

DIVERSITE AGRO-MORPHOLOGIQUE ET BOTANIQUE DE 357 ACCESSIONS DE SORGHO [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH] COLLECTEES EN COTE D'IVOIRE

L. E. DEDE¹, *H. A. N'DA², L. AKANVOU², S. R. SIE¹

¹Université Nangui Abrogoua (UNA), Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Nature, 02 BP 801
Abidjan 02, Côte d'Ivoire, e-mail : etienne dede.ed88@gmail.com

¹ Université Nangui Abrogoua (UNA), Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Nature, 02 BP 801
Abidjan 02, Côte d'Ivoire, e-mail : sieraoul@yahoo.fr

²Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Km 17, Rte de Dabou. 01 BP 1740 Abidjan, Côte d'Ivoire, e-
mail : makanvou@gmail.com

²Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Km 17, Rte de Dabou. 01 BP 1740 Abidjan, Côte d'Ivoire, e-mail :
ndahuguesannicet@gmail.com

* Auteur correspondant ; E-mail : ndahuguesannicet@gmail.com

RESUME

En Côte d'Ivoire, peu de travaux portant sur l'évaluation de la diversité génétique du sorgho ont été réalisés. Le but de la présente étude a été d'estimer la variabilité agro-morphologique et botanique de 357 accessions de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] collectées au Nord de la Côte d'Ivoire. Dans un dispositif en blocs de Fischer répété trois fois, 25 caractères agro-morphologiques dont 13 qualitatifs et 12 quantitatifs répertoriés dans le descripteur du sorgho ont été mesurés sur 30 individus par accession. L'analyse des caractères qualitatifs a révélé que la totalité de la collection était constituée de sorgho de type botanique *Guinea* dont 69,66 % de *gambicum* et 30,34 % de *margaritifera*. Dix morphotypes de sorgho distincts par la forme des grains, la couleur des grains et des glumes, et une prépondérance des morphotypes à grains blancs (60,39 %) ont été observés. L'ACP a indiqué l'existence de neuf caractères expliquant 80,85 % de la variabilité totale. La CHA a révélé que cette variabilité était structurée en trois morphogroupes composés des *Guinea margaritifera* à cycle semi-précoce et à faible rendement en grains, des *Guinea gambicum* à cycle précoce et à rendement en grains intermédiaire et des *Guinea gambicum* à cycle tardif et à haut rendement en grains. Neuf caractères dont le poids de mille grains en premier, au moyen du test lambda de Wilk de l'AFD, ont été décelés comme étant les caractères les plus discriminants. Les résultats de la présente étude constitue une base pour l'élaboration des programmes d'amélioration de *S. bicolor* en Côte d'Ivoire.

Mots clés : accession, caractère agro-morphologique, *guinea*, type botanique, sorgho.

ABSTRACT

AGRO-MORPHOLOGICAL AND BOTANICAL DIVERSITY OF 357 SORGHUM ACCESSIONS [*SORGHUM BICOLOR* (L.) MOENCH] COLLECTED IN CÔTE D'IVOIRE

In Côte d'Ivoire, little work on assessing the genetic diversity of sorghum has been carried out. Three thousands and fifty-seven sorghum accessions [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] collected in northern Côte d'Ivoire were subjected to agro-morphological characterization. The general objective of this study was to estimate their morphological and botanical variability. In a Fischer block device repeated three times, 25 agro-morphological characters (13 qualitative and 12 quantitative) were measured on thirty individuals per accession. Analysis of the qualitative characteristics indicated that the entire collection consisted of Guinea-grown sorghum, including 69.66 % Guinea gambicum and 30.34 % Guinea margaritifera. Ten morphotypes distinct by grain shape, grain color and glume, with a preponderance of white-grained morphotypes (60.39%). The PCA indicated the existence of nine

characters explaining 80.85% of the total variability. The CHA revealed that this variability was structured into three morphogroups composed of *Guinea margaritifera* with a semi-early cycle and low grain yield, *Guinea gambicum* early cycle and intermediate grain yield and *Guinea gambicum* late cycle and high grain yield. Nine traits with thousand grain weight in first, were found to be the most discriminating, by using AFD's Wilk lambda test. The results of this study provide a basis for the development of species improvement programs.

Keys words: accession, agro-morphological trait, botanical type, guinea, sorghum

INTRODUCTION

Le sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] est une céréale annuelle, sans gluten, appartenant à la grande famille des *Poaceae*. Le sorgho est cultivé dans les régions tropicales et semi-tropicales du monde où il occupe aujourd'hui une place de choix dans l'alimentation humaine, animale et dans l'industrie (Djè *et al.*, 2007). En Côte d'Ivoire, il est cultivé à l'échelle traditionnelle en saison pluvieuse entre le 4^e et 11^e degré latitude Nord et (Beninga, 2014). Le sorgho occupe le troisième rang des graminées céréalières les plus cultivées et consommées du pays, en raison d'une production nationale estimée à 63 000 t/an pour une superficie emblavée de 88 752 ha (Fao, 2017). Dans l'alimentation humaine, le petit grain blanc et vitreux est utilisé dans la confection de mets locaux (*tô* un plat traditionnel, couscous, bouillie et beignets). En outre, le gros grain rouge et farineux entre dans la fabrication du *tchapalo*, une boisson fermentée traditionnelle à caractère commercial, très prisée et dédiée aux traditions d'hospitalités et de convivialités (Derache, 1989).

En dépit de l'importance nutritionnelle et socio-économique du sorgho, la recherche n'est pas encore parvenue à initier une réelle stratégie de maximisation de la production de cette espèce. En effet, la culture du sorgho en milieu paysan en Côte d'Ivoire est encore tributaire des cultivars traditionnels à faible potentiel de rendement. Bien plus, elle est confrontée à des contraintes biotiques et abiotiques (*Striga* sp., pauvreté des sols et sécheresses prolongées) (Akanvou *et al.*, 2006) qui minent sévèrement son rendement. En outre, à la différence de certaines cultures vivrières et industrielles, le sorgho est encore relégué en second plan dans les prérogatives des programmes gouvernementaux. Toutes ces contraintes ont contribué à l'abandon progressif de la culture du sorgho par les agriculteurs locaux. En réalité, si rien n'est entrepris, la diversité *in situ* des

ressources génétiques de sorgho serait impactée de façon irréversible par l'érosion génétique. Ainsi, dans un contexte de gestion durable et de maximisation de la production de cette culture, une des approches en la matière se définit par la prospection, la collecte, la caractérisation, la conservation et la sélection des génotypes locaux élites (Rasul *et al.*, 2007). En effet, l'évaluation de la diversité génétique constitue une phase préalable aux travaux de conservation et d'amélioration de la production des ressources génétiques (Cherifi *et al.*, 1993). Ces études génétiques sont basées sur des marqueurs morphologiques, enzymatiques et moléculaires. En Côte d'Ivoire, peu de travaux portant sur l'évaluation de la diversité génétique du sorgho ont été réalisés. Ces études ont fait état de 445 accessions détruites au cours de la crise politico-militaire de 2002 (Koffi *et al.*, 2011). Néanmoins, les études réalisées par Koffi *et al.* (2011) sur 81 accessions de sorgho collectées dans le Nord du pays ont révélé cinq groupes agro-morphologiques de type botanique *Guinea* pour lesquels les caractères morphologiques ne sont pas les seuls critères de distinction, mais l'origine géographique joue un rôle important. Les variables, poids de 1000 grains, nombre de jours à 50 % de floraison, nombre de feuilles, distance d'exsertion de la panicule, longueur de la panicule, diamètre de la panicule, hauteur de la plante et nombre de talles productives ont été les plus prépondérants dans la discrimination des cinq morphogroupes révélés (Koffi *et al.*, 2011). L'un des morphogroupes identifié est constitué d'accessions provenant de la zone Nord-Ouest alors que les autres morphogroupes sont composés d'accessions provenant du Centre-Nord (Koffi *et al.*, 2011). Aussi, la présente étude se propose d'établir la structuration de la diversité agro-morphologique de 357 accessions de sorghos collectées en Côte d'Ivoire. Dans cette étude, le facteur type botanique a été mis en exergue, en vue de réaliser une meilleure exploitation du germoplasme dans les programmes de sélection.

MATERIEL ET METHODES

ZONE D'ETUDE

L'essai a été mené au cours de la saison culturale de juin à décembre 2017, à la station expérimentale du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Ferkessedougou. Le département de Ferkessedougou est situé au Nord de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 10°30' et 8°35' Ouest et les latitudes 5°55' et 3°30' Nord. La pluviosité annuelle est comprise généralement entre 1 000 mm et 1 400 mm avec une température moyenne qui oscille entre 28° C et 32° C. Les sols y sont ferrallitiques, peu profonds sur granite ou gneiss (Didier & Dulieu, 1988).

MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal caractérisé est issu d'une prospection et collecte effectuée en 2008 et en 2009 par le programme maïs, mil, sorgho du Centre National de Recherche Agronomique. Au total, 357 accessions de sorgho ont fait l'objet de la présente étude.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'essai a été mis en place sur une parcelle expérimentale de 18 328 m², selon un dispositif alpha lattice (blocs incomplets randomisés), avec trois répétitions. Ce dispositif s'adapte mieux au présent essai que d'autres vu le nombre relativement élevé des accessions. La parcelle élémentaire comportait deux lignes de 5 m de longueur, séparées de 80 cm. La distance entre poquet sur une ligne de semis a été de 50 cm, soit une densité de 20 plants par parcelle élémentaire. Les parcelles élémentaires voisines ont été séparées de 1 m. Des apports d'engrais minéraux sous forme NPKSB (15-15-15-6-1) ont été appliqués à la dose de 300 kg/ha au semis. Cinq à 10 graines par poquet ont été semées, suivi d'un démarrage à la levée à un plant par poquet, deux semaines après semis.

COLLECTE DES DONNEES

Vingt-cinq caractères agro-morphologiques sélectionnés dans le descripteur du sorgho

(IBPGR & ICRISAT, 1993) dont 12 caractères quantitatifs et 13 caractères qualitatifs ont été évalués. Ces caractères liés à l'architecture de la plante, à la morphologie de la panicule, de l'épillet et du grain ont été mesurés sur 30 individus par accession. Au total, 10710 plants ont été mesurés à partir des caractères morphologiques quantitatif et qualitatif.

ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique des caractères qualitatifs a consisté essentiellement à réaliser des analyses descriptives en vue de décrire l'abondance et la richesse phénotypique de la collection. Pour ce faire, les fréquences phénotypiques préalablement évaluées, ont été utilisées pour calculer l'indice de Shannon-Weaver, dans le but de mesurer la diversité phénotypique pour chaque descripteur qualitatif. Il a été calculé selon la formule suivante (Shannon., 1948) :

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

où n est le nombre de classes phénotypiques pour un caractère donné et P_i la fréquence d'une classe i par rapport au total. La diversité est faible lorsque $H' < 3$ bits, moyenne si $3 < H < 4$ et élevé quand $H' \geq 4$.

L'analyse statistique des caractères quantitatifs a été réalisée en vue d'évaluer les performances agronomiques, la structuration agro-morphologique des accessions et de déterminer les caractères quantitatifs les plus discriminants. L'analyse descriptive des caractères quantitatifs a consisté à évaluer les moyennes arithmétiques, l'écart-type de la moyenne et le coefficient de variation. Les données ont été considérées homogènes, lorsque le coefficient de variation est inférieur à 15 %, et inversement, lorsque le coefficient de variation est supérieur à 15 %, les données sont dites hétérogènes (<http://www.gymomath.ch/javmath/polycopie/OC%20stat4.pdf>)

Afin de vérifier le degré d'adéquation entre les caractères quantitatifs, les tests de sphéricité de Bartlett et de Kaiser Meyer-Olkin ont été effectués. Par la suite, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à partir de la matrice de corrélation des variables originelles standardisées. L'option « rotation varimax » a été sélectionnée afin de simplifier

l'interprétation des composantes en minimisant le nombre de variables qui ont des contributions élevées sur chaque composante. Pour réduire le nombre de composantes à analyser, seules les composantes principales d'une valeur propre supérieure à 1 ont été choisies selon la règle de Kaiser. Suite à l'ACP, une Classification Ascendante Hiérarchique (CHA) a été effectuée afin de regrouper les accessions selon leurs similarités morphologiques. La distance Euclidienne a été utilisée pour évaluer la dissimilarité entre les accessions. La procédure d'agrégation choisie a été la méthode de Ward, car elle minimise les variances intragroupes et maximise les variances intergroupes. La méthode basée sur la MANOVA (Mohammadi & Prasanna, 2003) a été privilégiée pour définir le nombre de groupes. Enfin, pour définir les caractères qui ont permis de discriminer les groupes obtenus par la CHA d'une part et valider la classification en affectant les accessions aux groupes définis par les modalités de la variable à expliquer, d'autre part, une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été effectuée. Le logiciel ECOLOGICAL METHODOLOGY 6.1 (Alice J. Kenney & Charles J. Krebs., Canada) a été utilisé pour le calcul de la diversité de Shannon-Weaver des caractères qualitatifs et les logiciels SPSS 16.0 (IBM Corp., USA) et STATISTICA 7.1 (StatSoft Inc., France) ont servi à la réalisation des analyses de variances et des analyses multivariées.

RESULTATS

VARIABILITE DES CARACTERES QUALITATIFS

Les fréquences observées des caractères qualitatifs sont présentées dans le tableau 1. Les caractères type de grain et couverture du

grain ont montré une faible variabilité. Toutes les accessions ont présenté des grains de type simple (100 %) et à moitié recouvert par les glumes (100 %). Par contre, une forte variabilité a été observée pour les autres caractères. Au niveau de la compacité de la panicule (CoPa), 33,71 % des accessions ont des panicules lâches à ramifications primaires retombantes et 66,29 % des accessions ont des panicules demi-lâches à ramifications primaires érigées. Concernant la forme du grain (FoGr), 30,34 % des accessions ont de petits grains et 69,66 % des accessions ont de gros grains. Quant à la vitrosité du grain (ViGr), les accessions ont des grains principalement cornés (28,09 %), intermédiaires (2,25 %), farineux (6,74 %) et complètement farineux (62,92 %). Une variabilité phénotypique a été également observée pour la couleur du grain (CoGr) et des glumes (CoGl). Sur les cinq modalités de couleur des grains, trois modalités ont été observées. Les morphotypes à grains blancs sont les plus dominants (60,39 %), suivi des morphotypes à grain rouge (30,06 %) et à grain pourpre (9,55 %). Cinq types de couleur des glumes ont été recensés ; les glumes de couleur noir (41,85 %), rouge (22,19 %), acajou (21,91 %), terre de sienne (12,64 %) et rouge sombre (1,40 %). En combinant la forme du grain, la couleur des grains et des glumes, dix types morphologiques ont été identifiés. Quant aux valeurs (H') de l'indice de Shannon, elles ont été plus élevées pour la couleur des glumes ($H'_{CoGl} = 1,920$ bits), la vigueur juvénile ($H'_{ViJu} = 1,811$ bits), la couleur des grains ($H'_{CoGr} = 1,506$ bits), la vitrosité des grains ($H'_{Vi} = 1,316$ bits) et l'égrenage des grains ($H'_{EgRe} = 1,122$ bits). Ces fortes valeurs (H') expriment l'existence d'une diversité phénotypique considérable entre les accessions. Par contre, une faible diversité a été observée pour les autres caractères, en raison de leur indice de Shannon (H') faible.

Tableau 1 : Treize caractères qualitatifs étudiés et leur niveau de diversité.*Thirteen qualitative characteristics studied and their level of diversity.*

Caractères qualitatifs observés	Types morphologiques	Fréquences (%)	Indices (H') de Shannon-Weaver
<i>Vigueur juvénile (ViJu)</i>	Très bonne	0,56	1,811
	Bonne	7,02	
	Moyenne	41,02	
	En dessous de la moyenne	32,30	
	Médiocre	19,10	
<i>Synchronisme de la floraison (SyFl)</i>	Floraison synchrone	2,81	0,183
	Floraison asynchrone	97,19	
<i>Sensibilité à la verse (SeVe)</i>	1 - 10% de plants versés	79,49	0,841
	10 - 25% de plants versés	17,42	
	25 - 50 % de plants versés	3,09	
<i>Egrenage ou aptitude au battage de l'épillet (EgRe)</i>	Egrenage au toucher	71,91	1,122
	Ne s'égrène pas mais battage facile	16,29	
	Ne s'égrène pas et battage difficile	11,80	
<i>Compacité de la panicule (CoPa)</i>	Lâche à ramifications primaires retombantes	33,71	0,921
	Demi-lâche à ramifications primaire érigées	66,29	
<i>Couverture du grain (CvGr)</i>	½ du grain recouvert	100	0
<i>Couleur de la glume (CoGl)</i>	Terre de sienne (jaune)	12,64	1,920
	Acajou	21,91	
	Rouge	22,75	
	Noire	41,57	
	Rouge-sombre	1,12	
<i>Couleur du grain (CoGr)</i>	Blanc	60,39	1,506
	Rouge clair	3,93	
	Rouge	25,00	
	Rouge sombre	1,12	
	Pourpre	9,55	
<i>Brillant du grain (BrGr)</i>	Luisant	39,04	0,960
	Non-luisant	60,96	
<i>Type du grain (TyGr)</i>	Simple	100	0
<i>Forme du grain (FoGr)</i>	Petit	30,34	0,884
	Gros	69,66	
<i>Vitrosité du grain (ViT)</i>	Principalement corné	28,09	1,316
	Intermédiaire	2,25	
	Principalement farineux	6,74	
	Complètement farineux	62,92	
<i>Type botanique (TBO)</i>	<i>Guinea margaritifera</i>	30,34	0,884
	<i>Guinea gambicum</i>	69,66	

IDENTIFICATION DES TYPES BOTANIQUES PRESENTES DANS LA COLLECTION

La combinaison des caractères compacité de la panicule, type du grain et couverture des glumes a permis de déterminer le type botanique des accessions locales de sorgho. Un seul type botanique a été identifié. Il s'agit du type botanique *Guinea* caractérisée par des panicules

lâches à demi-lâches, des grains de type simple, aplatis dorso-ventralement et recouvert par un bâillement des glumes. Par ailleurs, la description des caractères forme et vitrosité du grain a mis en évidence deux sous-types botaniques : *Guinea margaritifera* (30,34 %) caractérisés par de petits grains vitreux et les *Guinea gambicum* (69,66 %) définis par de gros grains farineux (Figure 1).



Figure 1. a- Panicules de sorgho *Guinea gambicum* de l'accession AC 115 (panicules demi-lâches, à gros grains blancs farineux et glumes noires)



Figure 1. b- Panicules de sorgho *Guinea margaritifera* de l'accession AC 144 (panicules lâches, à petits grains rouge vitreux et à glumes acajou)

ANALYSE DESCRIPTIVE DES CARACTERES QUANTITATIFS

Pour la totalité des 12 caractères analysés, l'analyse multiple de la variance (MANOVA) a indiqué globalement la présence de différences hautement significatives entre les accessions ($F = 20$; $P < 0,01$). Au sein des accessions, le cycle 50 % floraison (TeFl) a varié de 61 à 102 jours, la hauteur de la plante (HaPl) de 121,5 à 378,76 cm et le diamètre au collet (DiCo) de 7,73 à 25,3 mm. Aussi, le nombre de feuilles (NoFe) a oscillé entre 7 et 17 et le poids de mille grains (PMG) entre 7,9 et 30,5 g. Les valeurs du coefficient de variation ont été élevées

pour le nombre de talles aériens ($CV_{TaE} = 42,9\%$), l'exsertion paniculaire ($CV_{ExPa} = 39,7\%$), le poids de la panicule ($CV_{PoPa} = 38,6\%$), le poids de mille grains ($CV_{PMG} = 30,8\%$), le diamètre au collet ($CV_{DiCo} = 20,4\%$), la hauteur de la plante ($CV_{HaPl} = 17,6\%$), la largeur de la panicule ($CV_{LaPa} = 16,7\%$), la longueur du pédoncule ($CV_{LoPe} = 15,9\%$) et la longueur de l'entre nœud ($CV_{LoEn} = 15,4\%$). Ce qui témoigne d'une variabilité importante entre les accessions pour ces neuf caractères. Par contre, une faible variation ($CV < 15\%$) a été observée pour le temps de 50 % de floraison (TeFl), le nombre de feuilles (NoFe) et la longueur de la panicule (LoPa).

Tableau 2 : Résultats de l'analyse descriptive des caractères quantitatifs.

Results of descriptive analysis of quantitative traits.

Caractères	Mini.	Maxi.	Moy.	CV %	F	p
TeFl (jour)	61,667	102,000	76,734	14,1	236	0,00
HaPl (cm)	121,500	378,767	282,565	17,6	7,62	0,00
NoFe	7,167	17,450	11,569	14,8	1,630	0,000000
LoEn (cm)	11,830	31,200	22,086	15,4	10,5	0,00
DiCo (mm)	7,730	25,300	14,800	20,4	7,80	0,00
LoPe (cm)	30,800	82,833	60,663	15,9	19,7	0,00
ExPa (cm)	-5,700	37,767	18,432	39,7	15,87	0,00
LoPa (cm)	18,717	42,200	31,976	11,3	5,2	0,00
LaPa (cm)	4,583	20,400	6,828	16,7	3,30	0,00
TaE	1,000	3,333	1,206	42,9	21,42	0,00
PoPa (g)	4,000	70,000	31,781	38,6	391,9	0,00
PMG (g)	7,900	30,500	19,192	30,8	6499	0,00

MESURE DE L'ADEQUATION ENTRE VARIABLES QUANTITATIVES

Le tableau 3 présente le test de sphéricité de Bartlett et la mesure d'adéquation de Kaiser Meyer-Olkin (KMO) entre variables. La p -valeur du test de sphéricité de Bartlett étant inférieure au seuil de signification de 1 %, l'hypothèse d'une matrice des corrélations identité a été rejetée. La valeur du KMO globale située dans la fourchette de valeurs qualifiées de très bien (0,8-0,9) a indiqué l'existence d'une bonne adéquation entre les variables. Selon l'échelle de Kaiser, six (06) variables que sont la hauteur de la plante (HaPl), le nombre de feuilles (NoFe), la longueur du pédoncule (LoPe), l'exsertion

paniculaire (ExPa), la longueur de la panicule (LoPa), le poids de 1000 grains (PMG) ont révélé des valeurs KMO situées dans la fourchette de valeurs très bien (0,8-0,9). Cinq (05) variables à savoir le temps de 50 % de floraison (TeFl), longueur de l'entre-nœud (LoEn), diamètre au collet (DiCo) et largeur de la panicule (LaPa) ont montré des valeurs KMO situées dans la fourchette bien (0,7-0,8). Seule la variable largeur de la panicule (LaPa) a indiqué une valeur KMO située dans la fourchette qualifiée de médiocre (0,5-0,6). Enfin, la variable nombre de talles aériens (TaE) s'est classée dans la fourchette des valeurs KMO qualifiées de mauvais (KMO < 0,5). De ce qui précède, onze (11) variables sur un total de douze (12), ont été sélectionnées pour les analyses multivariées.

Tableau 3 : Test de sphéricité de Bartlett et mesure de précision d'échantillonnage KMO des caractères quantitatifs.

Bartlett sphericity test and KMO sampling accuracy measurement of quantitative traits.

Caractères agro-morphologiques	Mesure de précision d'adéquation de Kaiser-Meyer-Olkin
<i>Temps de 50 % de floraison (TeFl)</i>	0,758
<i>Hauteur de la plante (HaPl)</i>	0,886
<i>Nombre de feuilles (NoFe)</i>	0,840
<i>Longueur de l'entre-nœud (LoEn)</i>	0,799
<i>Diamètre au collet (DiCo)</i>	0,752
<i>Longueur du pédoncule (LoPe)</i>	0,871
<i>Exertion paniculaire (ExPa)</i>	0,838
<i>Longueur de la panicule (LoPa)</i>	0,802
<i>Largeur de la panicule (LaPa)</i>	0,795
<i>Nombre de talles aériens (TaE)</i>	0,271*
<i>Poids de la panicule (PoPa)</i>	0,649
<i>Poids de mille grains (PMG)</i>	0,842
KMO global	0,831
Khi-deux approximé	
Test de Bartlett	3314,376
ddl	66
Signification de Bartlett	$P < 0,001$

NB : Nombre de talles aériens en astérisque éliminée en raison de son KMO inférieur à 0,5).

STRUCTURATION DE LA DIVERSITE MORPHOLOGIQUE

Facteurs de variabilité identifiés

L'Analyse en Composante Principale (ACP) des 11 caractères sélectionnés à partir du critère d'adéquation entre variables (KMO), permet de dégager trois facteurs principaux de variabilité de valeur propre supérieure ou égale à 1 (Tableau 4).

Ces facteurs de variabilité cumulent 80,85 % de la variance totale. Le facteur 1, associé aux

caractères, diamètre au collet, longueur de l'entre-nœud, hauteur de la plante, poids de mille grains, poids de la panicule, restitue 44,90 % de la variabilité totale. Il est caractéristique de la vigueur végétative et du rendement. Le facteur 2, décrit par le temps de 50 % de floraison, l'exsertion paniculaire et le nombre de feuilles, traduit 24,48 % de la variabilité totale. Ce facteur traduit la précocité du cycle. Le facteur 3 qui révèle 11,46 % de la variabilité totale est fortement et positivement corrélé au caractère largeur de la panicule. Il apporte une information complémentaire aux deux premiers facteurs de variabilité.

Tableau 4 : Variance totale et poids factoriels.

Total variance and factorial weights.

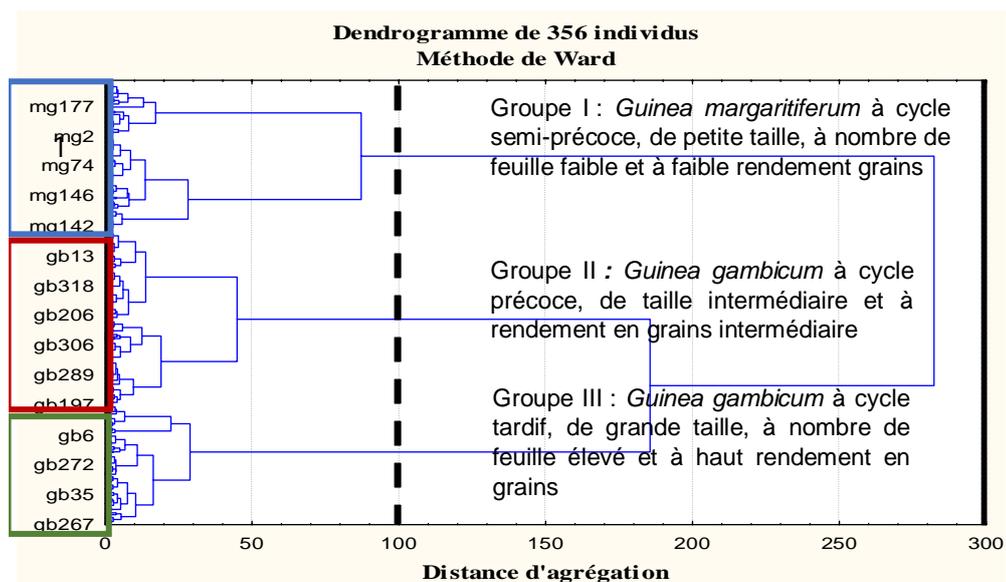
Composantes principales (CP)	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
Valeur propre	4,94	2,69	1,26
% Variance totale	44,90	24,48	11,46
% Variance totale cumulée	44,90	69,38	80,85
<i>Hauteur de la plante (HaPl)</i>	-0,943*	-0,039	0,066
<i>Longueur de l'entre-nœud (LoEn)</i>	-0,884*	0,109	-0,017
<i>Poids de mille grains (PMG)</i>	-0,852*	0,004	-0,338
<i>Diamètre au collet (DiCo)</i>	-0,827*	-0,302	0,031
<i>Poids de la panicule (PoPa) (g)</i>	-0,810*	0,008	-0,055
<i>Longueur du pédoncule (LoPe)</i>	-0,656	0,653	-0,122
<i>Temps de 50 % à la floraison (TeFl)</i>	-0,160	-0,852*	0,041
<i>Exertion de la panicule (ExPa)</i>	-0,311	0,797*	-0,316
<i>Nombre de feuilles (NoFe)</i>	-0,570	-0,731*	0,090
<i>Largeur de la panicule (LaPa)</i>	0,002	0,505	0,749*
<i>Longueur de la panicule (LoPa)</i>	-0,567	0,103	0,673

NB : Les corrélations supérieures ou égales à 0,7 contribuent plus à la formation des axes indiqués / correlations greather than or equal to 0.7 contribute more to the formation of the axes indicated.

Morphogroupes de sorgho identifiés

Le dendrogramme établi par la méthode d'agrégation de Ward, permet la structuration de la collection en trois morphogroupes. Cette structuration des accessions s'est faite en fonction des sous-types botaniques de sorgho identifiés dans la collection (*Guinea gambicum* et *Guinea margaritifera*) (Figure 2). La qualité de partition du dendrogramme en trois morphogroupes est justifiée par le test de l'analyse multivariée de la variance ($F = 55,13$; $p < 0,001$). Le morphogroupe GI (124 accessions), est composé de sorghos *Guinea margaritifera*, de petite taille ($229,60 \pm 28,92$ cm), à faible nombre de feuilles ($10,80 \pm 1,17$),

à cycle semi-précoce ($76,67 \pm 11,79$ jours), à poids de panicules ($21,11 \pm 6,68$ g) et de mille grains ($12,30 \pm 3,13$ g) faible. Le morphogroupe GII (136 accessions), rassemble les sorghos *Guinea gambicum*, de taille intermédiaire ($298,99$ cm \pm 27,29 cm) à faible nombre de feuilles ($10,67 \pm 0,70$), à cycle précoce ($69,21 \pm 3,55$ jours) et ayant un poids de panicule ($33,47 \pm 8,43$) et de mille grains intermédiaire ($21,23 \pm 2,38$ g). Le morphogroupe GIII (96 accessions), se caractérise par des *Guinea gambicum*, de très grande taille ($327,70 \pm 30,14$ cm), à nombre de feuilles très élevé ($13,83 \pm 1,19$), à cycle tardif, à poids de panicule ($41,76 \pm 0,91$ g) et à poids de mille grains ($25,19 \pm 2,48$) plus élevé.

**Figure 2** : Morphogroupes de sorgho identifiés à l'aide de la Classification Hiérarchique Ascendante.

Sorghum morphogroups identified using the Ascending Hierarchical Classification.

Tableau 5 : Analyse de la variance à un facteur et test *HSD* de Tukey.*One-way variance analysis and Tukey HSD test.*

Caractères	Groupe I	Groupe II	Groupe III	F	p
<i>TeFl (jour)</i>	76,67 ± 11,70 ^b	69,21 ± 3,55 ^c	87,47 ± 6,34 ^a	146,46	0,000000
<i>HaPl (cm)</i>	229,60 ± 29,82 ^c	298,99 ± 27,29 ^b	327,70 ± 30,14 ^a	345,56	0,000000
<i>NoFe</i>	10,80 ± 1,17 ^b	10,67 ± 0,70 ^b	13,83 ± 1,19 ^a	321,85	0,000000
<i>LoEn (cm)</i>	18,46 ± 2,1 ^c	23,45 ± 1,77 ^b	24,84 ± 2,43 ^a	301,61	0,000000
<i>DiCo (cm)</i>	1,23 ± 0,17 ^c	1,47 ± 0,20 ^b	1,81 ± 0,23 ^a	229,75	0,000000
<i>LoPe (cm)</i>	51,05 ± 6,74 ^c	69,39 ± 4,18 ^a	60,71 ± 5,88 ^b	342,88	0,000000
<i>ExPa (cm)</i>	14,75 ± 8,89 ^b	23,24 ± 3,65 ^a	16,37 ± 4,88 ^b	67,16	0,000000
<i>LoPa (cm)</i>	29,95 ± 3,29 ^b	33,31 ± 3,62 ^a	32,70 ± 2,73 ^a	36,97	0,000000
<i>LaPa (cm)</i>	6,91 ± 0,97 ^a	7,12 ± 0,77 ^a	6,16 ± 0,55 ^b	42,80	0,000000
<i>PoPa (g)</i>	21,11 ± 6,68 ^c	33,47 ± 8,43 ^b	43,17 ± 11,04 ^a	178,36	0,000000
<i>PMG (g)</i>	12,30 ± 3,13 ^c	21,23 ± 2,38 ^b	25,19 ± 2,48 ^a	684,08	0,000000
<i>Effectifs</i>	124	136	96		
	34,83 %	38,20 %	26,96 %		

Validité des morphogroupes de sorgho préalablement établis à partir de la CHA

Le test d'égalité de moyennes de l'AFD a révélé que neuf sur les 12 caractères agro-morphologiques retenus permettent de discriminer de façon significative les morphogroupes obtenus. Le lambda de Wilk a permis de classer les caractères par ordre hiérarchique de pouvoir discriminant (Tableau 6). Ce sont ; le poids de mille grains (0,676), la

longueur du pédoncule (0,733), le nombre de feuilles (0,805), l'exertion de la panicule (0,862), la largeur de la panicule (0,876), le poids de la panicule (0,903), le temps de 50 % de floraison (0,921), la longueur de l'entre-nœud (0,928), la hauteur de la plante (0,964) et la longueur de la panicule (0,986). La projection des trois groupes dans le plan 1-2 de l'AFD montre une structuration des morphogroupes sans chevauchement des ellipses de dispersion (Figure 3).

Tableau 6. Test du lambda de Wilk des onze variables sélectionnées.*Wilk lambda test of the eleven selected variables.*

Caractères	Wilk(λ)	F	ddl1	ddl2	p
<i>Poids de 1000 grains</i>	0,676	82,115	2	353	0,000000
<i>Longueur du pédoncule</i>	0,733	62,561	2	353	0,000000
<i>Nombre de feuilles</i>	0,805	41,579	2	353	0,000000
<i>Exsertion de la panicule</i>	0,862	27,355	2	353	0,000000
<i>Largeur du pédoncule</i>	0,876	24,345	2	353	0,000000
<i>Poids de la panicule</i>	0,903	18,340	2	353	0,000000
<i>Temps de 50 % de floraison</i>	0,921	14,664	2	353	0,000001
<i>Longueur de l'entre-nœud</i>	0,928	13,328	2	353	0,000003
<i>Hauteur de la plante</i>	0,964	6,326	2	353	0,002004
<i>Diamètre au collet</i>	0,986	2,361	2	353	0,095861
<i>Longueur de la panicule</i>	0,986	2,360	2	353	0,095948

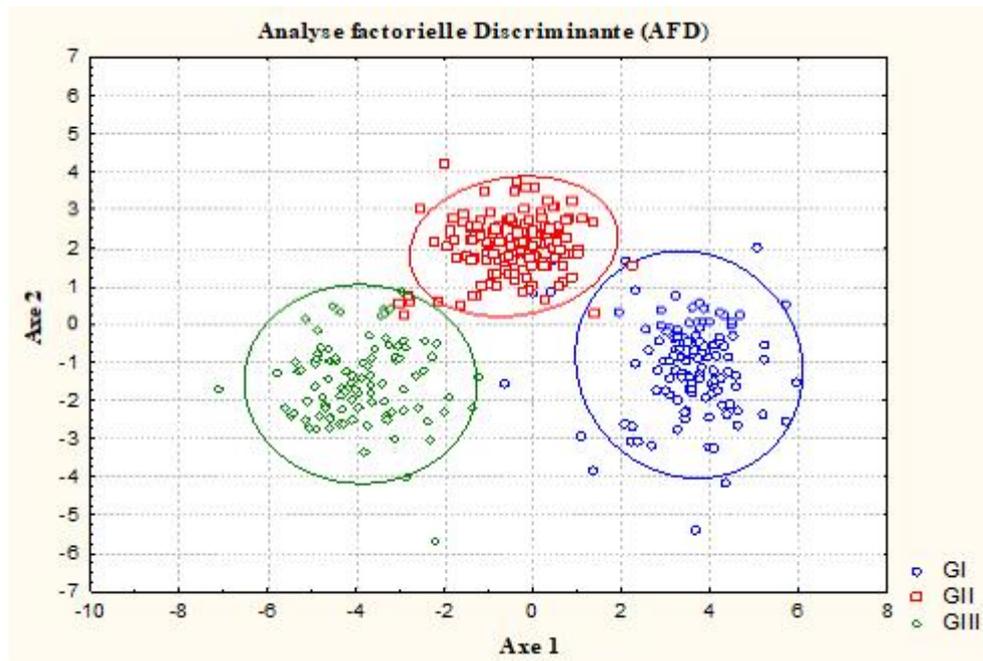


Figure 3 : Projection des morphogroupes sur le plan de l'AFD.

Projection of morphogroups on AFD's plan.

DISCUSSION

La caractérisation des ressources génétiques des espèces cultivées revêt un intérêt important car les ressources génétiques sont d'autant plus et mieux utilisées qu'elles sont bien connues et donc caractérisées. Les analyses descriptives des caractères de la panicule ont révélé que la totalité de la collection appartient au type botanique *Guinea*, subdivisée en deux sous-types botaniques : les *Guinea gambicum* (69,66 %) et *Guinea margaritifera* (30,34 %). La prépondérance des sorghos *Guinea* pourrait s'expliquer dans un premier temps par le fait que la situation biogéographique de la zone de collecte se trouve au cœur du centre de diversification de ce type botanique. En effet, selon Harlan et De Wet (1972), les sorghos *Guinea* sont originaires d'Afrique de l'Ouest, donc inféodés au climat du milieu ; ce qui justifierait leur prépondérance dans les systèmes culturaux pratiqués par la plupart des producteurs vivants au Nord de la Côte d'Ivoire. Cette préférence du type botanique *Guinea* pourrait également être liée à un héritage culturel en termes de variétés traditionnelles, perpétué de génération en génération.

De façon similaire, Koffi *et al.* (2011) ont obtenu uniquement des Sorghos *Guinea*, à l'issue d'une

étude de diversité réalisée sur 81 accessions de sorgho collectées dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Au Burkina Faso, Barro-Kondombo *et al.* (2008) ont identifié trois principaux types botaniques (*Guinea*, *Durra* et *Caudatum*) à partir de 190 cultivars locaux de sorgho prospectés dans deux régions du pays. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les autres types botaniques (*Durra* et *Caudatum*) sont mal adaptés aux conditions agro-climatiques et aux systèmes de cultures rencontrés en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, la forte diversité en morphotypes de sorgho obtenue ne pourrait résulter que d'une culture continue liée à la perception de la diversité par les agriculteurs locaux et son exploitation à divers fins.

L'étude des caractères quantitatifs a révélé des amplitudes et des coefficients de variation élevés pour la majorité des caractères analysés. Ce qui suggère l'existence d'une forte variabilité phénotypique entre les accessions étudiées. Cette importante diversité agro-morphologique pourrait résulter d'une variation dans la constitution génétique des accessions.

Les analyses multivariées ont été réalisées en prenant en compte le type botanique comme facteur de diversité. La CHA a permis d'identifier trois morphogroupes repartis en deux types botaniques. La révélation d'une structuration des

accessions en fonction du critère sous-types botaniques par la CHA indique que chez le sorgho la structuration agro-morphologique se ferait toujours en fonction du type botanique et que ce facteur permettrait de mieux expliquer la diversité (Nebie B *et al.*, 2013 ; Sawadogo N *et al.*, 2014). La classification du poids de 1000 grains (PMG) comme étant la variable la plus discriminante des morphogroupes par le test du lambda de wilk suggère que chez les sorghos *Guinea* la diversité agro-morphologique serait basée sur la forme des grains. En outre, la structuration sans chevauchement des ellipses de dispersion des morphogroupes découlants de l'AFD, témoignent de la présence d'une forte affinité phylétique au sein des *Guinea margaritifera* et l'existence de deux pools génétiques complémentaires au sein des *Guinea Gambicum* (précoce à rendement intermédiaire et tardif à haut rendement). Le nombre de groupes (03) obtenus corroborent ceux de Djè *et al.* (2007), Sawadogo *et al.* (2014) et Danbe *et al.* (2018) qui ont aussi décelé trois morphogroupes au sein de leur collection de sorgho, respectivement originaires du Maroc, du Burkina-Faso et du Cameroun. A l'opposé, la structuration obtenue diffère de celle présentée par Koffi *et al.* (2011) (3 contre 5). Ce constat pourrait s'expliquer par la différence du nombre d'accessions caractérisées (357 contre 81). Au Burkina-Faso, les travaux réalisés par Barro-Kondombo *et al.* (2008) ont révélé 4 groupes agro-morphologiques. Cela serait due à la forte richesse botanique de sa collection (1 race contre 3 races) composée des *Guinea* (96,8 %), des *Durra* (1,6 %), des *Caudatum* (0,5 %) et autres (1,1 %). En somme, la diversité agro-morphologique observée suggérerait que parmi les groupes formés, les *Guinea gambicum* (GII et GIII) à pools génétiques complémentaires pourraient conduire à la création d'hybrides destinés à la sélection du sorgho en Côte d'Ivoire.

CONCLUSION

Une forte variabilité agro-morphologique et botanique a été observée au sein de la collection de sorgho. Cette collection est constituée des sorghos de type botanique *Guinea* dont 69,66 % de sous - type botanique *Guinea gambicum* et 30,34 % de sous - type botanique *Guinea margaritifera*. En outre, trois morphogroupes ont été décelés à partir des analyses multivariées. Il s'agit des *Guinea margaritifera* à cycle semi-précoce et à faible rendement en

grains, des *Guinea gambicum* à cycle précoce et à rendement en grains intermédiaire et des *Guinea gambicum* à cycle tardif et à haut rendement en grains. Ces résultats obtenus constituent une base d'information essentielle dans l'orientation des programmes d'amélioration de l'espèce.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'organisme Korea-Africa Food and Agriculture Cooperation Initiative (KAFACI) et le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) pour leur appui financier, logistique et technique.

REFERENCES

- Akanvou L., Akanvou R. and K. Toto. 2006. Effets des variétés de maïs et de légumineuses dans la lutte contre *Striga hermonthica* en zone de savane en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*. 18 (1) : 13 - 21.
- Barro-Kondombo C., Vom Brocke K., Chantereau J., Sagnard F. and J. D. Zongo. 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions agricoles du Burkina Faso : la Boucle du Mouhoun et le Centre-nord. *Cahiers Agricultures*. 17 : 107 - 113.
- Béninga M. B. 2014. Diagnostic des systèmes de culture à base de mil en Côte d'Ivoire et perspectives d'amélioration. *Journal of Applied Biosciences*. 79 : 6878 - 6886.
- Cherifi K., Boussaïd M. and Marrakchi. 1993. Diversité génétique de quelques populations naturelles de *Medicago ciliaris* (L) Krock et de *Medicago intertexta* (L) Mill. *Agronomie*. 13 : 895 - 908.
- Danbe N., Yakouba O., Sobda G., Basga S. D., Lenzemo V., Kaouvon P., Dickmi V. C., Suh C., Djonnewa A., Youri A. and A. Kaboui. 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.
- Derache R. 1989. Toxicologie et sécurité des aliments. Edition Technique et documentation. Lavoisier : pp 55 - 60.
- Didier C. and D. Dulieu. 1988. *Fruit*. 43: 735 - 737.
- Djè Y., Heurtz M., Ater M., Lefebvre C. and X. Vekemans. 2007. Evaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-Ouest du Maroc.

- Biotechnologie Agronomie Sociologie Environnement*. 11 (1) : 39 - 46.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/fr/#home>.
- Harlan J. R. and De. J. M. J. Wet. 1972. A simplified classification of cultivated Sorghum. *Crop Science*. 12(2) : 172 - 176.
- IBPGR/ICRISAT *Bioversity International*. 1993. Rome 38
- Koffi Kouamé.G.C., Akanvou L., Akanvou R., Zoro B.I.A., Kouakou K.C.and H.A N'DA. 2011. Diversité morphologique du sorgho [*Sorghumbicolor* (L.) Moench] cultivé en Côte d'Ivoire. *Revue ivoirienne des Sciences et Technologie*. 17 : 125 – 142.
- Mohammadi S. A. and B. M. Prasanna. 2003. Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants - Salient Statistical Tools and Considerations. *Crop Science*. 43 : 1235 - 1248.
- Nebié B., Nanema K. R., Bationo K. P., Traoré R. E., Labeyrie V., Sawadogo N., Sawadogo M. and J. D. Zongo. 2013. Variation des caractères agro-morphologiques et du brix d'une collection de sorghos à tige sucrée du Burkina Faso. *International Journal Biology. Chemical. Sciences*. 7(5) : 1919 - 1928.
- Rasul M. G., Hiramatsu M. and H. Okubo. 2007. Genetic relatedness (diversity) and cultivar identification by randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) makers in teastle gourd (*Momordica dioica* Roxb.). *Scientia Horticulturae*. 111 : 271 - 279.
- Sawadogo N., Nebie B., Kiebre M., Kando B. P., Nanema K. R., Traore R. E., Naoura G., Sawadogo M. and J. D. Zongo. 2014. Caractérisation agro-morphologique des sorghos à grains sucrés (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) du Burkina Faso. *International Journal Biology. Chemical. Sciences* 8(5) : 2183 -2197.
- Shannon C.E and W. Weaver. 1948. The mathematical theory of communication. *Scientific American* 181 (1) : 11 – 15. (<http://www.gymomath.ch/javmath/polycopie/OC%20stat4.pdf>)