

Caractérisation structurale et phénotypique de la population d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) de la zone agroécologique de la Casamance (Sénégal)

Landing Ndiaye

Elhadji Nfally Yoro Diédhiou

Khêmes Marie Odile Thiocone

Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie, (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), UFR Sciences et Techniques, Ziguinchor, Sénégal

Abdoulaye Diouf

Laboratoire de Mathématiques et Applications,
Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), Ziguinchor, Sénégal

Athanase Diatta

Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie, (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), UFR Sciences et Techniques, Ziguinchor, Sénégal

Malainy Diatta

Institut Sénégalais de Recherche Agricole,
Centre National de Recherche Forestière (ISRA/CNRF), Senegal

Mohamed Mahamoud Charahabil

Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie, (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), UFR Sciences et Techniques, Ziguinchor, Sénégal

Approved: 15 August 2026
Posted: 17 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Ndiaye, L., Diédhiou, E.N.Y., Thiocone, K.M.O., Diouf, A., Diatta, A., Diatta, M. & Charahabil, M.M. (2026). *Caractérisation structurale et phénotypique de la population d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) de la zone agroécologique de la Casamance (Sénégal)*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.8.2026.p344>

Résumé

L'objectif principal de la présente étude est de déterminer l'hétérogénéité agromorphologique des anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) cultivés dans la zone agroécologique de la Casamance, au sud du Sénégal. La description standard des traits agromorphologiques de ces anacardiers a été faite grâce à la méthode International Board for Plant Genetic Resource. Les mesures effectuées sur 82 anacardiers 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), caulescent ($Hbr = 85,3$ cm), pourvus d'un ratio floral (RF) de 4,9% et une production moyenne de 16,8kg de noix. 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 en moyenne. 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 moyenne en noix de 6,5kg. Ces anacardiers sont localisés essentiellement dans la région de Kolda. Le rendement des anacardiers est déterminé par un ensemble de facteurs morphologiques et reproductifs, parmi lesquels le diamètre du houppier ($r = 0,59$) et le ratio floral ($r = 0,40$) jouent un rôle central. Ces résultats peuvent orienter les programmes de sélection variétale et les pratiques culturales vers des anacardiers à fort potentiel productif.

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

Structural and Phenotypic Characterization of the Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Population in the Agroecological Zone of Casamance (Senegal)

Landing Ndiaye

Elhadji Nfally Yoro Diédhiou

Khêmes Marie Odile Thiocone

Agroforestry and Ecology Laboratory (LAFE), Assane Seck University of Ziguinchor (UASZ), Faculty of Science and Technology, Senegal

Abdoulaye Diouf

Mathematics and Applications Laboratory,
Assane Seck University of Ziguinchor (UASZ), Ziguinchor, Senegal

Athanase Diatta

Laboratory of Agroforestry and Ecology (LAFE), Assane Seck University of Ziguinchor (UASZ), Faculty of Science and Technology, Senegal

Malainy Diatta

Senegalese Institute for Agricultural Research,
National Centre for Forestry Research (ISRA/CNRF), Senegal

Mohamed Mahamoud Charahabil

Agroforestry and Ecology Laboratory (LAFE), Assane Seck University of Ziguinchor (UASZ), Faculty of Science and Technology, Senegal

Abstract

The main objective of the present study is to determine the agromorphological 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 Resources method. The measurements carried out on 82 cashew trees focused on the leaves, inflorescences, 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 16.8 kg on average. 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 13.9 kg on average. 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 on average. These cashew trees are located mainly in the Kolda region. The yield of cashew trees is

determined by a set of morphological and reproductive factors, among which the canopy diameter ($r = 0.59$) and the floral ratio ($r = 0.40$) play a central role. These results can guide varietal selection programs and cultural practices towards cashew trees with high productive potential.

Keywords: Characterization, phenotypic heterogeneity, morphotypes, *Anacardium occidentale* L., cultivated, Casamance

1. Introduction

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.), de la famille des *Anacardiaceae* est une espèce ligneuse originaire d'Amérique du Sud dans la région du Céara au nord-est de la côte du Brésil (Olher, 1979 ; Trévian *et al.*, 2005). L'espèce a été introduite dans les colonies africaines et asiatiques par les Portugais (Rao et Swamy, 1994). C'est une plante à intérêt multiple et varié (Ainan, 1996). L'anacardier est cultivé 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 notamment 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 puissant levier dans la lutte contre la pauvreté et le chômage des jeunes et des femmes. 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 sud du Sénégal (Dieng, 2020).

La Casamance qui polarise les régions administratives de Ziguinchor, de Sédhiou et de Kolda produit 90% pour la noix de cajou du Sénégal (PADEC, 2016), pour une production nationale estimée à 28 900 tonnes en 2019 (Hien, 2019).

La pépinière, le semis direct et l'association pépinière semis direct sont les trois modes de plantations rencontrés en Casamance (Ndiaye, 2020). Dans cette contrée du Sénégal, la superficie moyenne des plantations d'anacardiers est de $2,5 \pm 0,4$ ha à Ziguinchor, de $3,7 \pm 0,6$ ha à Sédhiou et de $2,1 \pm 0,4$ ha à Kolda (Ndiaye, 2020). Ces plantations se particularisent par leurs densités très élevées. En moyenne, la densité de ces plantations est de 167 ± 8 anacardiers/ha à Ziguinchor, de 198 ± 14 anacardiers/ha à Sédhiou et de 187 ± 23 anacardiers/ha à Kolda (Ndiaye, 2020). La plantation pure ou verger d'anacardier et la plantation mixte sont les principaux modes de plantation d'anacardier rencontrés en Casamance. Les plantations mixtes associent les anacardiers, la flore ligneuse et les cultures annuelles particulièrement l'arachide, le mil ou le niébé (Ndiaye *et al.*, 2017). En Casamance, plusieurs variétés agronomiques d'anacardiers ont été recensées à travers les traits morphométriques de leurs noix. Ces variétés agronomiques sont entre autres patron, maram, bénin rouge allongé, henry,

bénin jaune, kinta, bénin rouge, bénin jaune allongé, james, costa rica, jumbo et des variétés agronomiques considérées locales notamment ponceh et james (Diallo, 2013 cité par Ndiaye et *al.*, 2020).

Malheureusement les caractéristiques agromorphologiques et phénotypiques des anacardiens de ces différentes variétés agronomiques recensées grâce aux traits morphométriques des noix sont méconnus. Au niveau national, très peu d'études (Sankharé, 2018 ; Ndiaye et *al.*, 2019 ; Ndour, 2022) ont porté sur les caractères agromorphologiques et phénotypiques des anacardiens. Or la bonne connaissance des traits agromorphométriques et phénotypiques des anacardiens est indispensable pour mieux connaître les caractéristiques des différentes variétés agronomiques. Ainsi, la question principale qui se pose est de savoir : dans quelle mesure les populations d'anacardiens de la zone agroécologique de la Casamance présentent-elles une diversité agromorphologique et phénotypique significative permettant de distinguer des morphotypes spécifiques ?

C'est dans ce sillage qu'a été menée cette étude dont l'objectif général est de contribuer à l'évaluation de la diversité agromorphologique et phénotypique de la population d'anacardier de la zone agroécologique de la Casamance.

Deux hypothèses ont été testées :

H1 : le rendement est influencé par les caractéristiques morphologiques et florales qualitatives et quantitatives des anacardiens

H2 : les traits phénotypiques observés au sein des anacardiens sont suffisamment discriminants pour classer les principales variétés agronomiques recensées dans différents morphotypes.

Ces hypothèses ont permis de définir deux objectifs spécifiques :

OS1 : mettre en relation le rendement et les caractéristiques morphologiques et florales qualitatives et quantitatives des anacardiens

OS2 : déterminer les traits agromorphologiques des anacardiens.

2. Matériel et méthodes

2.1. Échantillonnage

La présente étude a été menée sur **82 anacardiens retenus parmi 411 arbres** caractérisés. Les 82 anacardiens caractérisés appartiennent à différentes variétés agronomiques (figure 1). Trois méthodes d'échantillonnages (stratifié, proportionnel et aléatoire avec critère) ont servi de déterminer la taille de l'échantillon (**82 pieds**) et de choisir les arbres (tableau 1). La méthode d'échantillonnage stratifié a permis de diviser la population d'anacardier (**411 arbres**) en groupe homogène (cluster). La méthode d'échantillonnage proportionnelle a permis de déterminer le nombre d'anacardier caractériser par cluster. A cet effet, un taux de sondage de 20%

a été retenu. La méthode d'échantillonnage aléatoire avec critère a permis de choisir les anacardiérs de chaque cluster. Au total **82 anacardiérs** répartis dans quatorze sites en Casamance ont été caractérisés. Le choix de la Casamance s'explique par le fait qu'elle produit plus de 90% de la production nationale de noix estimée à 160 000 tonnes en 2023 (MAER, 2023).

Tableau 1 : Structuration spatiale des 82 anacardiérs étudiés

Sites	Anacardiérs étudiés	Code	Variétés agronomiques rencontrés
Kougne	10	KGn4 ; KGn7 ; KGn8 ; KGn9 ; KGn11 ; KGn12 ; KGn13 ; KGn14 ; KGn16 ; KGn19	Costa rica ; Kinta ; Ponceh
Sina	6	SIN31 ; SIN251 ; SIN252 ; SIN254 ; SIN259 ; SIN269	Kinta
Mangacounda	3	MGCD1 ; MGCD4 ; MGCD6	Maram ; Ponceh
Diabir	1	Db9	Maram
Boutoupa Camaracounda	8	BC2 ; BC5 ; BC6 ; BC7 ; BC11 ; BC12 ; BC14 ; BC15	Ponceh ; James
Sanankoro	4	Sk1 ; Sk2 ; Sk4 ; Sk5	Maram
Saré Dianfo	7	SD1 ; SD2 ; SD3 ; SD4 ; SD5 ; SD7 ; SD8	Patron ; Bénin jaune
Kounayang	7	KNY1 ; KNY2 ; KNY3 ; KNY4 ; KNY6 ; KNY7 ; KNY8	Patron ; Maram
Fassane	8	FAS11 ; FAS12 ; FAS13 ; FAS14 ; FAS15 ; FAS16 ; FAS17 ; FAS19	Henry ; Maram
Kolane	9	KOL8 ; KOL9 ; KOL10 ; KOL11 ; KOL13 ; KOL15 ; KOL16 ; KOL18 ; KOL19	Bénin rouge ; Bénin jaune allongé ; Bénin rouge allongé
Manécounda	1	MCD52	James
Boucarcounda	3	BKD1 ; BKD2 ; BKD4	Bénin jaune
Birkama	4	BKM6 ; BKM8 ; BKM13 ; BKM14 ;	Bénin rouge ; Bénin rouge allongé
Saré Guéladio	8	SG1 ; SG3 ; SG4 ; SG5 ; SG6 ; SG8 ; SG9 ; SG10	Kinta ; Ponceh



Figure 1 : Diversité des noix rentrées en Casamance (Crédit photo : D. Diallo, ISRA, 2013)

2.2. Caractérisation agromorphométrique des anacardiérs

2.2.1. Caractérisation dendrométrique

La caractérisation dendrométrique a été faite par des descripteurs dendrométriques (IBPGR, 1986). Les quatre-vingt-deux (82) anacardiérs ont été d'abord numérotés à l'aide de peinture puis géolocalisés. Sur chaque site, sur chaque arbre, les mesures ont porté sur les variables dendrométriques. La hauteur totale « Ht » et le diamètre du tronc à hauteur de poitrine « D1,30m » ont été mesurées. Les variables de l'architecture du houppier dont la hauteur de première branche « Hbr » et le diamètre du houppier « DH » ont été mesurées. L'état du feuillage (port) de chaque anacardiér a été apprécié selon le descriptif de l'anacardiér (IPBGR, 1986) à trois niveaux : port érigé à canopée compacte, port érigé à canopée ouverte et port rampant. L'aspect et la couleur de l'écorce ont été définis. Le facteur dendrochronologique (âge) et les facteurs écologiques (région, département, commune et village) de chaque anacardiér ont été déterminés.

2.2.2. Caractérisation foliaire

Sur les quatre-vingt-deux (82) anacardiérs 40 feuilles par pied ont été collectées suivant les quatre directions (est, ouest, nord et sud) du houppier de l'arbre en raison de 10 feuilles par point cardinal, soit un total de trois milles deux cent quatre-vingts (3280) feuilles d'anacardiérs. 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

quantitatives foliaires mesurées sont la longueur et la largeur du limbe et la taille du pétiole.

2.2.3. Caractérisation florale

La principale variable étudiée dans cette partie est le ratio floral (RF). Ainsi, un échantillon de quatre inflorescences par arbre a été collecté de manière aléatoire, correspondant à une panicule par côté ; soit un total de 328 inflorescences récoltées sur les quatre-vingt-deux (82) anacardiés 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 selon la méthode IBPGR (1986). La saison de floraison (floraison précoce ou floraison tardive) et le nombre de pics de floraison ont été également évalués suivant une approche participative.

RF

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

Caractérisation morphopondérale du fruit (noix) de l'anacardier

Les noix de cajou ont été prélevées au hasard sur ces 82 anacardiés en raison de 30 noix par pied ; soit un total de 2460 noix. La description morphopondérale a porté sur :

- Les variables longueur, largeur et épaisseur de la noix ont été mesurés ;
- La masse unitaire de la noix a été déterminée ;
- La couleur et la forme de la noix ont été identifiées grâce au descriptif de l'anacardier (IPBGR, 1986).
-

2.2.4. Évaluation de la production

L'évaluation de la production en noix de cajou a porté sur ces 82 anacardiés. La quantité totale de noix de cajou produite par l'arbre a été pesée. Pour se faire, des sacs en jute ont été distribués à tous les propriétaires des pieds d'anacardiés sélectionnés pour la collecte des noix. Les mêmes numéros ont été gravés à la fois sur le sac et sur le pied de l'arbre à évaluer.

2.3. Analyses et traitements de données agromorphométriques

Les données quantitatives des variables dendrométriques, foliaires, florales et morphopondérales de la noix de cajou collectées ont été soumises à l'analyse de variance et à une Analyse en Composantes Principales (ACP) sous R package FactoMineR. La mesure η^2 (**eta squared**) de ANOVA a permis d'évaluer la corrélation entre le rendement et les caractéristiques morphologiques et florales qualitatives et quantitatives de l'anacardier.

Le nombre de morphotypes a été défini à l'aide de trois méthodes (elbow, silhouette moyenne et gap statistic) complémentaires (Kaufman et Rousseeuw, 1990 ; Kassambara, 2017).

La distribution spatiale des anacardiers des trois morphotypes a été représenté à l'aide du logiciel Arc GIS version 10.8. Les coordonnées GPS des anacardiers 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.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Relation entre le rendement et les variables morphologiques et reproductrices étudiées

Les effets du port de l'anacardier, de l'aspect et de la couleur de l'écorce sur le rendement en noix sont consignés dans la figure 2. Le rendement varie significativement d'un port à un autre (p -value $< 0,05$). En moyenne, les anacardiers qui présentent un port rampant sont plus productifs (32,72Kg) suivi des anacardiers à port érigé à canopée fermée (13,65Kg) et enfin de ceux à port érigé à canopée ouverte (9,93Kg). En revanche, l'aspect de l'écorce (p -value = 0,47) et la couleur de l'écorce (p -value = 0,37) n'influencent pas le rendement en noix.

ECF = port érigé à canopée fermée ; ECO = port érigé à canopée ouverte ; PR = port rampant

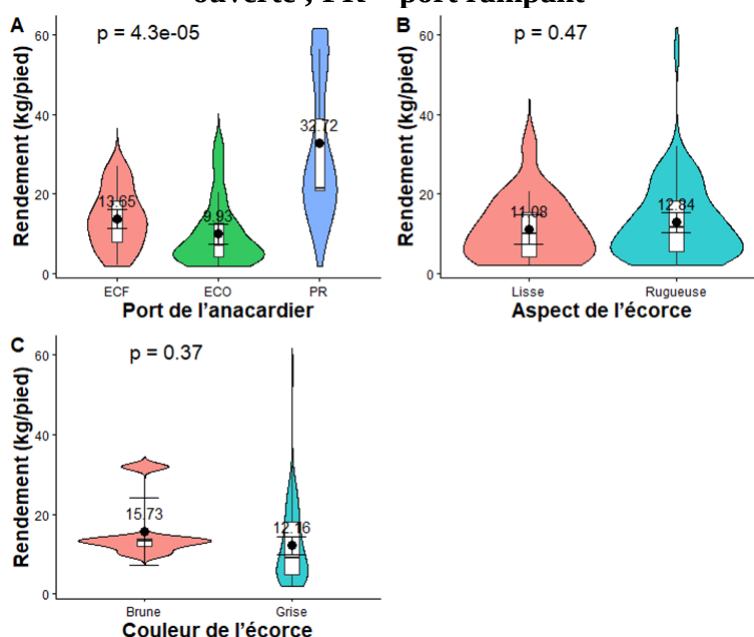


Figure 2 : Variation du rendement en fonction du port (A) de l'aspect (B) et de la couleur (C) de l'anacardier

La figure 3 illustre la relation entre les variables reproductrices (fleurs bisexuées et ratio floral), morphologiques (diamètre du houppier) et le rendement en noix de l'anacardier.

L'analyse de régression linéaire montre que le test de la pente est significatif (p -values $< 0,05$) dans l'ensemble des modèles.

Le nombre de fleurs bisexuées et le rendement en noix sont positivement et modérément liés ($R = 0,31$). Les fleurs bisexuées augmentent les potentialités de fructification. Elles sont un facteur biologique direct du rendement. Le ratio floral est positivement et modérément lié au rendement en noix ($R = 0,4$). C'est un indicateur stratégique de productivité. Il a été noté une forte corrélation positive entre le diamètre du houppier et le rendement ($R = 0,59$). Le diamètre du houppier (DH) est un excellent prédicteur du rendement. Plus la surface foliaire est importante, plus la capacité photosynthétique est élevée et plus l'allocation des ressources vers la production est meilleure.

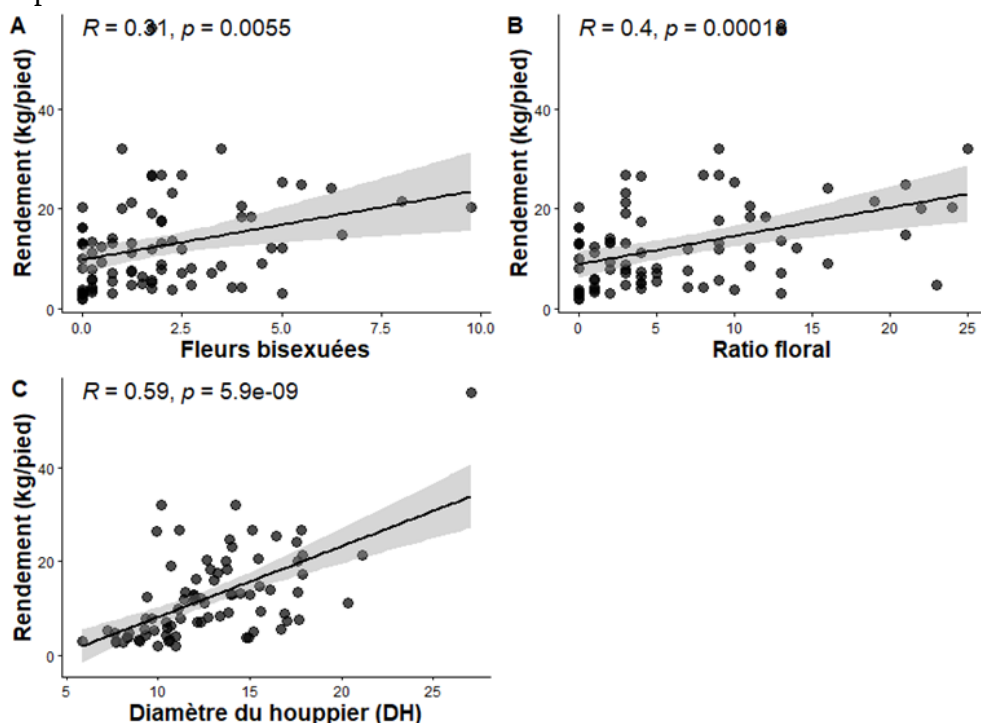


Figure 3 : Variation du rendement en fonction du nombre de fleurs bisexuées (A) du ratio floral (B) et du diamètre du houppier (C) de l'anacardier

3.1.2. Typologie des anacardiers étudiés

3.1.2.1. Détermination du nombre optimal de morphotypes

Les résultats expérimentaux sur le nombre optimal de morphotypes d'anacardiers sont consignés dans la figure 4. La méthode du coude (elbow)

a, dans un premier temps, ranger les 82 anacardiers de la Casamance dans 4 morphotypes distincts. Ensuite, par la méthode de la silhouette moyenne ce nombre est optimisé à 3 morphotypes. Ce nombre (3 morphotypes) est confirmé par les résultats de la statistique d'écart. La figure 3 représente la courbe de variance au sein des morphotypes d'anacardiers obtenus. Elle croît lorsque k augmente et forme une courbure (ou "coude") à $k = 3$. Cette courbure indique que les morphotypes au-delà de ce nombre ($k = 3$) ont peu de valeur scientifique.

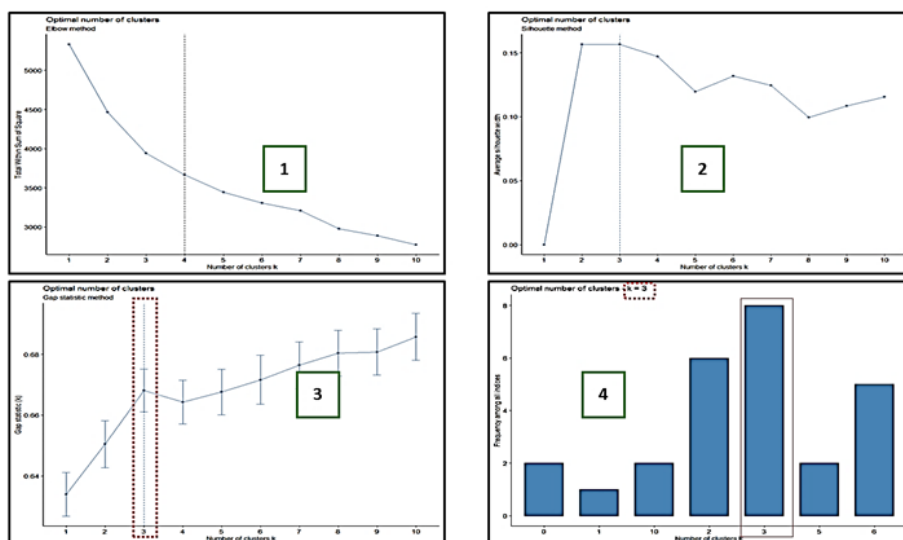


Figure 4 : Nombre optimal de morphotypes de la population d'anacardiers de la Casamance

3.1.2.2. Structuration de la diversité phénotypique des anacardiers étudiés

Les résultats du partitionnement des anacardiers des différentes variétés agronomiques en morphotypes sont présentés dans la figure 5. Les 82 anacardiers caractérisés dans la zone agroécologique de la Casamance sont rangés dans trois morphotypes bien distincts suivant les différentes variables dendrométriques, foliaires, florales et morphopondérales des noix et de production. Sur chaque morphotype, on rencontre simultanément des anacardiers à pommes rouges, des anacardiers à pommes jaunes et des anacardiers à pommes oranges. Les anacardiers des différentes variétés agronomiques sont aussi rencontrés sur chaque morphotype.

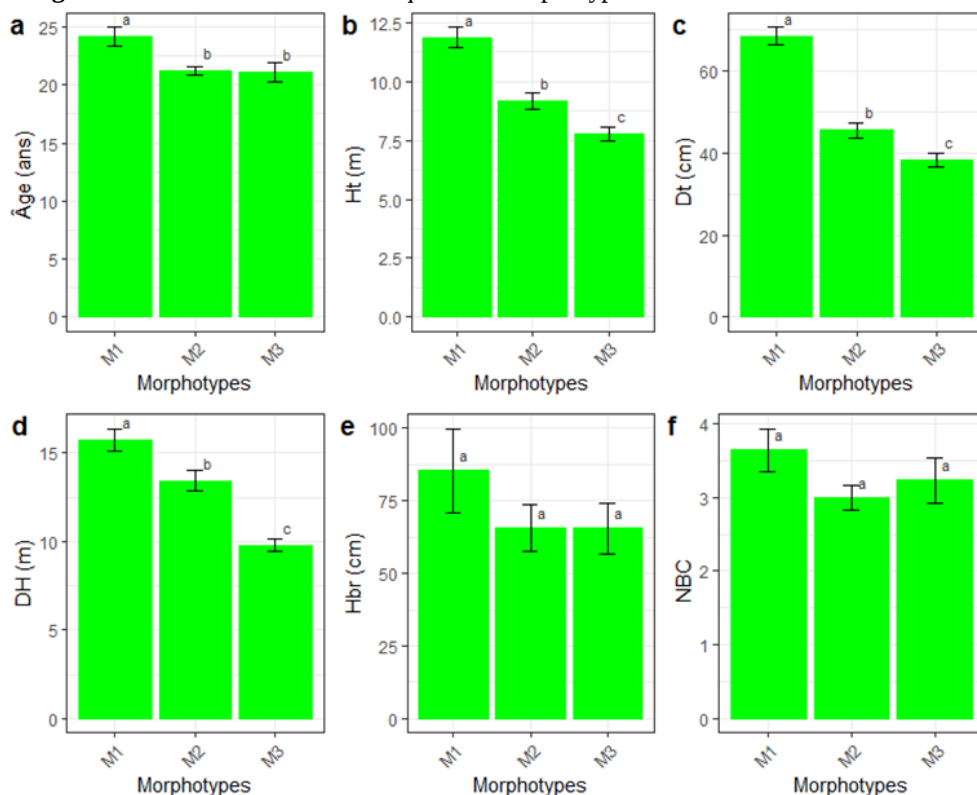
Le premier morphotype est composé de 23 anacardiers répartis dans les trois régions administratives (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) de la Casamance. Ces anacardiers sont localisés dans 06 communes et 06 villages.

Le poids de ce morphotype est de 28,05% de la population d'anacardier caractérisée.

Le troisième morphotype avec 32 anacardiés de toutes les provenances (régions) est structuré autour des individus appartenant à 08 communes et 09 villages. Le poids de ce morphotype est de 39,02% de la population d'anacardier caractérisé en Casamance.

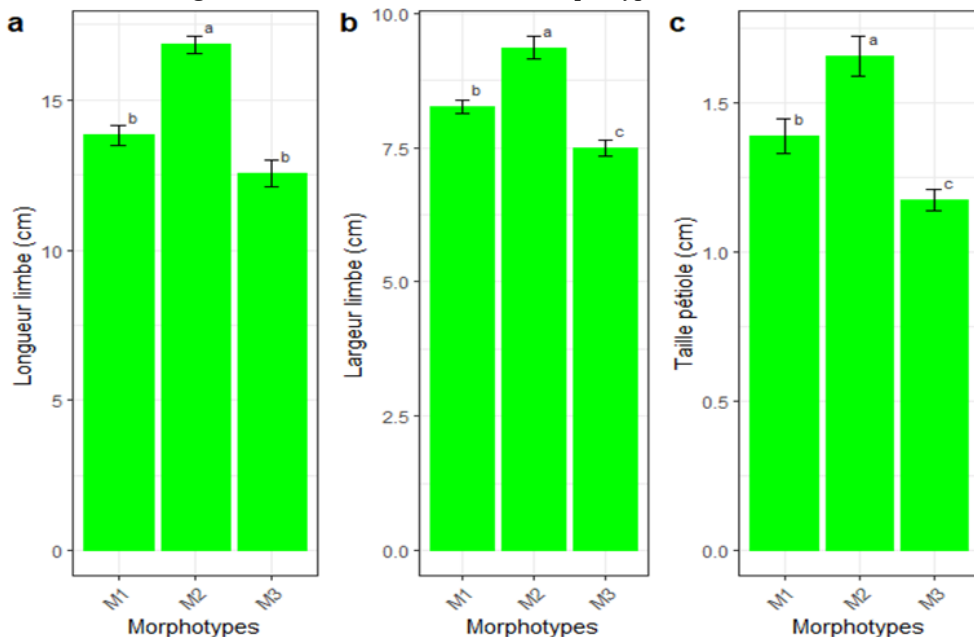


La comparaison des moyennes des trois morphotypes d'anacardiers définis a été faite par rapport à l'âge, aux variables dendrométriques, foliaires, florales, reproductives et morphopondéraux des noix de cajou (figure 6). Les anacardiers du morphotype 1 sont plus âgés **(a)**, plus haut **(b)**, plus gros **(c)**, plus larges **(d)** et plus caulescents **(e)** que ceux des morphotypes 2 et 3. Ces anacardiers présentent plus de branches charpentières **(f)** que ceux des deux autres morphotypes (2 et 3). Les anacardiers du morphotype 1 sont plus productifs (16,8Kg) que ceux des morphotypes 2 (13,9Kg) et 3 (6,5Kg). La productivité de l'anacardier dépend donc davantage de la vigueur de l'arbre (diamètre du houppier).

Figure 6 : Paramètres dendrométriques des morphotypes d'anacardiers de la Casamance

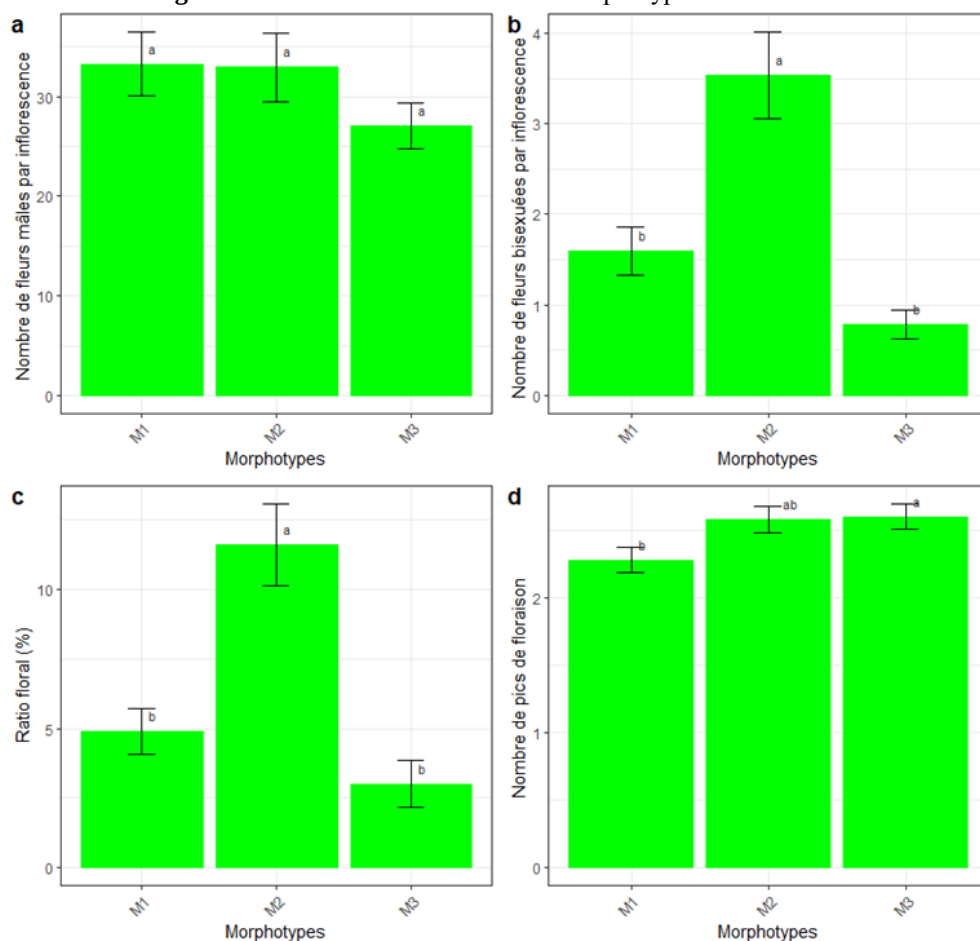
Les valeurs d'une même variable affectées de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls.

Les anacardiers du morphotype 2 présentent des feuilles de grande taille en termes de la longueur du limbe (a), de la largeur du limbe (b) et de la longueur du pétiole (c) (figure 7). La productivité dépend donc davantage de la vigueur de l'arbre que de la taille des fruits.

Figure 7 : Variables foliaires des morphotypes d'anacardiens

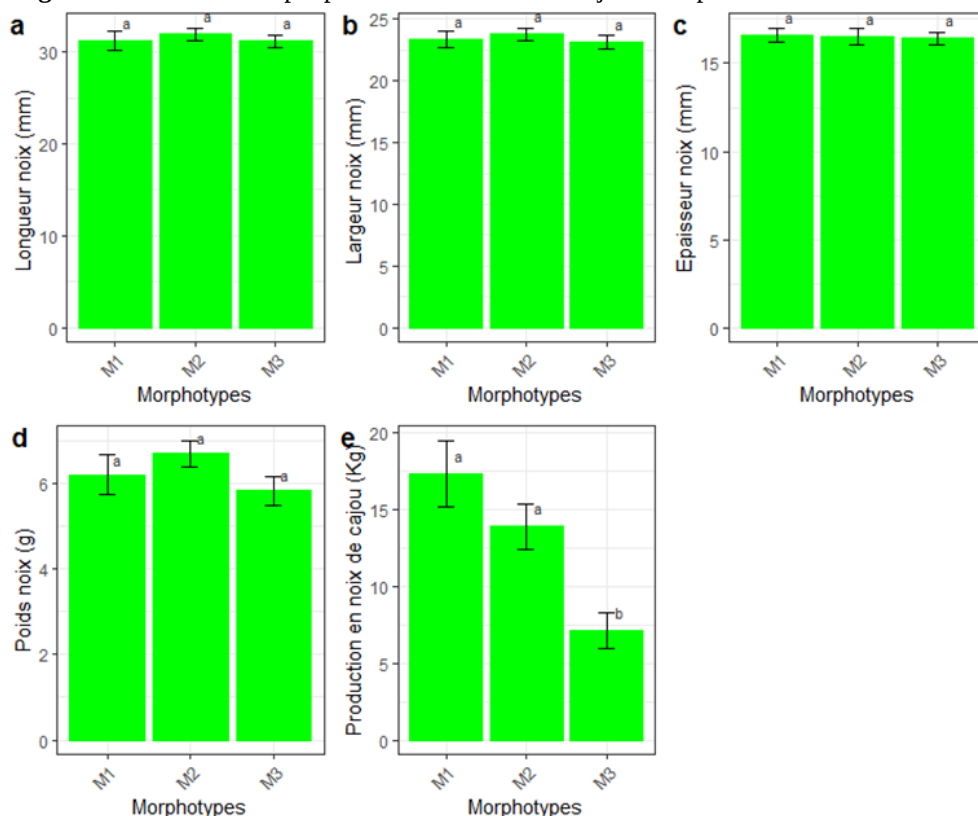
Sur une même variable, les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Ces anacardiens (morphotype 2) présentent aussi des valeurs de loin plus élevées en termes de nombre de fleurs bisexuées (figure 8.b) et de ratio floral (figure 8.c) que ceux des anacardiens des morphotypes 1 et 3. Le nombre de pic de floraison (d) varie d'un morphotype à un autre (figure 8).

Figure 8 : Variables florales des trois morphotypes d'anacardiers

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

En valeur statistique, les anacardiers du morphotype 2 ont enregistré les plus grandes dimensions en termes de la longueur de la noix, de la largeur de la noix et du poids de la noix (figure 9). Toutefois, les anacardiers du morphotype 1 sont plus productifs que ceux des morphotypes 2 et 3. En termes de production en noix par année, les anacardiers des trois morphotypes présentent une différence significative ($\text{Pr}(>F) < 0,05$). En effet, la production en noix du morphotype 3 est plus faible que celui du morphotype 1 et 2. La productivité de l'anacardier dépend donc davantage de la vigueur de l'arbre, du type de fleurs (bisexuées) et de leur proportion (ratio floral) que de la taille des fruits.

Figure 9 : Variables morphopondérales des noix de cajou et de production des anacardiers

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

3.1.2.4. Distribution spatiale des anacardiers des trois morphotypes

Les 82 anacardiers sont répartis dans trois morphotypes bien distincts. Ces morphotypes d'anacardiers sont répartis dans les trois régions de la Casamance (figure 10). Le morphotype 1, faiblement représenté dans les régions de Ziguinchor et de Sédhiou en Casamance présente une distribution localisée et dispersée. Le morphotype 2 plus visible vers Sédhiou et zones intermédiaires présente une distribution intermédiaire. Le morphotype 3 plus abondant et dominant présente une forte concentration dans le sud de Sédhiou, zone frontalière avec la république de Guinée-Bissau. Ce morphotype semble être le mieux adapté aux conditions locales de la Casamance potentiellement favorisé par des sols spécifiques, une meilleure tolérance au stress (hydrique ou édaphique), ou des pratiques anthropiques (sélection par les populations). Le morphotype 3 apparaît comme dominant et écologiquement plus compétitif, tandis que les morphotypes 1 et 2 sont plus spécifiques et localisés.

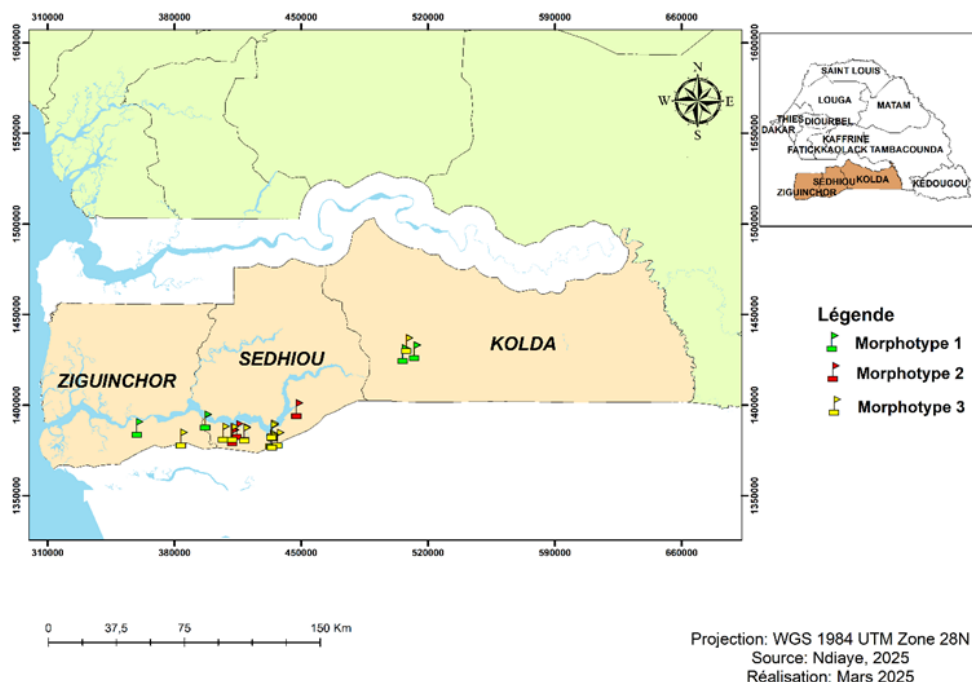


Figure 10 : Distribution spatiale des anacardiers du morphotype 1, 2 et 3

3.2. Discussion

L'aspect agromorphologique constitue en général la première étape de la caractérisation. En Casamance, cette caractérisation a été faite sur 82 anacardiers retenus parmi 411. Les mesures effectuées sur 82 anacardiers ont porté sur les feuilles, l'inflorescence, les fleurs, les fruits, le port ainsi que la hauteur des arbres et leurs âges. Ces mesures ont permis de mettre en exergue une hétérogénéité au sein des anacardiers en plantation en Casamance.

Le clustering et l'ACP ont permis de ranger les 82 anacardiers dans trois morphotypes significativement distincts. Ces résultats concordent avec ceux de Sankharé (2018) qui a obtenu trois morphotypes. Nos résultats sont aussi en phase avec les travaux de Ndour (2022), selon qui, les plantations de Fatick sont monospécifiques et sont constituées de deux à trois morphotypes d'anacardiers. Les résultats de la présente étude ne sont pas en phase avec celles menées en Inde, en Côte d'Ivoire et au Malawi qui ont rangé les accessions d'anacardiers desdits pays dans quatre morphotypes bien distincts (Samal *et al.*, 2003, Chipojola *et al.*, 2009 et Akadié *et al.*, 2014). La diversité morphologique observée pourrait être attribuée à plusieurs facteurs tels que l'adaptation écologique des anacardiers aux sites, les mutations et à l'ampleur de la sélection variétale. Le type de matériel végétal de plantation utilisé peut également être mis en cause. Plusieurs études ont mis en

évidence une large gamme de morphotypes dépendant de la couleur de la pomme et de la taille de la noix (Djaha *et al.*, 2014 ; Sika *et al.*, 2015 ; Ndiaye *et al.*, 2019).

Les anacardiers des morphotypes 1, 2 et 3 sont éparpillés dans les régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda (figure 11). Les anacardiers du morphotype 2 présentent des feuilles plus longues et plus larges que ceux du morphotype 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.

Au sein des anacardiers de la Casamance, une grande variation des fleurs est notée avec une nette prédominance en 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'anacardiers caractérisés.

Le ratio floral des anacardiers de la Casamance varie de 3% à 11,6%. L'indicateur de production (ratio floral) des anacardiers de Sédhiou en Casamance au sud du Sénégal, compris entre 0 et 36,1% (Ndiaye *et al.*, 2019) et le ratio floral des anacardiers du Bénin compris entre 0,4% et 27,3% (Chabi *et al.*, 2015) encadrent celui des anacardiers de la zone agroécologique de la Casamance.

À l'échelle morphotypique, une différence significative a été observée sur le ratio floral des anacardiers de la Casamance d'un pied à l'autre. Ce résultat est en déphasage avec 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 significativement différent d'une plante à l'autre ($P = 0,432$). L'auteur (Odet, 1991) attribue l'absence de variation du ratio floral par l'intervention d'hormone de croissance (gibbérelline, acide abscissique, éthylène et auxines) qui régulerait les proportions des fleurs de sexe différent chez les anacardiers.

Le ratio floral est un excellent indicateur de production. Cependant, il n'est pas le seul critère discriminant de production. Le taux de recouvrement ou diamètre du houppier et le taux de fleurs hermaphrodites constituent des caractères complémentaires très significatif. La complémentarité de ces trois indicateurs justifierait la différence énorme observée au niveau du ratio floral du morphotype 1 (4,9%) et du morphotype 2 (11,6%) et la quasi similitude de leurs productions en noix de cajou (16,8kg/pied et 13,9kg/pied). De telles observations corroborent les travaux de Ndiaye *et al.*, (2019).

La production moyenne des anacardiers des trois morphotypes de la zone agroécologique de la Casamance a varié entre 6,5kg/pied et 16,8kg. 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 par pied (Jocelyn, 2016). Les anacardiens de la Casamance produisent 12,4 Kg/pied en moyenne. Nos résultats sur la production 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 variaient de 0 à 48 kg par arbre (Samal *et al.*, 2003) et de 0 à 50 kg par arbre (Dasmohapatra *et al.*, 2014). Les rendements en noix de cajou des anacardiens dans les champs des arboriculteurs se sont révélés être très variés (Martin et Kasuga, 1995 ; Aliyu, 2004). Certains anacardiens ne peuvent rien produire. Les meilleurs produisent généralement plus de 20 kg par an par pied (Martin et Kasuga, 1995 ; Aliyu, 2004).

Les anacardiens des morphotypes 1 et 2 de la Casamance présentent plus de similitudes en termes de production de noix et sont plus productifs que ceux du morphotype 3. Martin *et al.*, (1998) ont trouvé qu'au moins 70% de rendement d'un verger provenaient de la moitié des arbres productifs, tandis que 30% de rendement provenaient d'une autre moitié d'arbres improductifs. Ces anacardiens (morphotype 1 et morphotype 2) sont plus rencontrés dans les régions de Ziguinchor et de Sédhiou et sont composés majoritairement de la variété agronomique béninoise.

Le rendement en noix 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 moyen mondial estimé à 550 Kg/ha (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 au sud du Sénégal a abouti à un niveau de rendement (1240 kg/ha) très proche de la moyenne internationale (1,5 t/ha) (Aliyu et Awopetu, 2007 ; Samal, 2003). En effet, le commerce de la noix de cajou est de plus en plus lucratif. Les producteurs utilisent soit les mêmes critères de sélection (production et taille des noix) pour la mise en place de leurs nouvelles plantations ou bien du matériel végétal de même provenance dans leurs plantations. L'intensité de la sélection diminue la diversité dans les plantations d'anacardiens au Sénégal. Ces observations corroborent les résultats 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. La faiblesse du coefficient de consanguinité des arbres des quatre populations d'anacardiens étudiés dans la région centre de Côte d'Ivoire serait probablement dû aux faits que les producteurs des différentes régions pouvaient facilement échanger des noix entre eux (Kouakou *et al.*, 2020). La

fluctuation de l'environnement affecte généralement le rendement principalement à travers ses composantes (Adams, 1967 ; Mcneal *et al.*, 1974 ; Ishaq *et al.*, 2000 ; Esan et Omolaja, 2002).

Conclusion

La caractérisation phénotypique incluant la description agromorphologique et les mesures morphométriques de l'anacardier a concerné 82 anacardiens. De cette étude de caractérisation phénotypique, il est ressorti que la classification typologique 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 respectivement 16,8kg et 13,9kg 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 par arbre respectivement. Une importante variabilité agromorphologique au sein des anacardiens étudiés a été notée. Le rendement varie suivant les caractéristiques morphologiques et florales qualitatives et quantitatives des anacardiens. 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 entre le rendement et les paramètres dendrométriques, les paramètres mesurés sur les feuilles, les paramètres mesurés sur les fleurs et entre ceux mesurés sur les noix.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs expriment leur gratitude au ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation du Sénégal à travers le Fonds d'Impulsion pour la Recherche Scientifique et Technique (FIRST 2015) qui a permis la réalisation de cette étude.

References:

1. 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. <https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700060004x>
2. Ainan, M. M. S. (1996). L'anacardier dans le système de production au niveau paysan : une approche de rentabilité économique et de la

- gestion du terroir dans la commune rurale d'Agoua (Zou). Thèse d'ingénieur Agronome, FSA UNB, p. 229.
3. Akadie, J. B. D., Hugues, A. N., Kouablan, E. K., Achille, N. A., Severin, A. (2014). Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) introduits en côte d'ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 23 (2014), 244–258. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
 4. Aliyu, O.M. (2004). Characterization and compatibility studies in cashew (*Anacardium occidentale* L.). Ph. D. Thesis, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.
 5. Aliyu, O. M. (2005). Phenotypic correlation and path coefficient analysis of nut yield and yield components in cashew (*Anacardium occidentale* L.). 19-24. <https://www.researchgate.net/publication/267721077>
 6. Aliyu, O. M., 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. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9133-9>
 7. ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire, (2014). Géo Sénégal - Portail officiel des données géographiques du Sénégal. <https://www.geosenegal.gouv.sn/>
 8. Chabi, S. K., Adoukonou, S. H., Ahoton, L. E., Adebo, I., Adigoun, F. A., *et al.* (2015). Morphological characterization and agronomic performances of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions from Benin. *J. Agric. Crop Res. Sci*, 28-40. <https://sciencewebpublishing.net/jacr/archive/2015/March/pdf/Sika%20et%20al.pdf>
 9. Chabi, S. K., Adoukonou-Sagbadja, H., Ahoton, L. E., Adebo, I., 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. <https://bec.uac.bj/uploads/publication/2daee7436bb6f05399ce395c1197ed8f.pdf>
 10. Chipojola, F. M., Mwase, W. F., Kwapata, M. B., Bokosi, J. M., Njoloma, J. P. (2009). Morphological characterization of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in four populations in Malawi. *Afr J Biotechnol*, 5173-5181. https://www.academia.edu/96042136/Morphological_characterization_of_cashew_Anacardium_occidentale_L_in_four_populations_in_Malawi
 11. Esan, E. B., Omolaja, S. S. (2002). Genotypic association, path analysis and pluck quality value in tea (*Camellia sinensis* (L.) O.

- Kuntze). *Tropical Agriculture*, 79, 100–104.
<https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/1366>
12. 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.
https://www.nkalo.com/sites/default/files/2_focas_2019_sansan_nkalo_marche_et_production_fr.pdf
 13. iCA, (2014). Promouvoir les noix de cajou d'Afrique dans le monde entier. *Bulletin mai 2014 n°4*. 2458 – 7362. 15p.
 14. 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.
 15. Ishaq, M. N., Echekwu, C. A., Olorunj, P. E., Gupta, U. S., Misari, S. M. (2000). Correlations and path coefficient analysis in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Nigerian Journal of Genetics*, 15, 22–28.
https://www.academia.edu/85954785/Phenotypic_Correlation_and_Path_Coefficient_Analysis_of_Nut_Yield_and_Yield_Components_in_Cashew_Anacardium_occidentale_L
 16. Dasmohapatra, R., Rath, S., Pradhan, B. D., 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>
 17. 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.
 18. Djaha, A. J. B., N'da, H. A., Koffi, K. E., Adopo, A. N. 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>
 19. Jocelyn, P. M. (2016). Diagnostic technico-financier de la filière d'anacarde (*Anacardium occidentale* L.), cas de Trichet, troisième section communale de Saint-Jean du Sud, Haïti. Mémoire de fin d'études agronomiques, Université Notre-Dame d'Haïti (UNDH), Faculté d'Agronomie, UDRS Cayes, Haïti.

20. Kaufman, L., 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.
21. Kassambara, A. (2017). *Multivariate Analysis I: Practical Guide to Cluster Analysis in R*, 187p.
22. Kouakou, Ch. K., N'Da Adopo, A., Djaha, A. J. B., N'da, D. P., N'da, H. A., *et al.* (2020). Genetic characterization of promising high-yielding cashew (*Anacardium occidentale* L.) cultivars from Côte d'Ivoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 24, 46-58. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=18464>
23. Lefebvre, A. (1969). L'anacardier, une richesse de Madagascar. *Fruits*, vol. 24, n° I, 43-64p. <https://revues.cirad.fr/index.php/fruits/article/view/33606>
24. Martin, P. J., 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. <https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/2637>
25. Martin, P. J., Kasuga, L. J., Bashiru, R. A. (1998). Cashew Farming Upgrading: Agronomic Options for Cashew Production by Smallholder Farmers in Tanzania. *Exp Agr Journal*, 137–152 p. <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/cashew-farm-upgrading-agronomic-options-for-increasing-cashew-production-by-smallholder-farmers-in-tanzania/B6B83AA062194169FFB3FB7FE8E570B8>
26. Mcneal, F. H., Smithe, P., Berg, M. A. (1974). Plant height, grain yield, and yield component relationships in spring wheat. *Agro. Jour.* 66, 575–578. <https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600040028x>
27. Ndiaye, S., Charahabil, M. M., Diatta M. (2020). Evaluation De La Qualité Des Noix Brutes D'anacarde En Casamance (Sénégal). *European Scientific Journal*. 16 (6), 375-395. URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p375>
28. Ndiaye, S., Charahabil, M. M., Diatta, M., Aidara, C. A., 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.
29. Ndiaye, L., Charahabil, M. M., Ngom, D., 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.
<https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/12653>
30. Ndiaye, S., Charahabil, M. M., Diatta, M. (2017). 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. <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/9126>
 31. 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.
 32. Odet, J. (1991). Le melon. Paris : CTIFL. 293 p.
 33. Ohler, J. G. (1979). Cashew communication, *Royal Tropical Institute Amsterdam* 71, 260p.
<https://archive.org/download/cashew0000unse/cashew0000unse.pdf>
 34. Programme d'Appui au Développement économique de la Casamance (PADEC), 2016. La mangue en zone sud au Sénégal : Production et commercialisation. 63 p.
 35. Rao, E. V. V. B., 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.
 36. Samal, S., Rout, G. R., 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.
<https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/52847.pdf>
 37. Sankharé, M. (2018). Phénotypage des anacardiérs (*Anacardium occidentale* L.) de la sélection massale dans la région de Fatick (Sénégal). Mémoire de Master : Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 44p.
 38. Sika, K. C., Adoukonou-Sagbadja, H., Ahoton, L., Saidou, A., Ahanchede, A., et al. (2015). Genetic Characterization of Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Cultivars from Benin. *Hortic J.*, 1-7.
<http://dx.doi.org/10.4172/2376-0354.1000153>
 39. Trevisan, M. T. S., Pfundstein, B., Haubner, R., Wurtele, G., Spiegelhalder, et al. (2005). Characterization of alkyl phenols in cashew (*Anacardium occidentale*) products and assay of their antioxidant capacity. *Food Chem Toxicol*, 44, 188-197.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16095792/>