

CARACTERISATION AGRO-MORPHOLOGIQUE DES ACCESSIONS DE FONIO (*Digitaria exilis*) COLLECTEES AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE

A. M. DO¹, H. A. *N'DA², L. AKANVOU², D. P. SOKOURI³

¹ Etudiante au Laboratoire de génétique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny,
22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

² Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Km 17, Route de Dabou. 01 BP 1740 Abidjan, Côte d'Ivoire

³ Université Félix Houphouët Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de Génétique,
01 BP V34 Abidjan 01 COTE D'IVOIRE.

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

RESUME

Le fonio [*Digitaria exilis* Stapf (Kippist.)], céréale à petits grains, cultivée et consommée dans le nord de la Côte d'Ivoire, est un aliment clé de la sécurité alimentaire des populations de cette zone. Cependant, aucune étude portant sur la diversité génétique des variétés locale n'a été réalisée à ce jour. La présente étude vise à évaluer le niveau et la structuration de la variabilité agro-morphologique. Ainsi, 217 accessions de fonio ont été caractérisées à l'aide de 24 caractères agro-morphologiques dans un dispositif en blocs de Fischer à trois répétitions. Une variabilité morphologique moyenne a été observée entre les accessions. Ceci est confirmé par l'analyse des composantes principales qui a permis d'expliquer 51,516 % de la variabilité. La classification ascendante hiérarchique (CAH) a mis en évidence quatre groupes : (1) les accessions à cycle court et à faible production, (2) les accessions à cycle intermédiaire et à production moyenne, (3) les accessions à cycle long et à forte production et (4) les accessions à cycle long mais à faible production. L'analyse factorielle discriminante (AFD), à travers le test de Wilks, a montré que sept variables sur 24 permettent de discriminer les groupes. Ils peuvent constituer des critères de base pour différencier les variétés de fonio en Côte d'Ivoire. Les groupes identifiés peuvent servir de point de départ pour une amélioration de l'espèce.

Mots clés : *Digitaria exilis*, variabilité agro-morphologique, accession, fonio, Côte-d'Ivoire

ABSTRACT

AGRO-MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FONIO ACCESSIONS COLLECTED IN NORTHERN COTE D'IVOIRE

Fonio [Digitaria exilis Stapf (Kippist.)], a small grain cereal, grown and consumed in northern Côte d'Ivoire, is a key food security for the people of this area. However, no study on the genetic diversity of landraces has been carried out to date. The present study aims to assess the level and structure of agro-morphological variability. Thus, 217 fonio accessions were characterized using 24 agro-morphological characters in a randomized complete block design (RCBD) with three replicates. An average morphological variability was observed between the accessions. This is confirmed by the analysis of the principal components which made it possible to explain 51.516 % of the variability. The ascending hierarchical classification highlighted four groups: (1) short cycle and low production accessions, (2) intermediate cycle and medium production accessions, (3) long cycle and high production accessions and (4) long cycle but low production accessions. The discriminant factor analysis (AFD), through the Wilks test, showed that seven variables out of 24 allow to discriminate groups. They can constitute basic criteria to differentiate the varieties of fonio in Côte d'Ivoire. The identified groups can serve as a starting point for improving the species.

Keys words : *Digitaria exilis*, Agro-morphological variability, accession, fonio, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

Depuis la naissance de l'agriculture, de très nombreuses plantes ont été domestiquées pour l'alimentation humaine ou animale, mais aujourd'hui seules quelques dizaines d'espèces sont cultivées à grande échelle sur la planète (Cruz et al., 2011). Un grand nombre d'espèces ont été négligées ou sous-utilisées. Pourtant, ces espèces connues sous le nom de cultures mineures, peuvent contribuer à résoudre certaines problématiques, telles que la faim, la pauvreté et l'adaptation au changement climatique (Mayes et al. 2012).

Le fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.], est une petite plante herbacée annuelle d'origine africaine (Cruz, 2001). Il est une plante glabre, haute de 30 à 80 cm au tallage multiple et rampant se terminant par des panicules qui porte chacune 2 à 5 grappes filiformes appelées racèmes renfermant de minuscules graines (Porteres, 1955). Le fonio (*Digitaria exilis*) appartient à la famille des graminées et au genre *Digitaria*. L'aire de culture du fonio s'étend entre les 8^e et 14^e parallèles nord, en Afrique, du Sénégal au Lac Tchad (Porteres, 1976 ; Cruz, 2007). Il est surtout cultivé en Guinée où il constitue une des nourritures de base des populations des régions montagneuses du Fouta Djallon (Diallo, 1997). Il est également rencontré au Mali, au Burkina Faso, au Nigéria, au Togo, au Sénégal et au Bénin (Cruz, 2007).

En Côte d'Ivoire, la culture du fonio (*Digitaria exilis*) reste confinée dans la région des savanes, précisément dans le centre-nord et au nord (Assamoi, 1998).

Le fonio renferme beaucoup de vertus alimentaires. Il est riche en méthionine et en cystéine, deux acides aminés essentiels pour l'homme et déficients dans les céréales comme le blé, le riz, le maïs et le sorgho (Fliedel et al., 2004). Pauvre en gluten, le fonio est recommandé, en pharmacopée traditionnelle, aux diabétiques, aux personnes souffrant de surpoids et aux femmes enceintes (Adoukonou-Sagbadja et al., 2006, Vodouhè et al., 2006). De plus, riche en fibres, le fonio est très digeste et convient à l'alimentation des enfants et des personnes âgées. Les grains de fonio blanchis possèdent toutes les caractéristiques pour être un aliment intéressant dans la prise en charge diététique des personnes atteintes de diabète sucré (Besançon, 2000 ; Balde et al., 2008). Sa valeur nutritionnelle est comparable à celle du

riz, du maïs, du sorgho et du mil (Cruz, 2004 ; Cruz et al., 2011). De plus, cette céréale rustique résiste bien aux aléas climatique et ne craint ni la sécheresse ni les pluies abondantes et se cultive sur des terres hostiles aux sols sableux ou caillouteux (Cruz, 2004 ; Vall et al., 2011). De fait, le fonio est un aliment clé de la sécurité alimentaire des pays du Sud.

En Côte d'Ivoire, le fonio est utilisé dans l'alimentation humaine et entre dans la préparation de nombreuses recettes traditionnelles africaines comme le couscous, le tô, le fonio gras et la bouillie (Assamoi, 1998). Il y joue un rôle socio-culturel très important et contribue à l'alimentation des populations en période de soudure (Cruz, 2004). Cependant, comparativement aux principales cultures céréalières (riz, maïs, sorgho et mil), le fonio reste une plante mineure dans le système agraire ivoirien. Son processus de transformation pénible fait que sa culture est de plus en plus abandonnée, ce qui pourrait entraîner à la longue une érosion génétique importante de l'espèce. Pour préserver les ressources génétiques locales du fonio, il est donc nécessaire de mettre en place une collection représentative de la diversité existante. Les études de diversité génétique chez les céréales en Côte d'Ivoire se sont plus intéressées aux maïs (N'da et al., 2014 a et b ; N'da et al., 2015 ; N'da et al., 2016), aux mils (Akanvou et al., 2012) et aux sorghos (Koffi et al., 2011). Elles ont révélé une importante variabilité au niveau des marqueurs morpho-giques et moléculaires. La diversité génétique du fonio de la Côte d'Ivoire reste mal connue. En dehors de quelques informations sur les données botaniques, il n'existe pas à notre connaissance d'étude détaillée sur cette espèce. Ainsi, le programme céréale (maïs, mil, sorgho) du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a initié depuis 2007 des activités de recherche sur cette espèce. C'est dans ce contexte que des prospections ont été organisées de 2007 à 2010 par le département des ressources génétiques du CNRA en vue de collecter les accessions de fonio en Côte d'Ivoire. La présente étude porte sur la caractérisation agro-morphologique des accessions de fonio collectées en Côte d'Ivoire. Elle a été conduite dans le cadre d'un projet financé par le *Korea-Africa Food and Agriculture Cooperation Initiative* (KAFACI). L'objectif général de cette étude est d'évaluer la diversité génétique de la collection de fonio sur la base de caractères agro-morphologiques. Il s'agit de façon spécifique de : (i) déterminer le niveau et la structuration

de la variabilité agro-morphologique des accessions de fonio à l'aide des descripteurs de *Bioversity* ; (ii) identifier les variables les plus discriminantes qui différencient ces accessions. L'importance d'un tel travail est capitale pour le pays ; il contribuera à la préservation des populations locales de fonio qui constituent un patrimoine national menacé de disparition.

MATERIEL ET METHODES

ZONE D'ETUDE

L'essai a été conduit à la station de recherche du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Ferkessédougou, département situé au nord de la Côte d'Ivoire dans la zone soudanienne, entre les longitudes 10°30 et 8°35 Ouest et les latitudes 5°55 et 3°30 Nord. Cette ville est caractérisée par une faible pluviométrie variant de 800 à 1000 mm/an avec une température moyenne annuelle 30 °C (Lasm *et al.*, 2012). La végétation est constituée en majorité de savanes arborées et herbeuses, on y rencontre aussi des forêts claires. Les précipitations moyennes enregistrées par le service météo du CNRA, au cours de l'année de l'essai a été de 864 mm avec une température moyenne de 26,89 °C.

MATERIEL VEGETAL

L'étude a porté sur une collection de 217 écotypes de fonio issus de la banque de gènes du département des ressources génétiques du CNRA. Cette collection a été constituée en 2007 dans les régions situées au nord de la Côte d'Ivoire lors d'une prospection-collecte.

Préparation de la parcelle et entretien de la culture

La préparation du terrain a d'abord consisté à un défrichage mécanique d'une parcelle d'environ 2 000 m². Un labour a été ensuite effectué dès les premières pluies à l'aide d'un tracteur suivie d'un pulvérisage afin de réduire en miettes les grosses mottes de terre. Un apport en fumure de fond NPK a été appliquée à la volée à raison de 300 kg d'engrais par hectare, suivi d'un hersage. Enfin, les piquetages ont été effectués pour marquer les points de semis.

Un traitement herbicide a été utilisé pour éliminer tous les adventices qui ont repris après le labour. Il s'agit du Glyphader 360 SL qui a pour matière active le Glyphosate 360 g/l é.a.SL. Un désherbage manuel à travers des sarclages a été réalisé par la suite pour contrôler les adventistes.

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif en blocs de Fischer avec trois répétitions. Une allée de deux (2) mètres de largeur a séparé les blocs qui ont été subdivisé chacun en 217 parcelles élémentaires. Dans chaque parcelle élémentaire, une accession a été semée sur trois (3) lignes de quatre (4) mètres de longueur. La distance entre les lignes de semis d'une parcelle élémentaire ainsi que l'espacement entre poquets par ligne ont été de 0,20 m. Les semis ont été effectués à raison de 5 à 10 grains par poquet.

Collecte des données

Les mesures et les observations ont été effectuées de la floraison à la récolte sur un effectif de 10 plantes sélectionnées de façon aléatoire sur chaque parcelle élémentaire et dans chaque bloc, soit un total de 30 individus par accession. Au total 24 caractères morphologiques et agronomiques dont 17 caractères quantitatifs et sept caractères qualitatifs ont été mesurés pour la caractérisation des accessions. Pour les caractères quantitatifs, il s'agit notamment: du nombre de jours 50 % émergence (NJE) , du cycle de floraison (CyF), du nombre de talles par plante (NbT), de la hauteur de la plante (HPI) , de la hauteur de la panicule (HiP), du nombre de nœuds (NbN), du nombre de branches par plante (NbP) , de la longueur de la panicule (LP), de la longueur exsertion de la panicule (LexP), du nombre de racèmes par panicule (NbR), de la longueur des racèmes (LR), de la longueur de la feuille située en dessous de la feuille paniculaire (LsFP), de la largeur de la feuille située en dessous de la feuille paniculaire (IsFP), de la longueur de la feuille paniculaire (LFP), de la largeur de la feuille paniculaire (IFP), du nombre total de feuilles (NbF). Quant aux caractères qualitatifs, il s'agit de la vigueur juvénile (VJ), de la couleur des racèmes (ClrRa), de la couleur de la graine (ClrGr), de l'infection du mildiou (InfMil), charbon (Chrb), chenille foreur des tiges (ForTig), punaise des panicules (PunPa).

ANALYSES STATISTIQUES

Les statistiques descriptives (moyennes, écart-types et coefficients de variation) ont été effectuées pour estimer et décrire les performances des différents échantillons pour chaque caractère étudié. La structuration de la diversité morphologique des 217 accessions de fonio liée aux caractères quantitatifs a été évaluée par une analyse en composantes principales (ACP) afin d'évaluer la ressemblance entre les accessions analysées et comprendre les relations existantes entre elles. Ensuite, une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été effectuée pour regrouper les accessions en différentes classes homogènes. Une analyse de variance (ANOVA) à un facteur a été réalisée à la suite de la CAH pour comparer les valeurs moyennes des différentes classes en vue d'identifier les accessions de fonio ayant les meilleures caractéristiques agro-morphologiques. Enfin, une analyse factorielle discriminante (AFD) a été faite afin de faire ressortir les caractères qui discriminent les classes issues

de la CAH. Toutes les analyses ont été réalisées avec les logiciels XLSTAT 2018 et SPSS version 22.

RESULTATS

Performance des accessions sur les variables étudiées

Analyse des variables qualitatives

Le tableau 1 présente les résultats de l'analyse des caractères qualitatifs. Les caractères infection du mildiou, tolérance au charbon et aux attaques des punaises ont été les moins variables sur l'ensemble des accessions analysées. La plupart des accessions ont été peu infectées par ces maladies. Les caractères les plus variables ont été la couleur des grains et la couleur des racèmes à la floraison. Pour ces caractères, même si une prédominance a été observée pour un type morphologique, cela n'empêche pas la présence des autres types.

Tableau 1 : tableau récapitulatif des paramètres qualitatifs et de leur variabilité.

Caractères	Modalités	Fréquences
Vigueur Juvénile	Faible	23,563 %
	Intermédiaire	56,322 %
	Elevé	20,115 %
Couleur des racèmes à la floraison	Blanc	3,448 %
	Rougeâtre	58,046 %
Couleur des grains	Brune	38,506 %
	Gris clair	25,287 %
	Gris foncé	46,552 %
Infection du Mildiou	Violet	26,437 %
	Peu infecté	98,851 %
Charbon	Très infecté	1,149 %
	Peu infecté	96,552 %
Foreur des tiges	Très infecté	3,448 %
	Peu infecté	96,552 %
Punaise des panicules	Très infecté	3,448 %
	Peu infecté	87,931 %
	Très infecté	12,069 %

Analyse statistique descriptive

L'analyse descriptive des caractères quantitatifs a révélé l'existence d'une variabilité inter-accession considérable (tableau 2). Les valeurs du coefficient de variation indiquent une forte variation entre les accessions pour le nombre

de branche paniculaire, le nombre de talle par plante, la longueur exsertion de la panicule, le cycle de floraison, le nombre de nœuds, la hauteur de la panicule et le nombre total de feuilles (CV > 15 %). À l'inverse, des coefficients de variation faibles ont été observés pour les autres caractères (CV < 15 %).

Tableau 2 : valeurs minimales, maximales, écart-types et coefficients de variation des variables mesurées sur les accessions de fonio.

Variabes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (%)
NJE (jrs)	4,000	7,000	4,356	0,568	13,039
CyF (jrs)	44,000	94,000	69,839	11,891	17,026
CyM (jrs)	74,000	139,000	114,828	13,406	11,674
NbT (nbr)	10,900	46,600	24,090	7,776	32,278
NbP (nbr)	4,700	40,800	18,990	6,605	34,781
HPI (cm)	42,500	78,600	61,465	6,850	11,144
HiP (cm)	15,300	43,900	30,080	5,294	17,599
NbN (nbr)	4,070	12,800	7,890	1,356	17,186
LP (cm)	18,200	39,650	31,335	3,785	12,079
LexP (cm)	7,900	28,600	19,942	3,527	17,686
NbR (nbr)	2,200	4,300	3,069	0,389	12,675
LFsP (cm)	10,600	21,300	14,990	2,079	13,869
LFP (cm)	14,500	26,650	19,456	2,182	11,215
NbF (nbr)	4,070	12,800	7,882	1,334	16,924
IFP (cm)	0,400	0,700	0,484	0,049	10,123
LR (cm)	8,300	14,550	11,406	1,017	8,916
IFsP (cm)	0,400	0,700	0,523	0,049	9,369

NJE : nombre de jours 50 % émergence ; CyF : cycle de floraison ; NbT : nombre de talles par plante ; NbP : nombre de branches par plante ; HPI : hauteur de la plante ; HiP : hauteur de la panicule ; NbN : nombre de nœuds, LP : longueur de la panicule, LexP : longueur exsertion de la panicule ; NbR : nombre de racèmes par panicule ; LsFP : longueur de la feuille située en dessous de la feuille paniculaire ; LFP : longueur de la feuille paniculaire ; NbF : nombre total de feuilles ; IFP : largeur de la feuille paniculaire ; LR : longueur des racèmes, , lsfP : largeur de la feuille située en dessous de la feuille paniculaire.

Relations entre les variables et test de sphéricité de Bartlett

La matrice de corrélation de Pearson montre des corrélations hautement significatives et positives entre plusieurs couples de variables (Tableau 3). Ces corrélations sont celles qui associent les caractères nombre de talles (NbT) et nombre de panicules (NbP) avec $r = 0,899$, hauteur de la plante (HPI) et hauteur d'insertion de la panicule (HiP) avec $r = 0,831$, nombre de nœuds (NbN) et nombre de feuilles (NbF) avec $r = 0,998$, longueur de la panicule (LP) et longueur exsertion de la panicule (LexP) avec $r = 0,964$,

longueur de la feuille sous paniculaire (LFsP) et longueur de la feuille paniculaire (LFP) avec $r = 0,748$, largeur de la feuille sous paniculaire (IFsP) et largeur de la feuille paniculaire (IFP) avec $r = 0,771$. Cependant, aucune corrélation négative significative n'a été observée entre les différents couples.

Par ailleurs, l'indice KMO global pour la matrice et le test de sphéricité de Bartlett (KMO = 0,587, test de Bartlett avec un Khi-deux = 125,408 et $p < 0,0001$) sont significatifs. Ces résultats confirment que la matrice de données peut être soumise à des analyses factorielles exploratoires.

Tableau 3 : matrice de corrélations entre les caractères quantitatifs des accessions de fonio.

Variables	NJE	CyF	CyM	NbT	HPI	HiP	NbN	NbP	LP	LexP	NbR	LR	LFsP	IFsP	LFP	IFP	NbF
NJE	1																
CyF	0,010	1															
CyM	-0,068	0,591	1														
NbT	0,089	0,008	0,016	1													
HbI	0,170	0,133	0,017	0,205	1												
HIP	0,199	0,122	0,008	0,228	0,831*	1											
NbN	0,066	0,080	-0,049	0,266	0,345	0,593	1										
NbP	0,062	0,031	0,010	0,899*	0,250	0,140	0,111	1									
LP	0,029	0,078	0,018	0,055	0,636	0,108	-0,198	0,252	1								
LexP	0,043	0,046	-0,004	0,036	0,592	0,076	-0,220	0,244	0,964*	1							
NbR	0,181	0,014	-0,139	0,065	0,278	0,395	0,296	0,020	-0,035	-0,109	1						
LR	-0,027	0,126	0,090	0,063	0,330	0,138	0,021	0,080	0,393	0,140	0,238	1					
LFsP	0,082	0,087	0,043	0,125	0,406	0,367	0,176	0,073	0,231	0,098	0,446	0,509	1				
IFsP	-0,017	0,053	-0,064	0,168	0,418	0,276	0,116	0,234	0,369	0,345	0,137	0,181	0,333	1			
LFP	-0,044	0,121	0,061	0,188	0,448	0,277	0,052	0,173	0,430	0,317	0,273	0,488	0,748*	0,487	1		
IFP	0,034	-0,071	-0,167	0,096	0,325	0,231	0,076	0,121	0,265	0,269	0,038	0,050	0,190	0,771*	0,361	1	
NbF	0,056	0,078	-0,047	0,262	0,341	0,589	0,998*	0,105	-0,199	-0,222	0,285	0,023	0,165	0,109	0,043	0,070	1

(*) Corrélation hautement significatives ($r = 0,05$).

STRUCTURATION DE LA VARIABILITE

Analyses en composantes principales**Nombre de facteurs à retenir**

Le Tableau 4 donne les valeurs propres et le pourcentage de variance de chaque axe. D'après le critère de Kaiser, tout axe dont la valeur propre est supérieure à 1 doit être retenu pour l'analyse. Les trois premiers axes ont été retenus afin de décrire la variabilité totale des accessions de fonio. Ces axes permettent à eux seuls d'expliquer 51,516 % de la variance totale. Les trois axes cumulent respectivement 25,468 %, 15,761 % et 10,287 % de la variance totale.

Analyse des axes

L'examen des coordonnées des variables (Tableau 4) montre que les variables longueur

de la feuille paniculaire (LFP), longueur de la feuille sous paniculaire (LFsP), largeur de la feuille sous paniculaire (IFsP), hauteur de la plante (HPI) et hauteur d'insertion de la panicule (HiP) concourent le plus à la construction du premier axe. Ces paramètres sont fortement et significativement corrélés à cet axe avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,6. L'axe 1 peut donc être décrit comme l'axe du développement végétatif. Tandis que l'axe 2 est fortement et positivement corrélé aux caractères nombre de nœuds (NbN) et nombre de feuilles (NbF) et fortement et négativement corrélé à la longueur de la panicule (LP) et à la longueur d'exertion de la panicule (LexP). L'axe 2 apporte des informations complémentaires à celles de l'axe 1 relativement au développement végétatif mais l'axe 3 est positivement et fortement corrélé au nombre de talles (NbT) et au nombre de panicules (NbP). L'axe 3 peut donc être décrit comme l'axe de la production.

Tableau 4 : Vecteurs propres, pourcentage de variation et coordonnées factorielles des variables quantitatives exprimée par les trois premiers axes de l'Analyse en Composantes Principales.

Composantes principales	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Variance propre	4,584	2,837	1,852
%Variance totale	25,468	15,761	10,287
%variance totale accumulée	25,468	41,228	51,516
NJE (jours)	0,196	0,177	-0,161
CyF (jours)	0,151	0,011	-0,413
CyM (jours)	0,002	-0,065	-0,366
NbT (nombre)	0,401	0,202	0,602
HPI (cm)	0,863*	-0,030	-0,022
HiP (cm)	0,701*	0,457	-0,055
NbN (nombre)	0,412	0,797*	0,115
NbP (nombre)	0,412	-0,022	0,652
LP (cm)	0,582	-0,685	0,033
LexP (cm)	0,487	-0,686	0,147
NbR (nombre)	0,421	0,365	-0,315
LR (cm)	0,479	-0,185	-0,399
LFsP (cm)	0,654	0,014	-0,404
IFsP (cm)	0,637	-0,233	0,215
LFP (cm)	0,707*	-0,246	-0,233
IFP (cm)	0,497	-0,208	0,285
NbF (nombre)	0,403	0,796*	0,117

*Variables contribuant le plus à la formation des axes indiqués

Représentations des variables et des individus

La Figure 1 présente la projection des variables et des individus sur le plan formé par les axes 1 et 2 en fonction de leur contribution. L'analyse des contributions et des cosinus carrés a indiqué les individus qui ont le plus contribué à la formation des axes.

L'axe 1 permet d'opposer les accessions Ac 27

Ac 32, Ac 72, Ac 112, Ac 130, Ac 139 Ac 159 et Ac 162 se caractérisant par un développement végétatif important (grande taille, longue feuille sous paniculaire, large feuille sous paniculaire et longue feuille paniculaire) aux accessions Ac 2, Ac 3, Ac 8, Ac 13, Ac 14, Ac 30, Ac 44, Ac 65, Ac 100, Ac 111, Ac 157 et Ac 176 se distinguant par un faible développement végétatif (petite taille, petite feuille sous paniculaire, feuille sous paniculaire mince panicule courte et feuille

Tableau 5 : composition des différentes classes d'accessions de fonio formées à partir de la Classification Ascendante Hiérarchique.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
AC	AC 65	AC 3	AC 5	AC 14
AC 11	AC 70	AC 9	AC 7	AC 15
AC 16	AC 74	AC 10	AC 8	AC 24
AC 17	AC 96	AC 12	AC 19	AC 26
AC 22	AC 97	AC 13	AC 20	AC 28
AC 23	AC 99	AC 33	AC 21	AC 32
AC 25	AC 100	AC 40	AC 27	AC 43
AC 30	AC 101	AC 50	AC 29	AC 47
AC 39	AC 107	AC 68	AC 35	AC 58
AC 41	AC 114	AC 76	AC 38	AC 95
AC 42	AC 119	AC 79	AC 46	AC 102
AC 44	AC 133	AC 81	AC 49	AC 110
AC 45	AC 136	AC 88	AC 51	AC 113
AC 48	AC 137	AC 111	AC 52	AC 118
AC 53	AC 142	AC 117	AC 55	AC 132
AC 54	AC 148	AC 123	AC 62	AC 140
AC 56	AC 149	AC 126	AC 66	AC 146
AC 57	AC 158	AC 139	AC 67	AC 147
AC 61	AC 159	AC 141	AC 71	AC 150
AC 64	AC 160	AC 151	AC 72	AC 152
			AC 209	AC 162
			AC 210	AC 170
			AC 214	AC 197
			AC 215	AC 211
			AC 134	AC 217
			AC 135	
			AC 144	
			AC 145	
			AC 154	
			AC 155	
			AC 156	
			AC 157	
			AC 161	
			AC 163	
			AC 182	
			AC 185	
			AC 189	
			AC 190	
			AC 191	
			AC 193	
			AC 194	
			AC 200	
			AC 201	
			AC 202	

Caractéristiques des groupes

Une analyse de variance réalisée sur les différentes classes issues de la classification hiérarchique a permis de faire ressortir les principaux caractères distinctifs (Tableau 6).

La classe 3 et la classe 4 sont constituées des accessions tardives, de grandes tailles et produisant le même nombre de racèmes. La classe 4 se distingue de la classe 3 par d'autres paramètres du rendement. En effet, les individus

de la classe 4 ont un fort tallage et produisent un nombre important de panicules.

La classe 2 est constituée des accessions précoces, de petites tailles avec une faible production de talles et de panicules et possédant beaucoup de racèmes.

La classe 1 est constituée des accessions à cycle de développement intermédiaires, de petites tailles avec une production moyenne de talles, de panicules et de racèmes.

Tableau 6 : valeurs moyennes et écarts-types des caractères quantitatifs dans les classes d'accessions de fonio mises en évidence par la classification ascendante hiérarchique.

Caractères quantitatifs	Classe 1 (N = 58)	Classe 2 (N = 27)	Classe 3 (N = 64)	Classe 4 (N = 25)	F	P
NJE	4,241 ± 0,43 ^b	4,37 ± 0,63 ^{ab}	4,45 ± 0,64 ^a	4,36 ± 0,57 ^{ab}	1,425	0,237 ^{ns}
CyF	62,83 ± 6,11 ^b	54,96 ± 8,6 ^c	78,31 ± 6,029 ^a	80,48 ± 8,83 ^a	112,186	< 0,001
CyM	115,85 ± 9,065 ^b	90,52 ± 4,89 ^c	121,62 ± 8,01 ^a	121,32 ± 8,46 ^a	102,56	< 0,001
NbT	25,01 ± 8,29 ^b	22,61 ± 6,37 ^{bc}	20,31 ± 5,21 ^c	33,23 ± 5,25 ^a	24,021	< 0,001
HPI	59,53 ± 6,67 ^c	60,71 ± 6,62 ^{bc}	62,29 ± 6,66 ^{ab}	64,64 ± 6,83 ^a	3,946	0,009
HjP	28,09 ± 5,28 ^c	30,10 ± 5,23 ^{abc}	30,95 ± 4,54 ^{ab}	46 ± 5,88 ^a	5,37	0,001
NbN	7,40 ± 1,11 ^c	8,14 ± 1,51 ^{ab}	7,87 ± 1,12 ^b	8,82 ± 1,72 ^a	7,537	< 0,001
NbP	20,54 ± 7,065 ^b	17,93 ± 5,41 ^c	15,15 ± 4,15 ^d	26,37 ± 3,99 ^a	27,668	< 0,001
LP	31,32 ± 3,32 ^a	30,63 ± 3,76 ^a	31,31 ± 4,40 ^a	32,19 ± 3,08 ^a	0,736	0,532 ^{ns}
LexP	19,98 ± 3,06 ^a	19,64 ± 3,25 ^a	19,78 ± 4,22 ^a	20,60 ± 2,92 ^a	0,404	0,75 ^{ns}
NbR	2,96 ± 0,34 ^b	3,17 ± 0,47 ^a	3,06 ± 0,36 ^{ab}	3,24 ± 0,41 ^a	4,056	0,008
LR	11,34 ± 1,04 ^{ab}	11,00 ± 1,06 ^b	11,56 ± 0,97 ^a	11,59 ± 0,95 ^a	2,344	0,075 ^{ns}
LFsP	14,70 ± 2,15 ^a	14,53 ± 2,04 ^a	15,41 ± 2,26 ^a	15,11 ± 1,16 ^a	1,738	0,161 ^{ns}
IFsP	0,52 ± 0,06 ^a	0,52 ± 0,05 ^a	0,52 ± 0,04 ^a	0,54 ± 0,04 ^a	0,758	0,519 ^{ns}
LFP	19,37 ± 2,23 ^{ab}	18,59 ± 2,18 ^b	19,71 ± 2,21 ^a	19,93 ± 1,80 ^a	2,178	0,092 ^{ns}
IFP	0,49 ± 0,06 ^a	0,48 ± 0,05 ^a	0,48 ± 0,04 ^a	0,49 ± 0,04 ^a	1,15	0,33 ^{ns}
NbF	7,39 ± 1,08 ^c	8,14 ± 1,52 ^{ab}	7,86 ± 1,12 ^b	8,79 ± 1,66 ^a	7,637	< 0,001

Pour chaque caractère quantitatif, les valeurs moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes entre les classes d'accessions de fonio au risque d'erreur de 5 %.

F = valeur de statistique du test de Fischer,

P = p-value

Analyse factorielle discriminante

L'analyse factorielle a été réalisée afin de rechercher les caractères les plus discriminants vis-à-vis des classes formées. Les quatre classes issues de la CAH ont été utilisées comme variables catégorielles. Le test d'égalité des moyennes des classes à travers les tests

de Lambda de Wilks et du *F* de Fisher a révélé que sept caractères permettent de discriminer les classes (Tableau 7). Le nombre de racèmes par panicule et la hauteur de la plante ont été les variables les moins explicatives (le lambda de Wilks est plus proche de 1 et les valeurs de *F* sont moins élevées).

Tableau 7 : test de Wilks montrant la significativité des paramètres quantitatifs.

Paramètres	Ordre	Valeur de lambda	F	P
CyF	1	0,336	112,186	< 0,001
CyM	2	0,356	102,560	< 0,001
NbP	3	0,672	27,668	< 0,001
NbT	4	0,702	24,021	< 0,001
NbF	5	0,881	7,637	< 0,001
NbN	6	0,883	7,537	< 0,001
HiP	7	0,913	5,370	< 0,001
NbR	8	0,933	4,056	0,008
HPI	9	0,935	3,946	0,009

DISCUSSION

La prise en compte des paramètres qualitatifs est très importante dans une étude de caractérisation agro-morphologique. Cependant, comme cela a déjà été observé chez le riz (Sanni *et al.*, 2010) et le maïs (N'da *et al.*, 2014a), un bon nombre de paramètres qualitatifs retenus parmi les descripteurs ne permettent pas souvent de différencier finement les variétés de plantes cultivées. Toutefois, l'évaluation des caractères qualitatifs dans cette étude a permis d'observer une variabilité phénotypique au niveau de la couleur des racèmes et des grains. Saidou *et al.* (2014) dans l'étude de la diversité agro-morphologique de fonio au Niger, ont mis en évidence une variabilité pour des traits qualitatifs comme la couleur des grains et la couleur de la tige. Selon les mêmes auteurs, cette variabilité observée pourrait s'expliquer, en partie par l'expression d'un ou plusieurs gènes qui gouvernent ces caractères.

Les coefficients de variation élevés pour le nombre de branche paniculaire, le nombre de talle par plante, la longueur exsertion de la panicule, le cycle de floraison, le nombre de nœuds, la hauteur de la panicule et le nombre total de feuilles (CV > 15 %), traduisent la variabilité qui existe dans la collection des accessions étudiées. Sekloka *et al.* (2016) ont obtenu des coefficients de variation élevés pour le nombre de nœuds (22,5 %) et la hauteur de la panicule (27,9 %) dans leur étude sur la caractérisation génétique d'une collection de fonio établie au Bénin. Ces résultats pourraient résulter de l'expression d'une hétérogénéité génotypique qu'il reste à confirmer par les analyses moléculaires. Ils pourraient aussi s'expliquer par une influence importante de l'environnement sur la culture du fonio. En effet, Sani *et al.* (2017) ont étudié l'effet de l'environnement sur les paramètres de

croissance et de rendement des accessions du fonio au Niger. Ces auteurs ont suggéré que la variabilité observée pour les différents caractères étudiés peut être attribuée en grande partie à la nature du sol et aux conditions climatiques. De même Aliero & Morakinyo (2005) ont montré que la longueur du jour, la température et l'humidité relative entraînent des effets variables sur le développement végétatif et physiologique du fonio. La variabilité observée pourrait aussi provenir des pratiques culturales paysannes. Les modes de gestion paysanne des semences, notamment les échanges de variétés entre agriculteurs sont à l'origine d'une diversité importante entre les fonios cultivés dans la commune de Boukoumbé, Benin (Sekloka *et al.*, 2015). Ce germoplasme local constitue un grand réservoir de gènes utiles pour des programmes de sélection conventionnelle.

Par ailleurs, le pourcentage de variance cumulé par les trois principaux axes de l'analyse en composante principale est faible (51,516 %). Ces résultats traduiraient l'absence d'une organisation génotypique et phénotypique forte entre les accessions (Idrissi et Ouazzani, 2003). Des résultats similaires ont été obtenus par plusieurs auteurs sur d'autres espèces (Djè *et al.*, 2007).

Une classification morphologique des accessions laisse entrevoir une structuration en quatre groupes. Sept traits phénotypiques qui contribuent mieux à la discrimination des groupes dans l'analyse factorielle discriminante à savoir le cycle de floraison, le cycle de maturité, le nombre de talles par plante, le nombre de nœuds, le nombre de panicules, le nombre de feuilles au niveau de la tige principale la hauteur d'insertion de la panicule, seraient les plus pertinents pour l'explication de la variabilité entre variétés locales de fonio en Côte d'Ivoire. Étant donné que le fonio n'a pas encore fait l'objet de véritables travaux de sélection variétale et

d'amélioration génétique en Côte d'Ivoire, les estimations faites dans la présente étude pourraient servir de base de comparaison pour les investigations ultérieures. Parmi les sept caractères qui discriminent les groupes, les descripteurs phénologiques ont été les plus importants (CyF : lambda de Wilks = 0,336 ; $F = 112,186$; $P < 0,001$; CyM : lambda de Wilks = 0,356 ; $F = 102,560$; $P < 0,001$). Les accessions du groupe 1 ont un cycle de maturité intermédiaire de 115 jours. Les accessions du groupe 2 sont précoces avec une maturité de 90 jours. Les accessions du groupe 3 et 4 sont tardives avec une maturité de 121 jours, mais elles se distinguent par d'autres paramètres liés au rendement. Le rôle joué par les descripteurs phénologiques dans la structuration des variétés locales de fonio en Côte d'Ivoire n'est pas surprenant, car c'est un caractère agronomique usuel de structuration de la variabilité chez les céréales. Ceci serait lié à la difficulté pour les agriculteurs de distinguer les variétés autrement que par la durée du cycle, un trait central dans les pratiques de gestion. Ces résultats sont en accord avec des études antérieures réalisées par Renoux & Dumas cités par Dupuis (2007). En se basant sur les caractères utilisés par les paysans, notamment le cycle, ces auteurs ont classé les variétés de fonio en quatre groupes : variétés hâtives : : 90 – 110 jours ; variétés mi-hâtives : environ 120 jours ; variétés mi-tardives : environ 135 jours et variétés tardives : plus de 135 jours. Par contre, Sekloka et al. (2016) ont obtenu des résultats assez différents des nôtres. Ces auteurs ont mis en évidence deux groupes de fonio au Bénin : un groupe extra précoces avec un cycle de moins de 90 jours et un groupe tardif de plus de 100 jours. Cette différence observée pourrait s'expliquer par le fait que les cultivars de longueurs de cycle extrêmes sont peu appréciés par les producteurs. Selon Sekloka et al. (2015) les cultivars très précoces arrivent à maturité en période de pluies et posent aux producteurs des problèmes de séchage. De même, les cultivars trop tardifs n'arrivent pas à boucler leur cycle dans de bonnes conditions.

CONCLUSION

La présente étude qui aborde pour la première fois l'étude de la diversité agro-morphologique des cultivars de fonio cultivés en Côte d'Ivoire a permis d'identifier sept caractères importants pour différencier les cultivars. Ces caractères sont par ordre de pouvoir discriminant le cycle

de floraison, le cycle de maturité, le nombre de talles par plante, le nombre de nœuds, le nombre de panicules, le nombre de feuilles au niveau de la tige principale et la hauteur d'insertion de la panicule. A l'issue de cette étude, un polymorphisme phénotypique a été observé. Cette diversité a été structurée en quatre groupes phénotypiques de fonio. Le groupe 1 est constitué des accessions à cycle intermédiaires, de petites tailles avec une production moyenne de talles, de panicules et de racèmes. Le groupe 2 renferme les accessions précoces, de petites tailles avec une faible production de talles et de panicules et possédant beaucoup de racèmes. Le groupe 3 est composé des accessions tardives, de grandes tailles. Le groupe 4 également est constitué des accessions tardives, de grandes tailles mais ayant un fort tallage et produisant un nombre plus important de panicules. Les groupes 2 et 4 présentent des caractéristiques architecturales et de productivité complémentaire. Ils pourraient être utilisés dans un programme d'amélioration de l'espèce. Cependant, la prise en compte des paramètres agro-morphologiques uniquement ne suffit pas pour réaliser une description définitive et crédible. En effet, les caractères morphologiques, surtout quantitatifs sont souvent très influencés par les facteurs environnementaux. Il est donc important de réaliser d'autres analyses pour infirmer ou confirmer les résultats obtenus par la caractérisation agro-morphologique.

REFERENCES

- Adoukonou-Sagbadja H. A. Dansi, R. Vodouhe and K. Akpagana 2006. Indigenous knowledge and traditional conservation of Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf, *Digitaria iburua* Stapf) in Togo. *Biodivers Conserv*, 1: 2379-2395.
- Akanvou L., R. Akanvou, C. K. Kouakou, H. A. N'da, K. G. C. Koffi. 2012. Evaluation de la diversité agro-morphologique des accessions de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] Collectées en Côte d'Ivoire. *J. Applied Bios.* 50 : 3468 - 3477.
- Aliero A. A. and J. A. Morakinyo. 2005. Photoperiodism in *Digitaria exilis*. *Afr. J. Biotechnol.*, 4 : 241-243.
- Assamoi A. 1998. Le fonio en Côte d'Ivoire. In : S.R. Vodouhe, A. Zannou and E. Achigan Dako (Eds). Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (*Digitaria exilis* Stapf.) en Afrique de l'Ouest. Conakry, Guinée: pp 15 - 16.

- Barnaud A., Trigueros G., MdKey D. and Joly H. I. 2008. High Outcrossing rates in fields with mixed sorghum landraces: how are landraces maintained? *Heredity* 101 : 445 - 452.
- Besançon S. 2000. Étude de l'influence de la consommation de fonio dans le traitement du diabète sucré au mali. Mémoire D.E.S.S, Université de Montpellier II (France), 95 p.
- Cruz J.F. (2001). Le fonio. Montpellier, Cirad, 24 p.
- Cruz J. F. 2004. Fonio : a small grain with potential. *LEISA Magazine*. 20 (1) : 16 - 17.
- Cruz J-F.** 2007. Fonio. Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'ouest : rapport d'activités première année, Montpellier, CIRAD, 63 p.
- Cruz J. F., F. Beavogui and D. Drame. 2011. Le fonio, une céréale africaine. Collection : *Agricultures tropicales en poche*. Presses agronomiques de Gembloux, Versailles, France, 175p.
- Diallo T.A. 1997. Le fonio, céréale de base en Guinée, Ed. Institut de Recherche agronomique de Guinée, 5 p.
- Djè Y., M. Heuertz, M. Ater, C. Lefebvre and X. Vekemans. 2007. Évaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-Ouest du Maroc. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11 (1) : 39 - 46.
- Koffi K. G. C., L. Akanvou, R. Akanvou, I. A. Zoro BI, C. K. Kouakou and H. A N'da. 2011. Diversité Morphologique Du Sorgho (*Sorghum Bicolor* L. Moench) cultivé au Nord de la Côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 17 : 125 - 142.
- Mayes S., F.J. Massawe, P.G. Alderson, J.A. Roberts, S.N. AzamAli and M. Hermann. 2012. The potential for underutilized crops to improve security of food production. *J. Exp. Bot.* 63: 1075-1079.
- N'da H. A., L. Akanvou, C.K. Kouakou and A. I. Zoro Bi 2014b. Diversité morphologique des variétés locales de maïs (*Zea mays* L.) collectées au centre et centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Eur. Sci. J.* 10 (12): 349 - 365.
- N'da H. A., L. Akanvou, R. Akanvou and A. I. Zoro Bi 2014a. Evaluation de la diversité agro-morphologique des accessions de maïs (*Zea mays* L.) collectées en Côte d'Ivoire. *J. Anim. Plant Sci.* 20 (3) : 3144 - 3158.
- N'da H. A., L. Akanvou, N.D. Pokou, P.K. Akanza, C.K. Kouakou and A. I. Zoro Bi. 2015. Genetic diversity and population structure of maize landraces from Côte d'Ivoire. *Afr. J. Biot.* 5 (44): 2507 - 2516.
- N'da H. A., L. Akanvou and A. I. Zoro Bi. 2016. Prospection, collecte, nomenclature paysanne et caractérisation des variables qualitatives des variétés locales de Maïs (*Zea mays* L.) cultivées en Côte d'Ivoire. *Eur. Sci. J.* 12 (24): 298 - 315.
- Portères R. 1955. Les Céréales mineures du genre *Digitaria* en Afrique et en Europe. *J. Agric. Trop. Bot. Appl.* 7 - 9 (2) :349 - 386.
- Portères R. 1976. African cereals: Eleusine, Fonio, Black Fonio, Teff, Brachiara, Paspalum, Pennisetum and African Rice. In J. Harlan, J.M.J. de Wet et A.B.L. Stemler (Eds). *The origins of African Plant Domestication*, The Hague, Mouton: pp 409-451.
- Vall E., N. Andrieu, F. Beavogui and D. 2011. Sogodogo. Les cultures de soudure comme stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire saisonnière en Afrique de l'Ouest le cas du fonio (*Digitaria exilis* Stapf). *Cah. Agric.* 20 (4) 294 - 300.
- Saidou S. I., Y. Bakasso, M. M. Inoussa, M. Zaman-Allah, S. Atta, A. Barnaud., C. Billot and M. Saadou. 2014. Diversité agro-morphologique des accessions de fonio [*Digitaria Exilis* (Kippist.) Stapf.] au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8 (4) :1710 - 1729.
- Sani I.S., M. M. Inoussa, Z-A. Mainassara, A. Sanoussi, A. Barnaud, C. Billot, Y. Bakasso, A. Mahamane and M. Saadou. (2017). Effet de l'environnement sur les paramètres de croissance et de rendement des accessions du fonio [*Digitaria exilis* (kippist.) stapf.] au Niger. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 29 : 87 - 106.
- Sanni K. A., I. Fawole, A. Ogunbayo, D. Tia, E.A. Somado, K. Futakuchi, M. Sié, F. E. Nwilence and R. G. Guei. 2010. Analyse multivariée de la diversité du matériel génétique des variétés locales de riz. *CSSA* 52 (2) : 494 - 504.
- Sekloka E., H. Adoukonou-Sagbadja, A. A. Paraïso, B. Kouega Yoa, F. X. Bachabi and N. Zoumarou-Wallis .2015. Evolution de la diversité des cultivars de fonio pratiqués à Boukoubé et environs. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (5) : 2446 - 2458.
- Sekloka E., C. Kanlindogbe, Biau S.S.H., H. Adoukonou-Sagbadja, A. Kora , F.T. Motouama, M. Seidou, Zinsou V.A., Afouda L. and Baba-Moussa L. 2016. Agro-morphological characterization of Fonio millet accessions (*Digitaria exilis* Stapf.) collected from Boukoubé, Northwest of Benin. *J. Plant Breed. and Crop Sci.*, 8 (10): 211-222.

Vodouhè S. R. and E. G. Achigan Dako (2006).
Digitaria exilis Stapf. In : M. Brink and G.
Belay (Eds). PROTA (Plant Resources of
Tropical Africa / Ressources végétales de

l'Afrique tropicale), Wageningen,
Netherlands. [https://uses.plantnet-
project.org/en/Digitaria_exilis_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/en/Digitaria_exilis_(PROTA)).