

Etude de la variabilité génétique de 19 accessions de voandzou « *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt » de l'Extrême et du centre Est du Niger

[Study of Genetic Variability of 19 Accessions of Bambara Groundnut « *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt » from the Far and Central East of Niger]

Abdou Zakary Yaou Ibrahim¹, Alhassane Agali², Idi Saidou Sani³, and Harouna Issa Amadou¹

¹Laboratoire de Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel (GeVaBioS), Faculté des Sciences et Techniques, BP 10662 Ny, Université Abdou Moumouni, Niger

²Centre Régional Agrhymet, BP 11011 Ny, Niger

³Département de la Production Végétale et Biodiversité, Université de Diffa, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.), a crop of the new millennium, is considered one of the main legumes of the tropics because of its versatile advantages. The main objective of this study is to estimate the variation of local Bambara groundnut accessions by taking into account their 21 quantitative characters, in order to find the best genotype adapted to Niger. The study was carried out according to a completely randomized Fisher block device with four repetitions. Twenty-one (21) characters including four (4) phenological, five (5) morphological and twelve (12) related to yield were evaluated to characterize the accessions. With the 21 characters of the accessions used, the variation of the genetic parameters was determined. The analysis of variance revealed significant variations for all the traits assessed ($P \leq 0.01$). The coefficients of variation vary from 0.57% to 32.11%. Six (6) of the twenty-one (21) parameters measured had high coefficients of variation ($CV > 20\%$). Yield showed a strong positive correlation with parameters such as number of leaves ($r=0.62$), number of pods ($r=0.68$), number of petioles per plant ($r=0.62$), 100-seed weight ($r=0.79$), pod weight ($r=0.97$) and seed weight ($r=0.97$). The weight of seeds ($GCV=23.40\%$ and $PCV=42.54\%$), the weight of 100 seeds ($GCV=25.73\%$ and $PCV=25.75\%$) and the yield in Kg/ha ($GCV=23.40\%$ and $PCV=42.54\%$) revealed high phenotypic and genotypic coefficients of variation ($>20\%$). Maturity date (91.28%) and 100-seed weight (96.85%) were highly heritable. Genetic advance was high for 100-seed weight (52.96%), dry biomass weight (34.19%), seed width (20.55%), seed weight (26.52%) and the yield in Kg/ha (26.53%). The 100-seed weight ($h^2b=96.85\%$ and $GA=52.97\%$) had high broad-sense heritability and expected genetic gain. The constructed dendrogram showed three distinct groups of accessions. Group 1 is made up of promising accessions with the highest average seed weight per plant (13.24g), small plants (20 ± 0.86 cm) and early plants (82 ± 0.86 DAS). Group 2 includes late accessions (83 ± 0.30 DAS) with average height (21 ± 0.35 cm). Group 3 is composed of intermediate accessions for the maturity date (82 ± 0.66 cm) with the highest seedlings (22 ± 0.22 cm). Accessions Di-3 082 (899.73 kg/ha), Di 083 (857.89 kg/ha), Di 085 (566.53 kg/ha), Zi 087 (818.22 kg/ha), Zi 092 (584.27 kg/ha), Zi 094 (720.22kg/ha) and Zi 098 (616.00kg/ha) gave yields higher than the average total yield (560.20 kg/ha).

KEYWORDS: Bambara groundnut, Sahelian zone, diversity, genotypic, phenotypic, Niger.

RESUME: Le voandzou (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.), culture du nouveau millénaire, est considéré comme une des principales légumineuses des régions tropicales en raison de ses avantages polyvalents. Cette étude a pour objectif principale d'estimer la variation des accessions locales de l'arachide bambara en tenant compte de leurs 21 caractères quantitatifs, afin de découvrir le meilleur génotype adapté au Niger. L'étude est réalisée selon un dispositif en blocs de Fisher complètement randomisé avec quatre répétitions. Vingt-un (21) caractères dont quatre (4) phénologiques, cinq (5) morphologiques et douze (12) liés au rendement ont été évalués pour caractériser les accessions. Avec les 21 caractères des accessions utilisées, la variation des paramètres génétiques a été déterminée. L'analyse de la variance a révélée des variations significatives pour tous les caractères évalués ($P \leq 0,01$). Les coefficients de variation varient de 0,57% à 32,11%. Six (6) des vingt-un (21) paramètres mesurés ont des coefficients de variations élevés ($CV > 20\%$). Le rendement a présenté une corrélation fortement positive avec des paramètres tels que le nombre de feuilles ($r=0,62$), le nombre de gousses ($r=0,68$), le nombre de pétioles par plante ($r=0,62$), le poids de 100 graines ($r=0,79$), le poids de gousses ($r=0,97$) et le poids de graines ($r=0,97$). Le poids de graines ($GCV=23,40\%$ et $PCV=42,54\%$), le poids de 100 graines ($GCV=25,73\%$ et $PCV=25,75\%$) et le rendement en Kg/ha ($GCV=23,40\%$ et $PCV=42,54\%$) ont révélé des coefficients de variation phénotypique et génotypique élevés ($>20\%$). La date de maturité (91,28%) et le poids de 100 graines (96,85%)

ont été hautement héréditaires. L'avance génétique a été élevée pour le poids de 100 graines (52,96%), le poids de biomasse sèche (34,19%), la largeur de la graine (20,55%), le poids de la graine (26,52%) et le rendement en Kg/ha (26,53%). Le poids de 100 graines ($h^2_g=96,85\%$ et $GA=52,97\%$) a eu une héritabilité au sens large et un gain génétique attendu élevés. Le dendrogramme construit a montré trois groupes distincts d'accessions. Le groupe 1 est formé des accessions prometteuses avec le poids moyen en graines par plante le plus élevé (13,24g), de plantes de petites tailles ($20\pm 0,86$ cm) et des plantes précoces ($82\pm 0,86$ JAS). Le groupe 2 comporte des accessions tardives ($83\pm 0,30$ JAS) avec des tailles moyennes ($21\pm 0,35$ cm). Le groupe 3 est composé des accessions intermédiaires pour la date de maturité ($82\pm 0,66$ cm) avec les plus hautes plantules ($22\pm 0,22$ cm). Les accessions Di-3 082 (899,73kg/ha), Di 083 (857,89kg/ha), Di 085 (566,53kg/ha), Zi 087 (818,22kg/ha), Zi 092 (584,27kg/ha), Zi 094 (720,22kg/ha) et Zi 098 (616,00kg/ha) ont donné des rendements supérieurs au rendement moyen total (560,20 kg/ha).

MOTS-CLEFS: Voandzou, zone sahélienne, diversité, génotypique, phénotypique, Niger.

1 INTRODUCTION

Troisième légumineuse après l'arachide et le niébé [1], le voandzou [*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt] est une légumineuse à grains sous-utilisée qui appartient à la famille des Fabaceae et à la sous-famille des Faboidea. Selon Holm *et al.*, [2], le centre d'origine de l'arachide bambara est 'Bambara', un nom de lieu près de Tombouctou dans le centre du Mali en Afrique de l'Ouest. Cultivée principalement en Afrique [3] avec un nombre de chromosome égal à $2n = 2x = 22$ [4], elle fait partie des espèces encore négligées et peu utilisées dans les programmes de sélection variétale [5]. Or, Cette plante offre pourtant d'énormes potentialités tant sur le plan de l'amélioration variétale grâce à sa diversité génétique retrouvée dans des milliers d'accessions à travers le monde; que sur le plan nutritionnel avec ses graines riches en protéine, en glucide et en lipide [6; 7; 8; 9]. La consommation de ses graines contribue à l'amélioration de la qualité de l'alimentation en tant que complément protéique et peut aider au maintien de l'organisme en bonne santé [10]. Plusieurs accessions de voandzou collectées dans différentes régions du Niger ont des caractères contrastés [11]. Or, la création variétale passe par l'utilisation du matériel végétal à large variabilité génétique. La présente étude a pour objectif l'évaluation de la diversité agro-morphologique des accessions de voandzou collectés dans l'Extrême et centre Est du Niger et d'estimer les paramètres génétiques afin d'identifier les meilleures accessions pour une éventuelle amélioration de cette ressource génétique.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'essai a été conduit durant la campagne agricole de 2018 dans la station de recherche de l'Institut des Radio-Isotopes (IRI) de l'Université Abdou Moumouni (UAM) du Niger à $13^{\circ}29'$ de latitude Nord et $2^{\circ}10'$ de longitude Est. Pendant cette étude, la pluviométrie enregistrée dans la zone est de 512,5 mm en 38 jours de pluie. Le terrain est un sol profond, peu évolué, ferrugineux tropical sur sable dunaire peu lessivé. L'horizon superficiel (0 et 50cm) se caractérise par une forte dominance en sable (96%) avec seulement 0,16% de matières organiques et une très faible capacité d'échange cationique ($1,3\text{mèq}/100\text{g}$ de sol). La teneur en phosphore assimilable de l'horizon de surface est de 3ppm (Méthode Bray1); le pouvoir fixateur étant faible (r/R 0,4). Le PH est légèrement acide avec une faible capacité de rétention en eau (8 à $11,2\text{cm}^3/100\text{cm}^3$).

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est composé de graines de 19 accessions de voandzou provenant des régions de Diffa et Zinder (tableau 1), tirées de la collection de 2012 à 2013 [11] du département de la Biologie de la faculté des sciences et techniques (FAST) de l'Université Abdou Moumouni du Niger.

Tableau 1. Les Dix-neuf (19) accessions et leurs lieux de collection

Numéro	Accessions	Abréviations	Villages	Communes
1	081NeDi M.SO110314	Di 081	Mainé Soroa	Mainé Soroua
2	082NeDi BO130313	Di-3 082	Boudoum	Mainé soroua
3	082NeDi BO130314	Di-4 082	Boudoum	Mainé Soroua
4	083NeDi BO130314	Di 83	Boudoum	Mainé Soroua
5	084NeDi GAD120314	Di 084	Gadori	Mainé Soroua
6	085NeDi N'G140314	Di 085	N'Gabrya/N'Gabya	Mainé Soroua
7	086NeDi M.SO110312	Di 086	Mainé Soroua	Mainé Soroua
8	087NeZi GAM311213	Zi 087	Gamou	Gamou
9	088NeZi RA311213	Zi 088	Rabbi	Mirriah
10	091NeZi DOU010114	Zi 091	Dougass	Dougass
11	092NeZi DOU010114	Zi 092	Dougass	Dougass
12	093NeZi GAM311213	Zi 093	Gamou	Mirriah
13	094NeZi GAM311213	Zi 094	Gamou	Mirriah
14	095NeZi RA311213	Zi 010	Rabbi	Mirriah
15	096NeZi T.B301213	Zi 005	Tachan Bao	Garagoumsa
16	097NeZi ZI301213	Zi 097	Tachan Bao	Garagoumsa
17	098NeZi ZI301213	Zi 098	Biota	Gragoumsa
18	0100NeZi RA311213	Zi 100	Rabbi	Mirriah
19	0101NeZi Gan311213	Zi 101	Gandou	Mirriah

2.3 MÉTHODES

Les graines sont semées en culture pure sur un terrain en jachère en juillet 2021. Elles sont enfouies dans le sol à 2 cm de profondeur avec un espacement de 0,25m dans des parcelles espacées de 0,5m. Le dispositif expérimental est constitué de 4 blocs de 8,75m² (3,5m x 2,5m) espacés de 1m. Un bloc renferme 2 parcelles de 3,75 m² (2,5m x 1,5m) contenant au moins 9 lignes d'accessions. Deux graines par accessions sont semées 7 fois sur une même ligne (une seule sera laissée après germination et sortie hors du sol). Chaque accession est ainsi représentée par 28 plantes.

2.4 COLLECTE DE DONNÉES

Vingt-un (21) paramètres ont été sélectionnés selon le descripteur du voandzou [12], présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Les vingt un (21) paramètres des accessions de voandzou étudiés et leurs différents codes

Caractères	Abréviations	Descriptions	Unités
Paramètres phénologiques			
1. Date d'émergence	DE	Nombre de plantes qui ont poussés par ligne (accession) 10 jours après le semis.	JAS
2. Date de la première floraison	DF	Ce paramètre correspond au nombre de jours écoulés entre le semis et l'apparition de la première fleur.	JAS
3. Date de 50% de floraison	50F	C'est le nombre de jours, du semis jusqu'au moment où 50% des plantes par accession portent des fleurs.	JAS
4. Date de maturation	DM	Ce paramètre correspond au nombre de jours écoulés entre le semis et la fin du cycle de la plante.	JAS
Paramètres morphologiques (quantitatifs)			
5. Hauteur de la plante	HP	La mesure est effectuée 10 semaines après la plantation à partir du niveau du sol (à la base de la plante) jusqu'à l'extrémité du plus haut point, foliole terminale centrales sur 5 plantes centrales.	Cm
6. Longueur de pétioles	LgP	Mesure de quatrième pétiole des plantes saines des trois tiges les plus longues des 5 plantes centrales. 10 semaines après la plantation.	Cm
7. Nombre de tiges par plante	NTP	Noté après la récolte; nombre moyen de cinq plantes saines	
8. Nombre de pétioles par plante	NPP	Noté deux semaines après la première floraison; nombre moyen de 5 plantes	
9. Nombre de feuilles	NF	Noté deux semaines après la première floraison; nombre moyen de 5 plantes	
Composants liés au rendement (quantitatifs)			
10. Nombre de gousse par plante	NG	C'est le nombre des gousses individuelles des 5 plantes centrales après séchage, qui ont servi pour les mesures paramétriques.	-
11. Poids de la biomasse sèche	PBS	C'est le poids des biomasses individuelles des 5 plantes centrales après séchage, qui ont servi pour les mesures paramétriques.	Gramme
12. Poids de 100graines	P100	C'est le poids de 100 graines après séchage, qui ont servi pour les mesures paramétriques.	Gramme
13. Poids de gousses	PdG	C'est le poids des gousses individuelles des 5 plantes centrales après séchage, qui ont servi pour les mesures paramétriques.	Gramme
14. Longueur de gousse	LG	Notée dans les deux mois après la récolte; longueur moyenne de 10 gousses	Cm
15. Largeur de gousses	LgG	Notée dans les deux mois après la récolte; largeur moyenne de 10 gousses	Cm
16. Poids de coques	PdCoq	Poids de coque égale au poids gousse moins le poids graine	Gramme
17. Nombre de graines par plante	NGr	C'est le nombre de graines individuelles des 5 plantes centrales après séchage, qui ont servi pour les mesures paramétriques.	
18. Longueur des graines	LGr	Notée dans les deux mois après la récolte; longueur moyenne de 10 graines	Cm
19. Largeur de la graine	LgGr	Les données ont été prises dans les deux semaines suivant la récolte, largeur moyenne aléatoire à partir de 5 graines.	Cm
20. Poids de graines	PdGr	C'est le poids des graines individuelles des 5 plantes centrales après séchage, qui ont servi pour les mesures paramétriques	Gramme
21. Rendement kg/ha	RDT	Données des graines séchées par parcelle puis converti en Kg/ha/	kg/ha

2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Le logiciel R 4.0.4 (2021-02-15) a été utilisé pour l'analyse de la variance (ANOVA) le test de corrélation de Pearson, l'analyse en composantes principales (ACP) et la classification hiérarchique ascendante (CHA). La plus petite différence significative (LSD) a été utilisée pour la comparaison des moyennes. Les variances génotypiques et phénotypiques (VG et VP), les coefficients de variation génotypiques et phénotypiques (GCV et PCV), l'héritabilité au sens large (H2) et le gain génétique attendu (GA) ont été calculés selon les formules utilisées par Johnson *et al.*, [13], Assefa *et al.*, [14]; Hosseini *et al.*, [15], et Mahmudul *et al.*, [16] présentés dans le tableau 3. L'héritabilité au sens large a été estimée à l'aide de la formule donnée par Khan *et al.*, [17].

Tableau 3. Formules des différents paramètres génétiques estimés

Paramètres	Formules	Significations des mots
Variance génotypique: σ_g^2 Variance phénotypique: σ_p^2 Héritabilité au sens large: h^2_b	$\sigma_g^2 = \frac{MSG-MSE}{r}$ $\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + MSE$ $h^2_b = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2} \times 100$	MSG : carré moyen des génotypes, MSE : carré moyen de l'erreur, r nombre de répétitions. K : la constante qui indique l'intensité de la sélection. Selon Adewale <i>et al.</i> , [18], le taux est de 2,06 au moment où le K est à 5%. \bar{X} : moyenne du caractère
Coefficient de variation génotypique: GCV Coefficient de variation phénotypique: PCV Gain génétique attendu: GA	$PCV = \left(\sqrt{\frac{\sigma_p^2}{\bar{X}}} \right) \times 100$ $GCV = \left(\sqrt{\frac{\sigma_g^2}{\bar{X}}} \right) \times 100$ $RD = \left(\frac{PCV - GCV}{PCV} \right) \times 100$ $GA = K \times \sqrt{\frac{\sigma_p^2}{\bar{X}}} \times h^2_b \times 100$	Les valeurs GCV et PCV obtenues ont été classées selon l'indice suggéré de 0% à 10% pour une faible variation, 10-20% pour une variation modérée et $\geq 20\%$ pour une forte variation [17]. Héritabilités au sens large faibles ($h^2_b < 30\%$), modérées ($30\% < h^2_b < 60\%$) et élevées ($h^2_b > 30\%$) [16].

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE STATISTIQUE DESCRIPTIVE

Les résultats d'analyse descriptive montrent des écarts importants entre les minimas et les maximas. Des coefficients de variations élevés ($CV > 20\%$) sont également observés au niveau de plusieurs caractères. Ainsi, les coefficients de variations vont de 0,57% (longueur de la graine) à 32,11% (poids de biomasse sèche). Six (6) des vingt-un (21) paramètres mesurés ont des coefficients de variations supérieurs à 20% (tableau 4).

Tableau 4. Analyse de variance de 21 caractères étudiés

	Méd	Moy	Min	Max	Ecart-type	Var	CV (%)
NPP	42,20	42,10	33,26	51,05	4,18	17,49	9,92
NF	126,60	126,23	99,79	153,15	12,57	157,97	9,96
HP (cm)	21,95	21,52	18,68	23,98	1,44	2,07	6,70
LP (cm)	17,38	17,12	14,35	19,80	1,41	1,99	8,23
NG	24,35	25,59	18,81	39,30	4,78	22,87	18,68
NTP	9,10	9,43	7,42	12,60	1,64	2,69	17,39
PBS (g)	9,41	10,65	5,86	20,29	3,42	11,67	32,11
LG (cm)	1,66	1,63	1,38	1,86	0,13	0,06	7,97
LgG (cm)	1,27	1,28	1,17	1,41	0,06	0,004	4,68
LGr (cm)	1,06	1,04	0,90	1,13	0,08	0,006	0,57
LgGr (cm)	0,68	0,69	0,57	1,12	0,12	0,013	17,39
NGr	18,72	19,76	13,33	27,32	3,49	12,21	17,66
PdGr (g)	8,78	9,00	4,90	14,46	2,64	6,99	29,33
PdCoq (g)	2,81	2,83	1,38	4,27	0,79	0,64	27,91
PdG (g)	11,92	11,84	7,45	18,00	3,10	9,56	26,18
RDT (kg/ha)	546,8	560,2	305,2	899,7	164,59	27091,04	29,38
P100 (g)	189,02	183,10	95,84	271,37	47,13	2221,32	25,74
DM (j)	82,50	82,86	80,25	86,75	1,57	2,48	1,89
DE (j)	7,00	7,17	6,75	8,35	0,44	0,19	6,13
DF (j)	33,00	33,04	31,00	36,25	1,37	1,87	4,14
50F (j)	35,50	35,62	34,00	38,50	1,26	1,59	3,54

Légendes: NPP: nombre de pétioles par plante, NF: nombre de feuilles, HP: hauteur de la plante, LP: longueur de pétiole, NG: nombre de gousses, NTP: nombre de tiges par plante, PBS: poids de biomasse sèche, LG: longueur de gousse, LgG: largeur de gousse, LGr: longueur de graine, LgGr: largeur de graine, NGr: nombre de graines, PdGr: poids de graines, PdG: poids de gousses, PdCoq: poids de coques, RDT: rendement en Kg/ha, P100: poids de 100 graines, DM: date de maturité, DE: date d'émergence, DF, date de floraison, 50F: 50% de floraison, j: jour, g: gramme.

3.2 MATRICE DE CORRÉLATION

Pour étudier les relations entre les paramètres, une matrice de corrélation (coefficient de Pearson) est réalisée. Il faut noter que plusieurs caractères ont montrés des corrélations positives entre eux. Les corrélations les plus significatives ont été observées entre le nombre de feuilles avec le nombre de pétioles par plante ($r=0,99$), le poids de gousses avec le poids de graines ($r=0,97$), le rendement en Kg/ha ($r=0,97$). Une forte corrélation a été observée entre le poids de 100 graines avec le poids de gousses, le poids de graines et le rendement (Kg/ha) de 0,78; 0,79; 0,79, respectivement (tableau 5).

Tableau 5. Interrelation entre les caractères (Matrice de corrélation de Pearson)

	DM	DE	DF	HP	LG	LgG	LgGr	LGr	LP	NF	NG	NGr	NPP	NTP	P100	PdBio	PdCoq	PdG	PdGr	RDT	50F		
DM	1																						
DE (j)	0.55	1																					
DF (j)	0.39	0.11	1																				
HP (cm)	-0.04	-0.05	-0.11	1																			
LG (cm)	0.08	0.03	0.25	0.07	1																		
LgG (cm)	-0.27	-0.32	0.06	-0.01	0.75	1																	
LgGr (cm)	-0.23	-0.11	0.17	0.01	0.36	0.59	1																
LGr (cm)	-0.06	-0.09	0.37	0.1	0.55	0.69	0.63	1															
LP (cm)	-0.08	0.08	0.18	-0.21	0.27	0.43	0.10	0.46	1														
NF	-0.26	-0.18	0.01	0.12	0.05	0.07	0.21	0.33	0.27	1													
NG	0.21	-0.14	0.50	-0.17	0.56	0.32	0.08	0.44	0.33	0.40	1												
NGr	0.03	-0.34	0.02	0.09	0.39	0.35	0.28	0.27	0.15	0.24	0.52	1											
NPP	-0.27	-0.17	0.001	0.12	0.04	0.06	0.20	0.32	0.26	0.99	0.39	0.24	1										
NTP	0.37	0.35	0.05	-0.17	-0.04	-0.15	-0.09	0.01	0.16	0.32	0.37	-0.02	0.32	1									
P100 (g)	-0.22	-0.04	0.28	-0.35	0.17	0.09	0.15	0.10	0.27	0.51	0.33	-0.24	0.52	0.28	1								
PBS (g)	0.10	0.39	0.12	-0.17	0.28	0.07	0.15	0.23	0.35	0.33	0.39	0.03	0.32	0.54	0.32	1							
PdCoq (g)	-0.32	-0.05	0.06	-0.21	-0.16	-0.07	0.06	0.13	0.47	0.73	0.31	0.22	0.73	0.39	0.38	0.46	1						
PdG (g)	-0.20	-0.22	0.30	-0.34	0.31	0.25	0.32	0.31	0.37	0.72	0.66	0.37	0.72	0.34	0.78	0.41	0.65	1					
PdGr (g)	-0.14	-0.24	0.33	-0.33	0.41	0.31	0.36	0.32	0.29	0.62	0.68	0.36	0.62	0.29	0.79	0.34	0.45	0.97	1				
RDT (Kg/ha)	-0.13	-0.24	0.33	-0.33	0.41	0.31	0.36	0.32	0.29	0.62	0.68	0.36	0.62	0.29	0.79	0.34	0.45	0.97	0.99	1			
50F (j)	0.15	-0.04	0.78	-0.21	0.39	0.26	0.44	0.57	0.33	0.39	0.72	0.22	0.38	0.25	0.55	0.38	0.36	0.71	0.72	0.72	1		

Légendes: NPP: nombre de pétioles par plante, NF: nombre de feuilles, HP: hauteur de la plante, LP: longueur de pétiole, NG: nombre de gousses, NTP: nombre de tiges par plante, PBS: poids de biomasse sèche, LG: longueur de gousse, LgG: largeur de gousse, LGr: longueur de graine, LgGr: largeur de graine, NGr: nombre de graines, PdGr: poids de graines, PdG: poids de gousses, PdCoq: poids de coques, RDT: rendement en Kg/ha, P100: poids de 100 graines, DM: date de maturité, DE: date d'émergence, DF, date de floraison, 50F: 50% de floraison, j: jour, g: gramme.

3.3 DIVERSITE MORPHOLOGIQUE DES 19 ACCESSIONS DE VOANDZOU

Le tableau 7 montre les corrélations entre les composantes principales de l'ACP et les variables initiales. Les trois premières composantes expliquent respectivement 36,77%, 14% et 12,26% de la variabilité, soit 63,03% de la variabilité totale. La composante principale 1 (CP1) explique à 36,77% de la variabilité totale observée. Elle est représentée par les paramètres liés au rendement et les paramètres morphologiques. La composante principale 2 (CP2) explique à 14% de la variabilité totale observée. Elle est représentée par le nombre de tiges par plante, la longueur, la largeur de gousse et de graine et le poids de coques.

La composante principale 3 (CP3) est représentée par les paramètres phénologiques (tableau 8) et explique 12,26% de la variabilité totale. Cependant, les caractères liés au rendement sont liés, les composantes principales 1 et 2 peuvent être choisies pour éventuelle sélection.

Tableau 6. Valeurs propres et contribution des variables (paramètres) aux axes de l'ACP

Axes	Valeurs propres	Proportions (%)	Pourcentages cumulatifs (%)
1	7.7209424513	36.76639	36.76639
2	2.9394200319	13.99724	50.76363
3	2.5752014419	12.26286	63.02649

Le tableau 8 exprime en détail le regroupement des caractères responsable de ces variabilités. Ainsi la CP1 est représenté par le nombre de pétioles par plante, le nombre de feuilles, le nombre de gousses, le poids de biomasse sèche, le poids de graines, le poids de coques, le poids de gousses, le rendement, le poids de 100 graines et la date de 50% de floraison. La CP2 est représentée par le nombre de tige par plante, la longueur de gousses, les largeurs de gousses et de graines et la longueur de graines. La CP3 en particulier se caractérise par la phénologie avec les paramètres date de maturité, date d'émergence, la date de floraison.

Tableau 7. Corrélations entre les variables (paramètres) de départ et chacune des trois premières composantes principales

	Dim1	Dim2	Dim3
NPP	0.722	-0.330	-0.397
NF	0.729	-0.324	-0.392
HP (cm)	-0.234	0.252	-0.221
LP (cm)	0.498	0.073	0.103
NG	0.759	0.133	0.309
NTP	0.366	-0.522	0.397
PBS (g)	0.503	-0.268	0.351
LG (cm)	0.474	0.635	0.276
LgG (cm)	0.426	0.770	-0.107
LGr (cm)	0.559	0.580	0.079
LgGr (cm)	0.441	0.513	-0.119
NGr	0.397	0.393	-0.142
PdGr (g)	0.923	-0.060	-0.054
PdCoq (g)	0.615	-0.500	-0.262
PdG (g)	0.948	-0.180	-0.115
RDT (Kg/ha)	0.923	-0.060	-0.054
P100 (g)	0.698	-0.342	-0.032
DatMat (j)	-0.133	-0.073	0.837
DE (j)	-0.169	-0.306	0.679
DF (j)	0.406	0.158	0.574
50F (j)	0.806	0.109	0.345

Légendes: NPP: nombre de pétioles par plante, NF: nombre de feuilles, HP: hauteur de la plante, LP: longueur de pétiole, NG: nombre de gousses, NTP: nombre de tiges par plante, PBS: poids de biomasse sèche, LG: longueur de gousse, LgG: largeur de gousse, LGr: longueur de graine, LgGr: largeur de graine, NGr: nombre de graines, PdGr: poids de graines, PdG: poids de gousses, PdCoq: poids de coques, RDT: rendement en Kg/ha, P100: poids de 100 graines, DM: date de maturité, DE: date d'émergence, DF, date de floraison, 50F: 50% de floraison, j: jour, g: gramme.

3.4 ESTIMATION DES PARAMÈTRES GÉNÉTIQUES

3.4.1 VARIANCE PHÉNOTYPIQUE ET GÉNÉOTYPIQUE

L'analyse des données génétiques montrent que pour tous les paramètres la variance phénotypique (σ_p^2) est supérieure à la variance génotypique (σ_g^2). La plus petite valeur de la variance phénotypique est 0,012 (largeur de la gousse et longueur de la graine) et la plus grande valeur est 56790,38 (rendement en Kg/ha). Les caractères nombre de feuilles, nombre de pétiole par plante, nombre de gousses, poids de biomasses sèche, nombre de graines, poids de gousses, poids de 100 graines et le rendement en Kg/ha ont présenté des variances phénotypiques élevées (>20). Seul le poids de graines a eu une variance phénotypique modérée ($10 < \sigma_p^2 < 20$). La date d'émergence, la date de 50% de floraison, la date de maturité, la hauteur de la plante, la longueur de pétiole, le nombre de tiges par plante, la longueur de gousse et de la graine, la largeur de la gousse et de la graine et le poids de coque ont des variances phénotypiques faibles (<10). Les variances génotypiques du nombre de feuilles, du poids de 100 graines et du rendement en Kg/ha sont élevées (>20), du nombre de gousses modérée ($10 < \sigma_g^2 < 20$) et les restes des paramètres sont faibles (<10) (tableau 9).

3.4.2 COEFFICIENTS DE VARIATION PHÉNOTYPIQUE ET GÉNOTYPIQUE

Pour tous les paramètres observés, le coefficient de variation phénotypique est plus élevé que le coefficient de variation génotypique.

Le poids de biomasse sèche a eu les plus grands coefficients de variation phénotypique et génotypique (GCV=26,98% et PCV=49,89%). Le poids de graines (GCV=23,40% et PCV=42,54%), le poids de 100 graines (GCV=25,73% et PCV=25,75%) et le rendement en graine (GCV=23,40% et PCV=42,54%) ont des coefficients de variation phénotypique et génotypique élevés (>20%). Les caractères comme la date d'émergence, la date de 50% de floraison, la date de floraison, la date de maturité et la largeur de gousse ont montré des coefficients de variation phénotypique et génotypique faibles (<10%) (Tableau 9).

3.4.3 HÉRITABILITÉ AU SENS LARGE

Le tableau 9 indique des valeurs d'héritabilités au sens large faibles ($h^2_b < 30\%$), modérées ($30\% < (h^2_b) < 60\%$) et élevées ($h^2_b > 60\%$). La plus grande valeur d'héritabilité au sens large de tous les paramètres mesurés est 96,85% (poids de 100 graines) et la plus petite valeur est 4,28% (hauteur de la plante). La date de maturité (91,28%) et le poids de 100 graines (96,85%) ont montré une héritabilité au sens large élevée ($h^2_b > 60\%$), la date de maturité (32,95%), la longueur de la graine (32,52%), la largeur de la graine (46,29%), le poids de la graine (30,27%) et le rendement en Kg/ha (30,27%) sont modérées ($30\% < (h^2_b) < 60\%$) et les autres caractères ont des héritabilités faibles ($h^2_b < 30\%$).

3.4.4 GAIN GÉNÉTIQUE (GA)

Le gain génétique par rapport à la moyenne a varié énormément en fonction des caractères allant de 1,01% (hauteur de la plante) à 52,97% (poids de 100 graines). Les caractères ayant les gains génétiques élevés (>20%) sont le poids de 100 graines (52,96%), le poids de biomasse sèche (34,19%), la largeur de la graine (20,55%), le poids de la graine (26,52%) et le rendement (26,53%). Le nombre de gousses (15,43%), le nombre de tiges (15,55%), le poids de coque (10,06%) et le poids de gousses (18,21%) ont des gains génétiques modérés ($10\% < GA < 20\%$). Les autres caractères présentent des gains génétiques faibles ($GA < 10\%$).

Tableau 8. Paramètres génétiques calculés des accessions de voandzou de la zone Est et du Centre du Niger

Traits	Moy	(σ^2_e)	(σ^2_g)	(σ^2_p)	EVC (%)	GCV (%)	PCV (%)	RD (%)	(h^2_b) %	GA (%)
DE (j)	7,17	0,26	0,13	0,39	7,15	5,01	8,73	42,61	32,95	5,92
50%F (j)	35,62	2,65	0,93	3,58	4,57	2,71	5,31	86,63	26,01	2,84
DF (j)	33,04	5,18	0,58	5,76	6,89	2,31	7,26	68,18	10,09	1,51
DM (j)	82,85	0,23	2,42	2,65	0,58	1,88	1,96	4,08	91,28	3,69
HP (cm)	21,85	5,99	0,27	6,26	11,20	2,37	11,45	79,30	4,28	1,01
NF	126,23	494,02	34,45	528,45	17,61	4,65	18,21	74,46	6,52	2,44
NPP	42,10	55,06	3,72	58,78	17,62	4,58	18,21	74,84	6,34	2,37
LP (cm)	17,12	6,69	0,32	7,02	15,11	3,30	15,47	78,67	4,56	1,45
NG	25,59	36,92	13,63	50,56	23,75	14,43	27,78	48,05	26,96	15,43
NTP	9,43	3,97	1,69	5,66	21,12	13,80	25,23	45,30	29,93	15,55
PBS (g)	10,65	13,60	8,27	21,87	34,61	26,98	43,89	38,53	37,82	34,19
LG (cm)	1,64	0,03	0,01	0,04	11,00	5,53	12,32	55,11	20,15	5,11
LgG (cm)	1,28	0,01	0,001	0,012	8,18	2,90	8,67	66,55	11,2	2,00
NGr	19,76	37,11	2,93	40,05	30,82	8,65	32,01	72,97	7,31	4,82
LGr (cm)	1,04	0,01	0,004	0,012	8,74	6,05	10,61	42,97	32,52	7,11
LgGr (cm)	0,70	0,01	0,01	0,02	15,82	14,66	21,55	31,97	46,29	20,55
PdGr (g)	9,00	10,22	4,44	14,66	35,52	23,40	42,54	44,99	30,27	26,52
PdCoq (g)	2,83	1,77	0,19	1,96	46,91	15,53	49,41	68,57	9,89	10,06
PdG (g)	11,84	18,11	5,03	23,14	35,94	18,95	40,63	53,36	21,75	18,21
P100 (g)	183,10	3,41	2220,54	2223,95	1,01	25,73	25,75	0,07	96,85	52,97
RDT (Kg/ha)	560,20	39598,58	17191,79	56790,38	35,52	23,40	42,54	44,99	30,27	26,53

Légendes: NPP: nombre de pétioles par plante, NF: nombre de feuilles, HP: hauteur de la plante, LP: longueur de pétiole, NG: nombre de gousses, NTP: nombre de tiges par plante, PBS: poids de biomasse sèche, LG: longueur de gousse, LgG: largeur de gousse, LGr: longueur de graine, LgGr: largeur de graine, NGr: nombre de graines, PdGr: poids de graines, PdG: poids de gousses, PdCoq: poids de coques, RDT: rendement en Kg/ha, P100: poids de 100 graines, DM: date de maturité, DE: date d'émergence, DF, date de floraison, 50F: 50% de floraison, j: jour, g: gramme.

3.5 LA CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE ASCENDANTE

Le dendrogramme indique 4 niveaux d'intersection représentant chacune un groupe avec leurs diversités phénotypiques (figure1).

Le groupe 1 comprend 21,05% d'accessions (Zi 094, Zi 087, Di-3 082 et Di 083), le groupe 2 de 47,37% d'accessions (Di 084, Zi 097, Zi 092, Zi 098, Di 081, Zi 100, Di 085, Zi 091 et Zi 093) et le groupe trois (3) de 31,58% d'accessions (Zi 088, Di 086, Zi 095, Zi 096, Di-4 082 et Zi 101). Les caractéristiques des classes sont représentées dans le tableau 10. Le groupe 1 constitué du plus petit nombre d'accessions (4) à produit la plus grande moyenne en rendement (824,02 Kg/ha). Le groupe 2 a des accessions tardives pour la germination. Le groupe 3 avec six (6) accessions a produit la plus petite moyenne (392,75Kg/ha) (tableau10).

Tableau 9. Liste des groupes d'accessions

	G1 (Zi 094, Zi 087, Di-3 082 et Di 083)	G2 (Di 084, Zi 097, Zi 092, Zi 098, Di 081, Zi 100, Di 085, Zi 091 et Zi 093)	G3 (Zi 088, Di 086, Zi 095, Zi 096, Di-4 082 et Zi 101)
NPP	46,7	41,94	39,26
NF	140,10	125,83	117,56
HP (cm)	20,86	21,35	22,22
LP (cm)	17,84	17,10	16,73
NG	31,57	24,55	23,14
NTP	10,25	9,63	8,58
PBS (g)	12,84	11,50	7,94
LG (cm)	1,75	1,60	1,62
LgG (cm)	1,34	1,25	1,30
LGr (cm)	1,11	1,00	1,04
LgGr (cm)	0,82	0,65	0,68
NGr	22,4	18,87	19,34
PdGr (g)	13,24	8,91	6,31
PdsCoq (g)	3,45	2,92	2,28
PdsG (g)	16,70	11,84	8,60
Rdt (kg/ha)	3296,07	4991,31	2356,51
P100 (g)	236,11	190,55	136,58
DatMatu (j)	82,19	83,30	82,66
DE (j)	6,94	7,31	7,12
DF (j)	33,56	33,25	32,37
50F (j)	37,37	35,42	34,75

Légendes: NPP: nombre de pétioles par plante, NF: nombre de feuilles, HP: hauteur de la plante, LP: longueur de pétiole, NG: nombre de gousses, NTP: nombre de tiges par plante, PBS: poids de biomasse sèche, LG: longueur de gousse, LgG: largeur de gousse, LGr: longueur de graine, LgGr: largeur de graine, NGr: nombre de graines, PdGr: poids de graines, PdG: poids de gousses, PdCoq: poids de coques, RDT: rendement en Kg/ha, P100: poids de 100 graines, DM: date de maturité, DE: date d'émergence, DF, date de floraison, 50F: 50% de floraison, j: jour, g: gramme.

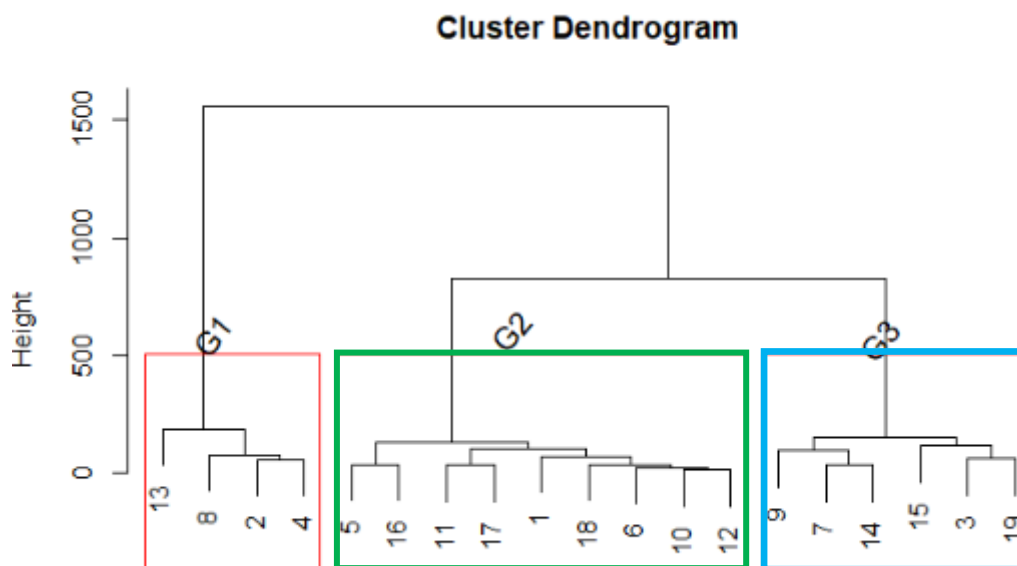


Fig. 1. Classification ascendante de 22 accessions de voandzou cultivés dans la zone Est et du Centre du Niger (pour les numéros voir ci-haut tableau 1)

4 DISCUSSION

Les écarts qui existent entre les valeurs minimales et maximales et les coefficients de variation élevés traduisent la variabilité qui existe au sein des accessions étudiées. Ces résultats confirment les travaux menés par Amadou *et al.*, [19] sur des morphotypes de voandzou au Niger et Wassou *et al.*, [20] sur des morphotypes de voandzou dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun. Cette variabilité peut être justifiée par des échanges de semences lors de la période de semis et une sélection de semences sans exigence des critères de différenciation suffisamment rigoureux. Cela favorise donc le flux des gènes qui contribuent à la variabilité génétique. Des telles observations avaient été faites par Nerbéwendé *et al.*, [21] et Danbe *et al.*, [22]. Selon Amadou *et al.*, [19], la variabilité phénotypique pourrait résulter non seulement de l'expression d'une forte hétérogénéité génotypique, mais aussi de l'influence des facteurs environnementaux.

L'analyse descriptive montre que le temps d'émergence varie entre 7 et 8 JAS (jours après semis). Ces résultats sont conformes à ceux de Wassou *et al.*, [21] qui ont signalé le même temps d'émergence. Touré *et al.*, [23] ont eu un temps d'émergence compris entre 6 et 15 jours après semis. Par contre un début d'émergence long de 14 jours, et une durée d'émergence de 11 jours a été observé par Karikari [24]. Les accessions de l'extrême et du centre Est du Niger fleurissent entre 31 et 36 jours après semis, ont une hauteur comprise entre 18,68 cm et 24 cm, un rendement moyen en grain par plant de 9g et un poids moyen de 100 graines de 183,10g. Sévérin et Yao *et al.*, [25] ont eu une floraison comprise entre 35 et 98 JAS, une hauteur entre 17cm et 32cm et un poids de 100 graines de 79,46g en travaillant sur des variétés traditionnelles de voandzou en Côte d'Ivoire. Au Niger, sur des morphotypes, Amadou *et al.*, [19] ont obtenu une floraison comprise entre 31 et 44 JAS, une hauteur entre 11cm et 40cm et un rendement moyen grain par plant de 7,9g. Ces variations peuvent être expliquées par les facteurs environnementaux, pédologiques ou par les génotypes. Pour Brink *et al.*, [26], la photopériode joue un rôle important dans la floraison et la production de gousses, mais ce phénomène dépend des écotypes. Selon Linnemann & Cruafurd [27], la photopériode a un effet plus important sur la formation des gousses que sur la floraison. D'ailleurs en 2018, Amadou *et al.*, ont affirmé que ces types de variations pourraient s'expliquer par la diversité des comportements génétiques et les variations des conditions climatiques des zones de culture.

La plupart des paramètres liés au rendement (poids de biomasse sèche, poids de graines, poids de coques, poids de gousses, rendement en Kg/ha et poids de 100 graines) ont présenté des coefficients de variation élevés (>20%). Ceci prouve l'existence d'une forte hétérogénéité au sein des accessions étudiés en ce qui concerne le rendement, comme l'ont bien signalé Goli *et al.*, [28], Amadou *et al.*, [19] et Mahmudul *et al.*, [29]. En 1988, Swanevelde [30] affirme que le rendement chez le voandzou est très instable. Six (6) des vingt-un (21) paramètres analysés ont montré des coefficients de variation significativement élevés (>20%). Les coefficients de variation variaient de 0,57% à 32,11%. Sévérin *et al.*, [25], ont obtenus des coefficients de variation compris entre 0% et 63,30%, Wassou *et al.*, [20] entre 1,79% et 37,08%, Amadou *et al.*, [19] entre 10,3% et 72%. Selon Kambou [31], les performances agro-morphologiques des écotypes de voandzou varient en fonction de l'écotype et du site de culture.

Les trois premières composantes de l'ACP avec les vingt-un (21) paramètres mesurés expliquent 63,03% de la variabilité totale. Wassou *et al.*, [20] ont obtenu 75% de variabilité totale avec trois premières composantes de l'ACP en travaillant sur 36 accessions de voandzou dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun. Les différents groupes morphologiques obtenus dans cette étude traduisent la diversité morphologique qui existe entre les différentes accessions de voandzou de la région d'Extrême et du Centre Est du Niger et cela donne une

opportunité aux créateurs des variétés de voandzou, le choix des parents dans le but d'obtenir des nouvelles variétés répondant mieux aux besoins des populations. Ce choix pourrait être orienté vers les accessions du groupe 1 qui présentent les meilleurs rendements en grains.

Selon Adebisi *et al.*, [32] pour un programme de sélection de génotype, la prise en compte de la matrice de corrélation peut être une grande échelle de mesure. Ainsi des fortes corrélations ont été observées avec le nombre de feuilles et le nombre de pétioles ($r=0,99$); le poids de gousses avec le poids de graines et le rendement ($r=0,97$); le poids de graines et le rendement en kg/ha ($r=0,79$); le poids de 100 graines et le poids de gousses, le poids de coques avec le nombre de pétiole et le nombre de feuilles ($r=0,73$); le poids de gousses avec le nombre de pétioles, le nombre de feuilles et 50% de floraison ($r=0,72$). Les accessions qui fleurissent tôt, sont celles qui se lèvent également tôt, et les accessions qui atteignent rapidement les 50% de floraisons sont celles ayant débutées tôt les floraisons. Celles qui ont plus de feuilles ont plus de pétioles, plus de tiges et un poids de biomasse sèche élevé. Plusieurs fortes corrélations sont observées entre les paramètres liés au rendement. Ce qui révèle l'interrelation entre le rendement et certaines composantes; ce d'autant plus que le poids des graines serait logiquement corrélé au poids des gousses. Amadou *et al.*, [19] ont obtenu des fortes corrélations entre le poids de graines par plantes et le poids de gousses ($r=0,96$). Wassouo *et al.*, [20], également ont obtenu une forte corrélation entre le poids de graines et le nombre de gousses ($r=0,945$). En 2008, Ouedrago *et al.*, [33] ont rapporté que les caractères comme le nombre de gousses par plante, le nombre de graine par plante et le poids de 100 graines sont positivement corrélés avec le rendement chez le voandzou. Oyiga et Uguru [34], suggère qu'ainsi la possibilité d'utiliser ces variables pour estimer le rendement.

L'analyse des paramètres génétiques montrent que les variances phénotypiques sont supérieures aux variances génotypiques et souvent avec des écarts très importants. Malek *et al.*, [35] et Mahmudul *et al.*, [16], ont fait les mêmes observations dans leurs expérimentations sur des accessions de voandzou. Les écarts observés entre les deux variances peuvent être dû à un fort impact des facteurs environnementaux sur l'expression de ces caractères. Les valeurs GCV et PCV obtenues ont été classées en fonction de l'indice suggéré de 0 % à 10 % pour une variation faible, de 10 à 20 % pour une variation modérée et ≥ 20 % pour une variation élevée [17]. Ainsi, le poids de graines (GCV=23,40% et PCV=42,54%), le poids de 100 graines (GCV=25,73% et PCV=25,75%) et le rendement en Kg/ha (GCV=23,40% et PCV=42,54%) ont des coefficients de variation phénotypique et génotypique élevés ($>20\%$). Ceci explique l'effet environnemental plus élevé et l'amélioration de ces caractères est difficile par la sélection directe. Ce qui est soutenu par Mahmudul *et al.*, [29] qui ont obtenus pour le poids de gousses (PCV=30,18 % et GCV=30,14 %), poids de graines (PCV=26,31 % et GCV=25,68 %) et rendement en kg/ha (PCV=30,19 % et GCV=30,15 %) des coefficients de variation phénotypiques et génotypiques élevés. Tous les paramètres phénologiques, la largeur de la gousse et de la graine ont donné des valeurs de GCV et PCV faibles (PCV <10 et GCV <10). Les faibles différences relatives entre les coefficients de variation phénotypique et génotypique est le signe d'une influence plus faible de l'environnement qui peut donner un résultat fort et significatif souhaitable dans le programme d'amélioration des cultures comme l'ont déjà signalé Umar *et al.*, [36], Usman *et al.*, [37] et Mahmudul *et al.*, [16]. Fakuta *et al.*, [38], ont également affirmé qu'une faible différence relative permettrait une sélection directe plus efficace. Selon Burton et Devane, [39] cité par Nerbéwendé *et al.*, [21], l'estimation du coefficient de variation génotypique et de l'héritabilité fournit la meilleure information pour le choix des parents à hybrider en vue d'obtenir les caractères recherchés. La sélection est d'autant plus efficace que l'héritabilité des caractères est élevée [21]. La date de maturité (91,28%) et le poids de 100 graines (96,85%) ont montré une héritabilité au sens large élevée ($h^2_b > 60\%$), la date de maturité (32,95%), la longueur de la graine (32,52%), la largeur de la graine (46,29%), le poids de la graine (30,27%) et le rendement en Kg/ha (30,27%) modérées ($30\% < (h^2_b) < 60\%$) et les restes des caractères ont des héritabilités faibles ($h^2_b < 30\%$). L'héritabilité forte des caractères traduit la faible influence des facteurs environnementaux sur leur expression. Dans ce cas le phénotype exprime véritablement le génotype des accessions [40]. Nerbéwendé *et al.*, [21] pensent que l'héritabilité à elle seule ne permet pas de prédire si la sélection apportera une amélioration substantielle. Néanmoins, l'estimation conjointe de l'héritabilité et du gain génétique attendu peut apporter une information plus fiable [41]. Le poids de 100 graines ($h^2_b=96,85\%$ et $GA=52,97\%$) a eu une héritabilité au sens large et un gain génétique attendu élevés. Pour Ridzuan *et al.*, [42], les valeurs d'héritabilité et d'avance génétique faibles à modérées peuvent entraver l'amélioration du paramètre en raison des effets environnementaux élevés par rapport aux effets génétiques sur son état. Ainsi, seule une sélection efficace peut être obtenue en choisissant les caractères avec un GCV, un PCV, un h^2_b et un GA plus élevés, ce qui signifie que l'effet des gènes additifs est suffisamment robuste que l'effet environnemental [37].

5 CONCLUSION

Cette expérimentation a révélé la présence d'une grande variabilité morphologique au sein des accessions de voandzou de l'Extrême et du centre Est du Niger cultivée en zone sahélienne du pays groupée autour des caractères végétatifs et du rendement. Les différences observées entre les 3 groupes issues de la classification hiérarchique indiquent que le groupe 1 est constitué d'individus de petites tailles et plus performantes en termes de rendement. Ce groupe peut donc servir de source de gènes dans un programme visant l'amélioration du rendement. Les écarts importants observés entre les coefficients de variation phénotypiques et génotypiques et les faibles héritabilités au sens large obtenues avec la plupart des paramètres analysés, expriment une forte influence des facteurs environnementaux sur l'expression des performances de ces accessions. Par contre les paramètres ayant présentés une héritabilité au sens large élevée traduisent une faible influence environnementale sur les caractères étudiés. Ces caractères peuvent donc directement intervenir dans l'amélioration par sélection.

REFERENCES

- [1] Oparaeke AM. and Bunmi JO, 2006. Bioactivity of two podered spices (piper guineense) (Dunal) A. Richard) as home masses insecticides against *Callosobruchus subinnotatus* (pic) on stored Bambara groundnut. In: Agricultura tropical and subtropical, 39 (2): 132-133.
- [2] Holm, J. N. & Marloth, B. W., (1940). The Bambara groundnut or njugo bean. Farming in South Africa. *Pamphlet No.* 215, 195–198.
- [3] Ntundu, W., Shillah, S., Marandu, W. & Christiansen, J.L, (2006). Morphological diversity of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) landraces in Tanzania. *Genet. Resour. Crop Evolut.* 53, 367–378.
- [4] Heller, J., Begemann, F. & Mushonga, J. (Eds), (1995). Bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verdc. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. In *Proceedings of the Workshop on Conservation and Improvement of Bambara Groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.)*, 14–16 November 1995, Harare, Zimbabwe. 166. (Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/Department of Research & Specialist Services, Harare/International Plant Genetic Resources Institute).
- [5] Zerihun, (2009). Role of orphan crops in enhancing and diversifying food production in Africa. *African Technology Development Forum Journal*, 6, (3 and 4): 83-86.
- [6] Ntundu WH, Bach IC, Christiansen JL, Andersen SB, (2004). Analysis of genetic diversity in Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) Landraces using (AFLP) markers. *African Journal of Biotechnology*, 3 (4): 220-225.
- [7] Amarteifio JO, Tibe O, Njogu RM, (2006). The mineral composition of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc) grown in Southern Africa. *African Journal of Biotechnology*, 5: 2408-2411.
- [8] Bonny S. B. & Djè Y., (2011). Variabilité morphologique et agronomique des variétés traditionnelles de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) verdc. (fabaceae)] de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 41: 2820- 2835.
- [9] Onwubiko NIC, Odum OB, Utazi CO, Poly-Mbah PC, (2011). Studies on the adaptation of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) in Owerri south eastern Nigeria, *New York Science Journal*, 4: 60 – 67.
- [10] Mbaïogaou, A., Héma, A., Ouédraogo, M., Palé, E., Naitormbaide, M., Mahamout, N.M. (2013). Etude comparative des teneurs en polyphénols et en antioxydants totaux d'extraits de graines de 44 variétés de voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (2): 861-871.
- [11] Harouna, A. I., Bakasso, Y., Zoubeïrou, A, M., Doumma, A., Maïboucar, I. (2014). Diagnostic participatif de la diversité de morphotypes et des connaissances locales en matière de culture du Voandzou (*Vigna Subterranea* L.) au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. pp.1915-1925.
- [12] IPGRI/IITA/BAMNET. (2000). Descriptors for bambara groundnut: 48. Rome. Italy.
- [13] Johnson H. W., H. F. Robinson et Comstock, R. E., (1955). Estimates of genetic and environmental variability in Soybeans. *Agronomy Journal* 47, no. 7: 314–318.
- [14] Assefa K., Tefera H., Merker A., Kefyalew T. and Hundera F., (2001). Variability, heritability and genetic advance in Phenomorphic and agronomic traits of Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] germplasm from eight Regions of Ethiopia. *Hereditas* 134, no. 2: 103–113.
- [15] Hosseini S. J., Sarvestani Z. T., Pirdashti H., Afkhami A. et Hazrati S., (2012). Estimation of heritability and genetic advance for screening some rice genotypes at salt stress conditions. *International journal of Agronomy and Plant Production*. Vol., 3 (11), 475-482. Institute, International Institute of Tropical Agriculture, The International Bambara Groundnut Network, 2000).
- [16] Md Mahmudul Hasan Khan, Mohd Y. Rafii, Shairul Izan Ramlee, Mashitah Jusoh2 & Md Al Mamun., (2021). Genetic analysis and selection of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) landraces for high yield revealed by qualitative and quantitative traits. *Scientific Reports*, 11: 7597.
- [17] Khan, M. M. H., Rafii, M. Y., Ramlee, S. I., Jusoh, M., & Mamun, A. (2020). Genetic variability, heritability, and clustering pattern exploration.
- [18] B. D. Adewale, O. B. Kehinde, J. O. Popoola, and C. O. Aremu, (2010). «Seed metrics of genetic and shape determination in Africa yam bean [Fabaceae] (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst Ex. A. Rich) harms,» *African Journal of Plant Science*, vol. 4, pp. 107–115.
- [19] Harouna, A.I., Alhassane, A., Daouda, O.S., Boureïma, K.S. (2018). Variabilité Morphologique Et Agronomique Des Morphotypes De Voandzou (*Vigna Subterranea* (L.) Cultivés Dans La Zone Sahélienne Du Niger. *European Scientific Journal*, 14: 377-393.
- [20] Wassouo Félix Alain, Madi Ali, Sobda Gonne, Koubala Bargui Bénéoit, Mvondoawono Jean Pierre, (2019). Diversités agro morphologiques de trente-six accessions de voandzou [*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt] cultivées dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun. *Journal of Applied Biosciences* 140: 14227 - 14234.
- [21] Nerbéwendé S., Romaric K. N., Pauline B. K., Renan E. T., Baloua N., Djakaridia T., Mahamadou S., Jean Didier Z., (2014). Évaluation de la diversité génétique des sorghos à grains sucrés (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) du Nord du Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences* 84: 7654– 7664. ISSN 1997–5902.
- [22] Danbe Nicodème, Yakouba Oumarou, Sobda Gonné, BASGA Simon Djakba, Lenzemo Venasius, Kaouvon Philémon, Dickmi Vailam Claudette, SUH Christopher, Djonnewa André, Youri Alphonse, Kaboui André, (2018). Caractérisation de la diversité phénotypique et génotypique du Sorgho pluvial dans la zone soudano sahélienne du Cameroun. *Journal of Applied Biosciences* 129: 12973 -12981. ISSN 1997-5902.
- [23] Touré Y, Koné M, Kouakou TH, Koné D, (2012). Agromorphological and Phenological Variability of 10 Bambara Groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc. (Fabaceae)] Landraces cultivated in the Ivory Coast, *Tropicultura*, 30 (4): 216-221.
- [24] Karikari KS, (2000). Variability between local and exotic bambara groundnut landraces in Botswana. *Afr. Crop Sci. J.* 8: 153-157.

- [25] Sévérin B. B., Yao D. (2011). Variabilité morphologique et agronomique des variétés traditionnelles de voandzou (*Vigna subterranea* L. verdc.) de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 41: 2820-2835.
- [26] Brink M, Ramolemana GM, Sibuga KP, (2006). *Vigna subterranea* (L.) Verdc in Brink M. and Belay G. (éditeurs) PROTAI cereals and pulses/cereals et legumes secs. (CD-Room). PROTA, Wageningen, Pays Bas, 327p.
- [27] Linnemann A.R. & Craufurd P. Q., (1994). Effects of temperature and photoperiod on phenological development in three genotypes of bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Annual Botanic*. 74: 675-681.
- [28] Goli, A.E., Begemann, F., Ng, N.Q. (1997). Characterization and evaluation of IITA's bambara groundnut collection. In Heller J., Begemann E., Mushonga J, (Eds). Promotion of the conservation and use of underutilized and neglected crops. 9. Proceedings of the workshop on conservation and improvement of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc). 14-16. Harare. Zimbabwe. pp.101-118.
- [29] Md Mahmudul Hasan Khan, Mohd Y. Rafii, Shairul Izan Ramlee, Mashitah Jusoh, and Al Mamun, (2020). Genetic Variability, Heritability, and Clustering Pattern Exploration of Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) Accessions for the Perfection of Yield and Yield Related Traits. *Hindawi. BioMed Research International*. Volume 2020, Article ID 2195797, 31 pages <https://doi.org/10.1155/2020/2195797>.
- [30] Swanevelde, C. J., (1998). Bambara-Food for Africa: *Vigna subterranea* Bambara groundnut (National Department of Agriculture).
- [31] Kambou Diulyalè, (2013). Variation des performances agromorphologiques de trois écotypes de voandzou (*Vigna subterranea* L. verdc.) cultivés au Nord et au Sud de la Côte d'Ivoire. Mémoire, Université NANGUI ABROGOUA, UFR des sciences de la nature.
- [32] Adebisi, M. A., Ariyo, O. J. & Kehinde, O. B., (2004). Variation and correlation studies in quantitative characters in soybean. *Ogun J. Agric.Sci* 3, 134-142.
- [33] Ouedraogo, M., Ouedraogo, J. T., Tignere, J. B., Bilma, D., Dabire, C. B. & Konate, G., (2008). Characterization and evaluation of accessions of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt) from Burkina Faso. *Sci. Nat.* 5 (2), 191-197.
- [34] Oyiga BC. and Uguru MI, (2011). Interrelationships among Pod and Seed Yield Traits in Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc) in the Derived Savanna Agro-Ecology of South-Eastern Nigeria under Two Planting Dates. *International Journal of Plant Breeding* 5 (2): 106-111.
- [35] Malek, M.A., Rafii, M.Y., Afroz, S.S., Nath, U.K. & Mondal, M., (2014). Morphological characterization and assessment of genetic variability, character association, and divergence in soybean mutants. *Sci. World J.* 2014, article ID 968796, <https://doi.org/10.1155/2014/968796>.
- [36] Umar, U.U., Ado, S.G., Aba, D.A. & Bugaje, S.M., (2014). Genetic variability and heritability studies in maize (*Zea mays* L.) genotypes under three irrigation regimes. In *38th Annual Conference of Genetic Society of Nigeria, 19th-23rd October 2014. Edo State, Nigeria*. 381-386.
- [37] Usman, M. G., Rafii, M. Y., Ismail, M. R., Malek, M. A. & Abdul, L. M., (2014). Heritability and genetic advance among chili pepper genotypes for heat tolerance and morphophysiological characteristics. *Sci. World J.* 2014, 1-14.
- [38] Fakuta, N. M., Ojiekpon, I. F., Gashua, I. B. & Ogunremi, O. C., (2014). Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance in Gum Arabic (*Acacia senegal* (L) Wild) Provenances, 38th Annual GSN Conference, 19th-23rd October 2014 405-409 (Edo State).
- [39] Burton G.W. and Devane E.M., (1953). Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, 45, 478-481.
- [40] Visscher PM, Hill WG, Wray NR., (2008). Heritability in the genomics era-concepts and misconceptions. *Nat RevGenet* 9: 255-266. Vol.9 No.4 Dec. 2014. pp 1915-1925.
- [41] Govindaraj M., Selvi B., Rajarathinam S. et Sumathi P., (2011). Genetic Variability and Heritability of Grain Yield Components and Grain Mineral Concentration in India's Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.) Accessions. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 11, no. 3.
- [42] Ridzuan, R., Rafii, M. Y., Mohammad Yusoff, M., Ismail, S. I., Miah, G. & Usman, M., (2019). Genetic diversity analysis of selected *Capsicum annuum* genotypes based on morphophysiological, yield characteristics and their biochemical properties. *J. Sci. Food Agric.* 99 (1), 269-280.