sur l'axe I et sont positivement corrélées sur cet axe.

Les variables dendrométriques (hauteur, diamètre du tronc, diamètre du houppier et hauteur première branche), ainsi que le descripteur floral notamment le nombre de fleurs bisexuées (f\_bis) et le descripteur dendrochronologique (âge) sont très bien représentés sur l'axe II et sont positivement corrélés avec cet axe.

La typologie de la population est faite sur la base des différentes variables quantitatives caractéristiques des anacardiens des vergers de la zone.

La matrice de corrélation a permis de définir les anacardiens qui ont sensiblement les mêmes caractéristiques. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) des différentes variables mesurées a permis d'obtenir la figure 20. L'ACP a permis de regrouper les anacardiens des vergers de la zone d'étude en trois groupes phénotypiques (morphotypes) en fonction de leurs similarités caractéristiques. Les dimensions (Dim1 et Dim2) obtenues qui traduisent 42,3% des informations ont été suffisantes pour garantir une précision d'interprétation des résultats de ladite figure. Des corrélations plus représentatives ont été notées entre certaines variables :

- Les anacardiens du groupe 1 se corrélaient aux variables âge, hauteur totale, diamètre du tronc à 1,30 m du sol, diamètre du houppier et nombre de fleurs hermaphrodites. Ces anacardiens appartiennent aux clusters 1 et 2 ;
- Le groupe 2 présente des anacardiens qui se corrélaient aux variables nombre de fleurs mâles, indice de calibre de la noix, indice de sphéricité de la noix et épaisseur de la noix. Ce groupe est composé d'anacardiens appartenant aux clusters 1, 2 et 3 ;
- Le groupe 3 est caractérisé par des anacardiens appartenant au cluster 3 et qui se particularisent par une absence de corrélation avec les variables des descripteurs (dendrométriques, foliaires, florales et morphopondérales des noix de cajou) analytiques.

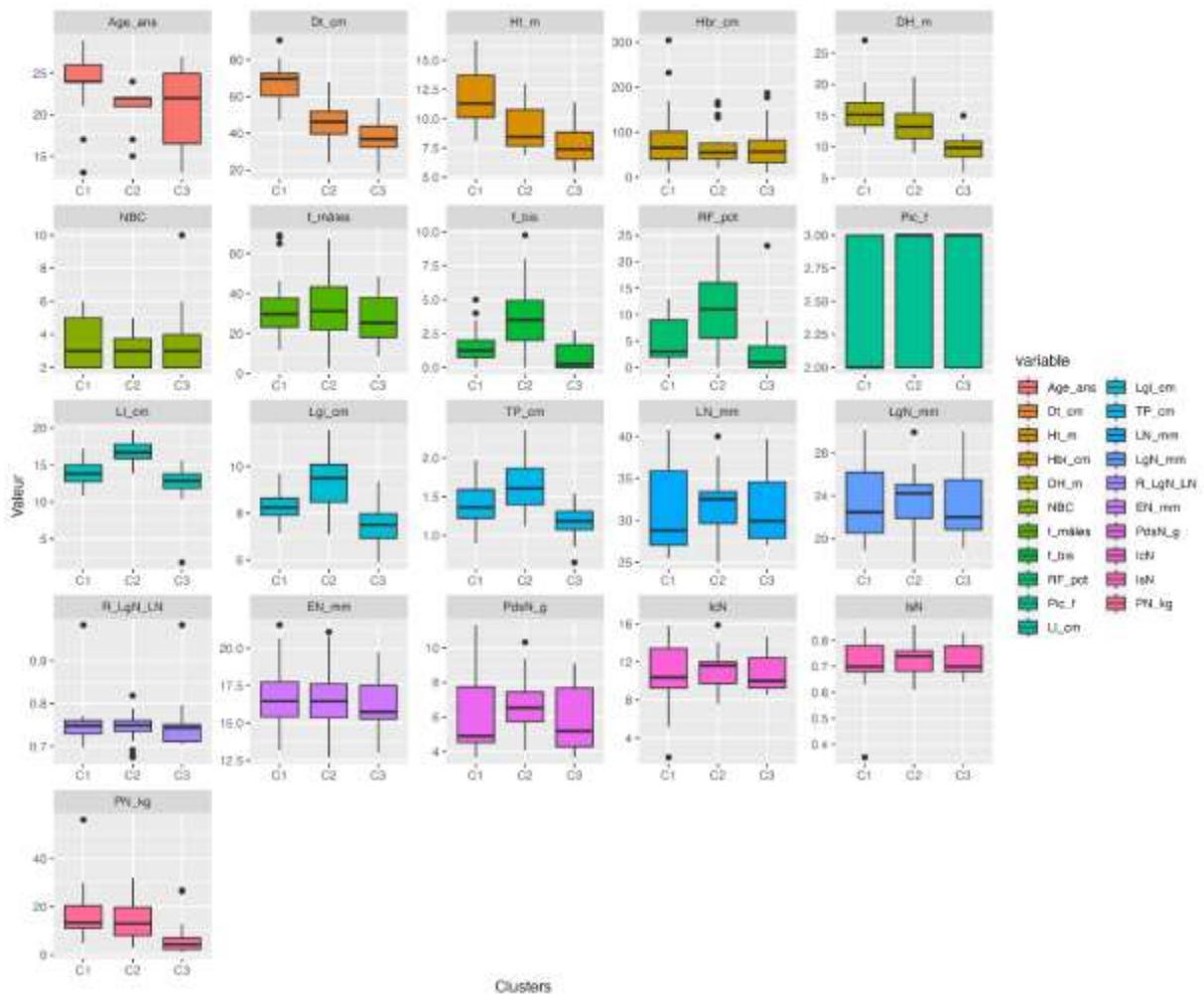


**Figure 20 :** corrélation entre les variables dendrométriques, foliaires, florales, agronomiques et morphologiques des noix de cajou

La représentation de quelques pieds de la population d'anacardier de la Casamance sur le plan factoriel est consignée dans la figure 21. Les couleurs oranges foncées et claires représentent les anacardiens qui se sont très bien exprimés avec l'âge de l'anacardier, les variables dendrométriques, foliaires, et florales des anacardiens et morphopondérales des noix de cajou étudiées avec un  $\cos^2$  compris entre 0,50 et 1. Les anacardiens qui sont faiblement voire moyennement exprimés avec les descripteurs analytiques précités sont colorés en bleu et jaune consignnant ainsi un  $\cos^2$  variant entre 0 et 0,50. Le cosinus carré représente la qualité de représentation des anacardiens en fonction des variables étudiées sur le graphique de l'ACP. L'indice (cosinus carré) contient des contributions en pourcentage des données des variables utilisées pour expliquer les relations obtenues aux composantes principales. Plus la valeur absolue du cosinus carré est élevée et plus la variable correspondante est importante dans le calcul de la composante.



Les résultats sur la production des anacardiers de la zone agroécologique de la Casamance sont consignés dans ladite figure. De l'analyse de ladite figure, ressort que les anacardiers du morphotype 1 sont plus productifs que ceux des clusters 2 et 3 de par la disposition de leur boîte en moustache plus haute que ceux des clusters précités. En effet, 50% des anacardiers du cluster 1 ont un rendement en noix de cajou  $\geq 13$  kg/pied contre 50% des anacardiers des clusters 2 et 3 avec un rendement en noix de cajou  $\leq 12$  kg/pied et  $\leq 2$  kg/pied respectivement.



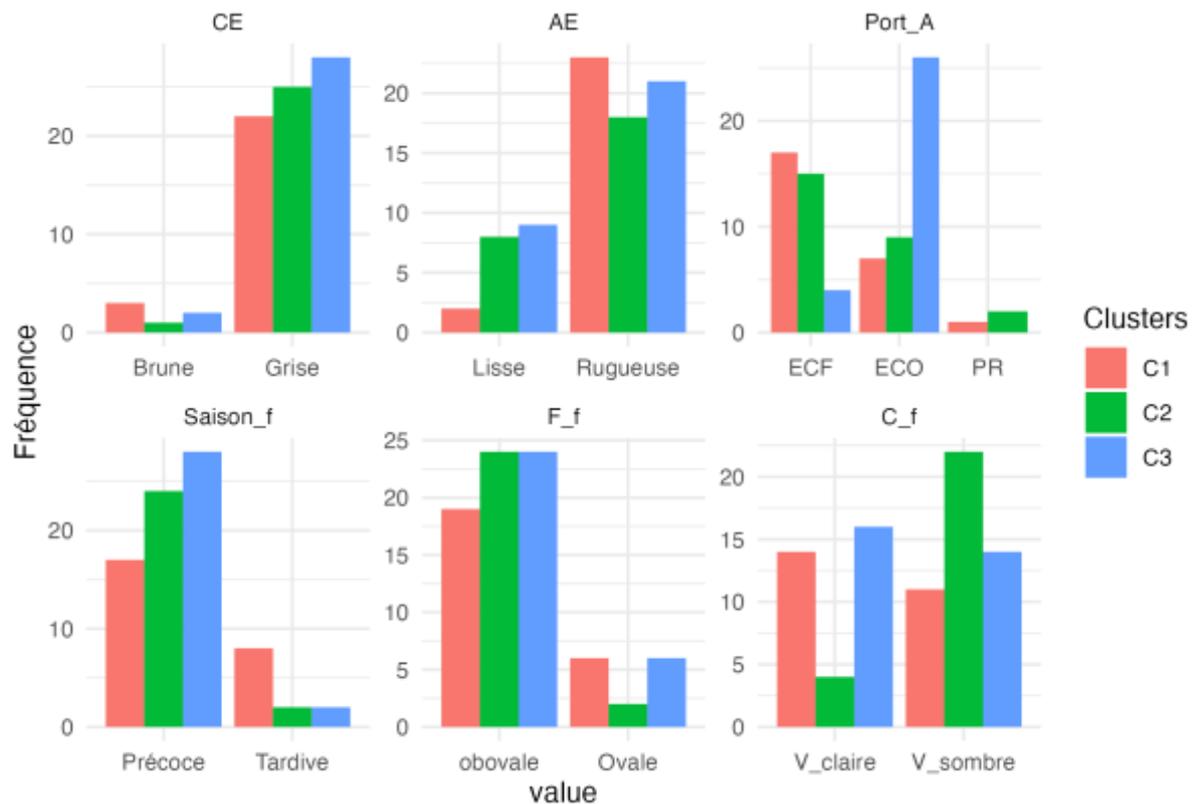
**Figure 22 :** variables dendrométriques, foliaires, florales et morphopondérales des noix de cajou des trois morphotypes d'anacardiers de la Casamance

Les résultats des traits qualitatifs des anacardiers en plantation en Casamance sont résumés dans la figure 23. De l'analyse de ladite figure, ressort que le morphotype 1 présente plus d'anacardiers à écorce rugueuse (fr = 22,8%), à écorce brune (fr = 3%), de feuilles de forme ovale (fr = 6%) et de port érigé à canopée fermée (fr = 17%).

Le cluster 2 présente plus d'anacardiers de feuilles de couleur vert sombre (fr = 22,1%). Les anacardiers des clusters 1 et 2 se particularisent par la présence de sujets de port érigé à canopée

rampante. Ces anacardiens ont enregistré une similarité en termes de feuilles de forme obovale (fr = 24,1%).

Le cluster 3 présente plus d'anacardiens de tronc à écorce grise (fr = 8,9%), de feuilles de couleur vert clair (fr = 6,2%), et de sujets de port érigé à canopée ouverte (fr = 26,5%). Ces anacardiens ont le plus d'individus à production précoce (fr = 28,2%).



**Figure 23** : caractéristiques qualitatives des morphotypes (1, 2 et 3) d'anacardiens de la Casamance

### 2.3. Discussion partielle

L'identification variétale est basée sur les caractères morphologiques. L'aspect morphologique constitue en général la première étape de la caractérisation. C'est ce qui a été fait sur les anacardiens de la Casamance. Cette caractérisation a fait ressortir des écarts très importants entre les valeurs minimales et maximales, pour l'ensemble des caractères analysés. Les coefficients de variation obtenus au sein de ces anacardiens témoignent d'une grande variabilité de la diversité génétique et agromorphologique. Nos résultats sont en accord avec ceux de ces auteurs (Castro *et al.*, 2011 ; Akadié *et al.*, 2014 ; Sankharé, 2018, et Ndiaye *et al.*, 2019) qui ont mis en évidence une grande variabilité phénotypique inter et intra spécifique. Les résultats

de la présente étude sont en phases avec ceux obtenus au Malawi, au Bénin et en Côte d’Ivoire (Chipojola *et al.*, 2009 ; Sika *et al.*, 2015 ; Djaha *et al.*, 2014) qui ont indiqué la présence d’une large variabilité génétique. Les anacardiens de la Casamance ont montré des différences morphologiques importantes qui pourraient être expliquées soit par leur potentiel génétique, soit par des mécanismes d’adaptation aux microclimats et aux variations environnementales des stations. Plusieurs études ont mis en évidence un large pool de morphotypes dépendant de la couleur de la pomme et de la taille de la noix (Djaha *et al.*, 2014 ; Sika *et al.*, 2015 ; Ndiaye *et al.*, 2019).

Les mesures effectuées sur 411 anacardiens ont porté sur les feuilles, l’inflorescence, les fleurs, les fruits, le port ainsi que la hauteur des arbres et leurs âges. Ces mensurations ont permis de mettre en exergue une hétérogénéité au sein des anacardiens en Casamance.

Le clustering, l’ACP et la CAH ont permis de ranger les 411 anacardiens dans trois clusters significativement distincts. Ces résultats concordent avec ceux de Sankharé (2018) qui a mis en évidence trois clusters dans son étude portant sur le phénotypage des anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) de la sélection massale dans la région de Fatick (Sénégal). L’inventaire floristique réalisé par Ndour en 2022 dans le Bassin arachidier au centre du Sénégal a révélé la présence des plantations pures monospécifiques constituées de deux à trois morphotypes d’anacardiens. Des études similaires menées en Inde, en Côte d’Ivoire et au Malawi ont permis de répartir les accessions desdits pays dans quatre clusters bien distincts (Samal *et al.*, 2003, Chipojola *et al.*, 2009 et Akadié *et al.*, 2014). Pour ces derniers, les caractères morphologiques et phénotypiques n’ont pas été les seuls critères discriminants. L’origine géographique l’a été également. Le rapport de Adeigbe *et al.*, (2015) a montré que les quatre dernières décennies ont été marquées par l’introduction de génotypes exotiques de noix de cajou, la sélection, la culture et la production à partir de morphotypes locaux et exotiques. La diversité morphologique observée pourrait être attribuée à plusieurs facteurs tels que l’adaptation écologique des anacardiens aux sites, les mutations et à l’ampleur de la sélection opérée par l’homme. Le type de matériel végétal de plantation utilisé peut également être mis en cause.

L’estimateur de la corrélation entre les variables dendrométriques, foliaires, florales, morphopondérales des noix de cajou et de production a montré une quasi-absence de corrélations significatives entre ces descripteurs pris deux à deux.

La quasi-absence de corrélations significatives notée entre les caractères dendrométriques des arbres et les caractéristiques des feuilles montrent qu’on peut rencontrer des arbres de grande et de petite taille portant de grosses feuilles ou de petites feuilles. D’ailleurs, c’est ce qui a été observé dans la population d’anacardier de la Casamance. Le déficit de corrélations

significatives noté entre les caractères dendrométriques de ces anacardiens et les caractéristiques florales montrent qu'on peut rencontrer de grands et de petits arbres portant beaucoup de fleurs mâles et de fleurs hermaphrodites ou de peu de fleurs mâles et de fleurs hermaphrodites. L'absence de corrélations significatives notée entre les variables du descripteur morphopondéral des noix de cajou et les caractéristiques dendrométriques montrent qu'on peut rencontrer des arbres de grande et de petite taille portant de grosses noix ou de petites noix. On remarque ainsi que les corrélations entre les différents caractères phénotypiques de l'espèce *Anacardium occidentale* ne sont pas bien établies. Ces résultats sont similaires à ceux de Leakey (2005) selon qui il est difficile d'établir des liens nets entre les différents caractères morphologiques observés au sein des anacardiens.

Le déficit de corrélations noté entre les variables dendrométriques, foliaires et florales confirme les travaux de Sankharé (2018) et de Sam (2019) dans son étude sur les variabilités morphologiques des populations de *Balanites aegyptiaca* L. Del dans le Ferlo/ Sénégal.

L'estimation de la corrélation entre les variables dendrométriques a montré que seules trois ont été très significatives. Il s'agit notamment de celles entre le diamètre du tronc à 1,30 m et le diamètre du houppier (**R= 0,71**), la hauteur totale et le diamètre du houppier (**R= 0,76**) de l'anacardier et, enfin la hauteur totale et le diamètre du tronc (**R= 0,62**) à hauteur de poitrine. Toutes ces corrélations positives traduisent le fait que les variables comparées deux à deux évoluent dans le même sens. La différence entre les valeurs absolues des coefficients de corrélation traduit une différence d'intensité dans l'évolution des variables. À cet effet, le diamètre du tronc à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'anacardier varient dans le même sens avec une intensité modérée de relations linéaires.

Concernant les descripteurs foliaires, l'estimateur de corrélation a montré qu'une seule a été très significative. Il s'agit notamment de celle entre la longueur du limbe et la largeur du limbe (**R=0,59**). Cet état de fait est en accord avec les résultats de Ndiaye *et al.* (2019).

Pour les variables florales, l'estimateur de corrélation a montré aussi une qui a été très significative. Il s'agit de la corrélation entre le nombre de fleurs hermaphrodites et le ratio floral (**R=0,77**).

Nos résultats ont montré que les anacardiens du cluster 2 présentent des feuilles plus longues et plus larges que ceux du cluster 1. Les dimensions des feuilles jouent un rôle capital dans la production en noix de cajou. La variation observée sur la longueur des feuilles pourrait probablement induire une différence de performance au niveau physiologique. La taille de la feuille semble impacter sur la photosynthèse (Sankharé, 2018) et donc la production en noix de cajou.

Chez les anacardiens de la Casamance, une grande variation des fleurs est notée avec une nette prédominance de fleurs mâles. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Lefebvre (1969) ; Aliyu (2005) ; Djé *et al.* (2005) et Ndiaye *et al.* (2019) qui ont mis en évidence la présence concomitante de fleurs mâles et de fleurs hermaphrodites à des proportions variées dans les pieds d'anacardiens caractérisés.

La prédisposition à l'allogamie a été expliquée, sur le melon africain (*Cucumis melo* L. var. *agrestis* Naudin), espèce andromonoïque, par le décalage phénologique important entre l'apparition des fleurs mâles et des fleurs hermaphrodites (Djé *et al.*, 2006). L'expression du sexe chez l'espèce *Cucumis sativus* L., se déroule en trois phases : les premières fleurs sont toutes mâles, les fleurs qui apparaissent ensuite sont hermaphrodites et les dernières sont toutes femelles (Tcherkez, 2002). Ces résultats sont en accord avec nos résultats sur l'anacardier chez qui les appareils reproducteurs mâles et les appareils reproducteurs hermaphrodites apparaissent avec un décalage phénologique important appréciable à travers la position subterminale des fleurs hermaphrodites sur l'inflorescence.

Le ratio floral des anacardiens de la Casamance varie de 3% à 11,6%. L'indicateur de production (ratio floral) des anacardiens à Sédhiou, compris entre 0 et 36,1% (Ndiaye *et al.*, 2019) et le ratio floral des anacardiens du Bénin compris entre 0,004 et 0,273 (Chabi *et al.*, 2015) encadrent celui des anacardiens de la Casamance naturelle.

À l'échelle départementale, communale et clustering, aucune différence significative n'a été observée sur le ratio floral des anacardiens de la Casamance d'un pied à l'autre. Ce résultat confirme les travaux de Djé *et al.* (2005), d'après qui, malgré la grande variation dans le nombre de fleurs, le sex-ratio n'est pas statistiquement différent d'une plante à l'autre ( $P = 0,432$  ;  $F = 1,01$ ). L'auteur (Odet, 1991) attribue cette constance à l'intervention d'hormone de croissance qui régulerait les proportions des appareils reproducteurs mâles et femelles chez les individus. Toutefois, une différence significative du ratio floral d'un anacardier à l'autre a été observée au niveau régionale ( $p = 0,0095$ ) et villageoise ( $p = 0,0066$ ). Cet état de fait pourrait s'expliquer par la pléthore des morphotypes obtenus et de leurs dissemblances phénotypiques et physiologiques.

Le ratio floral est un excellent indicateur de production. Cependant, il n'est pas le seul critère discriminant d'appréciation de la productivité et de la production de l'anacardier. Le taux de recouvrement ou diamètre du houppier constitue un caractère complémentaire très significatif. La complémentarité de ces deux indicateurs de production justifierait la différence énorme observée au niveau du ratio floral des clusters 1 et 2 avec 4,9% et 11,6% respectivement et la

quasi-similitude de leurs productions en noix de cajou (16,8kg/pied et 13,9kg/pied). De tels résultats corroborent les travaux de Ndiaye *et al.*, (2019).

La production moyenne des anacardiens caractérisés dans les trois clusters des trois régions administratives de la zone agroécologique de la Casamance a varié entre 6,5kg/pied et 16,8kg/pied. Ces résultats sont de très loin supérieurs à ceux obtenus au sein des anacardiens en plantation au Kenya et au Bénin avec seulement 6 kg/arbre (Jocelyn, 2016). Les anacardiens de la Casamance produisent 12,4 kg/pied en moyenne. Nos résultats sur la production des anacardiens sont en phase avec le travail de Jocelyn (Jocelyn, 2016) d'après qui un arbre produit en moyenne 15 kg de noix par an durant toute sa vie, avec un pic de 30 kg vers la dixième année. En Inde, les rendements en noix de cajou varieraient de 0 à 48 kg/arbre (Samal *et al.*, 2003) et de 0 à 50 kg/arbre (Dasmohapatra, 2014). Les rendements en noix de cajou des anacardiens dans les champs des agriculteurs se sont révélés être très variés. Les plus performants anacardiens produisent généralement plus de 20 kg/pied (Martin et Kasuga, 1995 ; Aliyu, 2004).

Les anacardiens des clusters 1 et 2 de la Casamance présentent plus de similitudes en termes de production de noix de cajou et sont plus productifs que ceux du morphotype 3. Martin *et al.*, (1998) ont trouvé qu'au moins 70 % de rendement de noix de cajou proviendraient de la moitié des arbres productifs, tandis que 30 % de rendement provenaient d'une autre moitié d'arbres peu productifs.

Le rendement en noix de cajou en kilogramme par hectare des anacardiens de la Casamance varie de 650 kg/ha à 1680 kg/ha. La quantité de noix produite par ces anacardiens est supérieure au rendement mondial estimé à environ 550 kg/ha en moyenne (Jocelyn, 2016) et de l'Inde avec un rendement moyen de 800 à 1000 kg/ha (Samal *et al.*, 2003). Les projets et programmes d'amélioration de la productivité et de la production des vergers d'anacardiens et la sélection variétale en Casamance a abouti à un niveau de rendement (1220 kg/ha) très proche de la moyenne internationale (1,5 t/ha) (Aliyu, 2007 ; Samal *et al.*, 2003). En effet, vue l'importance du commerce de la noix de cajou 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 nouvelles plantations ou bien du matériel végétal de même provenance dans les plantations. L'intensité de la sélection diminue la diversité dans les plantations d'anacardiens au Sénégal. Nos résultats corroborent ceux de Chabi *et al.* (2013) qui ont 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.

L'indice de calibre des noix de cajou des clusters 1, 2 et 3 de la Casamance varie de 10,7 à 11,3. Il permet d'apprécier la qualité pondérale des noix de cajou. Les fruits caractérisés sur les anacardiens ont un indice de calibre de très loin inférieur à celui de la mangue 'Boko' estimé à 86,2 (Diakabana, 2013).

## **2.4. Conclusion partielle**

La caractérisation phénotypique incluant la description morphologique et les mesures morphométriques de l'anacardier a concerné quatre-cent-onze (411) anacardiens. De cette étude de caractérisation phénotypique, il est ressorti que la classification des anacardiens a distingué trois groupes phénotypiques (morphotypes) bien distincts. Les anacardiens des morphotypes 1 et 2 ont des productions en noix de cajou quasi similaire. Leurs ratios floraux, estimés à 4,9% et 11,6% respectivement sont de loin différents. Ces arbres produisent 16,8kg/arbre et 13,9kg/arbre en moyenne. Leurs ratios floraux et productions en noix sont de très loin supérieurs à ceux du morphotype 3 évalué en moyenne à 3% et 6,5kg/arbre respectivement. Une importante variabilité morphogénétique au sein des anacardiens étudiés a été notée. Par conséquent, l'étude de la diversité génétique utilisant des marqueurs moléculaires hautement polymorphes pour vérifier ces hypothèses serait judicieuse. L'étude a permis d'observer des corrélations qu'entre seulement les variables dendrométriques, foliaires, florales et morphopondérales des noix. La variabilité agromorphologique observée au sein des anacardiens de la Casamance pourrait aussi être observée sur la structure génétique de ces arbres et sur les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes, énergétiques et nutritionnelles de leurs pommes.

---

## CHAPITRE 3 : OPTIMISATION DE PROTOCOLE D'EXTRACTION D'ADN À PARTIR DE FEUILLES D'ANACARDIERS (*Anacardium occidentale* L.) DE LA ZONE AGROÉCOLOGIQUE DE LA CASAMANCE AU SUD DU SÉNÉGAL

---

### Résumé

L'évaluation de la diversité génétique des anacardiens est un préalable indispensable à la définition des stratégies de leur gestion voire de l'amélioration de leur matériel végétal. L'application des techniques de la biologie moléculaire pour étudier la variabilité génétique des végétaux est restée pendant longtemps limitée par les difficultés d'extraction de l'ADN, notamment chez les plantes ligneuses telles que l'anacardier. L'anacardier est très riche en métabolites secondaires (polyphénols et polysaccharides). Ces métabolites secondaires peuvent se lier à l'ADN et le rendre inaccessible aux enzymes. À cet effet, des modifications ont porté sur le protocole d'extraction de l'ADN décrit par Doyle and Doyle (1987). Ces ajustements ont permis de mettre au point une méthode plus efficace pour l'extraction de l'ADN de très bonne qualité ( $1,81 \pm 0,11$ ) et concentration ( $260,76 \pm 89,61$  ng/ $\mu$ L) à partir de jeunes feuilles déshydratées d'anacardiens. La concentration en ADN la plus faible a été obtenue avec le protocole Kit Zymo research soit  $11,5 \pm 11,54$  ng/ $\mu$ L. Ce protocole a permis aussi d'extraire des ADN contaminés avec une pureté de  $1,11 \pm 0,32$  en moyenne. Le profilage à l'agarose (1%, 2%, 3% et 4%) n'a pas permis d'analyser la diversité génétique des plantations d'anacardier en Casamance. L'étude est en cours pour le séquençage et la caractérisation de la diversité génétique de l'anacardier de la zone étudiée.

Mots clefs : anacardier, protocole, extraction ADN, diversité génétique, biologie moléculaire

## **Abstract**

The evaluation of the genetic diversity of cashew trees is an essential prerequisite for defining strategies for their management or even the improvement of their plant material. The application of molecular biology techniques to study the genetic variability of plants has for a long time remained limited by the difficulties of extracting DNA, particularly in woody plants such as the cashew tree. The cashew tree is very rich in secondary metabolites (polyphenols and polysaccharides). These secondary metabolites can bind to DNA and make it inaccessible to enzymes. To this end, modifications were made to the DNA extraction protocol described by Doyle and Doyle (1987). These adjustments made it possible to develop a more efficient method for the extraction of DNA of very good quality ( $1.81 \pm 0.11$ ) and concentration ( $260.76 \pm 89.61$  ng/ $\mu$ L) from young dehydrated cashew leaves. The lowest DNA concentration was obtained with the Zymo research Kit protocol, i.e.  $11.5 \pm 11.54$  ng/ $\mu$ L. This protocol also made it possible to extract contaminated DNA with a purity of  $1.11 \pm 0.32$  on average. Agarose profiling (1%, 2%, 3% and 4%) did not make it possible to analyze the genetic diversity of cashew plantations in Casamance. The study is underway for the sequencing and characterization of the genetic diversity of the cashew tree in the study area.

**Key words:** cashew trees, protocol, DNA extraction, genetic diversity, molecular biology

## Introduction

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est un arbre dont la culture contribue au développement socio-économique de plusieurs pays du monde (Marlos *et al.*, 2007). L'espèce est cultivée dans la quasi-totalité des régions tropicales du monde. Au Sénégal, la Casamance (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) correspond à la zone de prédilection de sa culture et produit 90% de la production nationale (PADEC, 2016) estimée à 28 900 tonnes (Hien, 2019). Dans cette contrée du Sénégal, l'anacarde constitue un produit stratégique occupant 8,7 % du total des ménages et 12,3 % des ménages agricoles (PADEC, 2016). La population dépendante représente environ 14,8 % de la population totale de ces régions et contribue à nourrir 20 % de sa population rurale (ASEPEX et IRD, 2017).

Cependant, à l'échelle nationale, il n'existe pas d'information sur le patrimoine génétique de l'anacardier. À cet effet, il apparaît important d'exploiter la variabilité morphogénétique de l'anacardier afin d'identifier tous les génotypes et ceux dont la production est adaptée aux besoins des populations.

Les études morphogénétiques chez l'anacardier au Sénégal constituent ainsi une étape très importante pour une meilleure connaissance du matériel végétal utilisé. L'analyse de la diversité morphogénétique est l'un des outils qui permettent de comprendre la structuration spatiale de la diversité (Emperaire *et al.*, 2003). Les différences de morphologie et d'anatomie des appareils reproducteurs, les caractéristiques des feuilles, des bourgeons, des rameaux et des écorces permettent de distinguer des morphotypes ou des individus d'une même espèce (Arbez, 1988). Ces caractères dimensionnels sont souvent contrôlés par un grand nombre de gènes et sont considérablement modifiés par les facteurs environnementaux. Leurs utilisations à des fins taxinomiques devraient être complétées par l'étude des caractères morphogénétiques qui sont difficiles à révéler, mais plus rigoureux à travers les marqueurs moléculaires. Les marqueurs moléculaires microsatellites SSR sont plus adaptés aux études génétiques des populations tant végétales qu'animales. Ils sont extrêmement polymorphes. Ainsi, selon des études récentes, les microsatellites SSR constituent un outil de choix idéal pour analyser la diversité génétique. Des tests comparatifs chez *Olea europaea* L. ont montré qu'ils sont plus performants que les marqueurs dominants (RAPD et les AFLP).

Cependant, il n'existe pas à notre connaissance d'études détaillées sur la diversité morphogénétique de l'anacardier qui présentent les caractéristiques structurales communes au sein des individus de l'espèce.

L'extraction de l'ADN en prélude de l'étude génétique est indispensable pour connaître et comprendre cette diversité morphogénétique. En biologie moléculaire, l'extraction d'ADN de qualité des organismes végétaux est souvent un facteur limitant (Yu *et al.*, 2019). Les métabolites secondaires interfèrent avec les procédures d'isolement de l'ADN et les réactions de restriction, d'amplification et de clonage de l'ADN (Zidani *et al.*, 2005). En raison de la présence de ces métabolites secondaires, l'extraction des acides nucléiques est généralement difficile chez plusieurs variétés de plantes (Zidani *et al.*, 2005). La plupart de ces produits secondaires interagissent directement ou indirectement avec l'ADN, d'autres affectent l'activité de plusieurs enzymes (Katterman & Shattuck, 1983; Springer, 2010) notamment de l'ADN polymérase. Les tanins, les alcaloïdes, les composés phénoliques, les terpènes et les polysaccharides représentent ces métabolites secondaires (Arseneau *et al.*, 2017; Springer, 2010). Partant de ce constat, plusieurs protocoles d'extractions ont été développés pour obtenir un extrait d'ADN de bonne qualité utilisable dans les études génétiques et des techniques de biologie moléculaire et de biotechnologie (Arseneau *et al.*, 2017; Doyle & Doyle, 1987; Loo & Chandran, 2012; Nunes *et al.*, 2011; Porebski *et al.*, 1997; Puchooa & Khoyratty, 2004; Rout *et al.*, 2002; Springer, 2010). Chaque protocole d'extraction a des caractéristiques typiques. Du fait de la composition biochimique diverse entre les différentes espèces végétales, chacun de ces protocoles est adapté à une espèce spécifique de plante (Matasyoh *et al.*, 2008).

Chez *Anacardium occidentale*, l'abondance des polyphénols, des polysaccharides, des ARN et des produits secondaires qui endommagent l'ADN ou qui inhibent les enzymes de restriction et les Taq polymérases rendent difficile l'extraction de l'ADN génomique et son amplification PCR (Chabi Sika *et al.*, 2015; Rout *et al.*, 2002; Telfer *et al.*, 2013). À cet effet, une multitude de protocoles sont disponibles, tous développés dans le but d'obtenir un extrait d'ADN pur et utilisable (Demeke *et al.*, 2009; Doyle & Doyle, 1987; Inglis *et al.*, 2018; Porebski *et al.*, 1997; Rout *et al.*, 2002). Cependant, force est de constater que la plupart de ces protocoles sont spécifiques pour un type de matériel biologique utilisé, ou encore sont confrontés à des soucis de reproductibilité.

Faisant suite aux résultats du chapitre 2 qui a permis de faire le descriptif des phénotypes existants, ce chapitre constitue une première étape des études génétiques qui viendront compléter la bonne connaissance du matériel végétal existant et de ses variabilités.

Il s'agira ici de contribuer à déterminer le protocole le plus adapté et le plus adéquat en termes de réactifs, de gestion de temps et d'efficacité, pour l'extraction de l'ADN à partir des feuilles déshydratées de l'anacardier.

### 3.1. Matériel et Méthodes

#### 3.1.1. Matériel végétal

La récolte de jeunes feuilles a été effectuée en novembre 2021. Les tissus jeunes, sains et tendres, en particulier les feuilles juvéniles partiellement dilatées, constituent un choix idéal, car ils permettent d'obtenir une bonne qualité et quantité d'ADN, grâce à un plus grand nombre de cellules et à moins de dépôts d'amidon et de métabolites secondaires (Varma *et al.*, 2007). Les feuilles fraîches ont été prélevées au niveau de l'apex des rameaux sur quatre-vingt-deux individus d'anacardiens. Elles sont mises dans des filtres à café écologiques en précisant le numéro du sujet et le code barre sur les sachets. Les échantillons ont été immédiatement stockés dans du gel de silice, afin de favoriser leur dessèchement et leur conservation dans de bonnes conditions avant d'être transférés au Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales (LNRPV) de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) de Dakar.

#### 3.1.2. Méthodes d'étude

##### 3.1.2.1. Taille de l'échantillon

La caractérisation génétique a été effectuée sur les 82 anacardiens retenus dans le cadre de l'étude agromorphologique. Le tableau 6 fait état des individus retenus pour l'étude génétique. Ils sont classés selon leur appartenance aux morphotypes définis dans le chapitre 2.

**Tableau 6 :** anacardiens retenus pour chaque cluster

Cluster1	Cluster2	Cluster3
KGN7	KNY1	FAS12
KGN12	KNY2	FAS14
KGN13	KNY3	FAS16
KGN14	KNY4	FAS17
KGN16	KNY6	FAS19
KGN19	KNY7	KGN8
SIN31	KNY8	KGN9
SIN251	FAS11	KGN11
SIN254	FAS13	KOL9
MGCD1	FAS15	KOL10

MGCD4	KGN4	KOL15
MGCD6	KOL8	SIN252
Db9	KOL11	SIN259
BC11	KOL13	SIN269
Sk1	KOL16	BKD1
Sk2	KOL18	BKM6
Sk4	KOL19	BKM8
Sk5	MCD52	BKM14
SD1	BKD4	BKM17
SD2	BC2	BC7
SD3	BC5	BKM13
SD4	BC6	SG1
SD5	BC12	SG3
SD7	BC14	SG4
SD8	BC15	SG5
	BKD2	SG6
		SG8
		SG9
		SG10
<b>25</b>	<b>27</b>	<b>30</b>

### 3.1.2.2. Protocoles d'extraction de l'ADN des anacardiens de la Casamance utilisés

L'ADN a été isolé à partir du matériel végétal récolté en utilisant 5 protocoles : le protocole d'extraction standard du CTAB avec 1% de DTT, le protocole de Porebski (Porebski, 1997) avec du PCI (Phénol, Chloroforme, Alcool Isoamylique), le protocole du CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol (Inglis *et al.*, 2018), le protocole modifié de Doyle and Doyle (1987) utilisant 2% de DTT et le protocole du Kit d'extraction Zymo research.

### 3.1.2.3. Quantification de l'ADN isolé par spectrophotométrie

L'appareil spectrophotomètre utilise la transmission de la lumière à travers une solution dans le but de déterminer la concentration d'un soluté à l'intérieur de la solution. À cet effet, la

lumière d'une longueur d'onde connue traverse donc un échantillon où la qualité d'énergie lumineuse transmise à l'aide d'une cellule photoélectrique placée de l'autre côté de l'échantillon. Les acides nucléiques ont un spectre d'absorption maximum en UV à 260 nm. Cette absorption est proportionnelle à la concentration de l'ADN ou de l'ARN. Ainsi, la concentration d'acides nucléiques a été déterminée par une mesure effectuée à 260 nm contre un échantillon appelé blanc (TE1X). L'interférence par des contaminants se reconnaît par calcul d'un ratio. Les protéines absorbent à 280 nm, le ratio A260/A280 a été utilisé pour estimer la pureté de l'acide nucléique. L'ADN pur devrait avoir un ratio (R) compris entre  $1,8 < R < 2$ . Si le ratio est inférieur à 1,8, l'ADN est contaminé par les protéines et s'il est supérieur à 2, l'ADN est contaminé par les ARN (Denis *et al.*, 2018). La solution d'ADN mère a été directement mesurée. L'appareil de spectrophotomètre Nanodrop Lite a été vérifié par mesure d'absorbance de Tris-EDTA (TE1X) qui doit être égal à zéro, ensuite l'échantillon a été mesuré et à partir de système d'imagerie, un tableau des résultats a été obtenu. Pour plus de précisions, les mêmes échantillons ont été quantifiés par fluorimétrie.

#### **3.1.2.4. PCR**

Dans le but de tester l'efficacité des différents protocoles, nous avons eu à utiliser plusieurs tests PCR en modifiant quelques paramètres notamment la quantité de la Taq polymérase et celle du MgCl<sub>2</sub>. Pour une cohérence de nos analyses, nous avons décidé de décrire les protocoles PCR utilisées de même que les modifications opérées dans la partie résultat afin de mieux montrer l'effet des réactifs PCR sur les composés secondaires et sur la pureté des extraits d'ADN.

Dans cette étude, nous avons privilégié comme marqueurs moléculaires, les microsatellites. Ce sont des marqueurs codominants, correspondant à des séquences courtes d'ADN répétées en tandem, très répandues dans les génomes des eucaryotes et des procaryotes (Bhargava & Fuentes, 2010). Ils sont connus pour être très polymorphes idéaux pour être utilisés dans des études de génétiques des populations. Ce type de marqueur permet alors de distinguer les génotypes homozygotes des hétérozygotes (De Meeûs, 2012). La facilité d'utilisation, la reproductibilité élevée, le faible coût et l'abondance des microsatellites dans les organismes vivants en font des marqueurs idéaux pour l'analyse génétique. Nous avons utilisé dans cette étude le MAOR47c comme principal marqueur. Les produits PCR ont fait l'objet d'électrophorèse sur gel d'agarose 1% avec comme tampon le TBE 1X afin de vérifier la présence ou non d'amplicon.

### 3.1.2.5. Contrôle de la qualité de l'ADN pour le géotypage

Le contrôle de la qualité de l'ADN a été réalisé par électrophorèse sur gel d'agarose à 1%, 2%, 3% et 4% dans un tampon de migration TBE 1X, sous-tension adaptée à la taille de la cuve et par révélation dans le Bromure d'Ethidium (BET).

Le principe de l'électrophorèse est de déplacer sur le gel d'agarose les ions chargés sous l'effet d'un champ électrique. La vitesse de déplacement est inversement proportionnelle à la taille de l'ion.

Le BET a pour propriété de s'intercaler dans les brins d'ADN et à fluorescer aux Ultraviolets (UV). La quantité d'ADN est proportionnelle à la quantité de fluorescence émise par le Bromure d'Ethidium.

L'ADN en solution a une charge négative, compte tenu de l'ionisation de ses groupes phosphates va à cet effet migrer, de la cathode vers l'anode. Sa quantité de fluorescence comparée à celle du marqueur de taille donnera plus de précision sur la quantité et la qualité de l'ADN extrait.

Un gel d'agarose a été préparé à partir de l'agarose en poudre (solide) mélangés à du TBE 1X. La solution est chauffée à ébullition sur une microonde afin de dissoudre graduellement et totalement l'agarose. Les volumes à prélever dépendent de la concentration et de la taille du gel que l'on veut préparer.

La solution claire obtenue est coulée dans un plateau après refroidissement. Ainsi, on y introduit un peigne dont les empreintes des dents constituent après solidification du gel d'agarose, des puits dans lesquels ont été déposés les produits PCR des échantillons et un tampon de charge contenant du bleu de bromophénol pour alourdir l'échantillon et un colorant fluorescent pour visualiser le dépôt. À côté des échantillons on utilisera un puits pour déposer un marqueur de taille. Le Smart Ladder 1kb utilisé au laboratoire est un marqueur de quantification de la taille de l'ADN. Ce marqueur est constitué de fragments de 1000pb. Le plateau a été placé dans la cuve de migration contenant une quantité suffisante de TBE 1X. Le gel est alors passé au bain léger dans le BET sous UV (100%). Après passage, le gel est alors pris en photo avec un appareil photo numérique. Les UV vont permettre de visualiser le BET qui s'est intercalé dans l'ADN. Le contrôle d'extraction permet d'apprécier la qualité et la quantité de l'ADN des échantillons par la présence et l'aspect des bandes d'ADN. La présence de bandes nettes atteste de la bonne qualité alors que les traînées d'ADN de différentes tailles (smear) correspondent à un ADN dégradé.

### 3.1.2.6. Analyse statistique de données génomiques

Les données d'extraction de l'ADN génomique de jeunes feuilles déshydratées d'anacardiens de la zone agroécologique de la Casamance ont été soumises à l'analyse descriptive. Les résultats analytiques (concentration et pureté de l'ADN) obtenus ont été présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type. Les variables suivies ont été soumises à l'analyse de variance en utilisant la version 4.1.1 du logiciel R au seuil de signification de 5 % puis à un test de comparaison des moyennes multiples selon la méthode de Student-Newman-Keuls (Dagnelie, 1986). Les ADN génomiques extraits de jeunes feuilles déshydratées d'anacardiens obtenus ont été soumis à une PCR afin de vérifier leur qualité.

## 3.2. Résultats

### 3.2.1. Qualité et concentration de l'ADN de la population d'anacardier

L'extraction et la purification de l'ADN génomique sont la première étape des études de biologie moléculaire et des techniques d'extraction de l'ADN. Les résultats analytiques obtenus avec les protocoles d'extraction : standard du CTAB ; du CTAB + bisulfite + PVP (polyvinylpyrrolidone) + Sorbitol ; de Porebski (1997) avec du PCI (Phénol, Chloroforme, Alcool Isoamylique) ; optimisé de Doyle and Doyle (1987) et du Kit Zymo research de l'évaluation de la concentration et de la pureté de l'ADN génomique de la population de l'espèce *Anacardium occidentale* de la zone agroécologique de la Casamance sont consignés dans les tableaux 7 et 8.

Le protocole standard du CTAB a, dans un premier temps, permis d'extraire des ADN avec une concentration évaluée à  $172,52 \pm 167,35$  ng/ $\mu$ L en moyenne. Le minimum de concentration d'ADN est de 4 ng/ $\mu$ L et le maximum de 948,4 ng/ $\mu$ L. La pureté de l'ADN de ces anacardiens est de  $1,19 \pm 0,48$  en moyenne, un minimum de 0,2 et un maximum de 3,13.

Le protocole du CTAB + bisulfite + PVP (polyvinylpyrrolidone) + Sorbitol a, dans un second temps, permis d'obtenir une concentration de l'ADN de  $197,66 \pm 214,47$  ng/ $\mu$ L en moyenne. La concentration minimale en ADN des feuilles de ces anacardiens est de 6,2 ng/ $\mu$ L. Le contenu maximal en ADN dans ces feuilles de cajou est estimé à 968,3 ng/ $\mu$ L. La pureté de ces ADN est évaluée à  $1,43 \pm 0,25$  en moyenne avec une valeur minimale de 0,93 et maximale de 2,05.

Puis, par le protocole de Porebski (1997) avec du PCI (Phénol, Chloroforme, Alcool Isoamylique), le contenu en ADN est évalué à  $86,29 \pm 82,98$  ng/ $\mu$ L en moyenne. La concentration minimale en ADN est de 6,2 ng/ $\mu$ L et maximale de 409,8 ng/ $\mu$ L. La pureté de ces ADN est de  $1,57 \pm 0,3$  en moyenne, un minimum de 0,93 et un maximum de 2,27.

Ensuite, par le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987), les macromolécules notamment les protéines, les lipides, les glucides et les débris cellulaires du lysat ont été éliminés et un ADN hautement pur et en quantité suffisante a été obtenu. La concentration de l'ADN obtenue avec ce protocole est estimée en moyenne à  $260,76 \pm 89,61$  ng/μL. La composition minimale en ADN des feuilles d'anacardiens est de 80,2 ng/μL et maximale de 531,2 ng/μL. La pureté de ces ADN est de  $1,81 \pm 0,11$  en moyenne, un minimum de 1,49 et maximum de 2,09.

Enfin, avec le protocole Kit Zymo research, la concentration moyenne de l'ADN est de  $11,5 \pm 11,54$  ng/μL. La concentration minimale de l'ADN obtenue est de 2,5 ng/μL et maximale de 57 ng/μL. La pureté de ces ADN est estimée à  $1,11 \pm 0,32$  en moyenne, un minimum de 0,64 et maximum de 1,7.

Les valeurs des variables génomiques (concentration en ADN et rapport A260/A280) mesurées sur les ADN de jeunes feuilles déshydratées (tableau 8) sont significativement différentes au seuil de significativité de 5 % d'un protocole à l'autre.

Généralement, les ADN extraits par le protocole standard du CTAB ont été contaminés par les ARN alors les ADN extraits par les autres protocoles exceptés celui optimisé de Doyle and Doyle (1987) ont été contaminés par les protéines.

**Tableau 7** : concentration et pureté minimale et maximale des ADN des anacardiens de la Casamance

<b>Protocoles d'extraction d'ADN</b>	<b>[ADN]_Min ng/μL</b>	<b>[ADN]_Max ng/μL</b>	<b>Rapport_Min A260/A280</b>	<b>Rapport_Max A260/A280</b>
<b>Standard du CTAB</b>	4	948,4	0,2	3,13
<b>Doyle and Doyle (1987)</b>	80,2	531,2	1,49	2,09
<b>CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol</b>	6,2	968,3	0,93	2,05
<b>Porebski (1997) + PCI</b>	6,2	409,8	0,93	2,27
<b>Kit Zymo research</b>	2,5	57	0,64	1,7

**Tableau 8** : concentration et pureté moyenne des ADN des anacardiens de la Casamance

<b>Protocoles d'extraction d'ADN</b>	<b>[ADN]_Moy ng/μL</b>	<b>Rapport_Moy A260/A280</b>
<b>Standard du CTAB</b>	172,52 ± 167,35 <sup>b</sup>	1,19 ± 0,48 <sup>d</sup>
<b>CTAB modifié de Doyle and Doyle (1987)</b>	260,76 ± 89,61 <sup>a</sup>	1,81 ± 0,11 <sup>a</sup>
<b>CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol</b>	197,66 ± 214,47 <sup>b</sup>	1,43 ± 0,25 <sup>c</sup>
<b>Porebski (1997) + PCI</b>	86,29 ± 82,98 <sup>c</sup>	1,57 ± 0,3 <sup>b</sup>
<b>Kit d'extraction Zymo research</b>	11,5 ± 11,54 <sup>d</sup>	1,11 ± 0,32 <sup>e</sup>
<b>Pr(&gt;F)</b>	<2e-16 ***	<2e-16 ***

Sur une même colonne, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

### 3.2.2. Qualité et concentration de l'ADN des clusters d'anacardiens

Les résultats analytiques (concentration en ADN et rapport A260/A280) obtenus de l'extraction de l'ADN génomique des feuilles juvéniles des anacardiens de la Casamance sont consignés dans le tableau 9.

Globalement, les ADN extraits par le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987) sur les feuilles juvéniles déshydratées des anacardiens des clusters 1 et 3 ne présentent aucune molécule contaminante.

Les valeurs des variables génomiques (concentration en ADN et rapport A260/A280) mesurées sur ces ADN extraits sont significativement différentes au seuil de 5 % d'un protocole à l'autre et selon les morphotypes (clusters) d'anacardiens obtenus.

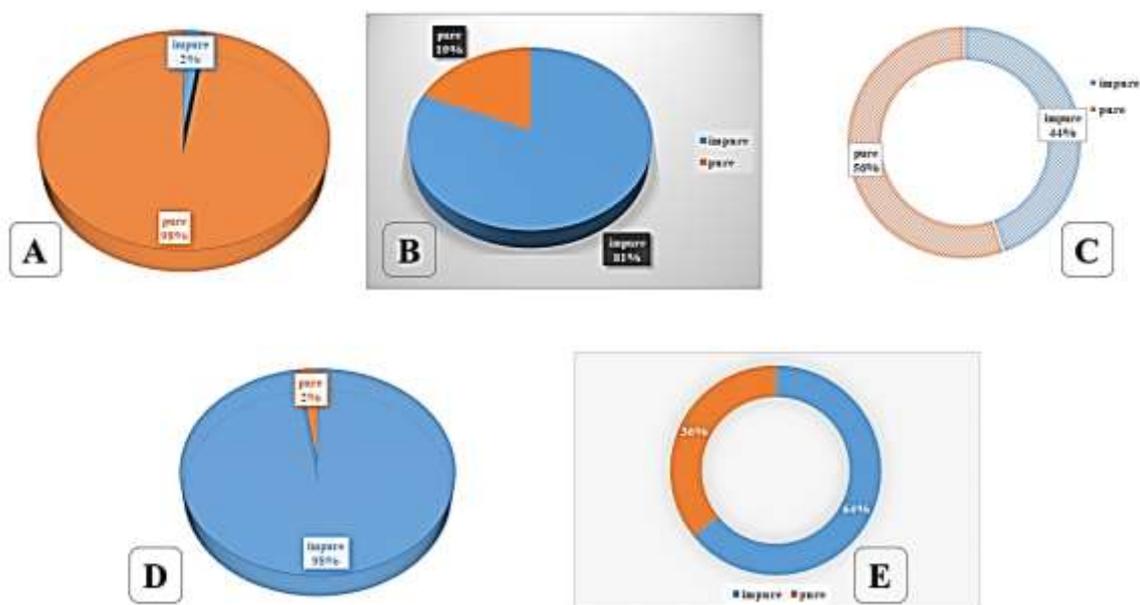
**Tableau 9** : concentration et pureté moyennes des ADN des anacardiens des clusters 1, 2 et 3

	Clusters					
	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
<b>Protocoles d'extraction d'ADN</b>	[ADN]	Rapport	[ADN]	Rapport	[ADN]	Rapport
	Moy	Moy	Moy	Moy	Moy	Moy
	ng/μL	A260/A280	ng/μL	A260/A280	ng/μL	A260/A280
<b>Standard du CTAB</b>	319,13±200,13 <sup>a</sup>	1,22 ± 0,45 <sup>fg</sup>	125,61±24,34 <sup>cd</sup>	1,35±0,57 <sup>ef</sup>	96,45±129,23 <sup>de</sup>	1,02±0,34 <sup>h</sup>
<b>CTAB modifié de Doyle and Doyle (1987)</b>	267,72±80,52 <sup>ab</sup>	1,84±0,11 <sup>a</sup>	235,33±80,75 <sup>ab</sup>	1,76±0,10 <sup>ab</sup>	278,44±101,7 <sup>ab</sup>	1,82±0,11 <sup>a</sup>
<b>CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol</b>	251,61 ± 225,82 <sup>ab</sup>	1,47 ± 0,23 <sup>cde</sup>	220,06±234,81 <sup>b</sup>	1,45±0,25 <sup>de</sup>	181,19±174,51 <sup>bc</sup>	1,43±0,26 <sup>de</sup>
<b>Porebski (1997) + PCI</b>	91,65 ± 93,58 <sup>de</sup>	1,57 ± 0,28 <sup>cd</sup>	85,04±57,84 <sup>de</sup>	1,63±0,29 <sup>bc</sup>	85,65±109,55 <sup>de</sup>	1,52±0,33 <sup>cd</sup>
<b>Kit d'extraction Zymo research</b>	11,27 ± 11,72 <sup>e</sup>	1,09 ± 0,31 <sup>gh</sup>	13,10±13,66 <sup>e</sup>	1,15±0,32 <sup>gh</sup>	11,12±7,99 <sup>e</sup>	1,06±0,30 <sup>gh</sup>
<b>Pr(&gt;F)</b>	<b>18,87 &lt;2e-16</b> ***	<b>21,58 &lt;2e-16</b> ***	<b>18,87 &lt;2e-16</b> ***	<b>21,58 &lt;2e-16</b> 16 ***	<b>18,87 &lt;2e-16</b> ***	<b>21,58 &lt;2e-16</b> 16 ***

### 3.2.3. Taux de pureté de l'ADN de la population d'anacardier étudiée

Les résultats analytiques du taux de pureté de l'ADN de la population d'anacardier de la Casamance obtenus avec les protocoles d'extraction de Doyle and Doyle (1987), standard du CTAB, de Porebski (1997) + PCI, des kits zymo research et du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol sont consignés dans la figure 24. Le protocole d'extraction optimisé de Doyle and Doyle (1987) a, dans un premier, permis d'extraire des ADN de jeunes feuilles d'anacardiens de haute pureté estimée à 98%. Le protocole standard du CTAB a, dans un second temps, permis d'obtenir des ADN de faible pureté (19%). Puis, par le protocole de Porebski (1997), ce taux est de 56%. Ensuite, par le protocole des kits zymo research, ce taux est extrêmement faible (2%). Enfin, par le protocole d'extraction du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol, le taux de pureté de l'ADN génomique est de 36%.

Globalement, le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987) a donné la meilleure quantité et pureté en moyenne de l'ADN chez l'anacardier.



**Figure 24 :** taux de pureté de l'ADN obtenu avec le protocole d'extraction de Doyle and Doyle 1987 (A), standard au CTAB (B), de Porebski 1997 + PCI (C), des kits zymo research (D) et du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol

### 3.2.4. Taux de pureté de l'ADN des clusters d'anacardier étudiés

Les résultats du taux de pureté de l'ADN génomique des trois clusters d'anacardiens de la Casamance obtenus avec les protocoles d'extraction de Doyle and Doyle (1987), standard du CTAB, de Porebski (1997) + PCI, des kits zymo research et du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol sont consignés dans le tableau 10. Le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987) a permis d'obtenir des ADN purs extraits sur les jeunes feuilles déshydratées d'anacardiens des clusters 1, 2 et 3. Les ADN des feuilles juvéniles des anacardiens des trois clusters extraits avec le protocole kits zymo research sont totalement impurs.

Globalement, la pureté de l'ADN génomique ne dépend pas de l'origine du matériel végétal dans les trois clusters d'anacardiens obtenus, mais plutôt de la qualité du protocole d'extraction utilisé. La qualité de la déprotéinisation des ADN extraits dépend de l'efficacité de la méthode d'extraction utilisée.

**Tableau 10** : taux de pureté de l'ADN génomique des trois clusters d'anacardiens obtenus avec le protocole d'extraction de Doyle and Doyle 1987, standard au CTAB, de Porebski 1997 + PCI, des kits zymo research et du CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol

Protocoles d'extraction d'ADN génomique						
Clusters	Fréquence Relative	Doyle and Doyle 1987	Standard du CTAB	Porebski 1997 + PCI	Kits zymo research	CTAB + Bisulfite + PVP + Sorbitol
Cluster1	ADN pur	100%	28%	44%	4%	20%
	ADN impur	0%	72%	56%	96%	80%
Cluster2	ADN pur	85%	22%	48%	0%	19%
	ADN impur	15%	78%	52%	100%	81%
Cluster3	ADN pur	93%	3%	34%	0%	21%
	ADN impur	7%	97%	66%	100%	79%

### 3.2.5. Exploitations des résultats PCR

Dans le but de voir l'efficacité de nos différents protocoles et l'utilisation ultérieure des extraits dans des analyses moléculaires telles que les études génétiques, des tests PCR ont été effectués pour quelques extraits obtenus avec les différents protocoles d'extractions utilisés dans la présente étude afin de voir les interférences des composés organiques présents dans nos extraits avec les réactifs PCR et de choisir le protocole le plus adéquat pour nos échantillons.

Nous avons fait un premier test avec le protocole PCR n°1, dans lequel nous avons utilisé 0,25 µL de Taq polymérase soit la valeur standard utilisé dans la plupart des PCR et une concentration de 0,3mM de MgCl<sub>2</sub>. Les échantillons utilisés sont ceux provenant de l'extraction avec la méthode standard du CTAB.

Comme là montre la photo 3, aucun amplicon n'a été obtenu. Pour rappel la plupart des échantillons avaient un rapport A260/A280 bien inférieur aux valeurs de références [1,8 - 2].

La présence de composés organiques (polyphénols, polysaccharides, protéines, tanins, alcaloïdes, terpènes ...) dans nos extraits, comme là montre nos rapports de pureté obtenue, peut être une cause de la non-amplification. Ces composés pourraient interférer avec les réactifs PCR notamment sur la Taq polymérase ou le MgCl<sub>2</sub>.



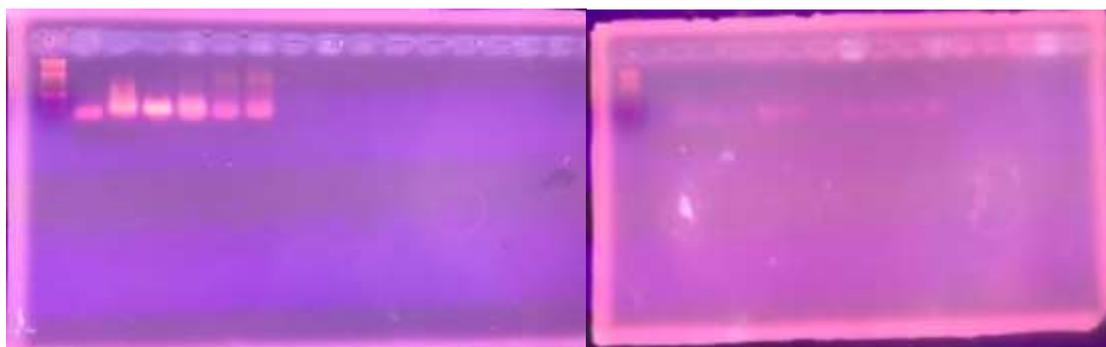
**Photo 3 : résultat PCR du test 1**

Dans un second temps nous avons décidé de faire deux tests en parallèle afin de voir sur quels réactifs en question l'inhibition se faisait. Dans le premier test nous avons utilisé le protocole PCR n°1 et dans le second test, nous avons augmenté le volume de la Taq polymérase à 1µL (tableau 11). Des amplicons n'ont été obtenus qu'avec le test 2 dans lequel le volume de la Taq polymérase avait été augmenté.

**Tableau 11 : résultats PCR n°2 et 3**

Échantillons	Rapport A260/A280	Résultat test 1	Résultat test 2
<b>KOL10</b>	0,94	-	-
<b>Db6</b>	0,99	-	+
<b>SK2</b>	1,88	-	+
<b>SG8</b>	1,34	-	+
<b>CN</b>		-	+

Des amplicons ont été obtenus sur d'autres échantillons toujours avec un volume de Taq polymérase de 1µL, mais avec des trainés et dans certains cas des amplifications faibles indiquant les présences d'éléments autres que l'ADN, qui sont des preuves de contaminations des extraits par les composés organiques (photo 4 et photo 5), confirmant leur effet sur l'efficacité de la Taq polymérase.



**Photo 4** : résultat PCR test 2

**Photo 5** : résultat PCR test 3

Dans notre dernière série de tests PCR, nous avons décidé de jouer sur la concentration du réactif  $MgCl_2$ , où dans le premier test nous avons dans un premier temps fixé la concentration de  $MgCl_2$  à 1,5mM et pour le second test, laissé la concentration de départ, c'est-à-dire la concentration à 0,3mM. Le détail de ces tests est consigné dans les annexes 12 et 13 et les résultats des tests dans le tableau 12.

Avec la Taq polymérase à 0,5 $\mu$ L dans chacun des tests, nous avons eu avec tous les échantillons testés des amplicons avec le test 1 où la quantité de  $MgCl_2$  avait été augmentée et pour le test 2 un seul échantillon avait donné un résultat PCR positive, permettant de dire que l'interférence affectait le  $MgCl_2$  qui est un catalyseur de la réaction PCR.

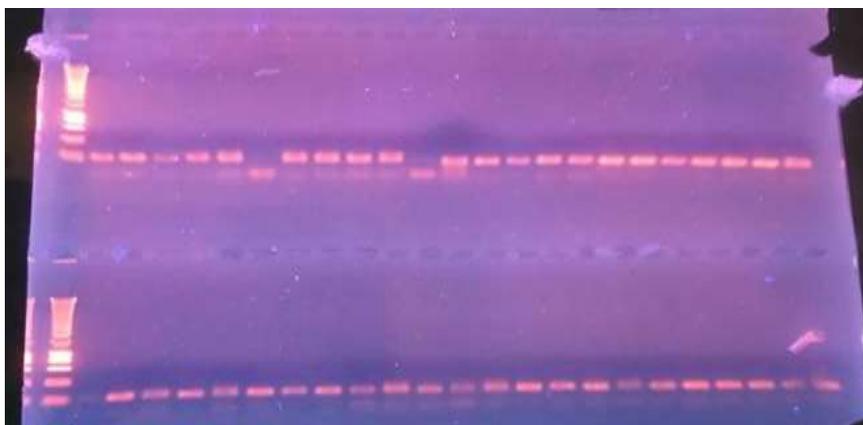
**Tableau 12** : résultats des tests PCR en fonction du  $MgCl_2$

Échantillons	Rapport A260/A280	Résultat test 1	Résultat test 2
<b>SD5</b>	0,76	++	-
<b>Db6</b>	0,99	++	-
<b>SG5</b>	0,85	++	-
<b>KNY6</b>	1,91	+	-
<b>SK2</b>	1,88	++	++

D'autres tests ont été effectués sur les extraits issus du protocole CTAB + bisulfite de même qu'avec ceux issus du protocole Porebski avec toujours pas d'amplicon avec le protocole PCR n°1.

Les tests PCR effectués avec les échantillons extraits par le biais de notre protocole d'extraction de l'ADN optimisé à partir du protocole de Doyle et Doyle (1987) ont donné de meilleurs résultats avec une très bonne résolution indiquant une pureté totale de nos extraits d'ADN. Les résultats sur gel d'agarose d'ailleurs le montrent avec des bandes nettes (photo 6). La réaction d'amplification a été effectuée avec un volume réactionnel de 10 $\mu$ L contenant : du tampon 1X,

1mM de MgCl<sub>2</sub>, 200 μM de dNTP, l'amorce Forward (marquée par la queue M13), Reverse et le Dye 700 complémentaire à la queue M13 à 0,1 μM chacun, la Taq polymérase à 0,1 U/μL, ainsi qu'une quantité de 25ng d'ADN.



**Photo 6 :** résultat PCR avec protocole modifié du CTAB

Le tableau 13 est un récapitulatif des résultats PCR obtenues avec les quantités standard de réactifs, c'est-à-dire des quantités de Taq polymérase et de MgCl<sub>2</sub> par défaut. En résumé, la PCR est positive qu'avec les extraits (ADN) issus du protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987). Les échecs d'amplification seraient liés à la présence de métabolites secondaires comme le montre les résultats de pureté et renseignent sur la capacité de ces protocoles à éliminer ces métabolites secondaires et de leur action inhibitrice sur les réactifs PCR. Les résultats positifs obtenus avec notre protocole modifié du CTAB témoignent l'efficacité des modifications opérées.

**Tableau 13 :** résumé des résultats PCR des différentes méthodes d'extraction

Méthode	A260/A280	Résultat PCR
<b>Kit ZR</b>	1,03	Négatif
<b>CTAB standard</b>	1,07	Négatif
<b>Bisulfite</b>	1,5	Négatif
<b>Sorbitol</b>	1,5	Négatif
<b>Porebski</b>	1,59	Négatif
<b>CTAB optimisée</b>	1,8	Positif

### 3.3. Discussion partielle

L'information génétique d'une cellule est contenue dans la molécule d'ADN. La molécule d'ADN, sous l'influence des facteurs environnementaux, définit les traits phénotypiques. Ces

traits phénotypiques sont transmis de génération en génération. La génétique des populations utilise la molécule d'ADN pour étudier la diversité et la structure génétique des populations. L'accès à la molécule d'ADN est primordial pour connaître la composition et la structure génétique de l'espèce *Anacardium occidentale*. La caractérisation morphologique, biochimique et moléculaire constitue les trois techniques utilisées pour étudier et connaître la diversité génétique au niveau moléculaire (Matasyoh *et al.*, 2008). L'identification, la caractérisation et la détermination de la diversité génétique de plusieurs espèces végétales ont été facilitées par les techniques de la biologie moléculaire. L'ADN, extrait de trois morphotypes (clusters) d'anacardiens de la Casamance par le protocole de Doyle and Doyle (1987), est de la qualité nécessaire aux techniques de biologie moléculaire. Les tests PCR réalisés avec les extraits d'ADN du protocole Doyle and Doyle (1987) sont tous positifs. L'efficacité du protocole de Doyle and Doyle (1987) comparée à celle d'un protocole commercialisé (kits zymo research) et trois autres protocoles basés sur l'emploi de CTAB est supérieure en rendement et en qualité. La qualité de l'ADN de la présente étude ne dépend pas de la provenance (cluster 1, cluster 2 ou cluster 3) du matériel végétal, plutôt de l'efficacité du protocole d'extraction utilisé. L'extraction de l'ADN de certaines espèces de plantes a toutefois été limitée par l'absence de techniques efficaces d'isolement des acides nucléiques. Les procédures d'isolement de l'ADN, la restriction, l'amplification et le clonage de l'ADN sont inhibés par la présence des métabolites secondaires (Zidani *et al.*, 2005). La plupart de ces métabolites secondaires interfèrent directement ou indirectement avec l'ADN. D'autres produits secondaires affectent l'activité de l'ADN polymérase. Les polymères entraînés par des forces électrostatiques, dipolaires et hydrophobes interagissent avec le CTAB et le SDS (Chatterjee *et al.*, 2002). Les interactions entre les tensioactifs (SDS et CTAB) et les protéines de la membrane cellulaire contribuent à la lyse cellulaire par ricochet à l'extraction de l'ADN (Perumal *et al.*, 2016).

Le matériel végétal utilisé est composé de jeunes feuilles récoltées en novembre 2021. Les feuilles jeunes, partiellement dilatées, composées de jeunes tissus, saines et tendres permettent d'obtenir une bonne qualité et quantité d'ADN, grâce à un plus grand nombre de cellules et à moins de dépôts d'amidon et de métabolites secondaires (Varma *et al.*, 2007).

La rupture mécanique et thermique, le traitement chimique et la digestion enzymatique ont permis l'extraction d'acides nucléiques des feuilles déshydratées d'anacardiens de la zone agroécologique de la Casamance. La lyse cellulaire et l'inactivation de la nucléase permettent aux débris cellulaires d'être aisément retirés par filtrage ou par précipitation (Somma, 2007).

Plusieurs méthodes de préparation de tampons d'extraction (lysats cellulaires) ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Les lysats cellulaires permettent de faire sortir du matériel génétique de l'échantillon (Lu *et al.*, 2005).

Cinq protocoles d'extraction ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Les meilleurs résultats en termes de pureté de l'ADN ont été obtenus avec le protocole optimisé à base de CTAB de Doyle and Doyle (1987). La pureté de l'ADN obtenue avec ce protocole est de 1,81 en moyenne. Il s'en est suivi respectivement du protocole d'extraction de Porebski (1997) + PCI enregistrant une pureté moyenne de 1,57, du protocole de CTAB + bisulfite + PVP + sorbitol qui donne une pureté de 1,43 en moyenne et du protocole standard d'extraction de CTAB avec une pureté de 1,19 en moyenne. La pureté de l'ADN la plus faible a été obtenue avec le protocole Kit Zymo research soit 1,11 en moyenne.

L'interférence par des contaminants se reconnaît à travers la valeur du ratio A260/A280. Les protéines absorbent à 280 nm. Le ratio A260/A280 a été utilisé pour estimer la pureté de l'acide nucléique. L'ADN pur devrait avoir un ratio d'environ  $1,8 < R < 2$ . L'ADN est contaminé par les protéines si :  $A260 / A280 < 1,8$ . L'ADN est contaminé par les ARN si :  $A260 / A280 > 2$  (Denis *et al.*, 2018). À cet effet, les ADN obtenus avec tous les protocoles précités, excepté le protocole modifié de Doyle and Doyle (1987) sont contaminés soit par des protéines soit par des ARN.

La méthode modifiée de Doyle and Doyle (1987), ayant obtenue des ADN propres et de qualité a été optimisée. Les principales modifications apportées concernent l'augmentation de la quantité de l'antioxydant DTT à 2%, la diminution drastique de la quantité de matériel végétal de 350mg à environ 150mg et la resuspension de l'ADN dans une solution TE1X (Tris-EDTA). En considérant les valeurs maximales de puretés des ADN des différents protocoles utilisés, il est aisé de constater que c'est seulement le protocole standard du CTAB qui a permis d'extraire des ADN contaminés par des ARN avec une valeur maximale de 3,13 de loin supérieur à 2. Les composés polyphénoliques interagissent irréversiblement avec les protéines et les acides nucléiques et entraînent leur oxydation et dégradation (Dabo *et al.*, 1993).

Les protocoles contenant du Bromure de CéthylTriméthyl Ammonium (CTAB) ont enregistré les meilleurs résultats en termes de quantité et de pureté d'ADN. La méthode du CTAB convient pour la suppression des polysaccharides et des composés polyphénoliques qui affectent la pureté de l'ADN des végétaux et d'aliments tirés des végétaux (Lipp *et al.*, 1999). Les protocoles d'extractions testées sur l'espèce *Anacardium occidentale* et contenant du bisulfite, du PVP et du PCI ont donné des ADN avec une pureté modérée comprise entre 1,43 et 1,57 en moyenne. Ces ADN sont modérément contaminés par des protéines. Les variantes du CTAB

utilisant du PVP , du PCI ou même du bisulfite de sodium permettent d'extraire d'ADN de qualité chez la plupart des plantes (Angeles *et al.*, 2005; Loo & Chandran, 2012; Porebski *et al.*, 1997; Sahu *et al.*, 2012). Les faibles ratios A260/A280 obtenus avec ces variantes pourraient s'expliquer par l'espèce, la nature de l'organe, l'état physiologique des tissus foliaires utilisés comme matériel végétal, la procédure d'extraction et la méthode de précipitation. La quantité de matériel végétal utilisé est aussi discriminante pour l'obtention d'ADN propre et de qualité. Le support (silicagel) de séchage des feuilles peut aussi entrer en jeu.

Le protocole modifié de Doyle and Doyle (1987) a permis l'obtention d'un ADN plus propre et de bonne qualité (1,81) et quantité (260,76 ng/ $\mu$ L). La méthode CTAB améliorée donne des rendements moyens réguliers (80-200  $\mu$ g. g<sup>-1</sup>) en ADN de bonne qualité chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) (Benbouza, *et al.*, 2006). La réduction de la quantité du matériel végétal favorise un bon mélange dudit matériel au chloroforme : alcool isoamylique (24 : 1) et par conséquent pourrait contribuer à optimiser la séparation des phases pendant la centrifugation aux différentes étapes. Les protéines solubles et d'autres matières sont séparées par mélange avec du chloroforme et centrifugation (Tan et Yiap, 2009). L'augmentation de la concentration de l'antioxydant DTT, agent réducteur de l'oxydation des composés phénoliques, a favorisé une bonne absorption et élimination de ces composés organiques vecteurs d'impureté de l'acide désoxyribonucléique.

Les résultats obtenus avec les kits d'extraction Zymo research en termes de concentration et de pureté sont de très loin inférieur à ceux des autres protocoles contenant du CTAB. Les kits d'extraction Zymo research ont enregistré la concentration et la pureté en ADN les plus faibles. La principale préoccupation de ces méthodes (kits commerciaux) est la quantité et la qualité de l'ADN extrait (Chen *et al.*, 2010).

Les faibles concentrations minimales obtenues avec les différents protocoles CTAB et variant de 4 ng/ $\mu$ L à 6,2 ng/ $\mu$ L s'expliqueraient par la présence de phénol qui minimise la quantification de l'ADN détecté par l'absorbance UV puisque le phénol présente un coefficient d'extinction élevé à 260 nm (Javadi *et al.*, 2014).

L'agarose a été utilisée à différents gradients (1%, 2%, 3% et 4%) de concentration afin de génotyper les anacardiens de la zone agroécologique de la Casamance. Plusieurs manipulations ont été effectuées pour rendre discriminantes les bandes des produits PCR. La vitesse de migration du gel d'agarose a été réduite et est passée de 100V/m à 80 V/m. Le temps de migration a été énormément prolongé passant 30 minutes à 1 heure 20 minutes. Sur chaque gel d'agarose, une seule amorce a été déposée. La température d'hybridation des amorces a été augmentée. Le volume des amorces a été augmenté et est passé de 0,1  $\mu$ l à 5  $\mu$ l pour un volume

réactionnel de 12 µl. Tous les tests effectués n'ont pas donné des résultats exploitables. Les profils électrophorétiques des échantillons d'ADN génomique extraits n'ont pas permis d'obtenir les différents allèles aux marqueurs microsatellites de l'anacardier. À cet effet, les marqueurs microsatellites utilisés dans le cadre de cette étude n'ont pas donné de résultats satisfaisants avec le profilage à l'agarose. Les travaux des auteurs comme Dasmohapatra *et al.*, (2014) et Samal *et al.*, (2003) utilisant les marqueurs RAPD et de Dasmohapatra *et al.*, (2014) utilisant les marqueurs ISSR ont montré que ces marqueurs précités sont plus compatibles au profilage à l'agarose contrairement aux marqueurs microsatellites neutres SSR.

Tous les tests PCR effectués sur les ADN provenant des feuilles déshydratées d'anacardiens de la Casamance n'ont pas donné d'amplifications discriminantes. L'absence de produits d'amplification dans ces cas peut être expliquée soit par la présence d'un allèle nul ou par un problème d'amplification survenu pendant le déroulement de la PCR (Benbouza *et al.*, 2006). Cet état de fait pourrait aussi s'expliquer par un ADN difficilement amplifiable par PCR et parfois visqueux. La viscosité de l'ADN extrait est observée surtout chez les espèces sauvages et elle est probablement due à une forte concentration de polysaccharides (Benbouza *et al.*, 2006).

### **3.4. Conclusion et perspectives partielles**

Cette étude a permis d'identifier le meilleur protocole d'extraction de l'ADN génomique de jeunes feuilles déshydratées d'anacardiens. Cinq protocoles d'extraction de l'ADN ont été testés dans cette étude. Parmi ces derniers figurent le protocole d'extraction standard du CTAB avec 1% de DTT, le protocole de Porebski (1997) avec du PCI (Phénol, Chloroforme, Alcool Isoamylique), le protocole du CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol, le protocole modifié de Doyle and Doyle (1987) avec 2% de DTT et le Kit d'extraction Zymo research. Le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987) avec 2% de DTT a permis d'obtenir les meilleurs résultats en termes de concentration et de pureté de l'ADN de jeunes feuilles déshydratées d'anacardiens. La concentration de l'ADN obtenue avec ce protocole est de  $260,76 \pm 89,61$  ng/µL en moyenne. La pureté de ces ADN est de  $1,81 \pm 0,11$  en moyenne. La plus faible concentration et pureté de l'ADN génomique a été obtenue avec le Kit Zymo research. La concentration moyenne de l'ADN obtenue avec ce Kit est de  $11,5 \pm 11,54$  ng/µL. La pureté de ces ADN est estimée à  $1,11 \pm 0,32$  en moyenne. L'usage concomitant de différents gradients d'agarose (1%, 2%, 3% et 4%) et des marqueurs moléculaires neutres (microsatellites) n'a pas permis d'analyser la diversité génétique des anacardiens en Casamance. Ainsi, au vu de l'importance socio-économique de la chaîne de valeur anacarde, de la demande croissante en noix et en pommes de cajou et de

l'enthousiasme de la communauté scientifique pour sa promotion et sa gestion rationnelle, il est plus que nécessaire de mener à terme l'étude génétique afin de :

- ✚ Mieux connaître le matériel végétal utilisé ;
- ✚ Confirmer le fondement génétique des morphotypes générés par l'étude agromorphométrique ;
- ✚ Évaluer la variabilité génétique au sein des plantations d'anacardiens en Casamance ;
- ✚ Évaluer la différenciation génétique ;
- ✚ Évaluer la diversité et la structure génétique en fonction des morphotypes et des zones agroclimatiques ;
- ✚ Estimer l'introgession génétique au sein des morphotypes ;
- ✚ Déterminer les relations génétiques entre tous les morphotypes et les propriétés physicochimiques et biochimiques de leurs pommes ;
- ✚ Reconstruire des arbres phylogénétiques afin de ressortir les liens de parenté au sein des individus de l'espèce.

C'est dans ce contexte que se justifie la caractérisation des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques de la pomme de cajou, pseudo fruit encore très peu exploité.

---

## **CHAPITRE 4 : CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE, BIOCHIMIQUE, ANTIOXYDANTE ET ÉNERGÉTIQUE DE POMMES DE CAJOU DE LA ZONE AGRO-ÉCOLOGIQUE DE LA CASAMANCE (SÉNÉGAL)**

---

- Ce chapitre a fait l'objet d'une publication scientifique à Food and Nutrition Sciences Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A., Thiocone, K.M.O., Ayessou, N.C. and Diatta, M. (2022) Physicochemical, Biochemical and Antioxidant Potential Characterisation of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) from the Agro-Ecological Zone of Casamance (Senegal). *Food and Nutrition Sciences*, 13, 439-452. <https://doi.org/10.4236/fns.2022.134032>
- et d'une communication orale à la 1<sup>ère</sup> édition des doctoriales conjointes de l'ED-STI α ED-ESH de l'Université Assane Seck de Ziguinchor, les 10, 11, 12 novembre 2022

## Résumé

En Afrique, le nombre de personnes sous-alimentées augmente à un rythme alarmant. Pourtant, les fruits jouent un rôle primordial chez l'homme, en particulier en tant que source de vitamines et de minéraux. Au Sénégal, beaucoup de recherches ont porté sur la noix, mais pas d'attention accordée à la pomme de cajou. La présente étude contribue à l'évaluation des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques de jus bruts de pommes de cajou de la zone écogéographique de la Casamance. Le matériel végétal est constitué de pommes de cajou collecté en juin 2021 sur cent vingt anacardières. Trois lots ont été constitués à cet effet en tenant compte de la couleur (rouge, jaune et orange) de la pelure des pommes. Des méthodes normalisées AFNOR ont été utilisées pour la caractérisation physicochimique, biochimique, antioxydante et énergétique des jus bruts de pommes de cajou. La teneur en extrait sec, en matière sèche et en cendre des pommes rouges, jaunes et oranges sont compris respectivement entre 14 à 14,70 °Brix ; 12,96 à 14,17 % et 0,24 à 0,35 g/100g. L'analyse multivariée des variances par permutations a permis d'identifier deux groupes de pommes de cajou. Le premier groupe, constitué de pommes de cajou orange présentes la meilleure qualité nutritionnelle et est très riche en éléments minéraux totaux (0,35 g/100g) et en sucres réducteurs (18,69 mg/100g). Le deuxième groupe composé de pommes rouges et jaunes se particularise par sa richesse en protéine (0,52 g/100ml) et en antioxydant (43,28 % en PI). Le pouvoir antioxydant est positivement corrélé à la teneur en polyphénol total ( $r = 0,99$ ). L'ensemble de ces résultats montrent que les pommes de cajou ont une forte valeur nutritionnelle et représentent une bonne alternative dans la lutte contre la malnutrition et une bonne perspective dans la diversification de la filière anacarde.

**Mots clés :** *Anacardium occidentale* L., Jus bruts de cajou, Biochimie, Antioxydant, Sénégal

## Abstract

In Africa, the number of undernourished people is increasing at an alarming rate. However, fruits play a vital role in humans, particularly as a source of vitamins and minerals. In Senegal, a lot of research has focused on the nut, but no attention given to the cashew apple. The present study contributes to the evaluation of the physicochemical, biochemical, antioxidant and energetic properties of raw cashew apple juice from the Casamance ecogeographic zone. The plant material consists of cashew apples collected in June 2021 from one hundred and twenty cashew trees. Three batches were made for this purpose, taking into account the color (red, yellow and orange) of the apple peel. AFNOR standardized methods were used for the

physicochemical, biochemical, antioxidant and energy characterization of raw cashew apple juices. The dry extract, dry matter and ash content of red, yellow and orange apples are respectively between 14 and 14.70°Brix; 12.96 to 14.17% and 0.24 to 0.35 g/100g. Multivariate analysis of variances by permutations made it possible to identify two groups of cashew apples. The first group, consisting of orange cashew apples, presents the best nutritional quality and is very rich in total mineral elements (0.35 g/100g) and reducing sugars (18.69 mg/100g). The second group composed of red and yellow apples is distinguished by its richness in protein (0.52 g/100ml) and antioxidants (43.28% in PI). The antioxidant power is positively correlated with the total polyphenol content ( $r = 0.99$ ). All of these results show that cashew apples have a high nutritional value and represent a good alternative in the fight against malnutrition and a good perspective in the diversification of the cashew sector.

**Key words:** *Anacardium occidentale* L., Cashew apple juice, Biochemistry, Antioxidant, Senegal

## **Introduction**

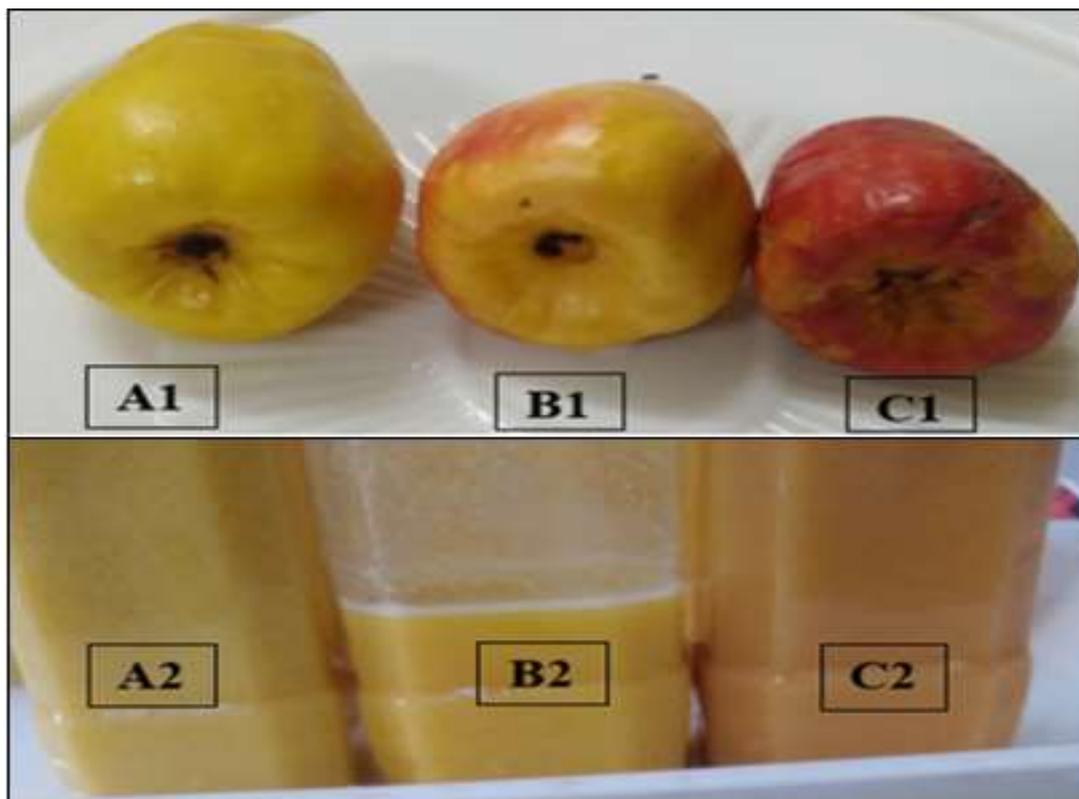
L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est un arbre de la famille des *Anacardiaceae* dont l'exploitation est focalisée sur sa noix. La noix de cajou occupe une place de choix dans le marché mondial. Elle représente la principale source de devises pour de nombreux pays producteurs. La demande mondiale de noix de cajou est en forte croissance. En Afrique, la filière est inscrite au cœur des politiques publiques dans tous les pays producteurs de noix comme la Côte d'Ivoire, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Burkina Faso, le Nigéria, la Tanzanie, le Mozambique, le Bénin, le Kenya, le Sénégal et la Gambie (iCA, 2014). Au Sénégal, la filière anacarde joue un rôle économique très important dans les deux grands pôles agroécologiques (Casamance et de Fatick) producteurs d'anacardes. La filière génère des revenus aux femmes en milieu rural (USAID, 2006). En Casamance, notamment à Ziguinchor et à Sédhiou les noix de cajou sont d'excellente qualité où les valeurs du *KOR* (*Kernel Output Ratio*) s'approchent des normes de l'UEMOA ( $\geq 50$  lbs) (iCA, 2014). La production moyenne annuelle nationale est estimée à 28 900 tonnes en 2018 (Hien, 2019) dont 97 % sont destinées à l'exportation (PADEC, 2016). La dimension économique de l'anacardier fut introduite dans la gestion environnementale à partir des années 80. Elle a permis de mieux prendre en compte les préoccupations économiques des populations et de tirer pleinement profit des opportunités qu'offre la filière. Ainsi fut le début de l'émergence des grands projets forestiers notamment le Projet Anacardier Sénégal-Allemand (PASA) et la Société de Décorticage des Noix

d'Anacarde du Sénégal (SODENAS). Au cours de cette même période, la transformation de noix a pris son envol. La chaîne de valeur se dote alors d'un autre maillon qui est celui du transformateur. Au départ, ce sont de petites unités de transformation artisanales qui voient le jour. Le travail fut laborieux et le produit fini peu normé par rapport aux exigences internationales de qualité. À partir des années 2000, la technique de transformation s'est peu à peu modernisée avec l'acquisition de matériels importés. Ces outils ont permis une production en quantité et en qualité de produits finis. Les produits de la transformation de la noix de cajou sont les amandes grillées. Malgré l'intervention de plusieurs projets ou programmes dans l'amélioration de la productivité des plantations d'anacardiers, la filière anacarde rencontre encore de nombreuses difficultés à cause des rendements faibles, de la mauvaise conservation des amandes et des difficultés de commercialisation. La pomme de cajou est peu valorisée malgré sa potentialité minérale, nutritionnelle et énergétique. Pour propulser la chaîne de valeur anacarde et ainsi rehausser le niveau de vie des populations démunies, il apparaît important de valoriser la pomme de cajou, sous-produit de l'exploitation de la noix. Outre les noix de cajou, les pommes sont assez peu valorisées sauf en Inde et au Brésil où elles sont utilisées pour la production de jus de fruit (Cavalcante *et al.*, 2003) ou de liqueur (Nanjundaswamy *et al.*, 2001). Au Sénégal, les pommes de cajou sont abandonnées et pourrissent dans les plantations aux dépens des noix surtout en raison de son goût astringent (Rocha *et al.*, 2006 ; Giro *et al.*, 2009). Elles connaissent aujourd'hui une timide valorisation en jus en Casamance, zone de prédilection de sa culture au Sénégal. Plusieurs travaux ont porté sur l'évaluation de la ressource, la caractérisation morphologique et phénotypique de l'anacardier (Ndiaye *et al.*, 2019) qui décrit les variantes d'anacardiers de pommes rouges, jaunes et oranges. Certains ont abordé le potentiel de production, les techniques de vulgarisation, la commercialisation, la transformation (Khumbanyiwa *et al.*, 2000), la production (Goudiaby, 2014 ; Sokemawu, 2015 ; Ndiaye, 2017a, Ba, 2018 et Samb *et al.*, 2018), l'impact écologique, environnemental et socioéconomique de l'anacardier (Demba, 2012) et sur l'évaluation des teneurs en éléments nutritifs des noix brutes (Samb *et al.*, 2021). Cependant, les études portant sur l'évaluation des caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des pommes de cajou suivant la toposéquence des grandes zones agroécologiques de production de la Casamance sont inexistantes à notre connaissance. À cet effet, la présente étude porte sur l'évaluation des caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques du jus brut des variantes de pommes de cajou. Ce travail favorisera l'essor de la filière anacarde par la diversification des produits de pommes de cajou.

## **4.1. Matériel et Méthodes**

### **4.1.1. Matériel végétal**

Le matériel végétal, constitué de pommes de cajou matures, a été collecté en juin 2021 en Casamance, au sud du Sénégal sur cent vingt (120) pieds d'anacardiens retenus parmi les 411 caractérisés. Sur chaque pied et suivant les quatre points cardinaux, deux (2) échantillons de pommes de cajou ont été récoltés dans les orientations est et nord. Un total de 240 pommes de cajou a été récolté dans cette étude. Les pommes cajou de chaque région ont été réparties en fonction de la couleur de la pelure (rouge, jaune et orange) en trois lots. Ces échantillons (pommes) ont été ensuite séparés de leurs noix. Ils ont été trempés dans de l'eau de robinet, conditionnés aux frais dans des glacières et acheminés au Laboratoire Eau, Énergie, Environnement et Procédés Industriels (LE3PI) de l'École Supérieure Polytechniques (ESP) de Dakar. Les pommes de cajou ont été égouttées au laboratoire à l'aide d'un tamis muni en bas d'un chiffon doux aspirateur d'eau, découpées en tranches et broyées au moyen d'un mixeur afin d'assurer d'un taux d'extraction rapide. Le jus brut extrait de chaque lot a été transvasé dans des flacons de 100 ml et conservé au congélateur à -20°C pour les différentes analyses. Les extraits (jus bruts de cajou) de la même couleur des différentes régions (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) ont été ensuite mixés pour constituer les provenances (rouge, jaune et orange) de la Casamance (photo 7).



**Photo 7** : pomme de cajou jaune (A1), jus de pomme jaune (A2) ; Pomme de cajou orange (B1), jus de pomme orange (B2) ; Pomme de cajou rouge (C1), jus de pomme rouge (C2)

#### 4.1.2. Analyses physicochimiques et biochimiques

L'acidité titrable, le pH, la teneur en extraits secs réfractométriques, les sucres réducteurs et totaux, les protéines, les lipides, la teneur en cendre et la valeur énergétique ont été évalués selon les méthodes standard de l'AFNOR (AFNOR, 1982).

Les polyphénols totaux (PTC) ont été caractérisés par spectrophotométrie UV/Visible (Analytik Jena, Specord 200 plus, Allemagne) selon la méthode de Georgé *et al.* (2005). Les TPC ont été déterminés en équivalents d'acide gallique (EAG) et les valeurs ont été exprimées en mg EAG/g de matière sèche (MS) de l'extrait de la plante.

La teneur en flavonoïde, exprimé en milligramme équivalent catéchine (mg EC) par gramme de matière sèche, a été déterminée en utilisant la méthode colorimétrique décrite par Kim *et al.* (2003). Les tanins ont été déterminés par la méthode colorimétrique de Folin Denis. Le résultat exprimé en milligramme équivalent d'acide gallique (mg EAG) par gramme de matière sèche (Joslyn, 1970). L'activité antioxydante a été évaluée en fonction du pourcentage d'inhibition des extraits à base de miel sur le radical DPPH (2, 2-diphényl-

1-picrylhydrazyl, Sigma, société chimique, USA) en apportant quelques modifications à la méthode (De Oliveira *et al.*, 2014).

Le dosage des minéraux a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA NOVAA-350, ZEENIT 700P). Les résultats sont exprimés en milligramme par grammes de matière sèche.

#### **4.1.3. Analyses statistiques**

Les résultats analytiques obtenus de trois essais indépendants ont été présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type. Les variables caractérisées ont été soumises à l'analyse multivariée des variances par permutations à un facteur (PERMANOVA) en utilisant le package vegan de la version 4.1.1 du logiciel statistique R au seuil de signification de 5 %. Le test de normalité de Shapiro wilk (Shapiro *et al.*, 1965) a été effectué avant de faire l'analyse de variance au seuil de 5% si les données sont normales ou des tests non paramétriques Wilcoxon.test et Kruskal-Wallis pour les données anormales.

La classification ascendante hiérarchique issue des caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts de pommes de cajou a été effectuée suivant la dissimilarité de la distance euclidienne de la méthode de distance de Bray-Curtis (Bray and Curtis, 1957). Les valeurs de cet indice sont comprises entre 0, si les deux échantillons ont la même composition physicochimique ou biochimique et 1, si les échantillons sont totalement dissemblables (Bloom, 1981).

### **4.2. Résultats et Discussion partielle**

#### **4.2.1. Caractérisation physicochimique et biochimique et activité antioxydante**

Les résultats physicochimiques, biochimiques et antioxydants de jus bruts des différentes pommes de cajou sont présentés dans le tableau 14. L'analyse du tableau montre que le jus issu des pommes rouges et jaunes à la même densité, soit (1,03), chacun. Ces résultats corroborent ceux de Gbohaïda *et al.*, (2015), selon qui la densité du jus des pommes de cajou rouges et jaunes du Bénin varie respectivement de 1,03 à 1,05 et de 1,03 à 1,04.

Le pH du jus brut des pommes rouges (4,62) et jaunes (4,61) est quasiment similaire et est par contre supérieur à celui des pommes oranges (4,52). L'acidité du jus brut des pommes de cajou de la Casamance est comprise entre 4,52 et 4,62. Plusieurs auteurs (Gbohaïda *et al.* ; 2015 ; Odame *et al.*, 2020 ; Hédiblè *et al.*, 2017 et Adou *et al.*, 2012) ont montré que le pH du jus des pommes de cajou de la Tanzanie, du Bénin et de la Côte d'Ivoire varie respectivement de 3,9 à

4,3 ; 3,37 à 4,52 et 4,37 à 4,5. À cet effet, les pommes de cajou de la Casamance sont moins acides que celles de la Tanzanie, du Bénin et de la Côte d'Ivoire. Les différences entre pays de l'acidité du jus des pommes de cajou seraient liées aux climats et aux types de sols propres à chaque pays.

La teneur en matière sèche du jus des pommes de cajou rouges (14,17 %) est plus importante que celles oranges (12,96 %) et jaunes (12,84 %). La composition en extrait sec réfractométrique des pommes rouges (14,70 °Brix) est supérieure à celles jaunes (14,27 °Brix) et oranges (14 °Brix). La teneur en cendre des pommes de cajou oranges (0,35 %) est plus importante suivie de celle rouges (0,27 %) et jaunes (0,24 %).

La teneur en extrait sec réfractométrique, en matière sèche et en cendre des pommes rouges, jaunes et oranges sont comprises respectivement entre 14 à 14,70 °Brix ; 12,96 à 14,17 % et 0,24 à 0,35 g/100 g et sont plus importante dans les pommes de cajou de la Casamance comparée à celles obtenues par Hédiblé *et al.* (2017) au Bénin (de 8,2 à 10,2 °Brix ; 7,20 à 8,43 % et 0,15 à 0,23 %). Plusieurs facteurs, notamment la variante d'anacardier, la zone agroécologique, le climat, les pratiques culturales, le niveau de maturité du fruit à la récolte (Drake et Eisele, 1994), les conditions de stockage du fruit (Drake *et al.*, 2002 ; Drake et Eisele, 1999) et même les couleurs et formes des pommes cajou affectent leur composition physicochimique (Adou *et al.*, 2012).

La teneur en protéine est plus importante dans le jus brut des pommes de cajou jaunes (0,56 g / 100 g) que ceux rouges (0,49g/100 g) et oranges (0,42g/100 g). La composition protéique du jus brut des pommes de cajou de la Casamance varie entre 0,42 à 0,56g/100g et est plus riche en protéines que celui des pommes de cajou de la Côte d'Ivoire (0,51 à 0,53 g/100g) (Adou *et al.*, 2012) et de l'Inde (0,2 g/100g) (Runjala and Kella, 2017).

En examinant les composés lipidiques, le jus brut de pommes de cajou oranges (1,85 g/100 g) en est plus pourvu, suivi respectivement de ceux jaunes (1,49 g/100 g) et rouges (1,31 g/100 g). La composition en lipide du jus brut de la pomme de cajou, faux fruit de l'anacardier est de très loin inférieure à celle de l'amande, vrai fruit (46,1g/100 g) de l'anacardier (Lautié *et al.*, 2001). Les sucres réducteurs sont beaucoup plus présents dans le jus brut des pommes de cajou jaunes (20,35 g / 100 g) que ceux des pommes oranges (18,69 g / 100 g) et rouges (17,64 g / 100 g). Pour les sucres réducteurs, les teneurs sont comprises entre 17,64 et 20,35 g / 100 g. Le jus brut des pommes de cajou de la Casamance est de loin plus riche en sucre réducteur que de celui des pommes de cajou de l'Inde (1,76 à 13,3 g/100g) (Sivagurunathan *et al.*, 2010).

L'acide ascorbique (vitamine C) est un antioxydant. Le jus brut des pommes de cajou oranges est plus riche en vitamine C (300 mg /100 ml), suivi de ceux rouges (290 mg /100 ml) et jaunes

(270 mg /100 ml). La teneur en vitamine C des pommes de cajou de la Casamance varie de 270 mg /100 ml à 300 mg /100 ml. Ces auteurs (Carvalho *et al.*, 2007 ; Honorato and Rodrigues, 2010) dans leurs études sur les pommes de cajou ont montré une teneur en vitamine C de 219 mg/100 ml. Les résultats obtenus dans la présente étude sont comparables à ceux de Ouattara *et al.*, (2016) et de Damasceno *et al.*, (2008) cité par Runjala and Kella (2017), selon qui la teneur en vitamine C du jus brut de cajou est respectivement de 317,5 mg/100 ml et de 126 - 372 mg/100 ml. La teneur en vitamine C du jus brut est comparable à celle obtenue par Adou *et al.*, (2012) sur deux variantes de pommes de cajou (jaunes et rouges) de Yamoussoukro dont la teneur en acide ascorbique varie de 370,9 mg/100 g à 480,3 mg/100 g.

La valeur énergétique des jus bruts de cajou varie de 28,01 à 31,33 Kcal/100 g de matières sèches. Ce résultat est de loin inférieur à celui obtenu par Runjala et Kella (2017) en Inde (51 Kcal/100 g).

La teneur en polyphénols totaux du jus brut des pommes de cajou jaunes (0,03 mg EAG/g MS) est plus élevée que celles des pommes rouges (0,02 mg EAG/g MS) et oranges (0,01 mg EAG/g MS). Cependant, la composition en polyphénols totaux du jus brut de cajou de la Casamance est inférieure à celle obtenue au Bénin par Ouattara *et al.* (2016). Michodjehoun-Mestres (2009) a montré que 98% de ces polyphénols sont sous formes de tanins, composés responsables de l'astringence de la pomme de cajou.

Le jus brut des pommes de cajou jaunes à un pourcentage d'inhibition (48,18%) plus important que ceux des pommes rouges (38,37%) et oranges (20,02%). L'activité antioxydante du jus brut des pommes de cajou de la Casamance est de loin inférieure à celle de différents échantillons de pommes de cajou traitée et séchée du Bénin variant entre 74,46 et 82,89 % (Lagnika *et al.*, 2019). Le jus brut des pommes de cajou de la présente étude a une activité anti radriculaire plus prononcée que celles de la noix brute (41 %) et de la noix grillée (37 %) de cajou du Brésil (Trevisan *et al.*, 2015). Cependant, le pouvoir antioxydant du jus brut de cajou est quasi-similaire à celui de la pomme (53 %) et est de très loin inférieur à ceux de la fibre de cajou (94 %) et du liquide de coque de noix de cajou (100 %) (Trevisan *et al.*, 2015). Les antioxydants sont des composés bioactifs qui agissent comme des facteurs de protection contre la plupart des effets délétères et des maladies induites par le stress oxydatif (Pineli *et al.*, 2011). Ces substances réagissent avec les radicaux libres tels que les radicaux peroxydes, les radicaux superoxydes et les radicaux hydroxyles dans des mécanismes de réaction en chaîne et les convertissent en composés non réactifs dans les conditions normales (Jan *et al.*, 2013). La consommation d'aliments riches en antioxydants dont la pomme de cajou améliore la santé tout

en réduisant le risque de contracter des maladies telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies du foie.

**Tableau 14 :** caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts de pommes de cajou

<b>Variabiles</b>	<b>PCR</b>	<b>PCJ</b>	<b>PCO</b>
Densité	1,03 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>
pH	4,62 ± 0,00 <sup>b</sup>	4,61 ± 0,00 <sup>b</sup>	4,52 ± 0,02 <sup>a</sup>
Matière sèche %	14,17 ± 0,02 <sup>c</sup>	12,84 ± 0,02 <sup>a</sup>	12,96 ± 0,02 <sup>b</sup>
Brix (°Brix)	14,70 ± 0,10 <sup>c</sup>	14,27 ± 0,25 <sup>b</sup>	14 ± 0,2 <sup>a</sup>
Cendres %	0,27 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>c</sup>
Protéines (g / 100 g)	0,49 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,56 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,42 ± 0,02 <sup>a</sup>
Lipides (g / 100g)	1,31 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,49 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,85 ± 0,01 <sup>c</sup>
Sucres réducteurs (g / 100g)	17,64 ± 0,03 <sup>a</sup>	20,35 ± 0,02 <sup>c</sup>	18,69 ± 0,02 <sup>b</sup>
Vitamine C (mg /100 ml)	290 ± 0,02 <sup>b</sup>	270 ± 0,02 <sup>a</sup>	300 ± 0,01 <sup>c</sup>
Valeur énergétique (Kcal / 100 g)	31,33 ± 0,09 <sup>c</sup>	28,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	29,66 ± 0,01 <sup>b</sup>
Polyphénols totaux (mg EAG/g MS)	0,02 ± 0,002 <sup>b</sup>	0,03 ± 0,003 <sup>c</sup>	0,01 ± 0,002 <sup>a</sup>
Activité antioxydante en PI (%)	38,37 ± 1,12 <sup>b</sup>	48,18 ± 2,55 <sup>c</sup>	20,02 ± 0,06 <sup>a</sup>

Sur une même ligne, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

#### 4.2.2. Éléments minéraux

Les jus bruts obtenus des pommes de cajou après extraction ont fait l'objet d'une quantification des éléments minéraux dont les résultats sont contenus dans le tableau 15. Les résultats montrent que les jus bruts des pommes de cajou contiennent des quantités importantes en minéraux notamment en potassium, en phosphore, en magnésium et en calcium. Ces valeurs sont significativement différentes d'un jus brut à l'autre et selon les variantes de pommes de cajou étudiées. Ainsi, les meilleures teneurs en minéraux sont obtenues avec la pomme de cajou

orange avec des valeurs de  $1492 \pm 11$  mg/100 g en phosphore,  $207,67 \pm 3,45$  mg/100 g en potassium,  $163 \pm 2,70$  mg/100 g en magnésium et  $47,10 \pm 0,60$  mg/100 g en calcium. Il en est suivi des pommes jaunes et rouges avec des valeurs respectives de  $1138,67 \pm 15,5$  et  $1060,67 \pm 15,5$  mg/100 g en phosphore,  $162,37 \pm 1,25$  et  $144,1 \pm 1,6$  mg/100 g en potassium,  $123,05 \pm 1,55$  et  $110,20 \pm 0,9$  mg/100 g en magnésium, et  $42,05 \pm 0,75$  et  $34,8 \pm 1,4$  mg/100 g en calcium. Les concentrations du jus brut des variantes d'anacardiens à pommes rouges, jaunes et oranges en phosphore varient de 1060,67 à 1492 mg/100g. Ces résultats sont de loin supérieurs à ceux de l'étude synthétique de Lautié *et al.* (2001) portant sur les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés (10 à 30 mg/100g en phosphore). Cependant, ils présentent des teneurs faibles en oligoéléments. Le jus brut des pommes de cajou oranges est plus riche en sodium ( $25,91 \pm 0,5$  mg/100 g) que ceux des pommes rouges ( $23,07 \pm 0,82$  mg/100 g) et jaunes ( $21,31 \pm 0,02$  mg/100 g). La composition en fer du jus brut des pommes oranges ( $10,17 \pm 0,5$  mg/100 g) est plus élevée que ceux des pommes jaunes ( $6,78 \pm 0,14$  mg/100 g) et rouges ( $4,75 \pm 0,43$  mg/100 g). La teneur en cuivre est plus importante dans le jus brut de pommes oranges ( $2,14 \pm 0,08$  mg/100 g) suivi de ceux de pommes jaunes ( $1,45 \pm 0,01$  mg/100 g) et rouges ( $1,14 \pm 0,07$  mg/100 g). L'oligoélément zinc est plus présent dans le jus brut de pommes de cajou oranges ( $2,2 \pm 0,03$  mg/100 g) que ceux à pommes rouges ( $1,08 \pm 0,04$  mg/100 g) et à pommes jaunes ( $0,85 \pm 0,03$  mg/100 g). Les teneurs obtenues en sodium, en fer et en zinc, confirment les résultats de ces auteurs comme Assuncao and Mercadante (2003) ; Michodjehoun-Mestres (2009) et Adou *et al.* (2011).

Les valeurs obtenues dans la présente étude pour le calcium ( $34,8 \pm 1,4$  à  $47,10 \pm 0,6$  mg/100g) et pour le fer ( $4,75$  à  $10,17 \pm 0,5$  mg/100g) sont de loin supérieures aux apports journaliers recommandés pour ces deux minéraux qui sont respectivement de 0,68 mg et 0,015 mg (USDA, 2002).

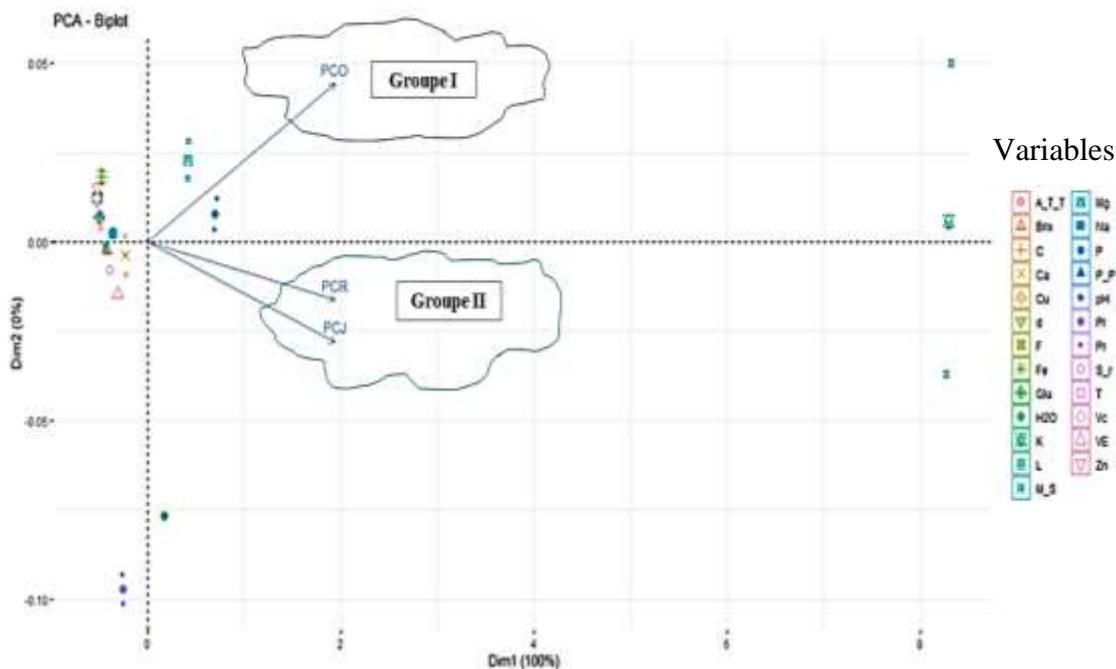
**Tableau 15** : minéraux des jus bruts extraits des variantes de pommes de cajou

Minéraux (mg/100 g)	PCR	PCJ	PCO
P	1060,67 ± 15,5 <sup>a</sup>	1138,67 ± 15,5 <sup>b</sup>	1492 ± 11 <sup>c</sup>
K	144,1 ± 1,6 <sup>a</sup>	162,37 ± 1,25 <sup>b</sup>	207,67 ± 3,45 <sup>c</sup>
Mg	110,2 ± 0,9 <sup>a</sup>	123,05 ± 1,55 <sup>b</sup>	163 ± 2,7 <sup>c</sup>
Na	23,07 ± 0,82 <sup>b</sup>	21,31 ± 0,02 <sup>a</sup>	25,91 ± 0,5 <sup>c</sup>
Ca	34,8 ± 1,4 <sup>a</sup>	42,05 ± 0,75 <sup>b</sup>	47,10 ± 0,6 <sup>c</sup>
Fer	4,75 ± 0,43 <sup>a</sup>	6,78 ± 0,14 <sup>b</sup>	10,17 ± 0,5 <sup>c</sup>
Zn	1,08 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,85 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,2 ± 0,03 <sup>c</sup>
Cu	1,14 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,45 ± 0,01 <sup>b</sup>	2,14 ± 0,08 <sup>c</sup>

Sur une même ligne, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

#### 4.2.3. Analyse multivariée et test de corrélation

Les tests de corrélation entre les différentes variables mesurées montrent que les corrélations sont significatives entre les variables physicochimiques et biochimiques. En effet, l'analyse multivariée des variances par permutations des différentes variables mesurées a permis d'obtenir les résultats représentés à la figure 25. Ainsi, les dimensions (Dim1 et Dim2) obtenues qui traduisent 100% des informations ont été très suffisantes pour garantir une précision d'interprétation des résultats de ladite figure. La dimension 1 à elle seule totalise les 100% de l'information. Le cercle de corrélation montre que l'ensemble des variables physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques sont très bien représentées sur l'axe I et sont soit positivement ou négativement corrélées sur cet axe. Ainsi, en comparant l'ensemble des variables évaluées sur les jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges, il est aisé de noter qu'il y a deux groupes de pommes de cajou. Le premier comprend uniquement les pommes de cajou oranges. Le deuxième groupe regroupe les pommes de cajou rouges et jaunes.

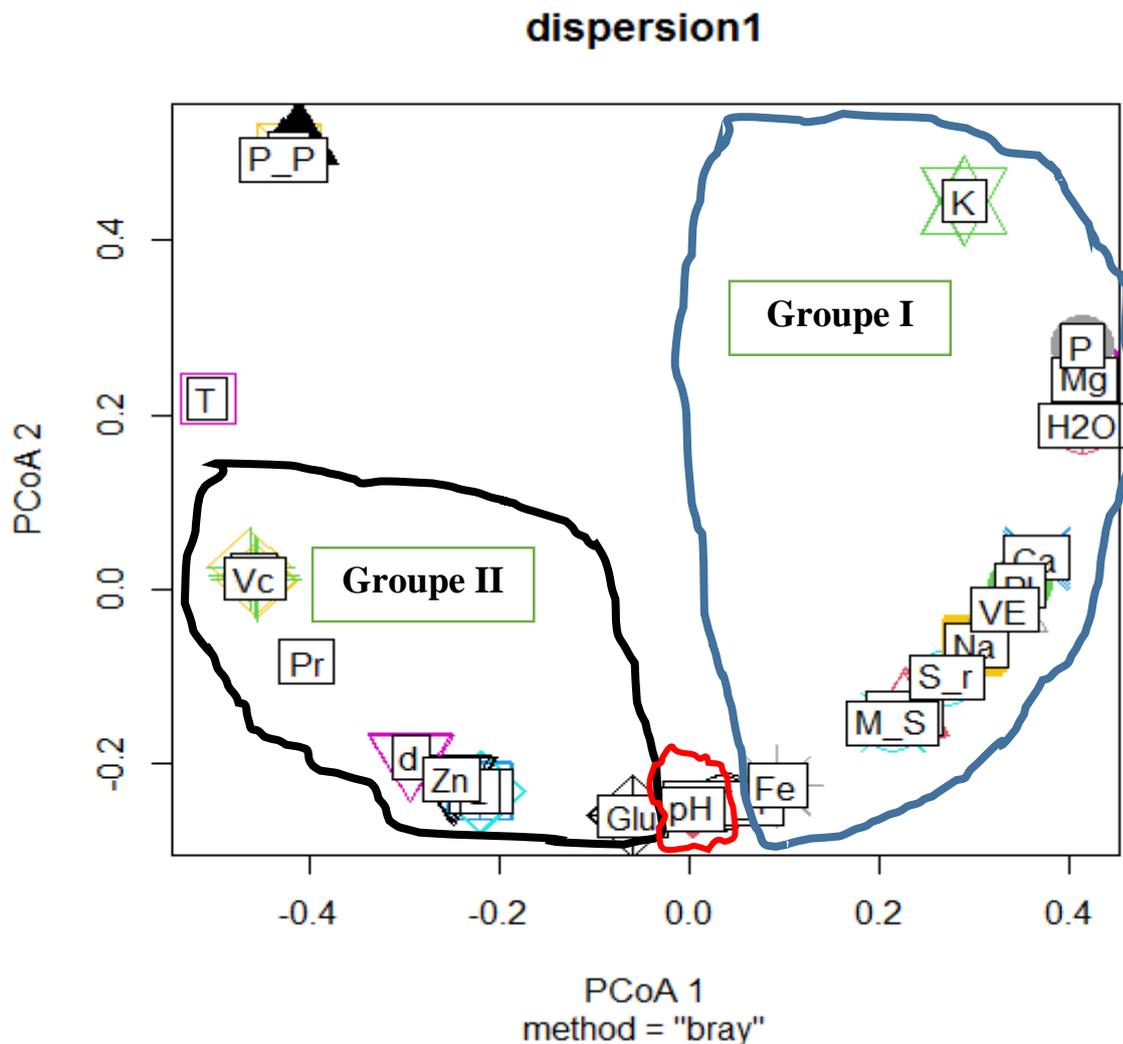


**Figure 25 :** corrélation entre les variables physicochimiques et biochimiques et les groupes de pommes de cajou

À partir de l'analyse multivariée des variances par permutations (PERMANOVA), une autre analyse plus approfondie a permis de mettre au point un dendrogramme regroupant toutes les variables. L'analyse des résultats sur la dispersion des variables permet d'identifier les variables qui sont les plus corrélées aux deux groupes de pommes de cajou (Figure 26). Le groupe (pommes rouges et jaunes) est plus corrélé à la teneur en vitamine C (VC), en protéine (Pr), en zinc (Zn), en glucose (Glu) et à la densité du jus brut de cajou (d). Cependant, le groupe de pomme de cajou orange est plus corrélé à la teneur en fer (Fe), en sucre réducteur (S.r), en sodium (Na), en calcium (Ca), en magnésium (Mg), en phosphore (P), en matière sèche (M\_S), en eau (H<sub>2</sub>O), en antioxydant (PI) et en potassium (K).

Les deux groupes de pommes de cajou de la Casamance ont une similarité au niveau de l'acidité (pH). Les pommes de cajou ont un apport calorique significative, donc elles peuvent participer à l'équilibre nutritionnel et énergétique. En effet, elles constituent une excellente source de protéines, de vitamines et de minéraux et peuvent contribuer ainsi aux effets bénéfiques de la santé des populations. La vitamine C est dotée de propriétés réductrices à la base de son activité biologique. L'acide ascorbique est connu comme agent très réducteur et a un rôle de cofacteur dans les réactions catalysées par l'oxygène. Il est reconnu pour ses capacités d'inhibition de la synthèse des composés cancérigènes formés dans notre tube digestif à partir de nitrites et de

composés aminés. Le potentiel antioxydant des pommes de cajou revêt une importance particulière pour la santé humaine.

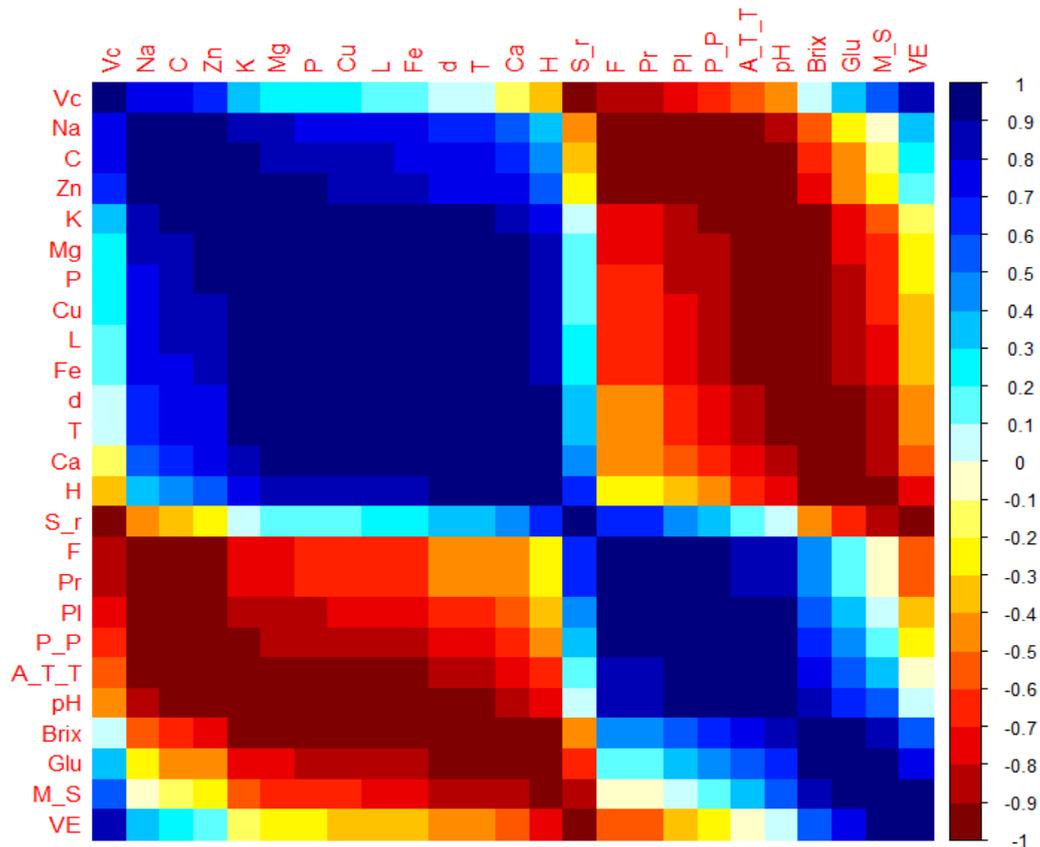


**Figure 26 :** distribution des variables physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques de jus bruts de pommes de cajou sur le plan factoriel

#### 4.2.4. Corrélation entre les variables physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques

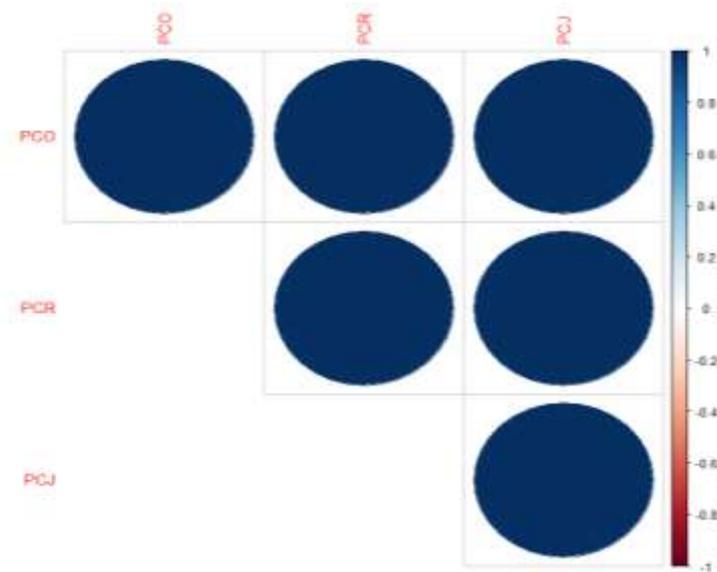
L'analyse de la figure 27 montre une forte corrélation entre les variables physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques. À l'opposé, des corrélations relativement modérées et faibles ont été observées entre les descripteurs précités. L'analyse de la figure 27 montre clairement qu'il y a une corrélation hautement significative entre le pouvoir antioxydant (PI), la teneur en polyphénols totaux (P-P) et en vitamine C (Vc) du jus brut des pommes de cajou. Le pouvoir antioxydant est négativement et fortement corrélé à la teneur en vitamine C

( $r = -0,78$ ) et positivement corrélé à la teneur en polyphénols totaux ( $r = 0,99$ ). Le pouvoir antioxydant et la composition en vitamine C du jus brut des pommes de cajou évoluent dans le sens contraire. La teneur en polyphénols totaux et le pouvoir antioxydant des jus bruts évoluent dans la même direction. Cependant, plusieurs études réalisées sur les fruits et citées par Soro (2012) ont montré qu'il n'y avait pas de corrélation entre d'une part le pouvoir antioxydant et les polyphénols totaux et d'autre part entre le pouvoir antioxydant et la teneur en vitamine C.



**Figure 27** : corrélation entre les variables physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques de jus bruts de pommes de cajou

La figure 28 indique également une très forte corrélation entre les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des pommes de cajou (rouge, jaune et orange) de la zone agroécologique de la Casamance.

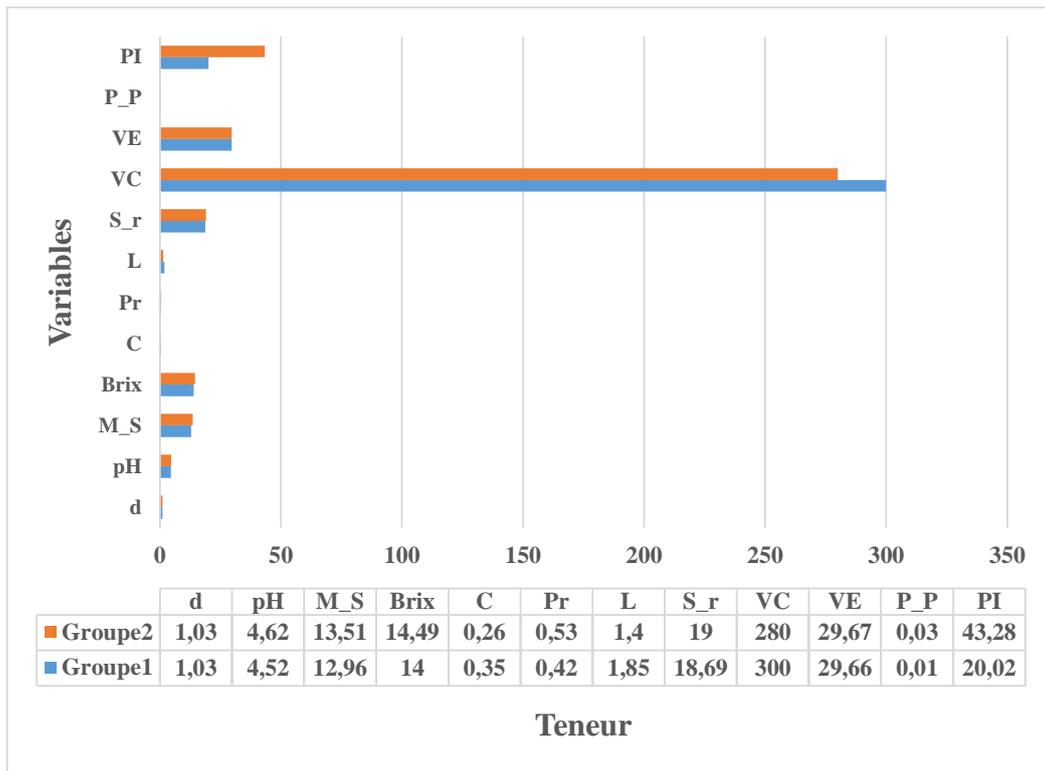


**Figure 28** : corrélation entre jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges

#### 4.2.5. Caractéristiques des groupes (1 et 2)

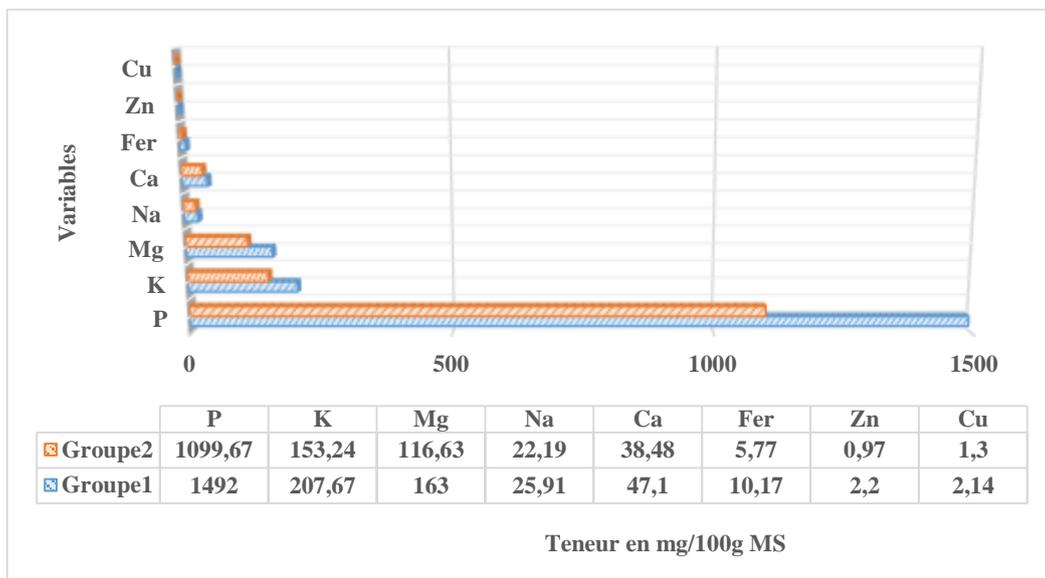
La classification ascendante hiérarchique a indiqué deux groupes, puis une comparaison des moyennes de ces derniers a été faite par rapport à la composition physicochimique, biochimique, antioxydante, et énergétique des jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges.

Les jus bruts des pommes de cajou rouges et jaunes du morphotype 2 sont plus riches en antioxydant, en revanche, ils sont moins pourvus en vitamine C que les jus bruts des pommes de cajou du morphotype 1 (figure 29).



**Figure 29 :** composition physicochimique, biochimique, antioxydante et énergétique des groupes de pomme de cajou

Le groupe 1 composé du morphotype de pomme de cajou orange est de très loin plus riche en macroéléments et en oligoéléments (figure 30).



**Figure 30 :** composition minérale des groupes de pomme de cajou (1 et 2)

### 4.3. Conclusion partielle

La pomme de cajou est un pseudo fruit à forte valeur nutritionnelle et présente des intérêts technologiques. Les pseudos fruits des variantes de pommes de cajou rouges, jaunes et oranges étudiées présentent des quantités importantes en macromolécules (protéines, sucres, lipides) et en minéraux. La pomme de cajou orange présente la meilleure qualité nutritionnelle et est fortement corrélée avec les éléments minéraux. La pomme de cajou orange est une agroressource privilégiée pour la production de confiture, des conserves au sirop, de jus de fruits, des boissons rafraîchissantes, etc. Ainsi, les pseudos fruits d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) peuvent être une bonne alternative à la supplémentation journalière en vitamine C pour les enfants et les adultes et peuvent ainsi contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire en Casamance. Il nous semble alors nécessaire de poursuivre les investigations dans le sens de la valorisation de ce coproduit de la noix de cajou afin de contribuer à booster la filière anacarde au Sénégal. La valorisation de la pomme de cajou permettra d'améliorer le régime alimentaire des couches vulnérables, de créer de nouvelles activités économiques génératrices d'emplois et par conséquent, de lutter contre le chômage au Sénégal. L'analyse des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques permettra d'évaluer la qualité nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou.

---

## CHAPITRE 5 : VALEUR NUTRITIONNELLE ET ÉNERGÉTIQUE DES POMMES DE CAJOU (*Anacardium occidentale* L.) DE LA CASAMANCE, SÉNÉGAL

---

- Ce chapitre a fait l'objet d'une publication scientifique dans la revue Afrique Science Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A. and Ayessou, N.C. (2022) Valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou (*Anacardium occidentale* L.) de la Casamance, Sénégal. *Afrique SCIENCE* 21(2) (2022), 13 – 24. <http://www.afriquescience.net>
- et d'une communication orale au colloque international CasamanSun / FITER (Forum sur les Innovations Technologiques en Énergies Renouvelables) sur le thème « *Développement durable et innovation dans les secteurs des énergies renouvelables dans un contexte d'exploitation pétrole-gaz et de crises énergétique et sanitaire* » organisé à l'Université Assane Seck de Seck, les 23, 24, 25, 26 novembre 2022

## Résumé

La faim et la malnutrition demeurent un fléau mondial et affectent près de huit cents millions de personnes dont la majorité se trouve dans les pays en voie de développement. Dans ces pays, l'agriculture connaît un abaissement de sa productivité et l'aide alimentaire est toujours d'actualité. La valorisation des produits de l'anacardier notamment la pomme pourrait être une des voies de résilience des ménages agricoles vulnérables. L'objectif de cette étude est d'évaluer la valeur minérale et nutritionnelle du jus brut des pommes de cajou. Le matériel végétal, constitué de pommes de cajou, a été collecté en juin 2021 sur cent vingt anacardiens. Les protéines, les sucres réducteurs et la teneur en vitamine C ont été évalués selon les méthodes normalisées de l'Association Française de Normalisation (AFNOR). Le dosage du calcium, du magnésium, du fer, du sodium, du potassium et du phosphore a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique couplée avec un détecteur Charge Coupled Device (CCD). Les résultats montrent que la teneur en phosphore du jus brut de cajou des pommes rouges, jaunes et oranges varie de 1060,67 mg.100 g<sup>-1</sup> à 1492 mg.100 g<sup>-1</sup>. La composition en potassium est comprise entre 144,1 mg.100 g<sup>-1</sup> à 207,67 mg.100 g<sup>-1</sup>. La quantité de magnésium contenue dans ce jus brut varie de 110,2 mg.100 g<sup>-1</sup> à 163 mg. 100 g<sup>-1</sup>. La teneur en sodium varie de 21,31 mg.100 g<sup>-1</sup> à 25,91 mg.100 g<sup>-1</sup>. Le calcium contenu dans le jus brut de cajou des différentes pommes de couleur rouge, jaune et orange varie de 34,8 mg.100 g<sup>-1</sup> à 47 mg.100 g<sup>-1</sup>. Le jus brut de cajou est très riche en fer (4,75 mg.100 g<sup>-1</sup> à 10,17 mg.100 g<sup>-1</sup>), en protéine (4,2 g.kg<sup>-1</sup> à 5,6 g.kg<sup>-1</sup>) et en vitamine C (2700 mg.kg<sup>-1</sup> à 3000 mg.kg<sup>-1</sup>). Il présente un apport calorifique non négligeable compris entre 28,01 kcal.100 g<sup>-1</sup> à 31,33 kcal.100 g<sup>-1</sup> de matières sèches. Les pommes de cajou présentent une teneur assez importante en éléments minéraux et un potentiel élevé en sucres réducteurs. Cette richesse en minéraux fait de la pomme de cajou en particulier celle de couleur orange, un substrat privilégié pour combler certaines carences en nutriments surtout chers les enfants et les femmes allaitantes.

**Mots clés :** *Anacardium occidentale* L., jus de pomme de cajou, oligoéléments, Casamance (Sénégal).

## Abstract

Hunger and malnutrition remain a global scourge and affect nearly eight hundred million people, the majority of whom are in developing countries. In these countries, agriculture is experiencing a decline in productivity and food aid is still in place. The promotion of cashew products, particularly apples, could be one of the ways to build resilience for vulnerable

agricultural households. The objective of this study is to evaluate the mineral and nutritional value of raw cashew apple juice. The plant material, consisting of cashew apples, was collected in June 2021 from one hundred and twenty cashew trees. Proteins, reducing sugars and vitamin C content were evaluated according to the standardized methods of the French Association for Standardization (AFNOR). The determination of calcium, magnesium, iron, sodium, potassium and phosphorus was carried out by an atomic absorption spectrophotometer coupled with a Charge Coupled Device (CCD) detector. The results show that the phosphorus content of raw cashew juice from red, yellow and orange apples ranges from 1060.67 mg.100 g<sup>-1</sup> to 1492 mg.100 g<sup>-1</sup>. The potassium composition is between 144.1 mg.100 g<sup>-1</sup> to 207.67 mg.100 g<sup>-1</sup>. The amount of magnesium contained in this raw juice varies from 110.2 mg.100 g<sup>-1</sup> to 163 mg.100 g<sup>-1</sup>. The sodium content varies from 21.31 mg.100 g<sup>-1</sup> to 25.91 mg.100 g<sup>-1</sup>. The calcium contained in the raw cashew juice of different red, yellow and orange apples varies from 34.8 mg.100 g<sup>-1</sup> to 47 mg.100 g<sup>-1</sup>. Raw cashew juice is very rich in iron (4.75 mg.100 g<sup>-1</sup> to 10.17 mg.100 g<sup>-1</sup>), protein (4.2 g.kg<sup>-1</sup> to 5.6 g.kg<sup>-1</sup>) and vitamin C (2700 mg.kg<sup>-1</sup> to 3000 mg.kg<sup>-1</sup>). It has a significant calorific contribution of between 28.01 kcal.100 g<sup>-1</sup> to 31.33 kcal.100 g<sup>-1</sup> of dry matter. Cashew apples have a fairly high content of mineral elements and a high potential in reducing sugars. This richness in minerals makes the cashew apple, particularly the orange-colored one, a preferred substrate for filling certain nutrient deficiencies, especially for children and lactating women.

**Keywords :** *Anacardium occidentale* L., cashew apple juice, trace elements, Casamance (Senegal)

## **Introduction**

Le nombre de personnes chroniquement sous-alimentées à l'échelle mondiale augmente à un rythme alarmant. Ce nombre était estimé à 842 millions de personnes entre 1999-2001, dont 798 millions vivaient dans les pays en développement (Ayessou *et al.*, 2009). L'Afrique subsaharienne, à elle seule, en comptabilise 198 millions durant cette période. Dans cette contrée de l'Afrique, la prévalence de la sous-alimentation varie de 5 % à 34 %. Cette sous-alimentation provoque chez un tiers des enfants de moins de 5 ans un retard de croissance ou une insuffisance pondérale. Ce retard de croissance se traduit par une émaciation qui affecte 5 % à 15 % de ces enfants (Ayessou *et al.*, 2009). L'agriculture sénégalaise repose essentiellement sur les cultures vivrières et les cultures de rente (Bosc *et al.*, 2014) et contribue pour 6,4 % du PIB (DPEE, 2019). L'anacardier représente, à travers ses produits et sous-

produits, une source de revenus monétaires, d'alimentation et d'équilibre sanitaire pour les populations. Des aliments dits de disette, dont la plupart sont des fruits, sont identifiés un peu partout dans le monde tel qu'en Inde (Gammie, 1902), en Australie (Dadswell, 1934), au Soudan (Abdelmuti, 1991), au Sénégal (Becker, 1986), en Amérique (Carr, 1943) et au Sahel (Créac'h, 1944). L'anacardier, espèce dont le fruit et le pseudo fruit sont très prisés n'est pas en reste. Au Sénégal, les principales zones de production de l'anacardier sont la région naturelle de la Casamance qui couvre 90 % de la production nationale de noix brutes (PADEC, 2016) et la région de Fatick. La prévalence de la malnutrition aiguë et de la malnutrition chronique des enfants de 0 à 5 ans à Ziguinchor (6,5% ; 12,9%), à Sédhiou (7,3% ; 29,6%), à Kolda (8,4% ; 23,7%) et à Fatick (9% ; 17,1%) sont largement au-dessus de la recommandation de l'OMS estimées à moins 5 % (SECNSA, 2016). En Casamance, zone de prédilection de la présente étude, la pomme de cajou est considérée comme un sous-produit plus ou moins négligé de la récolte des noix alors que son jus riche en sucres totaux (Joseph, 2010 et Sivagurunathan *et al.*, 2010), en minéraux, en protéines, en caroténoïdes, en vitamine C (Trevisan *et al.*, 2005 et Honorato et Rodrigues, 2010) et en polyphénols (Lautié *et al.*, 2001) pourrait être valorisé pour l'amélioration de la nutrition (Goldman *et al.*, 1999). Il n'existe cependant pas encore d'études scientifiques, à notre connaissance, portant sur sa composition nutritive et sur son apport énergétique au niveau national et très peu au niveau sous régional et mondial. Ainsi, face au défi de la transformation de la matière première et vu les quantités importantes de ce produit délaissé au profit de la noix de cajou, une étude relative à l'impact des variations intermorphotypes sur les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de trois morphotypes de pommes de cajou du Sénégal s'impose. C'est dans ce contexte qu'est orientée cette étude dont l'objectif est d'évaluer la valeur nutritionnelle, minérale et énergétique du jus brut des pommes de cajou.

## **5.1. Matériel et méthodes**

### **5.1.1. Matériel végétal**

Le matériel végétal, constitué de pommes de cajou, a été collecté en juin 2021 en Casamance, au sud du Sénégal sur cent vingt (120) pieds d'anacardiens retenus parmi 411 enrôlés dans une étude agromorphométrique. Sur chaque pied, deux (2) échantillons de pommes de cajou ont été récoltés dans les orientations est et nord. Les pommes cajou de chaque région (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) ont été réparties en fonction de la couleur (rouge, jaune et orange) de la pelure en trois lots. Elles ont été séparées de leurs noix, trempées dans de l'eau de robinet puis

conditionnées aux frais dans des glacières avant d'être acheminées au laboratoire Eau, Énergie, Environnement et Procédés Industriels (LE3PI) de l'École Supérieure Polytechniques (ESP) de Dakar. Les pommes ont été égouttées à l'aide d'un tamis muni en bas d'un chiffon doux aspirateur d'eau, découpées en tranches et broyées au moyen d'un mixeur afin d'assurer une bonne extraction. Les jus bruts extraits des pommes cajou de la même couleur de chaque lot ont été transvasés dans des flacons (photo 8) de 100 ml et conservés au congélateur à -20°C pour les différentes analyses physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques.



**Photo 8** : pomme de cajou jaune (A1), jus de pomme jaune (A2) ; Pomme de cajou orange (B1), jus de pomme orange (B2) ; Pomme de cajou rouge (C1), jus de pomme rouge (C2)

## 5.1.2. Méthodes analytiques

### 5.1.2.1. Détermination du pH

Le pH des jus bruts de cajou a été déterminé par une mesure directe selon la méthode d'AFNOR (AFNOR, 1982) et à l'aide d'un pH-mètre préalablement calibré avec des solutions tampons de pH 4,0 et 7,0.

### 5.1.2.2. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable totale des jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges a été déterminée par titrage potentiométrique à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NF V 05-

101) à 0,1 N, en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré selon la méthode d'AFNOR (AFNOR, 1982). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent par grammes de matière sèche.

#### **5.1.2.3. Détermination de la teneur en matière sèche**

La matière sèche des jus bruts de cajou est déterminée par étuvage à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant (AFNOR, 1982). Les résultats sont exprimés en pourcentage.

#### **5.1.2.4. Dosage des cendres**

Les cendres totales des jus bruts des pommes de cajou ont été déterminées par incinération, après un étuvage à 105 °C pendant 24 heures des échantillons suivis par une calcination au four à moufle pendant 1 heure à 600 °C suivant la norme française NF V03-922 (AFNOR, 1982). Les résultats sont exprimés en pourcentage.

#### **5.1.2.5. Dosage des lipides**

La teneur en lipides totaux des jus bruts de cajou a été déterminée suivant la méthode de Soxhlet (AFNOR, 1982) après extraction à l'extracteur puis distillation à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide dans un bain-marie à 60 °C. Les résultats sont exprimés en milligramme par grammes de matière sèche.

#### **5.1.2.6. Détermination de la teneur en vitamine C**

La détermination de la teneur en vitamine C des jus bruts de cajou a été réalisée par un dosage en retour en présence de diodes et de thiosulfate de sodium selon les méthodes normalisées (AFNOR, 1982). Les résultats sont exprimés en milligramme par kilogrammes de matière sèche.

#### **5.1.2.7. Dosage des sucres réducteurs**

Les sucres réducteurs contenus dans les jus bruts de cajou ont été évalués selon les méthodes normalisées (AFNOR, 1982). Les résultats sont exprimés en gramme par cent grammes de matière sèche.

#### **5.1.2.8. Dosage des protéines**

Les protéines des jus bruts de cajou ont été évaluées selon les méthodes normalisées (AFNOR, 1982). Les résultats sont exprimés en gramme par kilogrammes de matière sèche.

#### **5.1.2.9. Détermination des propriétés énergétiques et de la densité des jus bruts**

La valeur énergétique et la densité des jus bruts de cajou ont été déterminées par la méthode de calcul normalisée (AFNOR, 1982). Les résultats de la valeur énergétique sont exprimés en kilogramme de calorie par grammes de matière sèche.

#### **5.1.2.10. Dosage des minéraux**

Le dosage du calcium, du magnésium, du fer, du sodium, du potassium et du phosphore des jus bruts de cajou a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA NOVAA-350, ZEENIT 700P) couplée avec un détecteur CCD (Coupled Charged Device) permettant la détermination simultanée, à plusieurs longueurs d'onde, de tous les éléments de la classification périodique des éléments à l'exception des corps gazeux. Les résultats sont exprimés en milligramme par grammes de matière sèche.

#### **5.1.2.11. Dosage des polyphénols totaux**

Le dosage des polyphénols totaux des jus bruts de cajou a été effectué par la méthode de Folin-Ciocalteu (Georgé *et al.*, 2005). La méthode consiste à oxyder les groupements oxydables des phénols en milieu basique. Les produits de réduction de couleur bleue ont une intensité d'absorption proportionnelle à la quantité de polyphénols présents. Les absorbances sont lues à 760 nm contre le blanc (eau distillée). Le résultat, exprimé en milligramme équivalent d'acide gallique (mg EAG) par gramme de matière sèche (MS) à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

#### **5.1.2.12. Dosage des antioxydants**

L'activité antiradicalaire des jus bruts de cajou, exprimée en pourcentage d'inhibition (PI) a été déterminée par la méthode du 1,1-Diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) (De Oliveira *et al.*, 2014). La méthode est basée sur la capacité d'un extrait de donner un électron singulet au radical libre DPPH de coloration violette foncée pour le stabiliser en DPPH de coloration jaune-vert. L'absorbance est lue à 517 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre UV (SPECORD 200 PLUS). Les résultats sont exprimés en pourcentage.

### **5.1.3. Analyse statistique**

Les résultats analytiques obtenus de trois essais indépendants sont soumis à l'analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel STATISTICA 7.1 et présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart type. Les différences statistiques des traitements avec une valeur de probabilité inférieure à 0,05 sont considérées comme significatives.

## 5.2. Résultats

### 5.2.1. Caractéristiques physicochimiques des jus bruts

Le tableau 16 présente les caractéristiques physicochimiques des jus bruts des pommes rouges, jaunes et oranges de la Casamance. Les trois jus bruts de cajou présentent la même densité (1,03), une acidité titrable de 5,13 mEq.100 g<sup>-1</sup> à 5,53 mEq.100 g<sup>-1</sup> et un pH de 4,52 à 4,62. La teneur en matières sèches des trois types de jus bruts de cajou, exprimée en pourcentage est significativement différente au seuil de 5 %. Elle varie de 12,96 % à 14,17 %. La teneur en sucres solubles des jus bruts de cajou des pommes rouges, jaunes et oranges varie de 14 °Brix à 14,70 °Brix. Les jus bruts de cajou contiennent de la cendre et du lipide. La composition en cendre de ces jus bruts est comprise entre 0,24 % à 0,35 %. La quantité de lipides contenue dans les jus bruts des pommes rouges, jaunes et oranges varie de 1,31 g.100 g<sup>-1</sup> à 1,85 g.100 g<sup>-1</sup>.

**Tableau 16** : caractéristiques physicochimiques des jus bruts de cajou

<i>Variables</i>	<i>PCR</i>	<i>PCJ</i>	<i>PCO</i>
<i>Densité</i>	1,03 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>	1,03 <sup>a</sup>
<i>Acidité titrable (mEq.100 g<sup>-1</sup>)</i>	5,5±0,17 <sup>b</sup>	5,53±0,43 <sup>b</sup>	5,13±0,38 <sup>a</sup>
<i>pH</i>	4,62 ± 0,00 <sup>b</sup>	4,61 ± 0,00 <sup>b</sup>	4,52 ± 0,02 <sup>a</sup>
<i>Matière sèche (%)</i>	14,17 ± 0,02 <sup>c</sup>	12,84 ± 0,02 <sup>a</sup>	12,96 ± 0,02 <sup>b</sup>
<i>Brix (°Brix)</i>	14,70 ± 0,10 <sup>c</sup>	14,27 ± 0,25 <sup>b</sup>	14 ± 0,2 <sup>a</sup>
<i>Cendres (%)</i>	0,27 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>c</sup>
<i>Lipides (g.100g<sup>-1</sup>)</i>	1,31 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,49 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,85 ± 0,01 <sup>c</sup>

Sur une même ligne, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. PCR= pomme de cajou rouge ; PCJ= pomme de cajou jaune ; PCO= pomme de cajou orange

### 5.2.2. Apport énergétique et en macromolécules

L'apport énergétique du jus brut de la pomme de cajou de la zone agroécologique de la Casamance présente une valeur moyenne d'environ 30 kcal.100 g<sup>-1</sup> de matière sèche, avec un minimum de 28,01 kcal.100 g<sup>-1</sup> et un maximum de 31,33 kcal.100 g<sup>-1</sup>. Par ailleurs, les analyses comparatives entre les trois morphotypes de pommes ont montré que les anacardiens à pommes rouges fourniraient plus d'énergie métabolisable (31,33 kcal.100 g<sup>-1</sup>) devant les anacardiens à pommes oranges (29,66 kcal.100 g<sup>-1</sup>) et à pommes jaunes (28,01 kcal.100 g<sup>-1</sup>). La teneur en protéine du jus brut des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges varie de 4,2 à 5,6 g.kg<sup>-1</sup>. La composition protéique du jus brut de cajou jaune (5,6 g.kg<sup>-1</sup>) est plus importante suivie de celles rouge (4,9 g.kg<sup>-1</sup>) et orange (4,2 g.kg<sup>-1</sup>). La concentration en glucose est comprise entre 28,39 et 43,9 g.kg<sup>-1</sup>. La teneur en glucose du jus brut des pommes rouges (43,9 g.kg<sup>-1</sup>) est plus élevée que celles jaunes (30,9 g.kg<sup>-1</sup>) et oranges (28,39 g.kg<sup>-1</sup>). La composition en sucres réducteurs des pommes de cajou jaunes (20,35 ± 0,02 g.100 g<sup>-1</sup>) est plus élevée que celles oranges (18,69 ± 0,02 g.100 g<sup>-1</sup>) et rouges (17,64 ± 0,03 g.100 g<sup>-1</sup>). La quantité de vitamine C contenue dans le jus brut des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges varie de 2700 à 3000 g.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. La concentration en vitamine C du jus brut des variantes d'anacardiens de pommes oranges (3000 g.kg<sup>-1</sup>) est plus élevée que celles rouges (2900 g.kg<sup>-1</sup>) et jaunes (2700 g.kg<sup>-1</sup>). Les polyphénols totaux du jus brut de cajou sont compris entre 10 mg EAG.kg<sup>-1</sup> et 30 mg EAG.kg<sup>-1</sup>. Le jus brut des pommes de cajou jaunes (30 mg EAG.kg<sup>-1</sup>) est plus riche en polyphénols totaux que ceux des pommes rouges (17 mg EAG.kg<sup>-1</sup>) et oranges (10 mg EAG.kg<sup>-1</sup>). Le pourcentage d'inhibition du jus brut des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges de la Casamance varie de 20,02 % à 48,18 %. La proportion d'inhibition des radicaux libres des pommes de cajou rouges (48,18 %) est plus élevée suivie respectivement celles des pommes jaunes (38,37 %) et oranges (20,02 %). Les valeurs de toutes ces variables biochimiques mesurées (tableau 17) sont significativement différentes au seuil de 5 % d'un jus brut à l'autre et selon les pommes de cajou rouges, jaunes et oranges.

**Tableau 17** : valeur protéique, énergétique et phénolique des pommes de cajou de la Casamance

<b>Matières premières</b>			
<b>Variabes</b>	<b>PCR</b>	<b>PCJ</b>	<b>PCO</b>
<b>Valeur énergétique</b>			
<b>(Kcal .100 g<sup>-1</sup>)</b>	31,33 ± 0,09 <sup>c</sup>	28,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	29,66 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>Protéines</b> <b>(g.kg<sup>-1</sup>)</b>	4,9±0,01 <sup>b</sup>	5,6±0,01 <sup>c</sup>	4,2 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>Glucose</b> <b>(g.kg<sup>-1</sup>)</b>	43,9±0,01 <sup>c</sup>	30,9±0,01 <sup>b</sup>	28,39±0,02 <sup>a</sup>
<b>Sucres réducteurs</b>			
<b>(g.100g<sup>-1</sup>)</b>	17,64 ± 0,03 <sup>a</sup>	20,35 ± 0,02 <sup>c</sup>	18,69 ± 0,02 <sup>b</sup>
<b>Vitamine C</b> <b>(mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	2900±0,02 <sup>b</sup>	2700±0,02 <sup>a</sup>	3000±0,01 <sup>c</sup>
<b>Polyphénols totaux</b> <b>(mg EAG.kg<sup>-1</sup>)</b>	17± 0,2 ± 2 <sup>b</sup>	30± 0,3 <sup>c</sup>	10± 0,2 <sup>a</sup>
<b>Pourcentage</b> <b>d'inhibition (%)</b>	48,18± 1,12 <sup>c</sup>	38,37± 2,55 <sup>b</sup>	20,02± 0,06 <sup>a</sup>

*Sur une même ligne, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. PCR= pomme de cajou rouge ; PCJ= pomme de cajou jaune ; PCO= pomme de cajou orange*

### 5.2.3. Apport en éléments minéraux

Les résultats consignés dans le Tableau 18 montrent que la concentration en phosphore du jus brut des pommes rouges, jaunes et oranges est comprise entre 1060,67 mg.100 g<sup>-1</sup> à 1492 mg.100 g<sup>-1</sup>. Le potassium contenu dans le jus brut des pommes de cajou varie de 144,1 mg.100 g<sup>-1</sup> à 207,67 mg.100 g<sup>-1</sup>. La composition en magnésium du jus brut des pommes rouges, jaunes et oranges est estimée entre 110,2 mg.100 g<sup>-1</sup> à 163 mg.100 g<sup>-1</sup>. La quantité de sodium de ce jus brut est comprise entre 21,31 mg.100 g<sup>-1</sup> à 25,91 mg.100 g<sup>-1</sup>. La dose de calcium du jus brut des pommes de cajou de la Casamance varie de 34,8 mg.100 g<sup>-1</sup> à 47,10 mg.100 g<sup>-1</sup>. La composition des jus bruts de cajou en oligoéléments fer, zinc et cuivre sont compris respectivement entre 4,75 mg.100 g<sup>-1</sup> à 10,17 mg.100 g<sup>-1</sup> ; 0,85 mg.100 g<sup>-1</sup> à 2,2 mg.100 g<sup>-1</sup> et 1,14 mg.100 g<sup>-1</sup> à 2,14 mg.100 g<sup>-1</sup>. Les meilleures teneurs en minéraux sont obtenues avec la

variante d'anacardier de pomme orange avec des valeurs de  $1492 \pm 11 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en phosphore,  $207,67 \pm 3,45 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en potassium,  $163 \pm 2,70 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en magnésium et  $47,10 \pm 0,60 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en calcium. Il en est suivi des variantes de pommes jaunes et rouges avec des valeurs respectives de  $1138,67 \pm 15,5$  et  $1060,67 \pm 15,5 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en phosphore,  $162,37 \pm 1,25$  et  $144,1 \pm 1,6 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en potassium,  $123,05 \pm 1,55$  et  $110,20 \pm 0,9 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en magnésium,  $42,05 \pm 0,75$  et  $34,8 \pm 1,4 \text{ mg.100 g}^{-1}$  en calcium. Le jus brut de cajou des variantes d'anacardiens de pommes rouges, jaunes et oranges contient des oligoéléments. Le jus brut contenu dans les pommes de cajou oranges contient plus de sodium ( $25,91 \pm 0,5 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) suivi de ceux des pommes rouges ( $23,07 \pm 0,82 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) et jaunes ( $21,31 \pm 0,02 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ). La teneur en fer du jus brut de cajou orange ( $10,17 \pm 0,5 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) est plus élevée que ceux des pommes jaunes ( $6,78 \pm 0,14 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) et rouges ( $4,75 \pm 0,43 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ). Le jus brut de cajou de la variante orange contient plus de cuivre ( $2,14 \pm 0,08 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) suivi de ceux des variantes jaunes ( $1,45 \pm 0,01 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) et rouges ( $1,14 \pm 0,07 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ). La quantité de zinc contenue dans le jus brut de cajou orange ( $2,2 \pm 0,03 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) est plus élevée que ceux à pommes rouges ( $1,08 \pm 0,04 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) et jaunes ( $1,45 \pm 0,01 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ). La concentration en cuivre du jus brut de cajou des pommes oranges ( $2,14 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) est plus importante que ceux des pommes jaunes ( $1,45 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ) et rouges ( $1,14 \text{ mg.100 g}^{-1}$ ). Les valeurs des macroéléments et oligoéléments obtenus (tableau 18) sont significativement différentes au seuil de 5 % d'un jus à l'autre et selon les pommes de cajou rouge, jaune et orange.

**Tableau 18** : minéraux des jus extraits des variétés de pommes de cajou de la Casamance

	<b>PCR</b>	<b>PCJ</b>	<b>PCO</b>
	<i>mg.100g<sup>-1</sup></i>		
<b>P</b>	$1060,67 \pm 15,5^a$	$1138,67 \pm 15,5^b$	$1492 \pm 11^c$
<b>K</b>	$144,1 \pm 1,6^a$	$162,37 \pm 1,25^b$	$207,67 \pm 3,45^c$
<b>Mg</b>	$110,2 \pm 0,9^a$	$123,05 \pm 1,55^b$	$163 \pm 2,7^c$
<b>Na</b>	$23,07 \pm 0,82^b$	$21,31 \pm 0,02^a$	$25,91 \pm 0,5^c$
<b>Ca</b>	$34,8 \pm 1,4^a$	$42,05 \pm 0,75^b$	$47,10 \pm 0,6^c$
<b>Fe</b>	$4,75 \pm 0,43^a$	$6,78 \pm 0,14^b$	$10,17 \pm 0,5^c$
<b>Zn</b>	$1,08 \pm 0,04^b$	$0,85 \pm 0,03^a$	$2,2 \pm 0,03^c$
<b>Cu</b>	$1,14 \pm 0,07^a$	$1,45 \pm 0,01^b$	$2,14 \pm 0,08^c$

*Sur une même ligne, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. PCR= pomme de cajou rouge ; PCJ= pomme de cajou jaune ; PCO= pomme de cajou orange*

### **5.3. Discussion partielle**

La valeur protéique, énergétique, phénolique, minérale et nutritionnelle des jus bruts de cajou de la zone agroécologique de la Casamance obtenue après extraction ont fait l'objet d'étude.

#### **5.3.1. Apport énergétique**

L'énergie métabolisable contenue dans le jus brut des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges de la Casamance varie entre 28,01 kcal.100 g<sup>-1</sup> à 31,33 kcal.100 g<sup>-1</sup> de matières sèches. Au regard de ces résultats, les pommes de cajou de la Casamance sont moins énergétiques par rapport à celles de l'Inde avec 51 Kcal.100 g<sup>-1</sup> (Runjala and Kella, 2017). L'agroressource (pomme de cajou) orange pourrait donc constituer un apport énergétique non négligeable pour la population locale (Hédiblé *et al.*, 2017), surtout en période de disette. La présence des produits d'anacardiens dans les zones à faible rendement agricole dont le Sénégal pourrait participer à la diversification et à l'amélioration du régime alimentaire, à l'équilibre nutritionnel et à la sécurité alimentaire.

#### **5.3.2. Apport en macromolécules**

La composition en protéine du jus brut des pommes de cajou de la Casamance (de 4,9 à 5,6 g.kg<sup>-1</sup>) est inférieure à celui des pommes de cajou de la Côte d'Ivoire (7,8 à 9,9 g.kg<sup>-1</sup>) (Soro, 2012). Concernant, la teneur en glucose, sa quantité dans les jus bruts des pommes de cajou de la Casamance (de 30,9 à 43,9 g.kg<sup>-1</sup>) est inférieure à la composition glucidique des pommes de cajou de la Côte d'Ivoire (de 50,8 à 55,8 g.kg<sup>-1</sup>) (Soro, 2012). La composition en vitamine C du jus brut des pommes de cajou de la Côte d'Ivoire (1115 mg.kg<sup>-1</sup> à 1267 mg.kg<sup>-1</sup>) est de loin inférieure à la quantité d'acide ascorbique des pommes de cajou de la Casamance (2700 mg.kg<sup>-1</sup> à 2900 mg.kg<sup>-1</sup>) (Soro, 2012). Les jus bruts de cajou de la Casamance contiennent plus de vitamine C que la dose journalière dudit nutriment recommandée pour un adulte qui est de 45 mg (FAO/WHO, 2001). La teneur en polyphénols totaux du jus brut des pommes de cajou de la Casamance (17 mg EAG.kg<sup>-1</sup> à 30 mg EAG.kg<sup>-1</sup>) est de loin inférieure à celle des pommes de cajou de la Côte d'Ivoire (2881 mg.kg<sup>-1</sup> à 2926 mg.kg<sup>-1</sup>) (Soro, 2012). Ces polyphénols sont responsables de l'astringence de la pomme de cajou (Michodjehoun-Mestres, 2009). Ils réduisent l'oxydation des cholestérols LDL et VLDL (Vinson *et al.*, 2001). Le pourcentage

d'inhibition des jus bruts de cajou de la Casamance varie de 20,02 % à 48,18 %. Le jus brut des pommes de cajou de la Casamance a un pouvoir antioxydant inférieur à celui des pommes de cajou du Brésil (53 %) (Trevisan *et al.*, 2005). Les tanins et les polyphénols confèrent aux jus bruts des pommes de cajou des propriétés antioxydantes. Ces propriétés antioxydantes constituent un remède efficace contre la dysenterie chronique au Cuba et au Brésil (Kubo *et al.*, 2006 ; Cavarlho *et al.*, 2006). Le pouvoir antioxydant du jus brut des pommes de cajou de la zone agroécologique de la Casamance est de très loin supérieur à ceux de certains fruits tropicaux, comparativement à sa faible teneur en polyphénols totaux. La teneur en vitamine C du jus brut de cajou de la Casamance varie de 2700 à 3000 mg.kg<sup>-1</sup>. La composition en vitamine C de ce jus brut de cajou est de loin supérieure à celui obtenu chez l'oranger (450 à 563 mg.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011) et chez l'avocatier 79 mg.kg<sup>-1</sup> (Fu *et al.*, 2011). Le taux de polyphénols totaux du jus brut de cajou des pommes rouges, jaunes et oranges de la Casamance est compris entre 170 mg AG.kg<sup>-1</sup> à 300 mg AG.kg<sup>-1</sup> (tableau 19). Le jus brut de cajou est moins riche en polyphénols totaux comparés à celui de l'oranger (772,3 mg AG.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011). Le jus brut des pommes de cajou de la Casamance a un pouvoir antioxydant compris entre 8 200 à 19 680 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>. Son pouvoir antioxydant est supérieur à celui de l'avocatier (1 160 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011). La composition en vitamine C du jus brut de cajou (2700 à 3000 mg.kg<sup>-1</sup>) de la Casamance est de très loin supérieure à celui de l'ananas (149,7 mg.kg<sup>-1</sup>), de l'avocatier (79 mg.kg<sup>-1</sup>), du bananier (45 à 127 mg.kg<sup>-1</sup>), du papayer (453 à 556 mg.kg<sup>-1</sup>), du manguiier (340 à 440 mg.kg<sup>-1</sup>) et de l'oranger (450 à 563 mg.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011 ; Marisa, 2006). Cependant, sa teneur en polyphénols totaux (170 mg AG.kg<sup>-1</sup> à 300 mg AG.kg<sup>-1</sup>) est inférieure à celle de l'ananas (940,4 mg AG.kg<sup>-1</sup>), du bananier (571,3 mg AG.kg<sup>-1</sup>), du manguiier (370,3 mg AG.kg<sup>-1</sup>), du papayer (471,3 mg AG.kg<sup>-1</sup>) et de l'oranger (772,3 mg AG.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011) ; en revanche, elle encadre la quantité de polyphénols totaux présents dans le fruit de l'avocatier (218,6 mg AG.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011). Le jus brut de cajou est généralement utilisé pour améliorer la qualité nutritionnelle des jus d'autres fruits tropicaux de faible teneur en vitamine C comme la mangue et l'ananas (Akinwale, 2000 ; Talasila *et al.*, 2017). Dans le corps humain, l'acide ascorbique agit comme un antioxydant et facilite l'absorption du fer (Boko, 2014). La vitamine C joue également un rôle dans le système immunitaire, la biosynthèse du collagène et l'inhibition de la formation des nitrosamines (Boko, 2014). Le jus brut de la pomme de cajou a un potentiel antioxydant élevé. Son activité anti radicalaire (8200 à 19680 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>) est supérieur à celui de l'ananas (5930 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>), de l'avocatier (1160 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>), du bananier (3440 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>), du manguiier (4010 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>), du papayer (2920 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>) et de l'oranger (4900 µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>) (Fu *et al.*, 2011 ;

Marisa, 2006 et Martínez and Beloso, 2007). La qualité organoleptique des jus constitue aussi un facteur important dans l'appréciation de la qualité marchande des jus de fruits. Les éléments minéraux améliorent la flaveur des jus de fruits (Adjou *et al.*, 2013).

L'étude basée sur la détermination des capacités antioxydantes et des teneurs en acide ascorbique chez 24 fruits exotiques de la Colombie (Contreras-Calderón *et al.*, 2011) a révélé que la pomme de cajou est là plus riche en acide ascorbique.

**Tableau 19** : pouvoir antioxydant, teneur en vitamine C et en polyphénols totaux de quelques fruits tropicaux

<b>Fruits</b>	<b>Vitamine C (mg.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Polyphénols (mg AG.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pouvoir antioxydant (µmol Trolox.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Références</b>
<b>Ananas</b>	149,7 (10)	940,4 (14,7)	5 930 (50)	(Fu <i>et al.</i> , 2011), (Perecin <i>et al.</i> )
<b>Avocat</b>	79 (4)	218,6 (12,5)	1 160 (50)	(Fu <i>et al.</i> , 2011)
<b>Banane</b>	45 à 127	571,3 (36,4)	3 440 (290)	(Fu <i>et al.</i> , 2011), (Marisa, 2006)
<b>Mangue</b>	340 à 440	370,3 (20,6)	4 010 (90)	(Fu <i>et al.</i> , 2011)
<b>Papaye</b>	453 à 556	471,3 (20,9)	2 920 (60)	(Fu <i>et al.</i> , 2011)
<b>Orange</b>	450 à 563	772,3 (0,8)	4 900 (290)	(Fu <i>et al.</i> , 2011), (Martínez and Beloso, 2007)
<b>Pomme de cajou</b>	2700 (0,02) à 3000 (0,01)	170±0,002 à 300±0,003	8200 à 19 680	

### 5.3.3. Apport en éléments minéraux des jus bruts des pommes de cajou de la Casamance comparée à ceux d'autres fruits tropicaux

L'ensemble des résultats des analyses biochimiques effectuées sur les jus bruts des pommes de cajou, lorsque comparés à celles rapportées pour d'autres fruits de la sous-région ouest-africaine, mettent en évidence les particularités des différents produits. L'analyse des résultats analytiques montre que les jus bruts des pommes de cajou de la Casamance seraient une importante source de minéraux comparée à d'autres fruits consommés en Afrique tropicale. Les teneurs en protéines des jus bruts des pommes cajou de la Casamance (0,42- 0,56 mg.100 g<sup>-1</sup>) se rapprochent davantage de celles des fruits à noyau (0,07 à 0,90 mg.100g<sup>-1</sup>) et des fruits à baies et exotiques (0,04 à 0,8 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008). Cependant, leurs teneurs en protéine sont de loin inférieures à celles des fruits à coques (1,41 à 3,56 mg.100 g<sup>-1</sup>), des légumes secs et légumineuses (0,9 à 4,60 mg.100 g<sup>-1</sup>), aux espèces *Vigna unguiculata* (3,76 mg.100 g<sup>-1</sup>) et *Maerua pseudopetalosa* (3,87 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008 ; Grollier *et al.*,

1998). Le jus brut de cajou est très riche en phosphore. Sa teneur en phosphore (1060,67 à 1492 mg.100 g<sup>-1</sup>) est supérieure à celui des fruits à coques (265 à 1020 mg.100 g<sup>-1</sup>), des fruits à pépins (65 à 183 mg.100 g<sup>-1</sup>), des fruits à noyau (103 à 1370 mg/100 g), des fruits à baies et exotiques (59 à 782 mg.100 g<sup>-1</sup>) et des fruits de l'espèce *Maerua pseudopetalosa* (1098 à 1342 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008 ; Grollier *et al.*, 1998). La composition phosphorique du jus brut de cajou de la Casamance est quasi égalée à celles des légumes secs et légumineuses (213 à 1546 mg.100 g<sup>-1</sup>) et des fruits de l'espèce *Vigna unguiculata* (1546 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008). Le phosphore (P) est un constituant des os et des dents où il est combiné avec des ions calcium. Il participe également à la formation des molécules de base telles que les acides nucléiques (ADN et ARN), l'adénosine triphosphate (ATP) et les phospholipides des membranes (Jacotot and Parco, 2000).

La teneur en potassium du jus brut des pommes de cajou (144,1 à 207,67 mg.100 g<sup>-1</sup>) de la Casamance est supérieure à celui des fruits à pépins (8 à 11 mg.100 g<sup>-1</sup>), des fruits à noyau (9,6 à 126 mg.100 g<sup>-1</sup>) et des fruits à baies et fruits exotiques (9,7 à 110 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008). Par contre, la composition potassique du jus brut de cajou de la Casamance est de loin inférieure à celui des légumes secs et légumineuses (91 à 427 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008). Le potassium (K) participe au maintien de l'équilibre des électrolytes dans le corps humain et prévient la déminéralisation des os en empêchant la perte de calcium dans les urines (He et Macgregor, 2001). C'est un hypotenseur et intervient également dans la contraction musculaire (Adou *et al.*, 2011). La teneur en potassium et le degré de préférence d'un jus par les consommateurs sont liés (Leland, 1997). Le jus brut de cajou contient toutefois plus de potassium que la dose journalière dudit minéral recommandée pour un adulte qui est de 300 mg par jour (USDA, 2002). La composition en magnésium du jus brut de cajou (110,2 à 163 mg.100<sup>-1</sup> g) de la Casamance est plus élevée respectivement que ceux des fruits à pépins (4 à 4,8 mg.100 g<sup>-1</sup>), des fruits à noyau (4,9 à 54 mg.100 g<sup>-1</sup>) et des fruits à baies et exotiques (2,4 à 41 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008). Le magnésium joue un rôle important dans la stabilité du système nerveux. Il intervient dans la contraction musculaire notamment comme un activateur de la phosphatase alcaline (Cowan, 2002 ; Ismail *et al.*, 2011). Les jus bruts de cajou des pommes rouges, jaunes et oranges de la Casamance contiennent toutefois moins de magnésium que la dose journalière dudit élément recommandée pour un adulte qui est de 1600 mg par jour (USDA, 2002). Le jus brut des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges de la Casamance pourrait couvrir les besoins en magnésium pour les enfants de 1 à 8 ans dont l'apport journalier recommandé est compris entre 65 à 110 mg. La teneur en calcium (34,8 à 47 mg.100 g<sup>-1</sup>) du jus brut de cajou des pommes rouges, jaunes et oranges est plus élevée que celle contenue dans

les fruits à pépins (7 à 10 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008). Cependant, la composition ferrique (0,48 à 1,08 mg.kg<sup>-1</sup>) du jus brut de cajou de la Casamance est de loin inférieure à ceux des fruits à coques (2 à 73 mg.kg<sup>-1</sup>), des fruits à noyau (2,5 à 69 mg.kg<sup>-1</sup>), des fruits à baies et fruits exotiques (2,4 à 27 mg.kg<sup>-1</sup>) et des fruits secs et légumineux (13 à 80 mg.kg<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008).

Le fer est un composant essentiel de l'hémoglobine qui intervient dans le transport de l'oxygène. Le jus brut des pommes de cajou de la Casamance (34,8 à 47 mg.100 g<sup>-1</sup>) est plus riche en calcium que les fruits à pépins (7 à 10 mg.100 g<sup>-1</sup>) et le fruit de l'espèce *Maerua pseudopetalosa* (26 à 36 mg.100 g<sup>-1</sup>). Sa teneur en calcium est inférieure à celles des fruits à coques (51 à 251 mg.100 g<sup>-1</sup>), à noyau (3,2 à 82 mg.100 g<sup>-1</sup>), à baies et exotiques (7 à 276 mg.100 g<sup>-1</sup>) et des fruits de l'espèce *Vigna unguiculata* (96 mg.100 g<sup>-1</sup>) (Souci *et al.*, 2008 ; Grollier *et al.*, 1998). La composition en calcium du jus brut des pommes de cajou de la Casamance est comprise entre 34,8 ± 1,4 à 47 ± 0,6 mg.100 g<sup>-1</sup>. La teneur en fer de ce jus brut varie de 4,75 à 10,17 ± 0,5 mg.100 g<sup>-1</sup>. Les quantités de calcium et de fer contenues dans le jus brut des pommes de cajou de la Casamance sont de loin supérieures aux apports journaliers recommandés pour le calcium (0,68 mg) et le fer (0,015 mg) (Ismail *et al.*, 2011). Les fruits et légumes régulent la teneur en minéraux de l'organisme humain et réduisent le risque de maladies cardiovasculaires et de cancer (USDA, 2002). Les minéraux sont des micronutriments et des macronutriments qui jouent un rôle important dans les processus métaboliques du corps humain. Le sodium (Na) régule la pression artérielle et osmotique. C'est un important cation extracellulaire qui stabilise le fluide extracellulaire (Dedehou *et al.*, 2015).

#### **5.4. Conclusion partielle**

L'étude de la valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou des anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) de la Casamance a permis de disposer de connaissances scientifiques sur les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de leurs jus bruts. Les morphotypes de pommes de cajou présentent une teneur importante en vitamine C et un potentiel élevé en sucres réducteurs. La caractérisation des minéraux dans le jus brut de cajou a montré la présence de potassium (K), de phosphore (P), de magnésium (Mg), de sodium (Na), de calcium (Ca), de fer (Fe), de zinc (Zn) et de cuivre (Cu) avec une teneur très élevée en phosphore, en potassium et en magnésium. Cette richesse en minéraux et en sucres réducteurs fait de ces pommes de cajou en particulier la variante orange, le substrat privilégié pour la production de confiture, de conserves au sirop, de jus de fruits et de boissons rafraîchissantes.

La valorisation de la pomme de cajou permettra d'améliorer le régime alimentaire des couches vulnérables, de créer de nouvelles activités économiques génératrices d'emplois et par conséquent, de lutter contre la pauvreté et le chômage des jeunes et des femmes dans le sud du Sénégal.

---

## **CHAPITRE 6 : Discussion et Conclusion générales, perspectives**

---

## VI.I. Discussion générale

### **Influence du climat, du sol et des pratiques sylvicoles sur la morphologie des anacardiers**

La croissance et le développement de l'anacardier dépendent des paramètres pédoclimatiques et des opérations culturales effectuées et appliquées à l'arbre. Ces paramètres, en particulier pédoclimatique influent sur la morphologie et le phénotype des anacardiers de la Casamance.

La variabilité des variables dendrométriques serait liée à l'élagage, à des caractères génétiques et physiologiques des morphotypes et à des facteurs d'ordre spatiotemporel (Soro, 2012 ; Ndour, 2022). Ces facteurs d'ordre spatiotemporel sont associés à la modification de certains paramètres climatiques notamment la pluviométrie, la température et le régime des vents particuliers. Ils entraînent des spécificités sur le plan floristique et physionomique. Les facteurs génétiques définissent l'ensemble des traits phénotypiques chez l'anacardier. Les caractères morphologiques qualitatifs et quantitatifs sont couramment utilisés pour évaluer la diversité génétique des espèces cultivées (Ibukun et Jackson, 2019). Les caractéristiques morphologiques et phénotypiques des anacardiers de la Casamance varient suivant les morphotypes. Les variables morfo-phénotypiques des anacardiers de la région de Fatick de la zone agroécologique du bassin arachidier varient suivant les morphotypes (Ndour, 2022). L'écartement entre les anacardiers favorise plus de croissance latérale (Ndour, 2022) du houppier.

À l'échelle régionale, départementale, communale, villageoise et clustering, une forte variabilité entre les pieds d'anacardiers sur la hauteur de l'arbre, le diamètre du tronc à hauteur de poitrine, le diamètre du houppier, la longueur et la largeur du limbe, la taille du pétiole et le nombre de fleurs hermaphrodites a été notée. Ces résultats corroborent ceux obtenus au Malawi, au Bénin et en Côte d'Ivoire (Chipojola *et al.*, 2009 ; Sika *et al.*, 2015 ; Djaha *et al.*, 2014, Sankharé, 2018). Aux échelons précités, une forte variabilité entre les pieds d'anacardiers sur la forme de la feuille, la couleur de la feuille, la couleur de l'écorce, l'aspect écorce, le port de l'arbre, le nombre de pics de floraison et la saison de floraison a été observée au sein des anacardiers. Cette situation pourrait s'expliquer par l'absence d'intervention sylvicole dans toutes les plantations explorées. Ces résultats indiqueraient ainsi la présence d'une large variabilité génétique au sein des anacardiers en Casamance. La caractérisation des morphotypes d'anacardiers en Casamance a révélé une nette diversité morphologique appréciable à travers la forme, la feuille, la fleur et l'écorce. Le morphotype 1 a montré une dominance incontestable pour toutes les variables dendrométriques par rapport aux morphotypes 2 et 3. La hauteur des anacardiers pourrait être influencée par les fortes densités des plantations. Ces fortes densités

dans les plantations entraînent une compétition intraspécifique au sein des anacardiers (Jobidon, 1994 ; Wagner, 2000). Par contre, le morphotype 2 a montré une dominance nette pour toutes les variables foliaires et florales par rapport aux morphotypes 1 et 3. Ce morphotype est quasiment absent à Kolda. Ceci pourrait s'expliquer par un déficit d'échange de semences entre d'une part les zones agroclimatiques de Ziguinchor et de Kolda et d'autre part celles de Sédhiou et de Kolda. Le premier déterminant de la diversification structurelle chez l'anacardier au cours de son cycle végétatif serait l'ensemble des changements biologiques, écologiques et climatiques. En effet, la caractérisation structurale, morphologique et phénotypique des morphotypes d'anacardiers de la Casamance confirme que l'aspect morphologique constituerait sans aucun doute le premier maillon de l'identification variétale. La variabilité morphologique observée au sein des plantations d'anacardiers en Casamance pourrait être attribuée à plusieurs facteurs notamment l'origine géographique, l'adaptabilité écologique aux sites de plantation et à la sélection variétale (Chipojola *et al.*, 2009). Les anacardiers des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda présentent un niveau de similarité élevé au point de les rencontrer dans un même morphotype ou cluster. Chaque cluster est composé d'anacardiers boisés dans les trois régions productrices de la Casamance. Ces auteurs comme Samal *et al.*, (2003), Chipojola *et al.*, (2009) ; Sika *et al.*, (2015), et Sankharé, (2018) ont fait les mêmes observations dans les accessions de l'Inde, du Bénin, du Malawi et du Sénégal avec un niveau de similarité élevé entre les accessions provenant de différents sites de plantations d'anacardiers.

Les trois régions administratives de la Casamance, fief de la présente étude, présentent de légères variabilités climatiques. La précipitation moyenne annuelle est plus importante à Ziguinchor (1373,15mm), suivie de Sédhiou (1107,84mm) et de Kolda (1085,45mm). La température moyenne annuelle de l'air de la région de Sédhiou (29°C) et de Kolda (29°C) est supérieure à celle de Ziguinchor (28,5°C). Les 411 anacardiers caractérisés dans ces trois régions au sud Sénégal sont rangés dans trois clusters bien distincts sur la base des indices de similarité. L'état du feuillage des anacardiers de la Casamance a permis de distinguer trois types d'architecture. Le port érigé à canopée compacte, le port érigé à canopée ouverte et port rampant sont les trois types d'architectures observés au sein des anacardiers en Casamance. Le morphotype 1 présente plus d'anacardiers de port érigé à canopée fermée. Les anacardiers du morphotype 3 sont plus composés de sujets de port érigé à canopée ouverte. Les morphotypes 1 et 2 se particularisent par la présence de sujets de port érigé à canopée rampante. Les facteurs climatiques influenceraient l'architecture du houppier des anacardiers en plantation en Casamance. Les anacardiers en plantation dans les régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de

Kolda sont rencontrés dans chaque cluster. Cet état de fait renseigne que le facteur variante d'anacardier entre en jeu dans la diversification de la population d'anacardier de la Casamance. En Casamance, les anacardiers présentent à la fois des fleurs hermaphrodites et des fleurs mâles. La saison de floraison dépend fortement du climat. L'observation des anacardiers dans les plantations de la Casamance a permis de constater que les parties terminales des arbres illuminées par les rayons solaires abritent les inflorescences et les fleurs. Les fleurs de l'anacardier apparaissent généralement vers la fin de la saison des pluies aux endroits du houppier de l'arbre touché par les rayons du soleil (Tandjiekpon, 2005). L'année 2019 en Casamance est caractérisée par une baisse de la quantité de pluie et un vent chaud, sec et poussiéreux. Nos observations, dans les plantations d'anacardiers en Casamance en 2019, ont permis de noter un nombre important de fleurs desséchées et fanées. Les problèmes de chute des fleurs et des fruits chez l'anacardier seraient imputables à deux facteurs climatiques notamment l'indice de stress agroclimatique et la pluviométrie bimestrielle (Yabi, 2008). Les jeunes pousses et les fleurs de l'anacardier ont du mal à résister à des températures inférieures à 7°C (Jocelyn, 2016). Chez l'anacardier en particulier, l'harmattan réduit la floraison et entraîne la coulure des fleurs après les avoir séchés (Tchétangni *et al.*, 2016). Le changement de régime pluviométrique allonge le risque de déficit hydrique des cultures pluviales (Métangbo, 2007) notamment l'anacardier.

Les anacardiers boisés à Ziguinchor ont une plus grande taille (HT = 16,69 m) et un houppier plus large (DH = 14,77 m) suivi des anacardiers de Sédhiou (HT = 8,96 m ; DH = 12,9 m) et enfin des anacardiers de Kolda (HT = 8,09 ; DH = 10,09 m). Les sols des plantations d'anacardiers des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda sont acides (pH = 5,13), sans différence significative ( $p = 0,394$ ) et présentent une texture sablo-limoneuse (Ndiaye *et al.*, 2020). La plupart des plantes se développent très bien dans un sol moyennement acide à pH 6,5 (Doucet, 2006). Les sols de la Casamance sont riches en éléments minéraux. Les compositions en macronutriments et en oligonutriments des sols des plantations d'anacardiers des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda sont consignées dans l'étude menée par Ndiaye *et al.*, (2020). Les résultats de cette étude ont montré que la teneur en carbone total du sol de ces plantations d'anacardiers est plus élevée à Sédhiou (0,668%) suivi de Kolda (0,577%) et de Ziguinchor (0,464%). Le contenu en azote des sols de Sédhiou (0,049 %) est plus élevé suivi de Ziguinchor (0,047 %) et de Kolda (0,045 %). Selon ladite étude, le rapport C/N le plus élevé a été noté dans les sols des plantations de la région de Sédhiou (13,58 %) suivi de Kolda (12,73 %) et de Ziguinchor (10,26 %). La teneur en phosphore assimilable varie de 73,49 Kg/ha pour les sols de Kolda, de 24,05 Kg/ha pour les sols de Sédhiou et de 46,45 Kg/ha pour les sols de

Ziguinchor (Ndiaye *et al.*, 2020). Les résultats des travaux de Ndiaye *et al.*, (2020) ont montré que la composition en matière organique est plus élevée dans les sols de Sédhiou (1,15 %) suivi de Kolda (0,99 %) et de Ziguinchor (0,80 %). La composition calcique varie de 2,36 méq/100g pour les sols de Kolda, de 2,02 méq/100g pour les sols de Sédhiou et de 1,94 méq/100g pour les sols de Ziguinchor (Ndiaye *et al.*, 2020). La quantité de magnésium est de 70,176 Kg/ha pour les sols de Kolda, de 85,408 Kg/ha pour les sols de Sédhiou et de 55,76 Kg/ha pour les sols de Ziguinchor (Ndiaye *et al.*, 2020). Les résultats desdits auteurs ont montré que la teneur en potassium est d'environ 70,08 Kg/ha quelle que soit la provenance du sol. Le pH améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols et l'alimentation minérale et à la croissance des plantes (Ndiaye *et al.*, 2020). La nature du sol influence le niveau sanitaire des vergers d'anacardiers (Bezerra, 2007 ; Soro *et al.*, 2020). La population microbienne d'un sol est fortement corrélée à son biotope et à la végétation supérieure dudit milieu (Mishustin, 1956). En fonction du type de sol, certains microorganismes favoriseraient la croissance active des plantes (Kilbertus et Reisinger, 1975 ; Kiffer *et al.*, 1978). À cet effet, il serait important d'apprécier l'effet de ces paramètres (climat, sol, pratiques sylvicoles et la morphologie des anacardiers) sur la production en noix des anacardiers de la Casamance.

### **Relation entre la morphologie des anacardiers, le climat et la production**

Les plantations d'anacardiers en Casamance sont âgées de plus de 20 ans. L'âge moyen d'une plantation d'anacardier de la zone est d'environ 23 ans. En effet, pour les plantations âgées, beaucoup de producteurs ne connaissent pas la date exacte de plantation. Ces plantations ne massifient pas pour la plupart la production en noix de cajou. Plus l'anacardier est vieux, moins il produit. La durée du cycle végétatif de l'anacardier est de 20 à 30 ans en moyenne. L'anacardier peut produire durant toute sa vie (Jocelyn, 2016). La production des anacardiers varie suivant l'âge, le climat, le sol, les pratiques sylvicoles et l'architecture de l'arbre.

La typologie des anacardiers de la zone agroécologique de la Casamance a distingué trois groupes phénotypiques bien distincts. Les anacardiers du morphotype 1 sont plus âgés (24,1 ans) suivi du morphotype 2 (21,1 ans) et du morphotype 3 (21 ans). Le plus grand ratio floral a été noté chez les anacardiers du morphotype 2 (11,6%) suivi du morphotype 1 (4,9%) et du morphotype 3 (3%).

Les variables dendrométriques, foliaires, florales et des fruits des anacardiers de la Casamance varient suivant les trois morphotypes obtenus. La production en noix de cajou par pied/an la plus élevée a été noté chez les anacardiers du morphotype 1 (16,8kg) suivi du morphotype 2 (13,9kg) et du morphotype 3 (6,5kg). Les anacardiers en plantation à Ziguinchor, à Sédhiou et

à Kolda sont retrouvés dans chaque morphotype (cluster). La production moyenne des morphotypes d'anacardiers caractérisés dans les trois régions administratives de la zone agroécologique de la Casamance a varié entre 6,5 kg/pied et 16,8 kg/pied. La variabilité observée sur les variables dendrométriques, foliaires, florales et des fruits de l'espèce *Anacardium occidentale* L. confirme aussi celle observée sur la production en noix de cajou. Ceci indique une importante variabilité au sein des anacardiers caractérisés. Cette forte variabilité observée pourrait être attribuée aux facteurs génétiques et environnementaux (Martin et coll., 1998 ; Aliyu, 2004). La production en noix de cajou est fortement corrélée au nombre de fleurs hermaphrodites (de Azevedo *et al.*, 1998). L'étendue de la superficie de la frondaison de l'anacardier en contact avec le soleil détermine aussi la productivité de l'arbre. La taille de la feuille semble impacter sur la photosynthèse. La longueur du limbe de la feuille la plus élevée a été obtenue chez les anacardiers du morphotype 2 (16,8 cm), suivi de ceux du morphotype 1 (13,8 cm) et du morphotype 3 (12,5 cm). La largeur du limbe de la feuille des anacardiers du morphotype 2 (9,4 cm) est plus grande suivie de celles du morphotype 1 (8,3 cm) et du morphotype 3 (7,5 cm). La variabilité observée pour les variables longueur et largeur du limbe des feuilles d'anacardiers de la Casamance pourrait probablement induire une différence de performance au niveau physiologique et donc agronomique. Le rendement en noix de l'anacardier diffère selon les pays. Il varie en effet en fonction du climat, de la fertilité du sol, de l'origine des semences, du traitement des semences et de l'entretien des sols (Jocelyn, 2016). La précipitation moyenne annuelle est plus importante à Ziguinchor (1373,15mm), suivie de Sédhiou (1107,84mm) et de Kolda (1085,45mm). Les facteurs climatiques affectent la productivité de l'anacardier (Djèntonin, 2013). La sécheresse prolongée constitue la principale cause de baisse de productivité suivie de la mauvaise répartition des pluies et de l'harmattan (Tchétangni *et al.*, 2016). La teneur en azote, en matière organique et le rapport C/N des sols des plantations d'anacardiers de la région de Sédhiou est plus élevée suivi des sols des plantations des régions de Kolda et de Ziguinchor (Ndiaye *et al.*, 2020). Les sols des plantations d'anacardiers de Kolda sont plus pourvus en phosphore assimilable, en calcium et en magnésium suivi des sols des plantations de Sédhiou et de Ziguinchor (Ndiaye *et al.*, 2020). Les minéraux du sol sont nécessaires pour une bonne croissance et production de l'anacardier. La réserve utile du sol des années d'excès de pluies permet à l'anacardier de mieux produire (Tchétangni *et al.*, 2016). La pluviométrie des mois de septembre et d'octobre constitue une ressource hydrique précieuse pour l'anacardier. L'arbre utilise ces ressources hydriques pendant les phases phénologiques les plus importantes de son cycle de développement notamment la floraison et la fructification (Yabi, 2008). La température moyenne annuelle de

l'air de la région de Sédhiou (29°C) et de Kolda (29°C) est supérieure à celle de Ziguinchor (28,5°C). L'anacardier est une espèce héliophile qui préfère le plein découvert pour fructifier abondamment (FAO, 1982). La variabilité des paramètres de l'environnement affecte pour la plupart du temps le rendement (Adams, 1967 ; Mcneal *et al.*, 1974 ; Ishaq *et al.*, 2000 ; Esan et Omolaja, 2002). Les pratiques sylvicoles améliorent la production en noix de cajou. Les morphotypes d'anacardiers utilisés et la nature de la plantation (mixte ou pure) influent sur la production en noix (Ndiaye *et al.*, 2017).

Globalement, la variabilité morphophénotypique observée au sein des anacardiers de la Casamance pourrait aussi être observée sur les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des pommes de cajou.

### **Relation entre les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts de cajou et le type de sol et de climat des trois régions de la Casamance**

La variabilité morphophénotypique observée au sein des anacardiers en plantation en Casamance est aussi observée sur les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des pommes de cajou. En Casamance, la classification des pommes de cajou a distingué deux groupes morphotypiques. Le premier groupe contient uniquement les pommes de cajou de couleur orange. Le deuxième comprend les pommes de cajou rouges et jaunes. Ce résultat montre qu'il existe une relation entre les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des pommes de cajou et les couleurs (rouge, jaune et orange) des pommes. Les jus bruts extraits des pommes de cajou rouges et jaunes ont montré une similitude en termes de densité et de pH. Toutefois, les jus bruts des pommes rouges et des pommes jaunes de la Casamance présentent une dissemblance en termes de la teneur en matière sèche, en sucre soluble (brix), en sucre réducteur, en cendre, en protéine, en lipide, en vitamine C, en énergie, en polyphénols totaux et en antioxydant. Ces résultats sont en phase avec ceux de Soro (2012) selon qui, les pommes de cajou rouges et jaunes de la Côte d'Ivoire présentent des différences significatives sur plusieurs éléments minéraux.

La caractérisation physicochimique, biochimique, antioxydante et énergétique de ces pommes a été effectuée afin d'établir une relation droite entre ces déterminants nutritionnels et de qualité. Les jus bruts des pommes de cajou de la Casamance contiennent des macromolécules notamment des sucres réducteurs, des protéines, des lipides, etc. La caractérisation des minéraux dans les jus bruts de cajou a montré la présence de K, P, Mg, Na, Ca, Fe, Zn et Cu

avec une teneur très élevée en potassium (K), en phosphore (P) et en magnésium (Mg). Les polyphénols sont présents en très faible quantité dans les jus bruts des pommes de cajou de la Casamance. Ces polyphénols se concentrent dans les tourteaux (Soro, 2012). La pelure des pommes de cajou est plus riche en polyphénol par rapport à la chair des pommes de cajou (Michodjehoun-Mestres 2009). Les éléments minéraux restent concentrés dans les tourteaux. D'ailleurs, seulement 9% de calcium sont extraits et présents dans le jus brut des pommes de cajou (Soro, 2012). La plupart des éléments minéraux sont liés aux tissus des fruits et des pseudos fruits et lors de l'extraction ils se retrouvent dans les tourteaux (Soro, 2012). Les éléments minéraux ne sont pas libres dans le jus brut des fruits et pseudos fruits. Ils sont toujours rattachés aux tissus des pommes de cajou (Adou *et al.*, 2011).

Les variantes de pommes de cajou rouges, jaunes et oranges caractérisés dans cette étude sont rangés dans deux groupes morphotypiques distincts. Ces morphotypes de pommes de cajou sont issus de pieds d'anacardiens boisés à Ziguinchor, à Sédhiou et à Kolda. Dans chacune de ces zones agroclimatiques (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) on retrouve des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges. Les sols des plantations d'anacardiens des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda sont acides (pH = 5,13), sans différence significative ( $p = 0,394$ ), assez pourvus en minéraux et ont une texture sablo-limoneuse (Ndiaye *et al.*, 2020). Les profils en minéraux de ces sols expliqueraient le partitionnement des pommes de cajou en deux morphotypes. Les facteurs pédologiques et environnementaux influencent la composition en éléments minéraux des fruits et légumes (Ismail *et al.*, 2011 ; Adou *et al.*, 2011).

La précipitation moyenne annuelle est plus importante à Ziguinchor (1373,15mm), suivie de Sédhiou (1107,84mm) et de Kolda (1085,45mm). La température moyenne annuelle de l'air de la région de Sédhiou (29°C) et de Kolda (29°C) est supérieure à celle de la région de Ziguinchor (28,5°C). Les paramètres climatiques de ces régions expliqueraient en partie les dissemblances notées entre les jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges et leurs partitionnements en deux morphotypes.

La pomme de cajou, pseudo fruit à forte valeur nutritionnelle, présente des intérêts technologiques et pourrait être valorisée dans l'amélioration de la nutrition. La variabilité des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques observée au sein des jus bruts des pommes de cajou des anacardiens rouges, jaunes et oranges de la Casamance pourrait aussi être observée sur leurs valeurs nutritionnelles et énergétiques.

### **Diversité morphologique des arbres, des pommes de cajou, et qualité nutritionnelle.**

Avant cette thèse, aucune étude scientifique n'avait encore fait mention de la composition nutritive et de l'apport énergétique de la pomme de cajou.

L'évaluation des variables dendrométriques, foliaires et florales de l'étude agromorphométrique a permis de regrouper les anacardiens de la Casamance en trois morphotypes.

Les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques ont, quant à elles, permis de subdiviser les pommes de cajou en deux groupes morphotypiques distincts.

Ainsi, on penserait déjà que le partitionnement des anacardiens en trois morphotypes selon les caractères végétatifs pourrait expliquer en partie les dissemblances notées sur les caractères des morphotypes de pommes et corrélativement sur leurs propriétés physicochimiques et nutritives. Les traits morphologiques, biochimiques, physiologiques et comportementaux permettent d'évaluer la variation phénotypique des individus (Hamilton, 2009). Ces caractéristiques définissent la forme et l'apparence d'un ensemble d'individus. Certains de ces caractères héréditaires peuvent être considérés comme "génétiques". Ces traits sont souvent associés à une séquence particulière d'ADN. L'analyse des jus bruts des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges montrerait que les caractéristiques physicochimiques et biochimiques desdites pommes sont hétérogènes. Ce résultat est en déphasage avec les travaux de Ayessou *et al.*, (2009) qui ont montré que les caractéristiques chimiques des fruits de l'espèce *Maerua pseudopetalosa* sont homogènes.

L'ensemble des résultats des analyses physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques, lorsque comparés à celles rapportées pour d'autres fruits tropicaux, mettent en évidence les particularités des différents fruits. En effet, la pomme de cajou se révèle être une excellente source de vitamine C, de potassium, de phosphore, de magnésium et d'antioxydant par rapport à de nombreux fruits tropicaux, ainsi qu'au groupe des fruits à baies, à pépins, à noyaux et même des légumes secs et légumineuses (Grollier *et al.*, 1998 ; Souci *et al.*, 2008). Les résultats obtenus sur les concentrations en vitamine C, en potassium, en phosphore, en magnésium et en antioxydant des jus bruts des pommes de cajou de la Casamance ont révélé des valeurs plus élevées que ceux rapportés par Soro (2012) sur les pommes de cajou de la Côte d'Ivoire. Les pommes de cajou de la Casamance sont plus pourvues à la plupart des macromolécules, micronutriments et macronutriments que certains fruits tropicaux. Ces résultats confirment que la valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou est supérieure à celle des fruits tropicaux. Ces écarts pourraient être expliqués par l'espèce, son origine, le climat et l'environnement.

Les enquêtes menées par la FAO ont montré que l'alimentation des sociétés traditionnelles repose principalement sur une céréale. Le riz, le maïs et le blé représentent les céréales les plus utilisées par ces peuples. Cet état de fait entraînerait une monotonie du régime alimentaire. Dès lors, la présence de l'espèce *Anacardium occidentale* dans les zones à faible rendement agricole comme la Casamance pourrait participer à la diversification de ce régime alimentaire et à son équilibre.

La composition protéique des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges de la Casamance, estimée entre 0,42 à 0,56 mg.100<sup>-1</sup> g de matières sèches est quasi-égale à celles des fruits à noyau (0,07 à 0,90 mg.100<sup>-1</sup> g de M. S), des fruits à baies et des fruits exotiques (0,04 à 0,8 mg.100<sup>-1</sup> g de M. S) et est de loin supérieure à celle des fruits à pépins (0,04 à 0,22 mg.100<sup>-1</sup> g de M. S). Les protéines représentent la principale source d'aliments de construction. Elles sont indispensables aux organismes effectuant des travaux physiques difficiles et à ceux en croissance notamment les enfants, par exemple. La pomme de cajou pourrait être davantage introduite dans l'alimentation infantile en tant qu'aliment de sevrage et de croissance. Le profil de la pomme de cajou en acides aminés s'est révélé indispensable. Les composés ammoniacaux de certains fruits pourraient contribuer à amplifier les résultats du dosage d'azote sans pour autant être assimilables (Henry, 1948). La détermination du profil en acides aminés de la pomme de cajou est nécessaire afin de vérifier si les profils en acides aminés sont assimilables ou non assimilables.

## **VI.II. Conclusion générale**

Cette étude dont l'objectif général est de contribuer à booster la filière anacarde par le biais de la maîtrise de la diversité morphologique et génétique en liaison avec la variabilité des propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes, et énergétiques des pommes de cajou a montré que la population d'anacardier de la zone agroécologique de la Casamance est caractéristiquement hétérogène. La classification des anacardiens a distingué trois groupes morphotypiques bien distincts. Le morphotype 1 présente des anacardiens de grande envergure, dotés d'un ratio floral (4,9%) assez important et productif (16,8kg/pied). Les anacardiens du morphotype 2 sont de tailles moyennes, dotés d'un bon rendement en noix (13,9kg/pied) et ratio floral (RF= 11,6%). Le morphotype 3 est composé d'arbres de tailles moyennes pourvus d'un faible indicateur de production (RF= 3%) et rendement en noix de cajou (6,5kg/pied). L'étude a montré une importante variabilité morphogénétique au sein des anacardiens étudiés. Ceci confirme l'hypothèse 1 de la thèse, il existe une relation entre les variables dendrométriques, la

morphométrie des feuilles, des fleurs et des fruits de *Anacardium occidentale* L. et la production en noix de cajou. Cinq protocoles d'extraction ont été utilisés pour extraire l'ADN génomique de jeunes feuilles déshydratées d'anacardiers. Le protocole optimisé de Doyle and Doyle (1987) a permis d'obtenir les meilleurs résultats en termes de concentration ( $260,76 \pm 89,61$  ng/ $\mu$ L) et de pureté ( $1,81 \pm 0,11$ ) de l'ADN génomique. La plus faible concentration ( $11,5 \pm 11,54$  ng/ $\mu$ L) et pureté ( $1,11 \pm 0,32$ ) en ADN génomique a été obtenue avec le protocole Kit Zymo research. Ceci confirme l'hypothèse 2 de la thèse, il existe une relation entre la pureté et la concentration de l'ADN génomique extrait et les protocoles d'extraction utilisés. La classification des pommes de cajou suivant leurs propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques a distingué deux groupes morphotypiques. Le groupe 1 constitué de pomme de cajou orange est riche en fer (Fe), en sucre réducteur (S.r), en sodium (Na), en calcium (Ca), en magnésium (Mg), en phosphore (P), en matière sèche (M\_S), en eau (H<sub>2</sub>O), en antioxydant (PI) et en potassium (K). Le deuxième groupe composé de pommes rouges et jaunes est plus pourvu en vitamine C (Vc), en protéines (Pr), en zinc (Zn), et en glucose (Glu). Ceci confirme l'hypothèse 3 de la thèse, il existe une relation entre les caractéristiques physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des jus bruts des pommes de cajou et les couleurs des variantes d'anacardiers rouges, jaunes et oranges. Les pommes de cajou sont plus riches en ces macromolécules, macronutriments et oligonutriments précités que les autres fruits tropicaux notamment les fruits à coques (noix), les fruits à pépins, les fruits à noyau, les fruits à baies et fruits exotiques et les légumes secs et légumineuses de la sous-région ouest-africaine (hypothèse 4 vérifiée). La pomme de cajou, à forte valeur nutritionnelle, présente des intérêts technologiques et pourrait être valorisée dans l'amélioration de la nutrition. Cette richesse en minéraux et en sucres réducteurs fait de ces pommes de cajou en particulier la variante orange, le substrat privilégié pour la production de confiture, de conserves au sirop, de jus de fruits et de boissons rafraîchissantes. L'étude génétique devrait être poursuivie afin d'envisager une amélioration génétique et la création variétale des anacardiers gros producteurs au Sénégal et ainsi booster la production et améliorer la qualité des noix tout en la rendant plus compétitive sur le marché international.

### **VI.III. Recommandation et Perspectives**

L'anacardier est un fruitier tropical à usages multiples. L'arbre fruitier représente, une source de revenus, d'alimentation et d'équilibre sanitaire. Pour booster la chaîne de valeur anacarde à

l'image des grands pays producteurs et s'imposer dans le commerce international des noix et pommes. Il serait nécessaire de prendre en compte :

Les morphotypes élités en termes de ratio floral, de production et de qualité des noix de cajou pour le renouvellement des vieux sujets.

Le contrôle de la composition en vitamines, en macronutriments et en oligonutriments des pommes lors des opérations de transformations.

La détermination du profil en acides aminés de la pomme de cajou afin de vérifier si les profils en acides aminés sont assimilables ou non assimilables et donc statuer sur la qualité nutritionnelle de sa protéine.

Évaluer les propriétés physicochimiques, biochimiques, antioxydantes et énergétiques des pommes de cajou rouges, jaunes et oranges des régions de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda, région par région.

Évaluer les différents sucres, les vitamines et les fibres alimentaires présents dans les jus bruts de cajou des variantes de cajou précitées ;

Évaluer la couleur, la viscosité dynamique et la turbidité des jus bruts de cajou des variantes précitées ;

Faire une caractérisation physicochimique et sensorielle avec diverses formulations de jus à base de : pomme de cajou et ananas ; pomme de cajou et avocat ; pomme de cajou et banane ; pomme de cajou et mangue ; pomme de cajou et papaye ; pomme de cajou et orange et pomme de cajou et eau de coco. Ceci afin de réduire l'acidité et l'astringence du jus brut de cajou.

## Références bibliographiques

- 1. Abdelmuti, O.M.S. (1991).** Biochemical and nutritional evaluation of famine foods of the Sudan, *Biochem. Nutr., Sudan.* (1991).
- 2. Adams, M.W. (1967).** Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Science* 7: 505–510.
- 3. Adeigbe, O.O., Olasupo, F.O., Adewale, B.D. and Muiyiwa, A.A. (2015).** A review on cashew research and production in Nigeria in the last four decades. *Scientific Research and Essays*, 10(5), 196-209. <https://doi.org/10.5897/SRE2014.5953>
- 4. Adou, M., Tetchi, F.A., Gbane, M., Niaba, P.V.K. and Amani, N.G. (2011).** Minerals Composition of the Cashew Apple Juice (*Anacardium occidentale* L.) of Yamoussoukro, Cote d'Ivoire. *Pak. J. Nutr.*, 10 (12): 1109-1114.
- 5. Adou, M., Tetchi, F.A., Gbané, M., Kouassi, K.N. and Amani, N.G. (2012).** Physico-chemical characterization of cashew apple juice (*Anacardium occidentale*) from Yamoussoukro, côte d'ivoire. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 11 : 32-43 p.
- 6. AFNOR (Association Française de Normalisation). (1982).** Recueil des normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits. 1ère édition. Paris (France), 327p.
- 7. Akinwale, T.O. (2000).** Cashew apple juice: its use in fortifying the nutritional quality of some tropical fruits, *Eur. Food Res. Technol.*, 211, 205-207.
- 8. Akaranta, O., Donbebe, W. and Odozi, T.O. (1996).** Plywood adhesives based on red-onionskin extract modified with cashew nut-shell liquid. *Bioresource Technol.* 56: 279-280.
- 9. Aliyu, O.M., Adeigbe, O.O. and Awopetu, J.A., (2001).** Foliar Application of the Exogenous Plant Hormones at PreBlooming Stage Improves Flowering and Fruiting in Cashew (*Anacardium occidentale* L.). *J. Crop Sci. Biotech.* 2011 (June) 14 (2): 143-150. doi No. 10.1007/s12892-010-0070-3
- 10. Aliyu, O.M. (2004).** Characterization and compatibility studies in cashew (*Anacardium occidentale* L.). Ph. D. Thesis, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.
- 11. Aliyu, O.M. (2005).** Phenotypic correlation and path coefficient analysis of nut yield and yield components in cashew (*Anacardium occidentale* L.) : <https://www.researchgate.net/publication/267721077>, p. 19-24.

- 12. Aliyu, O.M. (2007).** Pollen–style compatibility in cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Euphytica*. 158 :249–260.
- 13. Aliyu, O.M. and Awopetu, Æ.J.A. (2007).** Assessment of genetic diversity in three populations of cashew (*Anacardium occidentale* L.) using proteinisoenzyme-electrophoretic analysis. *Genet Resour Crop Evol*. 54 :1489–1497.
- 14. Anderson, M.J. (2017).** Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). Wiley StatsRef: Statistics Reference Online, © 2014–2017 John Wiley & Sons, Ltd, 15p.
- 15. Angeles, J.G.C., Laurena, A.C., and Tecson-Mendoza, E.M. (2005).** Extraction of genomic DNA from the lipid-, polysaccharide-, and polyphenol-rich coconut (*Cocos nucifera* L.). *Plant Molecular Biology Reporter*, 23(3), 297-298.
- 16. Agence nationale de la statistique et de la démographie (ANSD), (2011).** Evaluation économique des services écosystèmes des produits forestiers au Sénégal, Rapport final, 42 p.
- 17. Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), (2013).** Rapport définitif RGPHAE-2013 (Recensement Général). [https://ireda.ceped.org/inventaire/ressources/sen-2013-reco1\\_rapport-definitif.pdf](https://ireda.ceped.org/inventaire/ressources/sen-2013-reco1_rapport-definitif.pdf)
- 18. Agence nationale de la statistique et de la démographie ANSD, (2017a).** Rapport général définitif du Recensement général de la population, de l’habitat, de l’agriculture et de l’élevage : Région de Ziguinchor, 83 p.
- 19. Agence nationale de la statistique et de la démographie ANSD, (2017b).** Rapport général définitif du Recensement général de la population, de l’habitat, de l’agriculture et de l’élevage : Région de Sédhiou, 80 p.
- 20. Agence nationale de la statistique et de la démographie ANSD, (2017c).** Rapport général définitif du Recensement général de la population, de l’habitat, de l’agriculture et de l’élevage : Région de Kolda, 90 p.
- 21. Agence nationale de la statistique et de la démographie ANSD, (2020).** Population du Sénégal année 2020 : répartition de la population sénégalaise par région administrative en 2020, 25p.
- 22. Appel, L.J. (1999).** Nonpharmacologic therapies that reduce blood pressure : a fresh perspective, *Clin. Card.*, 22, 1-5.
- 23. Arbez, M. et Lacaze, J.F. (1998).** Les ressources génétiques forestières en France : Tome 2. Les feuillus (Vol. 2). *Editions Quae*, 20p.

- 24. Archak, S., Gaikwad, A.B., Gautam, D., Rao, E.V.V.B., Swamy, K.R.M. et Karihaloo, J.L. (2003).** DNA fingerprinting of Indian cashew (*Anacardium occidentale* L.) varieties using RAPD and ISSR techniques. *Euphytica*, 230: 397–404.
- 25. Arseneau, J.R., Steeves, R. and Laflamme, M. (2017).** Modified low-salt CTAB extraction of high-quality DNA from contaminant-rich tissues. *Molecular Ecology Resources*, 17(4), 686-693. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12616>
- 26. Asogwa, E.U., Anikwe, J.C., Ndubuaku, T.C.N. and Okelana, F.A. (2009).** Distribution and damage characteristics of an emerging insect pest of cashew, *Plocaederus ferrugineus* L. (Coleoptera: Cerambycidae) in Nigeria: A preliminary report. *African journal of Biotechnology*. Vol. 8(1) : 053 - 058.
- 27. Assuncao, R.B. and Mercadante, A.Z. (2003).** Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Food Composition*, 16 : 647-657.
- 28. Ayessou, N.C., Gueye, M., Diouh, E., Konteye, M., Cisse, M. and Dornier, M. (2009).** Composition nutritionnelle et apport énergétique du fruit de *Maerua pseudopetalosa*, aliment de soudure au Sénégal. *Fruits*, 64, 147–156. [www.fruits-journal.org](http://www.fruits-journal.org)
- 29. Ba, M. (2018).** Détermination de la longueur optimale de la couronne de *Anacardium occidentale* L. et son influence sur les rendements de *Arachis hypogaea* L. dans la commune de Toubacouta. Mémoire d'ingénieur, ISFAR, Université de Thiès, 45p.
- 30. Badiane, S. et Sy, P.B.A. (2005).** Manuel de sylviculture de l'anacardier (*Anacardium occidentale*). 30p.
- 31. Balogoun, I., Saïdou, A., Ahoton, E.L., Amadji, L.G., Ahohuendo, C.B., Adebo, I.B., Babatounde, S., Chougourou, D., Adoukonou-Sagbadja, H. et Ahanchede, A. (2014).** Caractérisation des systèmes de production de base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie Africaine*, 26 (1), 9 – 22.
- 32. Bambara, H.M.J. (2009).** Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Option : Agronomie, 64 p.
- 33. Banito, A., Wydra, K. and Kpemoua, K.E. (2007).** Characterization of resistance of cassava genotypes to bacterial blight by evaluation of leaf and systemic symptoms in relation to yield in different ecozones. *Euphytica*, 155: 337-348. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9335-9>.

- 34. Bhargava, A., and Fuentes, F.F. (2010).** Mutational Dynamics of Microsatellites. *Molecular Biotechnology*, 44(3), 250-266. <https://doi.org/10.1007/s12033-009-9230-4>
- 35. Becker, B. (1986).** Wild plants for human nutrition in the Sahelian zone, *J. Arid Environ.* 11, 61–64.
- 36. Bello, D.O., Ahoton, L.E., Saidou, A., Akponikpè, I.P.B., Ezin, V.A., Balogoun, I. et Aho, N. (2017).** Climate change and cashew (*Anacardium occidentale* L.) productivity in Benin (West Africa): perceptions and endogenous measures of adaptation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(3): 924-946. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print).
- 37. Benbouza A., Baudoin JP., Mergeai, G. (2006).** Amélioration de la méthode d'extraction d'ADN au CTAB appliquée aux feuilles de cotonnier. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 10 (2), 73 – 76.
- 38. Bezerra, M.A., de Lacerda, C.F., Filho, E.G., de Abreu, C.E.B. and Prisco, J.T. (2007).** Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(4): 449-461.
- 39. Biah, S., Guendehou, C., Goussanou Kaire, M. and Sinsin, B.A. (2018).** Allometric models for estimating biomass stocks in cashew (*Anacardium occidentale* L.) plantation in Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)* Numéro 84–Décembre 2018 BRAB en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099.
- 40. Bloom S.A. (1981).** Similarity indices in community studies: Potential Pitfalls. *Marine Ecology - Progress Series*, 5 : 125-128.
- 41. BNC, (2017).** Renforcer les capacités : l'aventure d'apprentissage du cajou. *Bulletin de ComCashew*, 10ème édition. ISSN 2458-7362. 28p.
- 42. Boko, F.B.F. (2014).** Optimisation du procédé de clarification du jus de pomme de cajou au moyen d'amidons de manioc et de riz. Bénin, Université d'Abomey-calavi, Mémoire de fin de formation, 86p.
- 43. Bosc, P.M., Sourisseau, J.M., Bonnal, P., Gasselin, P., Valette, E. and Bélières, J.F. (2014).** Diversité des agricultures familiales. Exister, se transformer, devenir. Paris: Quae. Collection "Nature et société". 384 p.

- 44. Bray, J.R. Curtis, J.T. (1957).** An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325-349.
- 45. Brizicky, G.K. (1962).** The genera of Anacardiaceae in the Southeastern United States. *J Arnold Arbor* 43:359–365.
- 46. Burk, T.E. and Newberry, J.D. (1984).** A simple algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters. *Forest sciences*, 30: 329-332.
- 47. Carr, L.G. (1944).** Survival foods of the American aborigines, *J. Am. Diet. Assoc.* 19, 845–847.
- 48. Carvalho, J.M., Maia, G.A., Figueiredo, R.W., Brito, E.S. and Rordrigues, S. (2006).** Development of a blended beverage consisting of coconut water and cashew apple juice containing caffeine. *International Journal Food Science Technology* 42: 1195-1200.
- 49. Carvalho, J.M., Maia, G.A., Figueiredo, R.W., Brito, E.S., and Rodrigues, S. (2007).** Storage stability of a stimulant coconut-cashew apple juice beverage. *J Food Proc Pres.*, 31, 178-189.
- 50. Cavalcante, A.A.M., Rubensam, G., Picada, J.N., Silva, E.G., Moreira, J.C.F. and Henriques J.A.P. (2003).** Mutagenicity, antioxidant potential and antimutagenic activity against hydrogen peroxide of cashew (*Anacardium occidentale*) apple juice and cajuina, *Environ. Mol. Mutagenesis*, 41, 360-369.
- 51. Cavalcanti, J.J.V. et Wilkinson, M.J. (2007).** The first genetic maps of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Euphytica*. 157 :131–143. doi 10.1007/s10681-007-9403-9.
- 52. Chabi, S. K., Adoukonou, S. H., Ahoton, L. E., Adebo, I., Adigoun, F. A., Saïdou, A., Ahanchede, A., Kotchoni, S. O. & Baba, M. L. (2015).** Morphological characterization and agronomic performances of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions from Benin. *J. Agric. Crop Res. Sci*, 28-40.
- 53. Chabi Sika, K., Adoukonou-Sagbadja, H., Ahoton, L.E., Adebo, I. and Adigoun, F.A. (2013).** Indigenous knowledge and traditional management of cashew (*Anacardium occidentale* L.) genetic resources in Benin. *J Exp Bio Agri Sci*, 375-382.
- 54. Chatterjee, A., Moulik, SP., Majhi, PR., Sanyal, SK. (2002).** Études sur l'interaction surfactant-biopolymère. I. Etude microcalorimétrique sur l'interaction du bromure de

cétyltriméthylammonium (CTAB) et du dodécylsulfate de sodium (SDS) avec la gélatine (Gn), le lysozyme (Lz) et l'acide désoxyribonucléique (ADN). *Biophys. Chem.* 98, 313–327.

**55. Chan, E. W. C., Baba, S., Chan, H. T., Kainuma, M., Inoue, T. and Wong, S. K. (2018).** Ulam herbs: A review on the medicinal properties of *Anacardium occidentale* and *Barringtonia racemosa*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 241-247.  
<https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.70235>

**56. Chen, H., Rangasamy, M., Tan, S.Y., Wang, H. and Siegfried, B.D. (2010).** Evaluation of five methods for total DNA extraction from western corn rootwormbeetles. *PLoS one*, 5(8), e11963. 36(6), 1494-1503.

**57. Chipojola, F.M., Mwase, W.F., Kwapata, M.B., Bokosi, J.M. and Njoloma, J.P. (2009).** Morphological characterization of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in four populations in Malawi. *Afr J Biotechnol*, 5173-5181.

**58. Cirad-Gret, (2002).** Mémento de l'agronomie. Ministère des Affaires Etrangères Paris, Décembre 2002. 1691p.

**59. Cleuziou, G. (2004).** Une méthode de classification non-supervisée pour l'apprentissage de règles et la recherche d'information. Université d'Orléans. France.

**60. Coly, M.L. (2016).** Etudes des caractéristiques morphologiques et de la germination des noix de *Anacardium occidentale* L. de la région de Ziguinchor. Mémoire de Fin de cycle : Ecole Nationale Supérieur d'Agriculture (Sénégal), p. 57.

**61. Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E. and GarcíaVillanova, B. (2011).** Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia, *Food Research International*, 44, pp.2047-2053.

**62. Cowan, J.A. (2002).** Structural and catalytic chemistry of magnesium-dependent enzymes, *Biometals*, 15, 225-235.

**63. Cowan, W.C. and Smith B.D. (1993).** New perspectives on a wild gourd in Eastern North America. *J. Ethnobiol.* 13 (1), p. 17–54.

**64. Craig, W. and Beck, L. (1999).** Phytochemicals: health protective effects, *Can. J. Diet. Pract. Res.*, 60, 78-84.

- 65. Créac'h, P.V. (1944).** Se nourrir au Sahel. L'alimentation au Tchad *Éd. Harmattan, Paris, France*, 1937–1939.
- 66. Croxford, A.E., Robson, M., and Wilkinson, M.J. (2006).** Characterization and PCR multiplexing of polymorphic microsatellite loci in cashew (*Anacardium occidentale* L.) and their cross-species utilization. *Molecular Ecology Notes*, 6(1), 249-251. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01208.x>
- 67. Dabo, S.M., Mitchel, E.D. and Melcher, U. (1993).** A method for the isolation of nuclear DNA from cotton (*Gossypium*) leaves. *Ann. Biochem.* 210, p. 34–38.
- 68. Dadswell, I.W. (1934).** The chemical composition of some plants used by Australian aborigines, *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* 12, 13–18.
- 69. Damodaran, V.K., (1966).** The morphology and biology of cashew flower *Anacardium occidentale* L. II anthesis dehiscence receptivity of stigma, pollination, fruit set and fruit development. *Agricultural Journal of Kerala (India)* 4: 78-84.
- 70. Dandjinou, B. (2016).** Global Competitiveness : the Real Issues and How to Adress It. Festival et Expo mondiaux 2016 sur le cajou organisés par l'ACA. Guinea-Bissau, 19-22 septembre 2016. 25p.
- 71. Dasmohapatra, R., Rath, S., Pradhan, B.D. and Rout, G.R. (2014).** Molecular and agromorphological assessment of cashew (*Anacardium occidentale* L.) genotypes of India. *Journal of Applied Horticulture*, 16(3) :215-221. <https://www.researchgate.net/publication/277426929>
- 72. De Azevedo, D.M.P., Crisóstomo, J.R., Imeda, F.C.G., and Rossetti AG, (1998).** Estimates of genetic correlations and correlated responses to selection in cashew (*Anacardium occidentale* L.) *Genet. Mol. Biol.* 344-400.
- 73. Dedehou, E.S.C.A., Dossou, J. and Soumanou, M.M. (2015).** Etude diagnostique des technologies de transformation de la pomme de cajou en jus au Bénin, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (1), 371-387.
- 74. Demba, M. (2012).** Importance des impacts écologiques, environnementaux et socioéconomiques de l'anacardier sur la vie des planteurs-producteurs de la région de Fatick : Cas de la commune de Toubacouta. Mémoire d'ingénieur, 28p.

- 75. Demeke, T., Ratnayaka, I. and Phan, A. (2009).** Effects of DNA Extraction and Purification Methods on Real-Time Quantitative PCR Analysis of Roundup Ready Soybean. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 92(4), 1136-1144. <https://doi.org/10.1093/jaoac/92.4.1136>
- 76. Denis, T., Possamai, S. J. et Méreau, A. (2018).** Principe des techniques de biologie moléculaire et génomique. 3<sup>ème</sup> édition, Quae, France. p. 47.
- 77. De Oliveira, R.T., Marques Junior, J., Nascimento, D.V.D. and Stefani, R. (2014).** Phytochemical Screening and Comparison of DPPH Radical Scavenging from Different Samples of Coffee and Yerba Mate Beverages. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4, 1-7.
- 78. Detienne, P. and Jacquet, P. (1983).** Atlas d'Identification des Bois de l'Amazonie et des Regions Voisines. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France. 640p.
- 79. Direction de la Prévision des études Economiques (DEEP). (2019).** Rapport de la situation économique et financière de 2018 et perspectives de 2019 au Sénégal, 37p, <http://www.dpee.sn>.
- 80. Diakabana, P., Kobawila, S.C., Massengo, V. et Louembé, D. (2013).** Effet du degré de maturation sur la cinétique de fermentation éthylique de la pulpe de mangue cultivar BOKO. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, Vol. 09 N°01, 1-8. <http://www.ajol.info/browse-journals.php>
- 81. Dieng, F. (2020).** Analyse des déterminants techniques et de la qualité de la production de l'anacarde (*Anacardium occidentale* L) dans les grandes régions productrices au Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques et Environnement, spécialité Agroforesterie et Productions végétales. Université Assane Seck de Ziguinchor, UFR des Sciences et Technologies, École Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (EDSTI), 126 pages + annexes.
- 82. Djè, Y., Kouonon, L.C., Zoro, B.I.A.I., Gnamien, G.Y. et Baudoin, J.P. (2006).** Etude Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement. Volume 10, numéro 2 (2006). Disponible sur [www.fsagx.ac.be](http://www.fsagx.ac.be).
- 83. Dillon, J.C. (1992).** Nutrition humaine, *Cah. Nutr. Diét.* 27 (5) 272–277.

- 84. Diouf, P. (2016).** Contribution à l'étude d'*Anacardium occidentale* L. : Enquête ethnobotanique auprès des tradipraticiens dans la ville de Thiès. 116.
- 85. Djaha, J.B.A., Adopo, A.A.N., Koffi, E.K., Ballo, C.K. et Coulibaly, M. (2012).** Croissance et aptitude au greffage de deux génotypes d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) élites utilisés comme porte-greffe en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4) : 1453-1466.
- 86. Djaha, A.J.B., N'da, H.A., Koffi, K.E., Adopo, A.N. et Ake, S. (2014).** Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) introduits en Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 23 : 244 – 258. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
- 87. Doucet, R. (2006).** Le climat et les sols agricoles. *ed. Berger, Eastman, Québec.* Xv, 443 pp.
- 88. Douzet, R., (2007).** Petit lexique de botanique à l'usage du débutant. UJF-Bât D-BP 53-38041 Grenoble cedex 9. 42p.
- 89. Doyle, J.J., and Doyle, J.L. (1987).** A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical bulletin*, 19(1), 11-15.
- 90. Drake, S.R. and Eisele, T.A. (1994).** Influence of harvest date and controlled atmosphere storage delay on the color and quality of 'delicious' apples stored in a purge-type controlled-atmosphere environment. *Hort. Technol.*, 4: 260-263.
- 91. Drake, S.R. and Eisele, T.A. (1999).** Carbohydrate and acid contents of gala apples and bartlett pears from regular and controlled atmosphere storage. *J. Agric. Food Chem.*, 47: 3181-3184.
- 92. Drake, S.R., Elfving, D.C. and Eisele, T.A. (2002).** Harvest maturity and storage affect quality of 'cripps pink' (pink lady) apples. *Hort. Technol.*, 12: 388-391.
- 93. Déwa, K.M.K., Banito, A., Onasanya, A., Kpémoua, K.E. and Séré, Y. (2011).** Rice bacterial blight in Togo: Importance of the Disease and Virulence of the pathogen. *Curr. Res. Bact.*, 4(3): 94-100. DOI:10.3923/crb.2011.94.100.
- 94. Echendu, T.N.C. (1991).** Ginger, Cashew and Neem as surface protectants of cowpeas against infestation and damage by *Callosobruchus maculatus*. *Trop. Sci.* 31: 209-211.

- 95. Eguagie, W.E. (1972).** Insects associated with cashew *Anacardium occidentale* in Nigeria. *Ann, Rep. CRIN, Ibadan, Nigeria*. Pp.134-137.
- 96. Eguagie, W.E. (1973).** Insect associated with cashew, *A. occidentale* in Nigeria. *CRIN Ann. Rep.* Pp. 270-273.
- 97. Eguagie, W.E. (1974).** Insects associated with cashew, *A. occidentale* in Western Nigeria. *CRIN. Ann. Rep.* Pp. 128-130.
- 98. Empeaire, L., Mühlen, G. S., Fleury, M., Robert, T., MCKEY, D., Pujol, B. et Elias, M. (2003).** Approche comparative de la diversité génétique et de la diversité morphologique des maniocs en Amazonie (Brésil et Guyanes). *Les Actes du BRG*, 4, 247-267p.
- 99. Eradasappa, E. and Mohana, G. S. (2016).** Role of pollination in improving productivity of cashew – A review. *Agricultural Reviews*, 37(1). <https://doi.org/10.18805/ar.v37i1.9266>
- 100. Esan, E.B. and Omolaja, S.S. (2002).** Genotypic association, path analysis and pluck quality value in tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Tropical Agriculture*, 79: 100–104.
- 101. Evans, D.A. and Raj, R.K. (1988).** Extracts of Indian plants as mosquito larvicides. *Indian J. Med. Res.* 88 : 38-41.
- 102. FAO, (1982).** Espèces fruitières forestières – fiches techniques- 205 p.
- 103. FAO, (2002).** Base des données de la FAO 2002. <http://faostat.fao.org>. Visité le 5 Novembre 2012.
- 104. FAO, (2022).** Alimentation et agriculture dans le monde – Annuaire statistique 2022. Rome. <https://www.fao.org/news/story/fr/item/178317/icode/>
- 105. FAOSTAT, (2020).** Base des données de la FAO 2020. <http://faostat3.fao.org/#20-05-2020>.
- 106. Food and Agriculture Organization/World Health Organization (2001).** Human vitamin and mineral requirements. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. *FAO Food and Nutrition*. Rome: WHO, 2001.
- 107. Free, J.B. and Williams, I.H. (1976).** Insect pollination of *Anacardium occidentale* L. *Mangifera indica* L. *Blighia sapida* Koeng and *Persea* American Mill. *Tropical Agriculture* 53: 125- 139.

- 108. Freitas, B.M., Paxton, R.J., and De Holanda-Neto, J.P. (2002).** Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in ne brazil. 17.
- 109. French, J.H., Tingsabadh, C., Taylor, D., Byrnes, F., Pan, F.J., Wood, H., Chung, H.H., Kamis Awang, Lasco, R.D., Bhumibhamon, S. and Latimer, W (1994).** Growing multipurpose trees on small farms. Ed. 2, li + 315 pp.
- 110. Fu, L., Xu, B.T., Xu, X.R., Gan, R.Y., Zhang, Y., Xia, E.Q. and Li, H.B. (2011).** Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits.", *Food Chemistry* 129(2), 345-350.
- 111. Gammie, G.A. (1902).** A note on plants used for food during famines and seasons of scarcity in the Bombay Presidency, *Ind. Bot. Surv. Rec.* 2, 171–196.
- 112. Gbohaïda, V., Mossi, I., Adjou, E.S., Agbangnan, P., Boniface, B., Yehouenou, B.B., and Sohounhloué, D.C.K. (2015).** Morphological and Physicochemical Characterizations of Cashew Apples from Benin for their use as Raw Material in Bioethanol Production. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, 35(2), 02, 7-11.
- 113. Georgé, S., Brat, P., Alter, P. and Amiot, M.J. (2005).** Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1370-1373.
- 114. Giro, M.E.A., Martins, J.J.L., Rocha, M.V.P., Melo, V.M.M. and Goncalves, L.R.B. (2009).** Clarified cashew apple juice as alternative raw material for biosurfactant production by *Bacillus subtilis* in a batch bioreactor. *Biotechnology Journal*, 4, 738-747.
- 115. Glèlè, K.R., Bonou, W. et Pelz, D. (sans date).** Modélisation et interprétation des structures en diamètre et en hauteur des peuplements forestiers, 15p.
- 116. Goldman, I.L. Kader A.A. and Heintz, C. (1999).** Influence of production, handling and storage on phytonutrient content of foods, *Nutr. Rev.*, 57, 46-52.
- 117. Goudiaby, R. (2014).** Réponse de quatre variétés de *Anacardium occidentale* L. aux techniques de greffage en pépinière. Mémoire d'ingénieur, ISFAR/Bambey, 50p.
- 118. Grollier, C., Debien, C., Dornier, M. and Reynes, M. (1998).** Principales caractéristiques et voies de valorisation du tamarin, *Fruits*, 53 (4), 271–280.

- 119. Griffiths, A., Miller J.H., Suzuki D.T., Lowontin R.C. et Gelbart W.M. (2001).** Introduction à l'analyse génétique, 3ème Edition Chrystella Sanlaville, 826p.
- 120. Gupta, R.K. (1993).** Multipurpose Trees for Agroforestry and Wasteland Utilization » Oxford and IBH Publishing company, NewDelhi. 580 p.
- 121. He, F.J. and MacGregor, G.A. (2001).** Beneficial effects of potassium, *Br. Med. J.*, 323, 497-501.
- 122. Hêdiblè, L.G, Adjou, E.S., Tchobo, F.P, Agbangnan, P, Ahohuendo, B., Soumanou, M.M. (2017).** Caractérisation physico-chimique et morphologique de pommes d'anacarde pour leur utilisation dans la production d'alcool alimentaire et de boissons spiritueuses. *Journal of Applied Biosciences* 116 : 11546-11556, DOI : org/10.4314/jab. v116i1.3.
- 123. Henry, A.J. (1948).** The toxic principle of Courbonia virgata: its isolation and identification as a tetramethylammonium salt, *Br. J. Pharmacol. Chemother.* 3, 187–188
- 124. Hien, S. (2019).** Aperçu de l'évolution de la production d'anacarde et évolution du marché de noix brutes de cajou dans la sous-région et perspectives pour 2019/2020. Forum sur le cajou sahélien. Du 05 au 07 août 2019 à Bamako (Mali). 16 p.
- 125. Honorato, T.L. and Rodrigues, S. (2010).** Dextranucrase stability in cashew apple juice. *Food Bioproc Technol*, 3, 105-110.
- 126. Ibukun, E.O. et Jackson, U.E. (2019).** Variation studies of morphological characters of cashew trees (*Anacardium occidentale* L.) on Kogi State University Campus, Anyigba, Kogi State, Nigeria. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 08(03) : 017–022.
- 127. iCA, (2014).** African Cashew Alliance. Promouvoir les noix de cajou d'Afrique dans le monde entier. *Bulletin mai 2014 n°4*. 2458 – 7362. 15p.
- 128. Inglis, P.W., Pappas, M.C.R., Resende, L.V. and Grattapaglia, D. (2018).** Fast and inexpensive protocols for consistent extraction of high quality DNA and RNA from challenging plant and fungal samples for high-throughput SNP genotyping and sequencing applications. *PLOS ONE*, 13(10), e0206085. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206085>
- 129. 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.

- 130. Inspection Régionale des Eaux et Forêts (IREF) Sédhiou, (2012).** Rapport annuel 2012. 60p.
- 131. Ishaq, M.N., Echekwu, C.A. Olorunj, P.E. Gupta, U.S. and Misari, S.M. (2000).** Correlations and path coefficient analysis in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Nigerian Journal of Genetics* 15: 22–28.
- 132. Ismail, F., Anjum, M.R., Mamon, A.N. and Kazi, T.G. (2011).** Trace metal contents of vegetables and fruits of Hyderabad retail market, *Pak. J. Nutr.*, 10, 365-372.
- 133. Jacotot, B. and Le Parco, J.C. (2000).** Nutrition et Alimentation. *Masson: Paris*; 311 p.
- 134. Jan, S., Khan, M., Rashid, U. & Bokhari, J. (2013).** Assessment of Antioxidant Potential, Total Phenolics and Flavonoids of Different Solvent Fractions of *Monothea Buxifolia* Fruit, *Osong Public Health and Research Perspectives*, 4, 246-254.
- 135. Javadi, A., Shamaei, M., Ziazi, L.M., Pourabdollah, M., Dorudinia, A., Seyedmehdi, S.M. et Karimi, S. (2014).** Etude de qualification de deux méthodes d'extraction d'AND génomique dans différents échantillons cliniques. *Tanaffos*, 13 (4), 41-47.
- 136. Johnson, D.V. (1973).** The botany, origin, and spread of the cashew, *Anacardium occidentale* L. *Journal of Plantation Crops*, 1:1-7.
- 137. Joseph, K.T. (1979).** The cashew flower. *Indian Cashew Journal*. 12: 7-9.
- 138. Joslyn, M. (1970).** Methods in Food Analysis, 2<sup>e</sup>éd. *Academic Press, New York, USA*. 110 p.
- 139. Joseph, A.D.O. (2010).** Comparative studies of wine produced by spontaneous and controlled fermentation of preserved cashew (*Anacardium occidentale*) juice, *Research Journal of Biological Sciences*. 5 (7), 460 – 464.
- 140. Kapinga, F.A., Kasuga, L.J.F. and Kafiriti, E.M. (2017).** Growth and production of cashew nut. *Croissance des plantes et production agricole*, 10p.
- 141. Katterman, F.R.H. and Shattuck, V.I. (1983).** An Effective Method of DNA Isolation from the Mature Leaves of *Gossypium* Species That Contain Large Amounts of Phenolic Terpenoids and Tannins. *Preparative Biochemistry*, 13(4), 347-359. <https://doi.org/10.1080/00327488308068177>

- 142. Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J. (1990).** Partitioning around Medoids (Program PAM). In: Kaufman, L. and Rousseeuw, P.J., Eds., *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 68-125.
- 143. Kassambara, A. (2017).** *Multivariate Analysis I: Practical Guide to Cluster Analysis in R*, 187p.
- 144. Khosla, P.K., Sareen, T.S. and Mehra, P.N. (1973).** Cytological studies on Himalayan Anacardiaceae. *Nucleous* 4 :205–209.
- 145. Khumbanyiwa, A.G., Dosso, H. and Kasalu-coffin, E. (2000).** Rapport d'évaluation. Projet de développement de la production d'anacarde, 38p.
- 146. Kiffer, E.A.A., Kilbertus, G. et Proth, J. (1978).** Rhizoplan et mycorrhizoplan de *Picea abies* (L.) Karst., *Bulletin des Académie & Société Lorraines des Sciences*, 16 : 125–136.
- 147. Kilbertus, G. et Reisinger, O. (1975).** Dégradation du matériel végétal. Activité in vitro et in situ de quelques microorganismes, *Revue Ecologie Biologie Sol.*, 12 : 347–358.
- 148. Kim, D.O., Chun, O.K., Kim, Y.J., Mon, H.Y. and Lee, C.Y. (2003).** Quantification of Polyphenolics and Their Antioxidant Capacity in Fresh Plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6509-6515. <https://doi.org/10.1021/jf0343074>
- 149. Kouakou, Ch.K., N'Da Adopo, A., Djaha, A.J.B., N'da, D.P., N'da, H.A., Zoro Bi, I.A., Koffi, K.K., Djidji, H., Minhobo, M.Y., Dosso, M. et N'Guessan, A.E. (2020).** Genetic characterization of promising high-yielding cashew (*Anacardium occidentale* L.) cultivars from Côte d'Ivoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 24, 46-58.
- 150. Kubo, I., Masuoka, N., Ha, T.J. and Tsujimoto, K. (2006).** Antioxidant activity of anacardic acids, *Food Chemistry*, 99, 555–562.
- 151. Kumar, S.N., Aggarwal, P.K., Rani, S., Jain, S., Saxena, R. et Chauhan, N. (2011).** Impact of climate change on crop productivity in Western Ghats, coastal and northeastern regions of India. *Current Science* : 332–341p.
- 152. Lacroix, (2003).** Les anacardiens, les noix de cajou et la filière anacarde à Brassou et au Bénin, 75p

- 153. Lagnika, C., Amoussa, A.M.O., Sanni, A. and Lagnika, L. (2019).** Effect of Blanching and Ultrasound on Drying Time, Physicochemical and Bioactive Compounds of Dried Cashew Apple. *American Journal of Food Science and Technology*, Vol. 7 (6): 227-233.
- 154. Lanka, S. (2000).** Cashing in on cashew International workshop on cashew production and processing. Marawila, Sri Lanka. 67p.
- 155. Lautié, E., Dornier, M., De Souza Filho, M., and Reynes, M. (2001).** Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorization et marches. *Rev. Fruits*, 56, 235–248.
- 156. Leakey, R.R.B. (2005).** Domestication potential of Marula (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) in South Africa and Namibia: 3. Multiple trait selection. *Agrofor Syst* 64 :51–59p.
- 157. Leclercq, J. (1948).** Importance de la lysine et du tryptophane dans la nutrition de *Tenebrio molitor* L., *Cell. Mol. Life Sci.* 4 (11), 436–437.
- 158. Lefebvre, A. (1969).** L'anacardier, une richesse de Madagascar. *Fruits*, vol. 24, n° I, 43-64p.
- 159. Leland, J.V. (1997).** Flavor interactions: the great whole. *Food Technology*, 51(1): 75-80.
- 160. Lipp, M., Brodmann, P., Pietsch, K., Pauwels, J. and Anklam, E. (1999).** IUPAC collaborative trial study of a method to detect genetically modified soy beans and maize in dried powder. *Journal of AOAC International*. 82: 923–928.
- 161. Loo, Z.X., and Chandran, S. (2012).** Extraction of Genomic DNA from roots and leaves of *Hylocereus undatus*. *Israel Journal of Plant Sciences*. 60(3) : 345-348.
- 162. Loughon, J. (1984).** Importance nutritionnelle et originalité du tryptophane, *Journ. Rech. Porcine Fr.* 16, 371–382.
- 163. Lu, H., Schmidt, M. A., Jensen, K. F. (2005).** A microfluidic electroporation device for cell lysis. *Lab on a Chip*, 5(1), 23-29.
- 164. Lunven, P. (1968).** Le tryptophane dans l'alimentation intertropicale - Méthodes d'analyse et intérêt nutritionnel, *Univ. Paris, Thèse Pharm.*, France, 1968.
- 165. Lyannaz, J.P. (2006).** Vers une relance de l'anacarde au Mozambique. Note technique : CIRADFlhor, UPR production fruitière, BP 1146, garoua, caméroun. *Fruit*, vol.61(2), 133-124p.

- 166. Malou, G. (2014).** Caractérisation et germination des semences de quatre variétés de *Anacardium occidentale* L., Mémoire de Master : Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal), 35p.
- 167. Martin, P.J. and Kasuga, L.J. (1995).** Variation in cashew tree yield in South-east Tanzania and the implication for management of cashew smallholding. *Tropical Agriculture* 72: 261–268.
- 168. Martin, P.J., Kasuga, L.J., and Bashiru, R.A. (1998).** Cashew Farming Upgrading: Agronomic Options for Cashew Production by Smallholder Farmers in Tanzania. *Exp Agr Journal*, 137–152 p.
- 169. Masawe, P.A.L. (2006).** Tanzanian Cashew Cultivars, Selected Clones. Cashew Research Programme, Naliendele Agricultural Research Institute, Mtwara Tanzania. Color Print (T) Ltd. ISBN 9987-446-01-9
- 170. Masawe, P.A.L., Cundall, E.P. and Caligari, P.D.S, (1996).** Distribution of cashew flower sex type between clones and sides of tree canopies in Tanzania. *Annals of Botany* 78: 553-558.
- 171. Marisa, M.W. (2006).** Ascorbic acid, vitamin A and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii, *Journal of Food Composition and Analysis* 19(5), 434-445.
- 172. Marlos Bezerra, A., Claudivan de Lacerda, F., Enéas Gomes, F., Carlos de Abreu, B. and José Prisco, T. (2007).** Physiology of cashew plants grown under adverse conditions, *Braz. J. Plant Physiol.* 19: 4. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000400012>
- 173. Matasyoh, L.G., Wachira, F.N., Kinyua, M.G., Muigai, A.W.T., and Mukiyama, T.K. (2008).** Leaf storage conditions and genomic DNA isolation efficiency in *Ocimum gratissimum* L. from Kenya.
- 174. Mcneal, F.H., SMITH, E.P. and BERG, M.A. (1974).** Plant height, grain yield, and yield component relationships in spring wheat. *Agro. Jour.* 66: 575–578.
- 175. Meijer, W. (1983).** Anacardiaceae in: Dassanayaka MD, Fosberg FR, eds. A Revised Handbook to the Flora of Ceylon, Volume IV. New Delhi, India: Amerind Publishing Company Private Limited, 1-8p.

- 176. Michodjehoun-Mestres, L. (2009).** Etude des composés phenoliques de la pomme cajou (*Anacardium occidentale* L.). Biochimie, chimie et technologie alimentaire. Montpellier, Université Montpellier II. Thèse de Doctorat, 97p.
- 177. Mishustin, E.N. (1956).** The law of zonality and the study of microbial associations of the soils. *Soil Fertility*, 19: 385–392.
- 178. Mitchell, J.D. et Mori, S.A. (1987).** The cashew and its relatives (*Anacardium*: *Anacardiaceae*). *Mem N Y Bot Gard* 42:1–76
- 179. Moranda, E.K. (1941).** Cashew culture. *Philippines Journal of Agriculture* 12, 89–106.
- 180. Mota, M.I. (1973).** Flower abnormalities in cashew, *Anacardium occidentale* L. *Agronomia Moçambicana* 7, 21–35.
- 181. Murthy, B.G.K. and Sivasamban, M.A. (1985).** Recent trends in CNSL utilization. Cashew Research and development: *Proceedings of the International Cashew Symposium, Cochin, Kerala, India. March 12-15, 1979.* Pp. 201-207.
- 182. Nanjundaswamy, A.M., Radhakrishniah, S. and Patwardhan, M.V. (2001).** Utilization of cashew apples for the development of processed products. Central Food Technological Research Institute Mysore-570013, Karnataka, India, 152-159.
- 183. Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A. et Ayessou, N.C. (2022).** Valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou (*Anacardium occidentale* L.) de la Casamance, Sénégal. *Afrique SCIENCE* 21(2) 13 – 24. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
- 184. Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A., Thiocone, K.M.O., Ayessou, N.C. and Diatta, M. (2022).** Physicochemical, Biochemical and Antioxidant Potential Characterisation of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) from the Agro-Ecological Zone of Casamance (Senegal). *Food and Nutrition Sciences*, 13, 439-452. <https://doi.org/10.4236/fns.2022.134032>
- 185. Ndiaye, S., Charahabil, M.M. et Diatta, M. (2021).** Caractéristiques des exploitations d’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) et analyse des déterminants des revenus des producteurs (Casamance/Sénégal). <https://doi.org/10.4000/vertigo.28723>
- 186. Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M. and Aidara, C.A.L.F. (2020).** Effet de l’anacardier (*Anacardium occidentale* L.) sur les propriétés physicochimiques des sols

(Casamance/Sénégal). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences* 10(2): 44-54. ISSN 2429-5396 / [www.american-jiras.com](http://www.american-jiras.com)

**187. Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M. et Sambou, A. (2020).** The agricultural suitability of cashew nut substrate on the growth and yield of *Sorghum bicolor* L. (sorghum) and *Arachis hypogaea* L. (peanut) according to the sampling distance (CASAMANCE / SENEGAL). *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*. Vol. 5, No. 01; 2020. 259-271. <https://doi.org/10.35410/IJAEB.2020.5475>

**188. Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., Aidara, C.A. et Fall, L. (2020).** Effet de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) sur les propriétés physicochimiques des sols (CASAMANCE / SÉNÉGAL). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 10(2) : 44–54 p.

**189. Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Ngom, D. and Diatta, M. (2019).** Caractérisation morphologique et phénotypique des pieds d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) dans le département de Goudomp (Sénégal) Morphological and Phenotypic Characteriza. *European Scientific Journal*. 15(36), 1857 – 7881.

**190. Ndiaye, S., Charahabil, M.M., et Diatta, M. (2017a).** Caractérisation des Plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans le Balantacounda : cas des communes de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal). *European Scientific Journal*, 13(12), 1857 – 7881.

**191. Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M. et Ndiaye, O. (2017b).** Influence de la flore ligneuse associée dans la production des parcs à *Anacardium occidentale* L. dans la communauté rurale de Djibanar (Casamance/Sénégal). *Int.J.Biol. Chem. Sci* 11(2) : 585-596.

**192. Ndiaye, S. (2014).** Caractérisation des plantations à base de *Anacardium occidentale* L. dans la communauté rurale de Djibanar. Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal), 58p.

**193. Ndour, K. (2022).** Gestion des plantations et optimisation de la production des systèmes de cultures à *Anacardium occidentale* L. dans le Bassin Arachidier au Sénégal. Thèse de doctorat, Université Alioune Diop de Bambey, 166p.

**194. Nambiar M. C., Baskara R. EV. V., Thankamma, P. PK., (1990).** Biotechnology of fruit and nut crops. Cashew In: Bose TK, Mitra SK, eds. *Fruits: Tropical and Subtropical*. Calcutta, India: Naya Prokash, 386-419.

- 195. Niang, P.M. (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), p. 50.
- 196. Nortcliff, S. et Gregory, P.J., (2013).** The historical development of studies on soil–plant interactions. *Soil Conditions and Plant Growth*. 21p.
- 197. Northwood, P.J. (1966).** Some observations on flowering and fruit setng in cashew *Anacardium occidentale* L., *Tropical Agriculture*. 43, 35-42.
- 198. Nunes, C.F., Ferreira, J.L., Fernandes, M.C.N., Breves, S.D.S., Generoso, A.L., Soares, B.D.F., Dias, M.S.C., Pasqual, M., Borem, A. and Cançado, G.M.D.A. (2011).** An improved method for genomic DNA extraction from strawberry leaves. *Ciência Rural*, 41(8), 1383-1389. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000800014>
- 199. Odame, O., Gonu, H. and Quansah, L. (2020).** Sugar content, ph, and weight of four germplasm of cashew apple (*Anacardium occidentale* linn.) fruits grown under two agro-ecological zones in ghana. *Ghana J. Sci.*, 61 (2), 73-81.
- 200. Odet, J. (1991).** Le melon. Paris : CTIFL. 293 p.
- 201. Ohler, J.G. (1979).** Cashew communication, Royal Tropical Institute Amsterdam 71, 260p.
- 202. Ohler, J.G. (1967).** Cashew. Department of Agricultural Research, Royal Tropical Institute, Amsterdam. 26p.
- 203. Oliveira, VH, Miranda, FR., Lima, RN. et Cavalcante, RRR. (2006).** Effect of irrigation frequency on cashew nut yield in Northeast Brazil. *Sci. Hortic*. 108 (4): 403-407. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.02.003>.
- 204. Orrell, T. (2013).** ITIS Regional: The Integrated Taxonomic Information System (version Apr 2011). In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 11th March 2013. Digital resource at [www.catalogueoflife.org/col/](http://www.catalogueoflife.org/col/). Species 2000: Reading, UK
- 205. Ouattara, G.S., Soro, D., Chatigre, K.O. and Koffi, K. (2016).** Caractérisation physicochimique et sensorielle de diverses formulations de jus à base de pomme de cajou et d’ananas. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(6) : 2447-2460.

- 206. Ouedraogo, S.N. (2002).** Etude diagnostique des problèmes phytosanitaires du manguier (*Mangifera indica* L.), de l'oranger (*Citrus sinensis* L.) Osbeck) et du mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) dans la province du Kéné Dougou. 95p.
- 207. Paiva, J.R., Barros, L.M. and Cavalcanti, J.J.V. (2009).** Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Breeding: A Global Perspective. In S. M. Jain & P. M. Priyadarshan (Éds.), *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species* (p. 287-324). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71201-7_9)
- 208. Perumal, NV., Zhang, X., Yuki, M., Fumio, I. et Wang, F. (2016).** Une méthode d'extraction d'ADN modifiée basée sur le SDS pour l'ADN environnemental de haute qualité à partir d'environnements de fond marin. *De face. Microbiol.* 7, 1–13.
- 209. Philippeau, G. (1986).** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? ITCF. Service des études statistiques. *STATITCF*. 57 p.
- 210. Pineli, L., Moretti, C., dos Santos, M., Campos, A., Brasileiro, A., Córdova, A. and Chiarello, M. (2011).** Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages, *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 11-16.
- 211. Porebski, S., Bailey, L.G. and Baum, B. R. (1997).** Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. *Plant Molecular Biology Reporter*, 15(1), 8-15. <https://doi.org/10.1007/BF02772108>
- 212. Programme d'Appui au Développement économique de la Casamance : PADEC, (2016).** La mangue en zone sud au Sénégal : Production et commercialisation. 63 p.
- 213. Purseglove, J.W. (1968).** Tropical crops: dicotyledons 1 & 2. 719p.
- 214. Puchooa, D. and Khoyratty, S.U.S.S. (2004).** Genomic DNA extraction from *Victoria amazonica*. *Plant Molecular Biology Reporter*, 22(2), 195-196. <https://doi.org/10.1007/BF02772727>
- 215. Rabany, C., Rullier, N. and 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.
- 216. Rao, V.N.M. and Hassan, M.V, (1957).** Preliminary studies on the oral biology of cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Indian Journal of Agricultural Science*, 27, 277–288.

- 217. Rao, E.V.V.B. and Swamy, K.R.M. (1994).** Genetic resources of cashew. In: K.L. Chadha & P. Rethinam (Eds.), *Advances in Horticulture*, vol. 9, Plantation and spice crops Part I. pp. 79–97.
- 218. Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B.K., Noci, F., Koutchma, T. and Brunton, N. (2011).** Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: review of recent advances. *Food Res. Int.* 44 (7), 1875–1887. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.053>.
- 219. Rocha, M.V.P., Oliveira, A.H.S., Souza, M.C.M. and Goncalves, L.R.B., (2006).** Natural cashew apple juice as fermentation medium for biosurfactant production by *Acinetobacter calcoaceticus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26, 875-883.
- 220. Rondeux, J. (1999).** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses Agronomiques de Gembloux. Gembloux, Belgique. ISBN 2-87016-060-7. 521p.
- 221. Rout, G., Samal, S., Nayak, S., Nanda, R.M., Lenka, P.C. and Das, P. (2002).** An alternative method of plant DNA extraction of cashew (*Anacardium occidentale* L.) for randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. *Gartenbauwissenschaft*, 67, 114-118.
- 222. Runjala, S. and Kella, L. (2017).** Cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) therapeutic benefits, processing and product development: An over view. *The Pharma Innovation Journal*, 2017 ; 6(7) : 260-264.
- 223. Sagna, P., (2005).** « Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l’Afrique Occidentale ». Thèse de Doctorat d’Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2006. Tome I, p. 270 ; Tome II, 516p.
- 224. Sagna, P. (2006).** Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie ouest de l’Afrique Occidentale. Thèse de Doctorat d’Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2006. Tome I, 270p.; Tome II, 516p.
- 225. Sahu, S.K., Thangaraj, M., and Kathiresan, K. (2012).** DNA Extraction Protocol for Plants with High Levels of Secondary Metabolites and Polysaccharides without Using Liquid Nitrogen and Phenol. *ISRN Molecular Biology*, 2012, 1-6.
- 226. Saïdou, A., Balogoun, I., Kone, B., Gnangle, C, P. et Aho, N. (2012).** Effet d’un système agro forestier à karité (*Vitellaria paradoxa*. Gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 : 2066-2082p.

- 227. Sam, A. (2019).** Variabilités morphologiques des populations de *Balanites aegyptiaca* L. Del dans le Ferlo/ Sénégal. Mémoire de master : Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 54p.
- 228. Samal, S., Rout, G.R. and Lenka, P.C. (2003).** Analysis of genetic relationships between populations of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by using morphological characterisation and RAPD markers. *Plant soil environ.*, 49 (4): 176-182.
- 229. Samb, C.O., Faye, E., Dieng, M., Sanogo, D., Samba, S.A.N. and Koita. B. (2018).** Dynamique spatiotemporelle des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) Dans deux zones agro-écologiques du Sénégal. *Afrique SCIENCE* 14 (3), 365-377.
- 230. Samb, C.O., Biteye, M., Faye, E., Diarra, R., Diaw N., Thiam, M. and Fall, B. (2021).** Caractérisation agro morphologique, chimique et biochimique des noix brutes de trois provenances d'anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) au sud du Sénégal. *Agronomie Africaine* 33 (2) : 177-189.
- 231. Sane, H., Samb, T., Ndiaye, A.B. et Ba, C.T. (2016).** Etude de la diversité des termites (*Isoptera*) dans quelques localités de la région de Kolda (Haute Casamance, Sénégal). *European Scientific Journal (ESJ)*. Vol 12, No 33 (2016), ISSN: 1857 – 7431. DOI : [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n33p263](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n33p263).
- 232. Sankharé, M. (2018).** Phénotypage des anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) de la sélection massale dans la région de Fatick (Sénégal). Mémoire de Master : Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 44p.
- 233. Sarr, M. (2002).** Analyse du secteur de l'anacarde au Sénégal, situation actuelle et perspective de développement, Projet de rapport de synthèse, 44 p.
- 234. Sene, B. (2014).** Les mesures annoncées par le gouvernement. *Agropasteur*, 12 p.
- 235. Sika, K.C., Adoukonou-Sagbadja, H., Ahoton, L., Saidou, A., Ahanchede, A., Kefela, T., Gachomo, E.W., Baba-Moussa and Kotchoni, S.O. (2015).** Genetic Characterization of Cashew (*Anacardium occidentale* L) Cultivars from Benin. *Hortic J.*, 1-7.
- 236. Silva, P.O., Menino, G.C., Reys, P., Sá, J.L., Soares, M.P. and Silva, F.G. (2018).** Phenology of *Anacardium occidentale* (anacardiaceae) and its relationship with climatic factors. *Floresta*, 49(1), 069. <https://doi.org/10.5380/rf.v49i1.56310>
- 237. Silou, T. (1996).** Le safoutier (*Dacryodes edulis*), un arbre mal connu. *Fruits.*, 51: 47-60.

- 238. Sivagurunathan, P., Sivasankari, S. and Muthukkaruppan, S.M. (2010).** Characterisation of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) fruits collected from Ariyalur District. *J. Bio sci. Res.*, 2010. Vol. 1(2) : 101-107.
- 239. Sokemawu, K. (2015).** Développement de la filière anacarde dans la préfecture de Tchamba au Togo : vers une nouvelle stratégie paysanne de diversification des revenus agricoles. *Revue de Géographie de l'Université d'Ouagadougou*, N° 04, Vol2, 42.
- 240. Somma, M. (2007).** Analyse d'échantillons alimentaires pour la présence d'organismes génétiquement modifiés. « Module 4 : Extraction et purification de l'ADN » : pp3-12.
- 241. Soro, D. (2012).** Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits. Thèse de doctorat, 156p.
- 242. Soro, D., Cissé, M., Kone, Y.K., Assidjo, E.N., Yao, B.K. and Dornier, M. (2017).** Valorisation de la pomme de cajou (*Anacardium occidentale* L.) et impact de la concentration sous vide à différentes températures sur la qualité du jus. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. ISSN 2028-9324 Vol. 19 No1 Jan. 2017, pp. 98-107. <http://www.ijias.issrjournals.org>.
- 243. Soro, S., Sanogo, S., Ouattara, G.M., Silue, N., Kone, D. et Kouadio, Y.J. (2020).** Analyse descriptive et facteurs agronomiques d'avant-garde de l'état sanitaire des vergers anacardiens (*Anacardium occidentale* L.) en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, Vol.16, No.30. ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431
- 244. Souci, S.W. Fachmann W. and Kraut, H. (2008).** Food composition and nutrition tables, 7e éd., MedPharm, Stuttgart, Germany, 743– 238 p.
- 245. Springer, N.M. (2010).** Isolation of Plant DNA for PCR and Genotyping Using Organic Extraction and CTAB. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2010(11), pdb. prot5515. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot5515>
- 246. Tan, S.C., Yiap, B.C. (2009).** DNA, RNA, and protein extraction: the past and the present. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 2009 :1–10.

- 247. Tandjiekpon, A.M. (2005).** Caractérisation du système agroforestier à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* Linnaeus) en zone de savane au Bénin, mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi. 122p.
- 248. Talasila, U. Beebi, S.K. and Vechalapu, R.R. (2017).** Preservation of cashew apple juice using Aloe vera and hydroxychavicol, *Nutrafoods*, 16, 159-165.
- 249. Tcherkez, G. (2002).** Les fleurs : évolution de l'architecture florale des angiospermes. Paris : Dunod éd. 178 p.
- 250. Teodoro, R., De Oliveira, J.J., Nascimento D.V.D. and Stefani, R. (2014).** Phytochemical Screening and Comparison of DPPH Radical Scavenging from Different Samples of Coffee and Yerba Mate Beverages, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4, 1-7.
- 251. Telfer, E., Graham, N., Stanbra, L., Manley, T. and Wilcox, P. (2013).** Extraction of high purity genomic DNA from pine for use in a high-throughput Genotyping Platform. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 43(1), 3. <https://doi.org/10.1186/1179-5395-43-3>
- 252. Thimmaraju, K.R., Reddy, M.A.N., Reddy, B.G.S. and Sul-ladmath, U.V. (1980).** Studies on the oral biology of cashew *Anacardium occidentale* L. *Mysore Journal of Agricultural Science* 14, 490–497.
- 253. Totjssaint-Norlet, P., Giffard, (1961).** Les plantations de Darcassou (*Anacardium occidentale* L.) au Sénégal, ISRA, rapport n° 1082/232/663, 35 p.
- 254. Trekpo, P. (2003).** Projet Restauration des Ressources Forestières de Bassila. La Culture de l'Anacardier dans la Région de Bassila au Nord Bénin. 53 p.
- 255. Trevisan, M.T.S., Pfundstein, B., Haubner, R., Wurtele, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H. (2005).** Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity. *Food Chem Toxicol*, 44, 188-197.
- 256. Tucker, K.L., Hannan, M.T., Chen, H., Cupples, L.A., Wilson P.W.F. and Kiel, D.P. (1999).** Potassium, magnesium and fruit and vegetable intakes are associated with greater bone mineral density in elderly men and women, *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 727-36.
- 257. Tuo, G. (2007).** Analyse de la filière anacarde en Côte d'Ivoire : stratégie de développement et lutte contre la pauvreté. Mémoire de DEA, Université de Bouaké, 80p.

- 258. United States Department of Agriculture: USDA, (2002).** Nutrition Database for Standard Reference. United States Department of Agriculture, Washington DC. Wargovich, M.J. (2000) Anticancer Properties of Fruits and Vegetables. *HortScience*, 35, 573-575. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.4.573>
- 259. USAID, (2006).** La chaîne de valeurs anacarde au Sénégal, analyse et cadre stratégique d'initiatives pour la croissance de la filière. 78 p.
- 260. Van Eijnatten, C.L.M. (1991).** *Anacardium occidentale* L. In: Verheij EWM, Coronel RE, 1991. eds. Plant Resources of South-East Asia, No. 2: *Edible Fruits and Nuts*. Wageningen, the Netherlands: Pudoc/Prosea, 60-64.
- 261. Varma, A., Padh, H. et Shrivastava, N. (2007).** Plant genomic DNA isolation: an art or a science. *Biotechnology Journal: Healthcare Nutrition Technology*, 2(3) :386-392.
- 262. Vinson, J.A., Yong, A., Xuelci, S., Ligid, Z. and Bose, P. (2001).** Phenol antioxidant and quantity and quality in foods. *J Agric Food Chem.*, 49: 5315–5322.
- 263. Von Maydell, H.J. (1983).** Arbre et arbuste du Sahel, leurs caractéristiques et leurs utilisations. 531p.
- 264. Wagner, R.G. (2000).** Competition and critical-period thresholds for vegetation management decisions in young conifer stands. *The Forestry Chronicle*, 76, 961 – 968.
- 265. Wargovich, M.J. (2000).** Anticancer properties of fruits and vegetables, *Hort. Sci.*, 35, 573-575.
- 266. Webb, D.B., Wood, P.J., Smith, J.P. and Henman, G.S. (1984).** A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations». *Tropical-Forestry-Papers, CommonwealthForestryInstitute, -University-of-Oxford.*, No. 15 (rev.), ii + 256 pp.; 175 ref.
- 267. Weerasena, O.V.D.S.J., Amarasekara, A.S. and Wijesundera, R.L.C. (1993).** Fungicidal activity of synthetically modified cashew nut shell. *J. Nat Sci. Coun. Sri-Lanka*. 21: 253-258.
- 268. Wunnachit, W. and Sedgley, M. (1992).** Flow structure and phenology of cashew in relation to yield. *Journal of Horticultural Science* 67, 769-77.

- 269. Yabi, I. (2008).** Etude de l'agroforesterie à base d'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le centre du Bénin. Thèse de doctorat unique de géographie, EDP/FLASH, UAC, 240 p.
- 270. Yu, D., Zhang, J., Tan, G., Yu, N., Wang, Q., Duan, Q., Qi, X., Cheng, M., Yan, C., Wei, Z., Yu, Z., Huang, W., and Li, C. (2019).** An easily-performed high-throughput method for plant genomic DNA extraction. *Analytical Biochemistry*, 569, 28-30. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.01.007>
- 271. Zarnock, S.J. and Dell, T.R. (1985).** An evaluation of percentile and maximum likelihood estimators of Weibull parameters. *Forest Sciences*. 31: 260-268.
- 272. Zidani, S., Ferchichi, A., and Chaieb, M. (2005).** Genomic DNA extraction method from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) leaves. *Revue africaine de biotechnologie*. 4(8) :862-866.

**Annexes :**

**Annexe 1 : fiche de collecte de données dendrométriques**

Localité	Echantillon	Paramètres dendrométriques											
						DH			Port arbre				
		Age	Dt	Ht	Hbr	E-W	N-S	NBC	CE	AE	ECF	PR	ECO
	KGN7												
	KGN12												
	KGN16												
	KGN19												
	SIN31												
	SIN251												
	SIN254												
	MGCD1												
	MGCD4												
	MGCD6												
	Db9												
	BC11												

**Dt** = diamètre du tronc ; **Ht** = hauteur totale ; **Hbr** = hauteur première branche ; **DH** = diamètre du houppier ; **NBC** = nombre de branches charpentières ; **CE** = couleur écorce ; **AE** = aspect écorce ; **ECF** = érigé à canopée fermée ; **PR** = port rampant ; **ECO** = érigée à canopée ouverte

**Annexe 2 : fiche de collecte de données foliaires**

Localité	Echantillon	Paramètres foliaires				
		Longueur limbe	Largeur limbe	Taille Pétiole	Forme feuille	Couleur feuille
	KG7					
	KG12					
	KG16					
	KG19					
	SIN31					
	SIN251					
	SIN254					
	MGCD1					
	MGCD4					
	MGCD6					
	Db9					
	BC11					

**Annexe 3 : fiche de collecte de données florales**

Localité	Echantillon	Paramètres floraux				
		Fleurs mâles	Fleurs bisexuées	Ratio Floral	Pic floraison	Saison floraison
	KG7					
	KG12					
	KG16					
	KG19					
	SIN31					
	SIN251					
	SIN254					
	MGCD1					
	MGCD4					
	MGCD6					
	Db9					
	BC11					

**Annexe 4 : fiche de collecte de données de la noix et de production**

Localité	Echantillon	Paramètres noix et de production								
		LN	LgN	EN	PN	IcN	IsN	CN	FN	PN_kg
	MGCD6									
	DC11									
	Sk1									
	Sk2									
	KOL8									
	KOL11									
	KOL13									
	BC5									
	SIN252									
	BKD1									
	BKM17									

**LN** = longueur noix ; **LgN** = largeur noix ; **EN** = épaisseur noix ; **PN** = poids noix ; **IcN** = Indice de calibre de la noix ; **IsN** = indice de sphéricité de la noix ; **CN** = couleur de la noix ; **FN** = forme de la noix ; **PN\_kg** = production en noix

## Annexe 5 : carte morphopedologique-légende

<b>FORMATIONS SUR TERRAINS SECONDAIRES ET TERTIAIRES</b>	
<b>5. Formations sur grès plus ou moins argileux du "Continental Terminal" (Oligo-Mio-Pliocène)</b>	
<b>Plateaux et buttes résiduels</b>	
Oa1	<i>Lithosols sur cuirasse</i>
Oa2	<i>Lithosols sur cuirasse ; régosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire</i>
Oa3	<i>Lithosols sur cuirasse ; régosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux peu profonds, tronqués</i>
c / Oa4 / g	<i>sols peu évolués d'apport hydromorphes ou régosols, sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau de colmatage ; lithosols sur cuirasse (c : phase largement cuirassée, g : phase gravillonnaire)</i>
Oa5	<i>Lithosols sur cuirasse ; sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire</i>
Oa6	<i>Sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire</i>
Oa7 / s	<i>Régosols sur matériau gravillonnaire et lithosols sur cuirasse (s : phase d'ensablement actuel)</i>
Oa8	<i>Sols ferrugineux sur matériau gravillonnaire ; sols brun rouge subarides tronqués ; lithosols sur cuirasse</i>
Oa9	<i>Sols brun rouge subarides tronqués et sols ferrugineux sur matériau gravillonnaire</i>
Oa10	<i>Sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés, bien drainés</i>
Oa11	<i>Sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés, moins bien drainés</i>
Oa12	<i>Sols ferrugineux tropicaux lessivés</i>

Oa13	<i>Sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur cuirasse</i>
Oa14	<i>Sols ferrugineux tropicaux divers, peu ou non lessivés, lessivés, hydromorphes et lithosols sur cuirasse ou régosols sur matériau gravillonnaire</i>
Oa15	<i>Sols faiblement ferrallitiques ; sols ferrugineux tropicaux lessivés ; sols peu évolués</i>

<b>Terrasses sableuses</b>	
Ld	<i>Sols peu évolués d'apport</i>
<b>Complexe côtier</b>	
Le	<i>Sols halomorphes sur matériau plutôt argileux ; sols hydromorphes sur matériau argileux ; sols peu évolués d'apport sur sables exondés</i>
<b>Levées</b>	
Lfx	<i>Faisceaux de levées subactuelles – sols hydromorphes, sols halomorphes et sols peu évolués</i>
Lfy1	<i>Levées et deltas de rupture – sols halomorphes salins acidifiés, avec sols hydromorphes à gley</i>
Lfy2	<i>Levées et deltas de rupture – sols halomorphes salins acidifiés, avec sols salins très acides</i>
<b>Cuvettes de décantation</b>	
Lg1	<i>Sols hydromorphes</i>
Lg2	<i>Sols hydromorphes, sols à gley salé</i>
Lg3	<i>Sols hydromorphes, sols halomorphes salins acidifiés peu acides</i>
Lg4	<i>Sols halomorphes salins acidifiés peu acides à très acides</i>
Lg5	<i>sols halomorphes salins acidifiés très acides</i>
<b>Dépôts lagunaires</b>	
Lh1	<i>Sols hydromorphes</i>
Lh2	<i>Sols halomorphes</i>
<b>2. Formations sur dépôts alluviaux et colluviaux</b>	
<b>Terrasses colluvio-alluviales, vallons fonctionnels</b>	
Aa1	<i>Sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes, sur matériau colluvial</i>
Aa2	<i>Sols peu évolués d'apport hydromorphes ou sols hydromorphes, sur matériau gravillonnaire</i>
Aa3	<i>Sols hydromorphes, sur matériau alluvial</i>
Aa4	<i>Sols ferrugineux tropicaux lessivés, à concrétions et à taches</i>
<b>Vallées mortes</b>	
Ab1 / s	<i>Sols hydromorphes, sur matériau gravillonnaire (s : phase d'ensablement actuel)</i>
Ab2 / s	<i>Sols hydromorphes, sur matériau argileux (s : phase d'ensablement actuel)</i>
Ab3	<i>Sols hydromorphes, sur matériau sableux</i>
Ab4	<i>Sols hydromorphes, sur matériau très humifère</i>
<b>Vallées sèches anastomosées</b>	
Ac1	<i>Terrasses et bourrelets alluviaux (Ferlo et affluents) – sols hydromorphes et sols ferrugineux tropicaux peu évolués</i>
Ac2	<i>Terrasses et bourrelets alluviaux (Sine Saloum) – sols peu évolués d'apport</i>

**Annexe 6 : clusters d'anacardiens de la Casamance**

<b>Cluster</b>	<b>Liste des villages</b>	<b>Liste des anacardiens</b>
<b>I</b>	Agnack	Agk1 ; Agk2 ; Agk3 ; Agk4 ; Agk5 ; Agk6 ; Agk7 ; Agk8 ; Agk9 ; Agk10 ; Agk11 ; Agk12 ; Agk13 ; Agk14 ; Agk15
	Baghagha	Bgh1 ; Bgh2 ; Bgh3 ; Bgh4 ; Bgh6 ; Bgh7 ; Bgh8 ; Bgh9 ; Bgh10 ; Bgh11 ; Bgh13 ; Bgh14 ; Bgh15
	Boutoupa Camaracounda	BC11
	Diabir	Db3 ; Db5 ; Db7 ; Db8 ; Db9 ; Db10 ; Db11 ; Db12 ; Db13 ; Db14 ; Db15
	Mangacounda	MGCD1 ; MGCD2 ; MGCD4 ; MGCD6 ; MGCD8
	Manécounda	MCD47 ; MCD58 ; MCD61
	Mlomp	Mlp1 ; Mlp6 ; Mlp9 ; Mlp10 ; Mlp13 ; Mlp14
	Thionck Essyl	T_E3 ; T_E6 ; T_E7 ; T_E9 ; T_E11 ; T_E12 ; T_E13 ; T_E14 ; T_E15
	Oussouye	Ous3 ; Ous5 ; Ous6 ; Ous7 ; Ous8 ; Ous9
	Sananco	SNC4
	Saré Dianfo	SD1 ; SD2 ; SD3 ; SD4 ; SD5 ; SD7 ; SD8 ; SD9 ; SD11 ; SD12 ; SD13 ; SD16 ; SD18 ; SD20
	Saré Guéladio	SG1
	Sanankoro	Sk1 ; Sk2 ; Sk4 ; Sk5
	Sina	SIN31 ; SIN251 ; SIN254
	Tobor- Baghagha	T_Bgh1 ; T_Bgh2 ; T_Bgh3 ; T_Bgh4 ; T_Bgh5 ; T_Bgh6 ; T_Bgh7 ; T_Bgh8 ; T_Bgh9 ; T_Bgh10 ; T_Bgh11 ; T_Bgh12 ; T_Bgh13 ; T_Bgh14 ; T_Bgh15
	Tobor	T4 ; T7 ; T8 ; T9 ; T10 ; T11 ; T12 ; T13 ; T15
	Kougne	KGN7 ; KGN12 ; KGN13 ; KGN14 ; KGN16 ; KGN19
	Kounayang	KNY18
	Kolane	KOL1 ; KOL2 ; KOL8 ; KOL11 ; KOL12 ; KOL13 ; KOL14 ; KOL16 ; KOL17 ; KOL18 ; KOL19 ; KOL20 ; KOL21 ; KOL23 ; KOL24 ; KOL25 ; KOL28

	Sananco	SNC1 ; SNC8
	Saré madiwou	SM11
	Sanankoro	Sk6 ; Sk10
	Mlomp	Mlp4 ; Mlp5 ; Mlp7 ; Mlp11 ; Mlp12 ; Mlp15
	Thionck Essyl	T_E2 ; T_E4 ; T_E5
	Tobor	T1 ; T2 ; T3 ; T5 ; T6 ; T14
	Diabir	Db2 ; Db4
<b>II</b>	Adéane	Adn2 ; Adn8 ; Adn13
	Boutoupa	BC1 ; BC2 ; BC3 ; BC5 ; BC6 ; BC8 ; BC9 ; BC10 ; BC12 ;
	Camaracounda	BC13 ; BC14 ; BC15
	Boukarcounda	BKD2 ; BKD3 ; BKD4 ; BKD5 ; BKD6 ; BKD7 ; BKD8
	Mangacounda	MGCD3 ; MGCD5 ; MGCD7 ; MGCD9 ; MGCD10 ; MGCD11 ; MGCD12 ; MGCD13
	Manécounda	MCD51 ; MCD52 ; MCD53 ; MCD54 ; MCD55 ; MCD56 ; MCD59 ; MCD60 ; MCD63 ; MCD64 ; MCD65 ; MCD66
	Birkama	BKM1 ; BKM2 ; BKM4 ; BKM5 ; BKM7 ; BKM9 ; BKM10 ; BKM11 ; BKM12 ; BKM13 ; BKM15 ; BKM16 ; BKM18 ; BKM19 ; BKM20
	Fassane	FAS11 ; FAS13 ; FAS15 ; FAS18
	Sina	SIN12 ; SIN249 ; SIN250 ; SIN253 ; SIN255 ; SIN256 ; SIN258 ; SIN260 ; SIN265 ; SIN267
	Kougne	KGn4 ; KGn5 ; KGn6 ; KGn10
	Kounayang	KNY1 ; KNY2 ; KNY3 ; KNY4 ; KNY5 ; KNY6 ; KNY7 ; KNY8 ; KNY9 ; KNY10 ; KNY11 ; KNY12 ; KNY13 ; KNY14 ; KNY15 ; KNY16 ; KNY17 ; KNY19 ; KNY20
	Kolane	KOL3 ; KOL4 ; KOL5 ; KOL6 ; KOL7 ; KOL9 ; KOL10 ; KOL15 ; KOL22 ; KOL26 ; KOL27
	Kougne	KGn8 ; KGn9 ; KGn11
	Sina	SIN252 ; SIN257 ; SIN259 ; SIN268 ; SIN269
Fassane	FAS12 ; FAS14 ; FAS16 ; FAS17 ; FAS19	
Birkama	BKM3 ; BKM6 ; BKM8 ; BKM14 ; BKM17	
Manécounda	MCD46 ; MCD48 ; MCD49 ; MCD50 ; MCD62 ; MCD67	
Boukarcounda	BKD1	

	Boutoupa	BC4 ; BC7
	Camaracounda	
<b>III</b>	Adéane	Adn3 ; Adn4 ; Adn5 ; Adn9 ; Adn10 ; Adn11 ; Adn12 ; Adn14
	Baghagha	Bgh5 ; Bgh12
	Diabir	Db2 ; Db6
	Thionck Essyl	T_E2 ; T_E8 ; T_E10
	Mlomp	Mlp2 ; Mlp3 ; Mlp8
		Ous1 ; Ous2 ; Ous4 ; Ous10 ; Ous11 ; Ous12 ; Ous13 ; Ous14 ;
	Oussouye	Ous15
	Sanankoro	Sk3 ; Sk7 ; Sk8 ; Sk9
	Saré Guéladio	SG1 ; SG3 ; SG4 ; SG5 ; SG6 ; SG7 ; SG8 ; SG9 ; SG10
		SM1 ; SM2 ; SM3 ; SM4 ; SM5 ; SM6 ; SM7 ; SM8 ; SM9 ;
	Saré Madiwou	SM10 ; SM12 ; SM13 ; SM14 ; SM15
	Saré Dianfo	SD6 ; SD10 ; SD14 ; SD15 ; SD17 ; SD19
	SNC2 ; SNC3 ; SNC5 ; SNC6 ; SNC7 ; SNC9 ; SNC10 ;	
Sananco	SNC11 ; SNC12 ; SNC13 ; SNC14 ; SNC15 ; SNC16 ; SNC17 ; SNC18 ; SNC19 ; SNC20	
	GYB1 ; GYB2 ; GYB3 ; GYB4 ; GYB5 ; GYB6 ; GYB7 ; GYB8 ; GYB9 ; GYB10 ; GYB11 ; GYB12 ; GYB13 ;	
Guiro Yoro	GYB14 ; GYB15 ; GYB16 ; GYB17 ; GYB18 ; GYB19 ;	
Bocar	GYB20 ; GYB21 ; GYB22 ; GYB23 ; GYB24 ; GYB25 ; GYB26 ; GYB27 ; GYB28 ; GYB29 ; GYB30 ; GYB31 ; GYB32 ; GYB33 ; GYB34 ; GYB35 ; GYB36	

## Annexe 7 : articles publiés



Food and Nutrition Sciences, 2022, 13, 439–452  
<https://www.scirp.org/journal/fns>  
ISSN Online: 2157-9458  
ISSN Print: 2157-944X

# Physicochemical, Biochemical and Antioxidant Potential Characterisation of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) from the Agro-Ecological Zone of Casamance (Senegal)

Landing Ndiaye<sup>1\*</sup>, Mohamed Mahamoud Charahabil<sup>1</sup>, Lahat Niang<sup>2</sup>, Abdoulaye Diouf<sup>3</sup>, Khemes Marie Odile Thiocone<sup>1</sup>, Nicolas Cyrille Ayessou<sup>2</sup>, Malainy Diatta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Agroforestry and Ecology Laboratory (LAFE), UASZ, Ziguinchor, Senegal

<sup>2</sup>Water, Energy, Environment and Industrial Processes Laboratory (LE3PI), ESP-UCAD, Dakar, Senegal

<sup>3</sup>Mathematic and Application Laboratory, UASZ, Ziguinchor, Senegal

<sup>4</sup>Senegalese Institute of Agricultural Research, National Forest Research Centre (ISRA/CNRF), Dakar, Senegal

Email: \*ln8@zig.univ.sn

**How to cite this paper:** Ndiaye, L., Charahabil, M.M., Niang, L., Diouf, A., Thiocone, K.M.O., Ayessou, N.C. and Diatta, M. (2022) Physicochemical, Biochemical and Antioxidant Potential Characterisation of Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.) from the Agro-Ecological Zone of Casamance (Senegal). *Food and Nutrition Sciences*, 13, 439–452. <https://doi.org/10.4236/fns.2022.134052>

**Received:** March 26, 2022

**Accepted:** April 25, 2022

**Published:** April 28, 2022

Copyright © 2022 by author(s) and Scientific Research Publishing Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

In Africa, the number of undernourished people is increasing at an alarming rate. However, fruits play an important role in humans, especially as a source of vitamins and minerals. In Senegal, there is research on the nut, but no attention given to the cashew apple. The present study contributes to the evaluation of the physicochemical and biochemical properties of cashew apple juice from the eco-geographical area of Casamance, in southern Senegal. The plant material consists of cashew apples collected in June 2021 from 120 cashew trees. Three batches were constituted for this purpose, taking into account the colour of the apples (red, yellow, and orange). AFNOR standardised methods were used for the physicochemical and biochemical characterisation of cashew apple juice. The dry extract, dry matter, and ash content of the red, yellow, and orange varieties ranged from 14 to 14.70 °Brix; 12.96% to 14.17%, and 0.24 to 0.35 g/100g respectively. The multivariate analysis of variance by permutation allowed us to identify two groups of cashew apples. The first group, consisting of orange cashew apples, had the best nutritional quality and was very rich in total minerals (0.35 g/100g) and reducing sugars (18.69 mg/100g). The second group, made up of red and yellow apples, is particularly rich in protein (0.52 g/100ml) and antioxidants (43.28% in IP). Antioxidant power is positively correlated with total phenolic content ( $r = 0.99$ ). Cashew co-products have a high nutritional value and a considerable economic issue.



**Valeur nutritionnelle et énergétique des pommes de cajou  
(*Anacardium occidentale* L.) de la Casamance, Sénégal**

Landing NDIAYE<sup>1\*</sup>, Mohamed Mahamoud CHARAHABIL<sup>1</sup>, Lahat NIANG<sup>2</sup>, Abdoulaye DIOUF<sup>3</sup>  
et Nicolas Cyrille AYEISSOU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), UFR Sciences et Techniques, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie, (LAFE), BP 523 Ziguinchor, Sénégal

<sup>2</sup> Université Cheikh Anta DIOP, École Supérieure Polytechnique, Laboratoire Eau, Énergie, Environnement et Procédés Industriels (LE3PI), BP 5080 Dakar Fann, Sénégal

<sup>3</sup> Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), BP 523 Ziguinchor, UFR Sciences et Techniques, Laboratoire de Mathématiques et Applications, Ziguinchor, Sénégal

(Reçu le 20 Juin 2022 ; Accepté le 1<sup>er</sup> Août 2022)

---

\* Correspondance, courriel : [l.n8@zig.univ.sn](mailto:l.n8@zig.univ.sn)

## Résumé

La faim et la malnutrition demeurent un fléau mondial et affectent près de huit cents millions de personnes dont la majorité se trouve dans les pays en voie de développement. Dans ces pays, l'agriculture connaît un abaissement et l'aide alimentaire est toujours d'actualité. La valorisation des produits de l'anacardier notamment la pomme pourrait être une des voies de résilience des ménages agricoles vulnérables. L'objectif

## **Annexe 8 : protocoles d'extraction**

- **Protocole standard d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles au CTAB**

### **Tampon d'extraction de l'ADN**

Le broyat de chaque échantillon de feuille a été récupéré dans un tube eppendorf de 2mL auquel a été ajouté 750 µL de tampon de lyse CTAB 2% [Tris-HCL 1M (pH 8,0), EDTA 20 mM (pH 8,0), NaCl 1,4 M et DTT 0,01 M (1%)]. Les autres produits d'extraction sont le tampon de lavage [70 % d'éthanol et 3 mol/L mM d'acétate de sodium] et une solution de prélavage au chloroforme-alcool isoamylique (24 : 1) (v / v).

### **Broyage des échantillons**

Au LNRPV, les pétioles et les fragments de rameaux sont découpés et éliminés et les limbes de feuilles juvéniles secs ont été coupés en petits morceaux. Sur chaque échantillon, environ 100 mg à 200 mg de matériel foliaire a été prélevé. Ces échantillons ont été misent dans des tubes eppendorf de 2ml identifié par un code barre, broyés et mis en poudre à l'aide d'un vibrobroyeur à billes en inox de type MM400. À noter que dans d'autres tests le broyage s'est fait à l'aide de mortier et de pilon en présence de 750 uL de tampon de lyse [Tris(100mM), NaCl (1,4 mol/L), EDTA (0,02 mol/L), CTAB (0,119M) à 2%] à pH 8.

### **Extraction d'ADN génomique**

L'extraction de l'ADN, a été faite suivant le protocole du bromure de céthyltriméthyl ammonium (CTAB) au Chloroforme alcool isoamylique. La méthode du CTAB convient pour l'extraction et la purification d'ADN des végétaux et d'aliments tirés des végétaux et convient particulièrement pour la suppression des polysaccharides et des composés polyphénoliques qui affectent la pureté de l'ADN et donc sa qualité (Lipp *et al.*, 1999). À cet effet, dans les tubes contenant la poudre de feuilles, on ajoute une quantité de 750 µL de tampon de lyse contenant l'antioxydant DTT (1%). Les tubes sont ensuite fermés de façons étanches et fixées à un portoir après que leur contenu soit mélangé vigoureusement par retournement. Le portoir a été fixé dans le bain-marie de manière à ce que les tubes soient allongés horizontalement, incubé 30 mn sous agitation modérée à 74°C et homogénéisés toutes les cinq minutes, pour faciliter la lyse thermique des cellules et extraire les polyphénols. Au bout de ce temps, les tubes sont sortis du

bain-marie et on les laisse refroidir quelques minutes (six) sur la paillasse à température ambiante.

### **Déprotéinisation**

La déprotéinisation est basée sur le principe de la solubilité différentielle des molécules entre deux phases (polaire et apolaire) non miscibles. L'ADN libéré par lyse (physique, chimique et thermique) des membranes des cellules et des enveloppes nucléaires, est débarrassé d'une grande partie des protéines et d'autres impuretés. À cet effet, on a ajouté sous la hotte chimique aspirante volume à volume 750  $\mu$ L de solution chloroforme iso-amylique (24 :1) au tube refroidi. La solution dans chaque tube eppendorf est agitée doucement une cinquantaine de fois par inversions douces avant d'être centrifugée à 10.000 rotations par minute (rpm) à 10°C pendant 10 minutes. Pendant ce temps, une seconde série de tubes eppendorf de 1,5 ml ont été préparés. Le surnageant contenant l'ADN, a été récupéré avec précaution à l'aide d'une pipette poire de 100 à 1000  $\mu$ L, tout en évitant de prélever l'interphase contenant les protéines dénaturées mélangées aux débris végétaux.

### **Précipitation de l'ADN**

Au surnageant obtenu à l'étape de déprotéinisation, environ 500  $\mu$ L de chaque échantillon transvasé dans de nouveaux tubes eppendorf stériles de 1,5 ml, on ajoute respectivement 0,6 volume de solution d'isopropanol à -20°C (333  $\mu$ l) et 0,1 volume d'acétate de sodium 3M pH5 (50 $\mu$ l). Après avoir mélangé par inversions douces la solution, on laisse précipité l'ADN, en mettant les tubes au congélateur à - 20°C pendant 15 mn. Au bout de ce temps, les tubes sont sortis et centrifugés à nouveau à 10.000 rpm pendant 10 mn et à 4°C.

Le surnageant a été éliminé par retournement dans un bêcher et en portant attention à ne pas faire tomber le culot d'ADN qui se trouve au fond du tube.

### **Purification de l'ADN**

Les culots d'ADN de taille et de couleur variable selon l'échantillon, obtenus à l'étape de précipitation sont rincés deux fois de suite chacun avec une quantité de 750  $\mu$ l d'éthanol à 70 % et décollé délicatement. Les culots d'ADN contenant l'éthanol sont laissés 30 minutes au repos sur la paillasse. Après avoir mélangé doucement et par retournement la solution, on a centrifugé pendant 10 min à 10.000 rpm et à 4°C. Le surnageant a été éliminé dans un bêcher comme précédemment. Les culots d'ADN ont été séchés au four environ 10 à 20 minutes, à

température médium à 35/45°C. Une fois secs, les culots d'ADN ont été alors dissous à température ambiante dans un volume de 50 µL de l'eau miliQ et conservés à -20°C avant dosage. L'ADN en solution a été laissé suspendu sur la paillasse à température ambiante. La vérification de la pureté des extraits d'ADN ainsi que la quantification de leur concentration ont été faite avec le spectrophotomètre NANODROP LITE.

- **Protocole d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles du CTAB modifié de Doyle and Doyle (1987)**

L'extraction d'ADN a été faite sur des feuilles séchées dans du gel de silice en forme de billes. Elle a été faite suivant le protocole de Doyle JJ and Doyle JL (1987) utilisant du bromure de céthyltriméthyl ammonium (CTAB) et du Chloroforme alcool isoamylique auquel nous avons apportés quelques modifications afin d'avoir une meilleure qualité d'ADN.

Environ 20-50 mg de matériel foliaire ont été broyés à l'aide d'un mortier et d'un pilon dans 800 µL du tampon de lyse CTAB 2% [Tris-HCL 1M, EDTA 20 mM, NaCl 1.4 M et DTT 0.01M (2% v/v) avec un pH 8.0]. Pour chaque échantillon, les broyats ont été récupérés dans des tubes 2mL puis incubés dans un bain-marie à 74°C pendant 30 minutes, tout en mélangeant par inversement les tubes tous les 5 minutes. Une fois cette étape terminée, les échantillons ont été refroidis à température ambiante pendant 6 à 8 minutes sur la paillasse. Sous la hotte, 750 µL de solution Chloroforme-alcool isoamylique (24 :1) ont été rajoutés dans les tubes. Les tubes ont été centrifugés à 10 000 rpm pendant 10 minutes à 10°C, puis le surnageant (environ 500µL) a été collecté dans de nouveaux tubes de 1,5mL. Une fois cette étape terminer, 0,7 volume d'isopropanol -20°C et 0,1 volume d'acétate de sodium (3 M, pH 5), soit 333 µL d'isopropanol 50 µL d'acétate de sodium, ont étaient rajoutés dans les nouveaux tubes, puis ils ont été remués délicatement par inversement jusqu'à formation de pellet d'ADN puis incubé à 20°C pendant 20 minutes, pour faciliter la précipitation de l'ADN. Afin d'avoir un « culot d'ADN » les tubes ont été centrifugés à 10 000 rpm à 4°C pendant 10 minutes, puis le surnageant éliminé par retournement dans un bêcher tout en portant attention à ne pas faire tomber le culot qui se trouve « attaché » au fond du tube. Afin de laver le culot pour le débarrasser des sels et des traces de protéines, 750 µL d'éthanol 70% ont été rajoutés dans les tubes et le culot décollé délicatement en tapotant sur le tube. Pour une meilleure solubilisation des protéines, laisser 30 minutes à température ambiante puis centrifuger à 10000 rpm pendant 10 minutes à 4°C. Éliminer le surnageant et laisser le petit culot (ADN) sécher à l'air libre

(inverser le tube de microcentrifugation pendant environ une minute sur un papier de soie facilitera ce processus). Une fois le culot séché, resolubiliser l'ADN dans 50uL de TE 1X.

- **Méthode d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles du CTAB + bisulfite + PVP + Sorbitol**

Le tampon de lavage sorbitol est composé de :100 mM Tris-HCl pH 8,0 ; 0,35 M Sorbitol ; 5 mM EDTA pH 8,0 ; 1 % (p/v) Polyvinylpyrrolidone poids moléculaire 40 000 (PVP-40). Cette solution de base de tampon peut être conservée à 4°C, jusqu'à six mois. Le tampon de lavage est rendu prêt à l'emploi par l'ajout de 2-mercaptoéthanol (1 % v/v) avant l'extraction proprement dite. La solution finale d'extraction est composée de 100 mM Tris-HCl pH 8.0 ; 0,35 M Sorbitol ; 5 mM EDTA pH 8.0 ; 1 % (w/v) Polyvinylpyrrolidone poids moléculaire 40,000 (PVP-40) et 2-mercaptoéthanol (1 % v/v) (Inglis *et al.*, 2018). Les différentes étapes de l'extraction sont :

- 1) Broyer les feuilles (environ 100 à 200 mg) avec le tampon de lavage au sorbitol ;
- 2) Recueillir le broyat dans des tubes de 2 ml et mettre un excès de tampon de lavage (environ 1200 ul soit  $\frac{3}{4}$  des tubes), mélanger avec le multi shaker plate pendant 1 minute pour bien homogénéiser puis centrifuger à température ambiante pendant 5 min à 5000 rpm ;
- 3) Décanter le surnageant et répéter plusieurs fois l'opération (étape précédente) jusqu'à l'obtention d'un surnageant clair ;
- 4) Dans chaque tube 2mL, mettre un excès de tampon de lyse CTAB (environ 1200uL), mélanger avec le multi shaker plate pendant 1 minute pour bien homogénéiser puis incubé dans un bain marin à 60°C pendant 30 minutes ; tout en remuant les tubes tous les 5minutes ;
- 5) Refroidir à température ambiante pendant 8 minutes puis centrifuger à 10 000 rpm pendant 15 minutes à température ambiante ;
- 6) Récupérer le surnageant dans de nouveaux tubes 1,5 mL puis ajouter 750 uL de Chloroforme : isoamylique, mélanger avec le multi shaker plate pendant 5 minutes, puis centrifuger à 3000 rpm pendant 30 minutes à température ambiante (environ 30°C) ;
- 7) Transférer la phase aqueuse dans un nouveau tube de 1,5 mL ;
- 8) Ajouter 50 uL de T.E (eau miliQ) dans la solution chloroforme + PVP, centrifuger pendant 5 minutes à 14000 rpm à 4°C, récupérer le surnageant et le rajouté dans le tube contenant la phase aqueuse (facultatif) ;

NB : Répéter le procéder avec le chloroforme : isoamylique pour une meilleure élimination du PVP ;

- 9) Ajouter ½ de volume de NaCl (5M/4M), vortex pendant 30 secondes puis rajouter 2 volumes d'isopropanol (-20°C). Puis incuber pendant 1h à -20°C pour la précipitation (4 à 6°C pendant une nuit) ;
  - 10) Centrifuger à 14000 rpm pendant 6 minutes à 4°C ;
  - 11) Laver avec de l'éthanol 75 %, puis centrifuger à 4°C pendant 6 minutes à 1400 rpm. Laver une deuxième fois de suite pour plus de pureté ;
  - 12) Sécher à 37°C pendant 1h puis dissoudre le culot formé dans de l'eau miliQ (ou T.E)
- NB : une étape de purification des ARN et protéines est requise avec ajout de 3ul RNase (10mg/mL), incubé pendant 1h à 37°C, puis 3 uL de protéinase K (1mg/mL) à incubé pendant 15-30 minutes à 37°C ;
- 13) Ajouter 150 uL de phénol et 150 uL de chloroforme : isoamylique, soit 300 uL de solution PCI, puis vortexer pendant 5 minutes avec le multi shaker plate ;
  - 14) Centrifuger à 14000 rpm pendant 20 minutes à 4°C ;
  - 15) Récupérer délicatement le surnageant dans un nouveau tube de 1,5 mL ;
  - 16) Ajouter 50 uL de T.E (eau miliQ) à la phase phénolique, centrifuger pendant 5 minutes à 14000 rpm à 4°C, récupérer le surnageant et le rajouté dans le tube contenant la phase aqueuse. (Facultatif) ;
  - 17) Ajouter ¼ volume d'acétate de Sodium (50uL) vortexer puis rajouter 2 volumes d'isopropanol (500uL), remuer par inversement jusqu'à voir la précipitation de l'ADN (overnight) ;
  - 18) Centrifuger pendant 20 minutes à 14000 rpm ;
  - 19) Laver 2 fois à l'éthanol 75%, centrifuger pendant 5-6 minutes à 14000 rpm à 4°C ;
  - 20) Retirer l'éthanol puis faire sécher pendant 10 à 20 minutes ;
  - 21) Remise en suspension du culot d'ADN dans 50 uL de l'eau miliQ à température ambiante pendant 30min à 1h.

- **Protocole d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles de Porebski (1997) + PCI (Phénol, Chloroforme, Alcool Isoamylique)**

Comme avec le protocole standard du CTAB, environ 100 mg à 200 mg de matériel foliaire ont été broyés à l'aide de mortier et de pilon en présence de 750 uL de tampon de lyse [Tris(100mM), NaCl (1,4 mol/L), EDTA (0,02 mol/L), CTAB (0,119M) à 2%, PVP (1%)] à pH 8. Les broyats ont été récupérés dans des tubes 2mL puis incubés dans un bain-marie à 60°C pendant 30 minutes, tout en mélangeant par inversement les tubes tous les 5 minutes.

Ce protocole est près que similaire à celui protocole standard du CTAB, mais toutefois quelque différence sont notés. Cette méthode inclut deux étapes distinctes :

- ✚ La première juste après incubation, les échantillons sont refroidis à température ambiante avant l'ajout de 750 uL de Chloroforme + alcool isoamylique (CI : 24/1), sous hôte. Le mélange est agité une cinquantaine de fois avant de passer à la centrifugation à 3 000 rpm pendant 30 minutes à température ambiante.

Puis délicatement, nous prélevons environ 500 uL du surnageant que nous mettons dans un tube de 1,5 mL. Ajoutez ½ volume de NaCl (5M) et 2 volumes d'isopropanol (-20°C), puis incubez à -20°C pendant 10 à 15 minutes. Après cette étape, centrifugez à 3000 rpm pendant 6 minutes et procéder au lavage à éthanol et au séchage du culot comme pour la méthode standard du CTAB. À noter que pour le lavage la centrifugation est de 14 000 rpm pendant 6 minutes à 4°C.

- ✚ La deuxième étape est celle de l'utilisation du PCI : après avoir rajouté 150 uL de PCI dans le culot resolubilisé, secouez une cinquantaine de fois le mélange avant de passer à la centrifugation à 14 000 rpm pendant 20 minutes. Récupérez-le surnageant dans un tube de 1,5 mL en délicatesse pour éviter des contaminations provenant de la phase phénolique. Pour récupérer le maximum d'ADN, rajouter dans la phase phénolique environ 50 uL de T.E puis centrifugez pendant 5 minutes à 14 000 rpm puis récupérez-le surnageant. Sur le surnageant collecter rajouter ¼ d'acétate de sodium (3M) et 2 volumes d'isopropanol (-20°C), puis procédez à l'incubation à -20°C pendant toute la nuit (over night). Après centrifugation à 14 000 rpm pendant 20 minutes procédez au lavage à éthanol et au séchage du culot comme décrit durant la première phase. Resolubiliser le culot une fois sec dans 50 uL d'eau miliQ.

- **Protocole Kit Zymo research d'extraction de l'ADN génomique de feuilles juvéniles**

Pour des performances optimales, ajouter du bêta-mercaptoéthanol (fourni par l'utilisateur) au tampon de lyse génomique à une dilution finale de 0,5 % (v/v), c'est-à-dire 250 uL pour 50 ml ou 500 uL pour 100 ml.

- ❖ Ajoutez jusqu'à 150 mg d'échantillon de feuilles d'anacardier finement coupé dans un tube de lyse ZR BashingBead™ (2 mm). Ajouter 750 uL de tampon BashingBead™ au tube et boucher légèrement.
- ❖ Fixez le tube de lyse ZR BashingBead™ dans le batteur à billes avec un ensemble porte-tube de 2 ml et traitez à vitesse maximale pendant 25 minutes.

Note : Le temps de précession variera en fonction de l'entrée de l'échantillon et du batteur à billes. Les durées peuvent être aussi courtes que cinq minutes lors de l'utilisation de perturbateurs cellulaires à haute vitesse (préparation rapide-24) ou jusqu'à 20 minutes lors de l'utilisation de vitesses inférieures (par exemple, le perturbateur Génie).

- ❖ Centrifuger le tube de lyse ZR BashingBead™ de 2mm dans une microcentrifugeuse à 210 000 g pendant 1 minute.
- ❖ Transférer jusqu'à 400 uL de surnageant sur un filtre Zymo-Spin™ III-F dans un tube de prélèvement et centrifuger à 8 000 g pendant 1 minute. Jeter le filtre Zymo-Spin™ III-F.
- ❖ Ajouter 1 200 uL de tampon de lyse génomique au filtrat dans le tube de collecte de l'étape 4. Bien mélanger.
- ❖ Transférer 800 uL du mélange de l'étape 5 dans une colonne Zymo-Spin™ IICR dans un tube collecteur et centrifuger à 10 000 g pendant 1 minute.
- ❖ Jetez le flux du tube de collecte et répétez l'étape 6.
- ❖ Ajouter 200 uL de tampon de prélavage d'ADN à la colonne Zymo-Spin™ IICR dans un nouveau tube de prélèvement et centrifuger à 10 000 g pendant 1 minute.
- ❖ Ajouter 500 uL de tampon de lavage ADN à la colonne Zymo-Spin™ IICR et centrifuger à 10 000 g pendant 1 minute.
- ❖ Transférer la colonne Zymo-Spin™ IICR dans un tube de microcentrifugeuse propre de 1,5 ml et ajouter 100 uL (50 uL minimum) de tampon d'élution d'ADN directement dans la matrice de la colonne. Centrifuger à 10 000 g pendant 30 secondes pour éluer l'ADN.
- ❖ Placer un filtre Zymo-Spin™ III-HRC dans un tube de collecte propre et ajouter 600 uL de solution de préparation. Centrifuger à 8 000 g pendant 3 minutes.
- ❖ Transférer l'ADN élué sur un filtre à centrifuger Zymo-Spin™ III-HRC préparé dans un tube de microcentrifugeuse propre de 1,5 ml et centrifuger exactement à 16 000 g pendant 3 minutes.

L'ADN filtré convient désormais à la PCR et à d'autres applications en aval.

## **Annexe 9 : préparation de la solution de lyse CTAB**

### **Préparation des Tampons**

- Tris 1M : 24,22g pour 200 mL ; ajuster à pH 8 avec du HCl
- EDTA 200mM : 11,69g pour 200mL ; ajuster à pH 8 avec du KOH
- NaCl 4M : 46,75g pour 200mL

### **Tampon de lyse (100mL)**

- 10mL de Tris 1M
- 35mL de NaCl 4M
- 10mL EDTA 200mM
- 2g de CTAB (chauffer pour dissoudre)
- Ajouter 45mL d'eau distillée
- Ajouter DTT avant utilisation (détruit par la chaleur)

### Annexe 10 : protocole PCR n°1

Réactifs	Concentration initiale	Concentration finale	Volume(uL)
Tampon 5X	5X	1X	2
AmF	10mM	0,5mM	0,5
AmR	10mM	0,5mM	0,5
dNTPs	10uM	0,4uM	0,4
MgCl <sub>2</sub>	25mM	0,3mM	0,13
BSA	-	-	0,1
Go Taq	5U/uM	1U/uL	0,25
H <sub>2</sub> O	-	-	2,48
ADN			2

### Annexe 11 : protocole PCR n°3

Réactifs	Concentration initiale	Concentration finale	Volume(uL)
Tampon 5X	5X	1X	2
AmF	10mM	0,5mM	0,5
AmR	10mM	0,5mM	0,5
dNTPs	10uM	-	0,12
MgCl <sub>2</sub>	25mM	0,3mM	0,13
BSA	-	-	0,1
Go Taq	5U/uM	-	1
H <sub>2</sub> O	-	-	2,48
ADN			2

### Annexe 12 : test PCR n°1 en rapport avec le MgCl<sub>2</sub>

Réactifs	Concentration initiale	Concentration finale	Volume(uL)
Tampon 5X	5X	1X	2
AmF	10mM	0,7mM	0,7
AmR	10mM	0,7mM	0,7
dNTPs	10uM	-	0,5
MgCl <sub>2</sub>	25mM	1,5mM	0,6
BSA	10mM	0,16mM	0,16
Go Taq	5U/uM	-	0,5
H <sub>2</sub> O	-	-	2,48
ADN			2

**Annexe 13 : test PCR n°2 en rapport avec le MgCl2**

Réactifs	Concentration initiale	Concentration finale	Volume(uL)
Tampon 5X	5X	1X	2
AmF	10mM	0,7mM	0,7
AmR	10mM	0,7mM	0,7
dNTPs	10uM	-	0,5
MgCl2	25mM	0,3mM	0,12
BSA	10mM	0,16mM	0,16
Go Taq	5U/uM	-	0,5
H2O	-	-	2,48
ADN			2

**Annexe 14** : description du marqueur microsatellite

Amorce	Forward Primer (5'-3')	Reverse Primer (5'-3')	Taille
MAOR47	AAGAGCTGCGACCAATGTTT Longueur=20pb Tm=52°C	CTTGAACTTGACACTTCATCCA Longueur=22pb Tm=49°C	161-173