

Available online at <http://ajol.info/index.php/ijbcs>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(4): 1710-1729, August 2014

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

**International Journal
of Biological and
Chemical Sciences**

Original Paper

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Diversité agro-morphologique des accessions de fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] au Niger

Sani IDI SAIDOU ^{1*}, Yacoubou BAKASSO ¹, Maman Maarouhi INOUSSA ¹,
Mainassara ZAMAN-ALLAH ², Sanoussi ATTA ³, Adeline BARNAUD ^{4,5},
Claire BILLOT ⁶ et Mahamane SAADOU ^{1,2}

¹ Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila. BP: 10662, Niamey, Niger.

² Université de Maradi, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie. BP : 465, Maradi, Niger.

³ Centre Régional AGRYMET, Département de Formation et de Recherche, BP. 12625 Niamey, Niger.

⁴ Institut de Recherche pour le Développement, UMR DIADE, 911, avenue Agropolis - BP 64501 34394 Montpellier cedex 5, France.

⁵ Laboratoire mixte international Adaptation des Plantes et microorganismes associés aux Stress Environnementaux (LMI LAPSE), Institut de Recherche pour le Développement/Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Université Cheikh Anta Diop, Centre de Recherche de Bel Air, Dakar, Sénégal.

⁶ Cirad, UCentre International de Recherche Agronomique pour le Développement, UMR-AGAP. A A-108/03, Avenue d'Agropolis F-34398 Montpellier Cedex 5, Montpellier, France.

*Auteur correspondant ; E-mail: saidousani@yahoo.fr; ssaidouidi@gmail.com ;
Tel : 0022790613650 ; 0022789562367

RÉSUMÉ

La variabilité morphologique de 67 accessions de fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] collectées au Niger a été évaluée au cours de deux années (2011 et 2012). Seize (16) caractères agro-morphologiques (dont 14 caractères quantitatifs et 2 caractères qualitatifs) ont été évalués en station dans deux zones agroécologiques différentes (Tarna en zone sahélo-saharienne et Tara en zone soudanienne). La classification ascendante hiérarchique (CAH) et l'analyse factorielle discriminante (AFD) ont mis en évidence quatre groupes (GI, GII, GIII et GIV). Les accessions du groupe GIV ont en moyenne un cycle de maturité compris entre 85 et 90 jours tandis que les autres groupes présentent un cycle de maturité supérieur à 90 jours dans nos conditions expérimentales. Les résultats montrent que les variables les plus discriminantes qui permettent de décrire la variabilité entre les groupes identifiés sont la biomasse sèche (tige et feuille) par hectare, la longueur des entrenœuds, le rendement en graine par hectare et dans une certaine mesure le cycle de la plante. L'observation des caractères qualitatifs a montré que cinq accessions (représentant 7% du total) ont des graines non decortiquées de couleur rouge et quatre accessions (6% du total), une tige de couleur rouge. Les caractères analysés peuvent ainsi constituer des critères de base pour différencier les accessions des autres régions de l'Afrique de l'Ouest et servir pour une étude de variabilité entre les restes des accessions de fonio collectées au Niger. Des possibilités d'amélioration peuvent également être envisagées une fois que le régime de reproduction de l'espèce est bien identifié.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: *Digitaria exilis*, variabilité morphologique, accessions, diversité, fonio, Niger.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.31>

INTRODUCTION

Les variétés traditionnelles des espèces céréalières cultivées sont en voie de disparition dans plusieurs régions du monde tropical. En effet, l'introduction des cultures de rente et de variétés améliorées à haut rendement a contribué à restreindre l'aire de culture des variétés traditionnelles qu'on peut retrouver dans les campagnes les plus reculées (Brush, 1995). Les études de diversité des plantes cultivées ont montré que les variétés traditionnelles, bien que moins productives, sont génétiquement plus diversifiées que les variétés améliorées (Brown et Munday, 1982 ; Ahmadi et al., 1988). Par ailleurs, la sauvegarde de ces variétés traditionnelles contribue au maintien de leur richesse génétique (Frankel et al., 1995) et permet de conserver le potentiel nécessaire pour faire face à de nouveaux impératifs (Cherifi et al., 1993). Pour éviter une disparition considérée comme une catastrophe biologique, de nombreuses accessions de variétés traditionnelles ont été récoltées et conservées dans des banques de gènes (Harlan, 1975; Frankel et al., 1995; Cruz, 2004). Ces accessions maintenues et reproduites *ex situ* ont servi de matériel biologique dans de nombreuses études de caractérisation morphologique (Chantereau et al., 1989; Adoukounou et al., 2007b), enzymatique (Maquet et al., 1997, Adoukounou et al., 2007a) et moléculaire (Fofana et al., 1997; Adoukounou, 2010). Cependant, en raison de biais d'échantillonnage et d'une longue phase de conservation, la variabilité génétique observée notamment en termes d'associations d'allèles ne reflète plus toujours la diversité actuellement présente *in situ* (Doebley et al., 1985 ; Djè et al., 1998). Il convient dans la mesure du possible, de porter un regard nouveau sur le matériel végétal dans son aire naturelle de culture, surtout en ce qui concerne les espèces cultivées. Cela est urgent pour les études morphologiques car les

réproductions en serres, même tropicalisées, n'offrent jamais les mêmes conditions que celles rencontrées dans les pays d'origine.

Le fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] est une herbacée monoïque annuelle de 30 à 80 cm de hauteur présentant une inflorescence composée le plus souvent de deux ou trois racèmes ou épis (Portères, 1946 ; Poilecot, 1999). Bien adapté aux conditions édaphiques et climatiques locales, il résiste à la sécheresse grâce à son métabolisme en C4 et participe au maintien de l'environnement en assurant une couverture végétale sur des sols écologiquement fragiles et peu valorisés (Cruz, 2004; Cruz et al., 2011 ; Vall et al., 2011). Il semble moins sensible aux dommages parasitaires pendant le stockage que d'autres céréales (Dansi et al., 2010; Adoukounou-Sagbadja et al., 2007b). Les grains de fonio sont consommés sous diverses formes (couscous, bouillies) et les pailles sont souvent utilisées comme fourrage pour nourrir les bovins, mais aussi les chèvres, les moutons notamment dans les zones les plus arides, où les sources d'alimentation animale sont rares (Cruz, 2004 ; Ezekiel et al., 2012 ; Jideani et Jideani, 2010 ; Jideani, 2012). Pauvre en gluten, le fonio est indiqué pour les personnes diabétiques et ceux qui souffrent du problème de surpoids (Bama, 1999, Vodouhè et al., 2006).

Au Niger, les principales zones de production du fonio se trouvent dans les régions de Dosso et Tillabéry. Cette culture qui a longtemps été négligée connaît de nos jours un regain d'intérêt grâce à sa forte contribution dans la lutte contre l'insécurité alimentaire au Niger (Oumarou, 2012).

Cette étude se propose d'évaluer la diversité des accessions locales de fonio dans les deux principales zones de production du Niger. Spécifiquement, il s'agit (i) : d'analyser la variabilité agromorphologiques des accessions de fonio du Niger ; et (ii) : d'identifier les variables les plus

discriminantes qui différencient ces accessions.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites d'étude

Les essais ont été conduits pendant les campagnes agricole 2011 et 2012 dans deux stations de recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), la station de Tarna à Maradi (latitude N13°28' et longitude E7°05') située dans la zone sahelienne à environ 670 km au Sud Est de Niamey, et la station de Tara à Gaya (latitude N11°53' et longitude E3°19') située dans la zone soudanienne, à environ 300 km au Sud de Niamey. La longueur moyenne de la saison des pluies est de 120 à 146 jours à Gaya et 80 à 100 jours à Maradi (Sivakumar et al. 1993). En 2011 et 2012, les cumuls pluviométriques ont été respectivement de 475,7 mm en 37 jours et 510,7 mm en 40 jours à la station de Tarna et de 902,3 mm en 45 jours et 975,9 mm en 44 jours à la station de Tara. Au cours des essais, la température moyenne journalière a varié entre 22,5 °C et 31,2 °C en 2011 et, 22,6 °C et 38,1°C en 2012 à Gaya. A Maradi, elle a varié entre 22,1 °C et 37,5°C en 2011, et entre 24,2°C et 40,1°C en 2012. Les sols de la station de Tarna sont du type ferrugineux tropicaux profonds à pH 6 et contenant plus de 96% de sables totaux. Leur teneur en matière organique est très faible (0,22%), de même que leur teneur en azote total (0,01%). La capacité d'échange cationique (1,0 meq/100g) est aussi faible avec une carence accusée en phosphore (1,66 ppm). Le sol de Tara est également de type ferrugineux tropical avec un pH de 5,1 et contient plus de 85% de sables totaux. Sa teneur en matière organique est faible (0,3%), de même que celle de l'azote total (0,02%). Sa capacité d'échange cationique (1,04 meq/100 g) est faible avec cependant une carence en phosphore (101 ppm) moins accusée que celle

de Tarna (Bakasso, 2010; Abdoukader, 2012).

Matériel végétal

Le matériel végétal était composé de 67 accessions de fonio collectées au mois de juin 2011 dans les deux principales régions (Dosso et Tillabéry) de production du fonio au Niger (Figure 1, Tableau 1). Les semences prélevées des stocks semenciers d'un paysan constituent une accession.

Méthodes

Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs de Fisher complètement randomisés avec trois répétitions. Dans chaque bloc, une accession est représentée par un carré d'une superficie de 1 m². Les carrés d'un même bloc sont séparés d'un mètre les uns des autres et les blocs successifs de deux mètres.

Deux grammes de chaque accession ont été semés à la volée par parcelle. Les semis ont été effectués les 4 et 9 juillet respectivement à Tara et Tarna pendant les saisons pluvieuses 2011 et 2012 (Figure 1). Un premier désherbage manuel a été effectué seize jours après semis (JAS), suivis de trois autres afin de limiter la compétition des plantes avec les mauvaises herbes. De plus, un apport de fumure sous forme de NPK, à la dose de 10 g/m², a été réalisé les trente septième (37^{ième}) jours après le semis.

Observation des caractères

Deux catégories de caractères ont été évaluées. Il s'agit de 14 caractères quantitatifs décrits dans le Tableau 2 et deux caractères qualitatifs, la couleur de la graine non décortiquée (CGD) et la couleur de la tige (CTG).

Analyse des données

Les données obtenues ont été analysées à l'aide des logiciels Xlstat version 7.5.2 pour

Windows, JMP9 (SAS, 2010) et R.2.15 for Windows. Les performances des différentes accessions ont été évaluées en déterminant pour chaque caractère quantitatif la moyenne, l'écart type, le coefficient de variation, le minimum et le maximum. Après l'analyse de la normalité par le test de Ryan-Joiner et de l'égalité des variances par le test de Levene, une analyse de variance (ANOVA) basée sur la comparaison des moyennes multiples a également été réalisée sur les différents caractères quantitatifs. Par ailleurs, le degré d'association entre les différents caractères

étudiés a été estimé par le coefficient de corrélation de Pearson. Afin d'apprécier le degré de ressemblance entre les unités analysées et comprendre les relations existantes entre elles, les données recueillies ont été soumises à une classification ascendante hiérarchique (CAH) basée sur la distance euclidienne selon la méthode de Ward et une analyse factorielle discriminante (AFD). Enfin, le test t de Student-Newman-Keuls a été utilisé pour comparer les moyennes des paramètres par groupe et par accessions deux à deux.

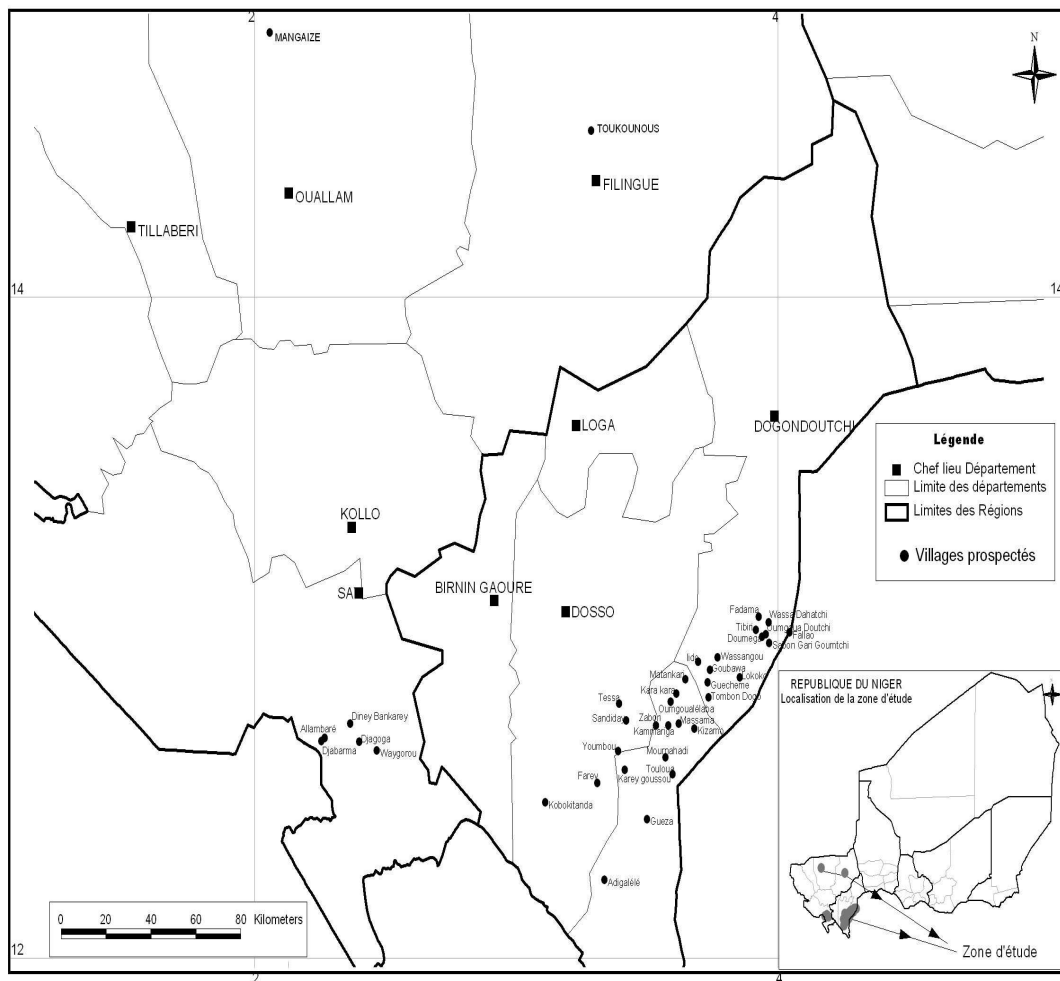


Figure 1: Situation géographique des villages prospectés pour la culture du fonio au Niger.

Tableau 1: Informations relatives aux sites de prospection des accessions du fonio collectées en 2011 au Niger.

Accession	Régions	Communes	Villages	Latitude	Longitude	Accession	Régions	Communes	Villages	Latitude	Longitude
Ech184	Dosso	Dioundou	Karey goussou	N12°34'03.5"	E003°25'56.1"	Ech153	Dosso	Kara kara	Massama	N12°42'27.1"	E003°38'51.9"
Ech194	Dosso	Dioundou	Mourahadi	N12°36'19.4"	E003°35'36.9"	Ech154	Dosso	Kara kara	Massama	N12°42'27.1"	E003°38'51.9"
Ech196	Dosso	Dioundou	Mourahadi	N12°36'19.4"	E003°35'36.9"	Ech151	Dosso	Kara kara	Oumgoualélaba	N12°46'28.7"	E003°36'52.3"
Ech189	Dosso	Dioundou	Touloua	N12°33'16.5"	E003°37'24.6"	Ech152	Dosso	Kara kara	Oumgoualélaba	N12°46'28.7"	E003°36'52.3"
Ech190	Dosso	Dioundou	Touloua	N12°33'16.5"	E003°37'24.6"	Ech125	Dosso	Matankari	Matankari	N12°50'32.8"	E003°40'.25.1"
Ech192	Dosso	Dioundou	Touloua	N12°33'16.5"	E003°37'24.6"	Ech127	Dosso	Matankari	Matankari	N12°50'32.8"	E003°40'.25.1"
Ech179	Dosso	Dioundou	Youmbou	N12°37'32.8"	E003°24'18.6"	Ech128	Dosso	Matankari	Matankari	N12°50'32.8"	E003°40'.25.1"
Ech180	Dosso	Dioundou	Youmbou	N12°37'32.8"	E003°24'18.6"	Ech174	Dosso	Tessa	Sandiday	N12°43'07.1"	E003°26'12.5"
Ech181	Dosso	Dioundou	Youmbou	N12°37'32.8"	E003°24'18.6"	Ech177	Dosso	Tessa	Sandiday	N12°43'07.1"	E003°26'12.5"
Ech8	Dosso	Doumega	Doumega	N12°58'19.6"	E003°58'52.4"	Ech170	Dosso	Tessa	Tessa	N12°46'07.3"	E003°24'33.2"
Ech11	Dosso	Doumega	Doumega	N12°58'19.6"	E003°58'52.4"	Ech45	Dosso	Tibiri	Birni Fallao	N12°62'05.3"	E004°08'26.9"
Ech214	Dosso	Farrey	Farey	N12°31'44.3"	E003°19'17.1"	Ech46	Dosso	Tibiri	Birni Fallao	N12°62'05.3"	E004°08'26.9"
Ech211	Dosso	Farrey	Farey	N12°31'44.3"	E003°19'17.1"	Ech44	Dosso	Tibiri	Birni Fallao	N13°00'40.8"	E004°04'31.4"
Ech75	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	Ech19	Dosso	Tibiri	Oumgoua Doutchi	N12°58'47.3"	E003°59'45.3"
Ech77	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	Ech23	Dosso	Tibiri	Oumgoua Doutchi	N12°58'47.3"	E003°59'45.3"
Ech78	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	Ech1	Dosso	Tibiri	Tibiri	N12°59'29.0"	E003°57'23.2"
Ech91	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	Ech3	Dosso	Tibiri	Tibiri	N12°59'29.0"	E003°57'23.2"
Ech238	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	Ech204	Dosso	Yelou	Adigalélé	N12°14'08.2"	E003°20'59.1"
Ech95	Dosso	Guecheme	Guecheme	N12°49'56.9"	E003°45'48.0"	Ech207	Dosso	Yelou	Adigalélé	N12°14'08.2"	E003°20'59.1"

Ech101	Dosso	Guecheme	Guecheme	N12°49'56.9"	E003°45'48.0"	Ech208	Dosso	Yelou	Adigalélé	N12°14'08.2"	E003°20'59.1"
Ech117	Dosso	Guecheme	Lido	N12°53'42.2"	E003°43'29.0"	Ech200	Dosso	Yelou	Gueza	N12°25'11.1"	E003°31'11.6"
Ech121	Dosso	Guecheme	Lido	N12°53'42.2"	E003°43'29.0"	Ech159	Dosso	Zabori	Kammariga	N12°42'11.7"	E003°36'21.6"
Ech60	Dosso	Guecheme	Lokoko	N12°50'52.0"	E003°53'27.0"	Ech160	Dosso	Zabori	Kammariga	N12°42'11.7"	E003°36'21.6"
Ech67	Dosso	Guecheme	Lokoko	N12°50'52.0"	E003°53'27.0"	Ech162	Dosso	Zabori	Kammariga	N12°42'11.7"	E003°36'21.6"
Ech104	Dosso	Guecheme	Tombon Dogo	N12°47'15.0"	E003°45'56.9"	Ech164	Dosso	Zabori	Zabori	N12°42'09.4"	E003°33'25.7"
Ech70	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	Ech165	Dosso	Zabori	Zabori	N12°42'09.4"	E003°33'25.7"
Ech71	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	Ech224	Tillabery	Tamou	Diney Bankarey	N12°42'29.0"	E002°20'07.0"
Ech72	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	Ech236	Tillabery	Tamou	Djabarma	N12°39'17.8"	E002°13'06.2"
Ech73	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	Ech225	Tillabery	Tamou	Djagoga	N12°39'12.4"	E002°22'14.1"
Ech74	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	Ech227	Tillabery	Tamou	Djagoga	N12°39'12.4"	E002°22'14.1"
Ech68	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	Ech232	Tillabery	Tamou	Waygorou	N12°37'35.8"	E002°26'23.4"
Ech146	Dosso	Kara kara	Kara kara	N12°47'55.5"	E003°38'16.6"	Ech234	Tillabery	Tamou	Waygorou	N12°37'35.8"	E002°26'23.4"
Ech134	Dosso	Kara kara	Kizamo	N12°41'38.0"	E003°42'33.9"						
Ech136	Dosso	Kara kara	Kizamo	N12°41'38.0"	E003°42'33.9"						
Ech141	Dosso	Kara kara	Kizamo	N12°41'38.0"	E003°42'33.9"						

Tableau 2: Variables quantitatives utilisées pour l'évaluation des accessions du fonio.

Variables	Abréviations	Descriptions	Unité de mesure
Nombre de jours 50% émergence ou levée	NJE	Nombre de jours séparant le semis de la levée au stade 2 feuilles de 50% des graines semées par accession.	jours
Nombre de jours 50% Tallage	NJT	Nombre de jours séparant le semis du tallage de 50% des plantes par accession.	jours
Nombre de talles par plante	NTP	Moyenne sur 5 plantes du correspond au nombre de talles, représente le taux de tallage d'une accession. .	
cycle de floraison	FLO	Nombre de jours, du semis jusqu'au moment où 50% des plantes par m ² ont fleuri, la floraison étant considérée comme l'émergence du stigmate de l'épi principal.	jours
cycle de maturité	MAT	Nombre de jours, du semis jusqu'au moment où 50% des plantes par m ² ont atteint leur maturité.	jours
hauteur de la plante à maturité	HPM	Hauteur de la plante est mesurée en centimètre à partir du niveau du sol jusqu'au sommet de la panicule sur 5 plantes par m ²	cm
Longueur des entrenœuds	LEN	Mesuré entre le deuxième et dernier nœud de la plante situé au-dessous de la panicule.	cm
Nombre d'entrenœuds	NEN	Nombre des entre-nœuds par plante, la moyenne de 5 pieds par accession par m ² . Il est obtenu sur la tige principale et donne le nombre d'entre-nœuds extérieurs au sol.	
Nombre des racèmes par panicule	NRP	Nombre des racèmes ou doigts par panicule, la moyenne de 5 pieds par accession par m ² .	
Poids des graines par m ²	PGR	Mesure en g du poids des graines par m ² de chaque accession après battage.	g
Taille du racème par panicule	TRP	La longueur du doigts ou racème de la panicule mesurée sur 5 plantes par accession par m ² .	cm
Longueur exsertion de la panicule	EXE	Mesure effectuée sur l'espace compris entre le début du doigt ou racème de la panicule et la fin de la dernière gaine de la tige principale. Moyenne de 5 mesures faites sur des individus différents du même accession.	cm
Longueur des feuilles	LoF	Mesure de la longueur de la troisième feuille de la tige principale située en dessous de la panicule. Moyenne de 5 feuilles des individus du même accession.	cm
Largeur des feuilles	LaF	Mesure de la largeur de la troisième feuille de la tige principale. Moyenne de 5 feuilles des individus du même accession.	cm
Poids de la biomasse sèche par m ²	PBM	C'est le poids de la biomasse de chaque cultivar par m ² séchée à 65 °C à l'étuve pendant 72 heures.	g
Groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes	GEP	Organisation des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes de chaque panicule.	

RÉSULTATS

Performance des accessions sur les caractères évalués

Les caractères qualitatifs observés sur les accessions évaluées pendant les essais montrent que cinq accessions (7% des accessions) et quatre (6% accessions) présentent respectivement une couleur marron de grain non decortiqué (accessions : Ech19 ; Ech45; Ech74 ; Ech174 et Ech177) et une couleur rouge de la tige (accessions : Ech46 ; Ech192 ; Ech181 et Ech224).

Les résultats de la statistique descriptive indiquent des amplitudes de variation importantes (Tableau 3). Les coefficients de variation varient de 1,7% (Cycle de floraison et Cycle de maturité) à 27,9% (Groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes). On observe des valeurs significativement élevés (CV>20%) pour un seul des 14 caractères métriques analysés (Tableau 3).

L'analyse de variance a montré que les accessions sont hautement significatives pour tous les caractères étudiés, à l'exception du nombre des jours 50% tallage (NJT), le nombre de talles par plante (NTP) et le nombre du racème par panicule (NRP). Les facteurs « Localités » et « Années » ne sont significatifs que pour les caractères cycle de floraison (FLO), cycle de maturité (MAT), nombre des jours 50% tallage (NJT), nombre de talles par plante (NTP), poids des grains par hectare (PGR) et poids de la biomasse sèche par hectare (PBM), à l'exception de la hauteur de la plante à maturité (HPM), le nombre du racème par panicule (NRP), le groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes (GEP), l'exertion de la panicule (EXE), la longueur des feuilles (LoF), la largeur des feuilles (LaF), le nombre des entrenœuds (NEN) et la longueur des entrenœuds (LEN). L'effet bloc est significatif pour deux caractères : le nombre de jours 50% Tallage (NJT) et le nombre de talles par plante

(NTP). Par ailleurs, l'effet de l'interaction entre accession et localité d'une part, et accession et année d'essai d'autre part ont montré des différences hautement significatives pour sept caractères (PGR, GEP, EXE, LoF, LaF, NEN, LEN) alors que l'interaction entre accession et bloc d'essai au cours des deux campagnes d'évaluation n'est significative que pour la biomasse sèche par hectare (PBM) (Tableau 4).

Corrélations entre les caractères étudiés

Le Tableau 5 présente les corrélations entre les 14 caractères quantitatifs. Les corrélations significatives positives sont celles qui associent les caractères longueur des entrenœuds (LEN) au poids de biomasse sèche par hectare (PBM) d'une part, et le caractère rendement en graine par hectare (PGR) au caractère nombre de talles (NTP) d'autre part avec $r = 0,5358$, $P = 0.021$. Cependant, il faut noter aussi les corrélations significatives négatives entre le rendement en graine par hectare (PGR) et la longueur des entrenœuds (LEN) ($r = -0,5048$, $P = 0.035$) ou le poids de la biomasse sèche par hectare (PBM) ($r = -0,8186$, $P = 0.002$). Les corrélations négatives doivent attirer l'attention des sélectionneurs car lorsque deux caractères sont de corrélation négative, l'augmentation de l'un entraîne la diminution de l'autre. Ainsi, au regard de ces résultats, les plantes ayant le rendement le plus élevé en grain par hectare produisent une faible biomasse avec un nombre de talles plus élevé. A l'inverse, les plantes produisant une biomasse importante présentent un rendement moins élevé en grains.

Structuration et groupement des accessions

Le dendrogramme réalisé à partir des moyennes des 14 caractères quantitatifs basés sur la distance euclidienne selon la méthode de Ward a permis d'identifier quatre groupes (Figure 2). L'analyse factorielle discriminante

(AFD) des distances de Mahalanobis (McLachlan, 1992), a permis de caractériser les 4 groupes obtenus sur la base de trois variables (PBM, PGR et LEN) (Tableau 6). Par ailleurs, l'examen des valeurs de la statistique F de Fisher et du coefficient de détermination R^2 indique que les caractères PBM, PGR et LEN, sont les plus discriminants avec des valeurs de F et R^2 relativement élevées. Ces résultats sont confirmés par la statistique de Wilks' Lambda ($P < 0,0001$) mais aussi par le test Newmann Keuls (Tableau 8).

Les deux premiers axes canoniques concentrent à eux seuls presque la totalité (98,04%) des informations contenues dans les variables initiales (Tableau 7). Le premier axe discriminant révèle l'opposition entre d'une part les valeurs de la biomasse sèche (PBM) et de longueur des entrenœuds et d'autre part le poids des graines (PGR). Cet axe est défini comme étant l'axe de rendement (biomasse ou grains) des accessions du fonio. En effet, de façon générale, les accessions d'un groupe à valeurs élevées de la biomasse sèche et de la longueur des entrenœuds ont de faibles valeurs du poids des graines (Tableau 8). Ainsi, toutes les accessions des groupes qui sont corrélées négativement à l'axe sont celles qui ont enregistré des fortes valeurs de la biomasse sèche. Ainsi, ces accessions ont donné des rendements très faibles en graine contrairement à celles des groupes corrélés positivement à l'axe 1 (Figures 3 et 4).

La projection des groupes dans le système d'axes canoniques 1 et 2 (Figure 3) indique que seul le premier axe canonique a un pouvoir discriminatif (94,01%). Ainsi, les individus du groupe GIV possèdent des valeurs élevées de PGR, NTP, NEN, LoF et LaF alors que ceux du groupe GIII sont plus performants pour les paramètres tels que la biomasse sèche (PBM), la hauteur des plants à

maturité (HPM), la phénologie (FLO et MAT), le nombre de jours 50% tallage (NJT), la longueur des entrenœuds (LEN), l'exertion de la panicule (EXE) et le nombre des racèmes par panicule (NRP). Les groupes GI et GII sont de performance moyenne pour l'ensemble des caractères; toutefois, les valeurs de HPM, NRP, NJT, EXE et MAT du groupe GI sont relativement plus élevées que celles du groupe GII. De même, les accessions du groupe GII possèdent de valeurs plus élevées en NTP et PGR que celles du groupe GIII.

Les accessions des quatre groupes possèdent la même performance pour le groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes (GEP) (Tableau 8). Mais les accessions du groupe GIV sont caractérisées par un rendement plus important en graines à l'hectare (PGR) et sont beaucoup plus précoces que celles du groupe GIII. Ces dernières sont caractérisées par un rendement plus important en biomasse sèche à l'hectare (PBM) et sont relativement plus tardives que les accessions du groupe GII.

DISCUSSION

L'évaluation des caractères qualitatifs faite sur les accessions du fonio du Niger a permis d'observer une prédominance d'un type morphologique. Ainsi, 93% des individus ont des graines non decortiquées de couleur jaune pâle (CGD), 94% possèdent des tiges de couleur rouge (CTG) et enfin 7% et 6% ont respectivement une couleur marron des graines non décortiquées (CGD) et une couleur rouge de la tige (CTG).

La tendance à la prédominance d'un type morphologique donné, pour le caractère couleur de la tige est observée au niveau des groupes GII et GIV à l'exception notable de la couleur des graines non decortiquées.

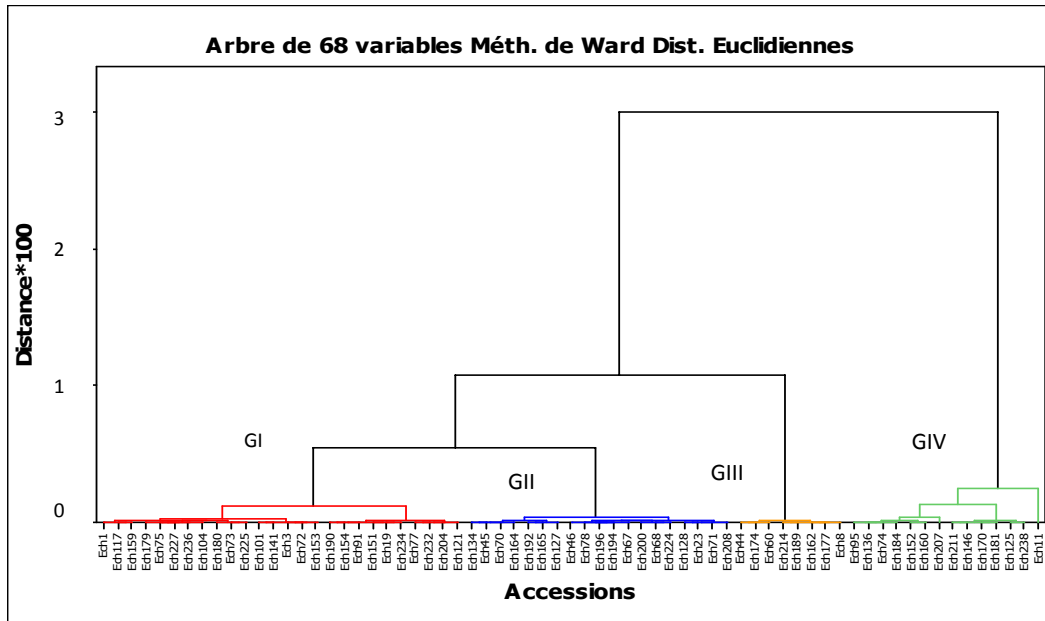


Figure 2 : Dendrogramme issu de la CAH des accessions de *Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf. du Niger.

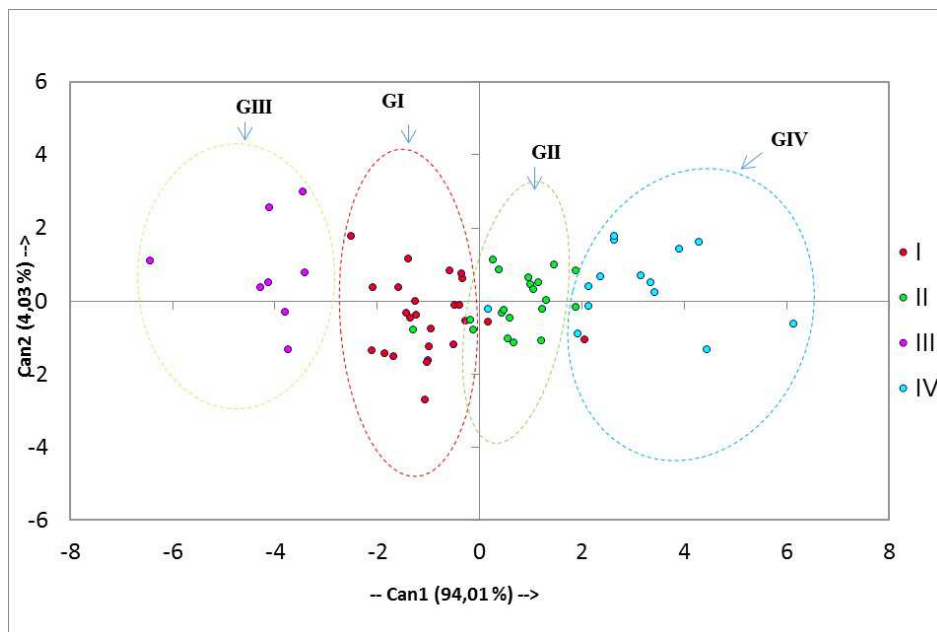


Figure 3 : Projection des groupes dans le plan formé par les deux premiers axes canoniques.

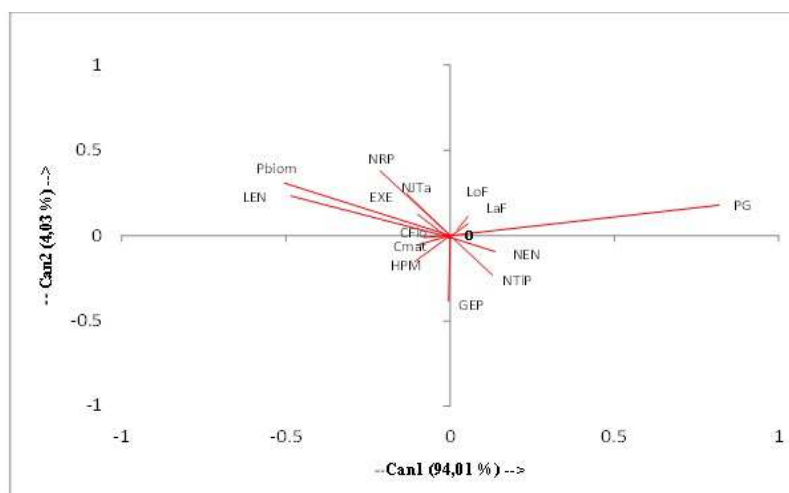


Figure 4 : Projection des variables mesurées dans le plan formé par les deux premiers axes canoniques.

Aussi, la variation de ces caractères est sans nul doute liée à l'expression d'un ou plusieurs gènes dont l'identification pourrait être faite par l'analyse moléculaire. Par ailleurs, les individus ayant la couleur marron de leur graine non decortiquée ont été observés uniquement dans la région de Dosso plus particulièrement dans les villages de Oumgoua Douchi, Birni Fallao, Sandiday et Wassangou.

L'étude des accessions locales du fonio a permis d'apprécier la diversité de l'espèce au Niger. Les amplitudes de variation élevées observées pour un nombre significatif de caractères indiquent la présence d'une forte hétérogénéité au sein des accessions locales du fonio. La dispersion et les moyennes obtenues pour chaque caractère quantitatif sont nettement supérieures à celles observées dans des études similaires réalisées par Adoukounou-Sagbadja et al. (2007b) au Bénin sur 122 accessions originaires de l'Afrique de l'ouest, par Kanfany (2009) au Sénégal à partir d'un cultivar local évalué dans des conditions de fertilisation différentes, par Dansi et al. (2010) au Nord-Ouest du Bénin.

L'ensemble de ces résultats témoignent de l'existence d'une diversité importante au

sein de l'espèce. Cette importante variabilité phénotypique observée pourrait résulter de l'expression d'une forte hétérogénéité génotypique qui restera à confirmer par les analyses moléculaires, mais aussi de l'influence des facteurs environnementaux.

En effet, des travaux ont montré que la longueur du jour ou photopériodisme entraîne des effets variables sur le développement végétatif et physiologique du fonio (Aliero et Morakinyo, 2005). L'étude des corrélations a montré l'existence d'une relation nette entre les caractères morphologiques végétatifs et le rendement en grains des plantes.

C'est ainsi que les accessions précoces dont la durée du cycle est inférieure ou égale à 90 JAS donnent les meilleurs rendements en grains alors que les accessions tardives à cycle supérieur à 90 JAS et qui ont par ailleurs des valeurs élevées de biomasse sèche et de longueur des entrenœuds ont les plus faibles rendements en grains.

Cela pourrait s'expliquer soit par la perte des grains liée à leur poids à maturité sur le panicule de la plante, soit par une concentration élevée de l'azote au niveau de la plante.

Tableau 3: Analyse des 14 caractères quantitatifs mesurés pour les 67 accessions du fonio du Niger.

N°	Caractères	Moyennes	Ecart types	Minimum	Maximum	CV (%)
1	EXE	8,84	0,99	6,90	12,40	11,2
2	LoF	10,79	0,63	8,60	12,20	5,8
3	LaF	0,51	0,07	0,40	1,00	14,7
4	NEN	6,96	0,64	5,60	8,20	9,1
5	LEN	6,02	1,12	4,15	9,75	18,5
6	NJT	24,69	1,05	21,83	26,67	4,3
7	NTP	10,91	1,69	8,10	14,53	15,5
8	FLO	62,96	1,07	59,75	65,42	1,7
9	MAT	90,66	1,55	86,17	94,33	1,7
10	NdP	3,45	0,14	3,12	3,88	4,1
11	HPM	70,72	2,62	63,71	78,82	3,7
12	PBM	7887,49	1117,24	5766,62	13072,04	14,2
13	PGR	954,47	181,63	604,30	1362,10	19,0
14	GEP	2,58	0,72	2,00	4,00	27,9

FLO : cycle de floraison; MAT : cycle de maturité à 50% ; HPM : hauteur de la plante à maturité ; NJT : Nombre des jours 50% Tallage ; NTP : Nombre de talles par plante ; NRP: Nombre du racème par panicule; PGR : poids des graines par hectare ; GEP : Groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes ; PBM: Poids de la biomasse sèche par hectare ; EXE : Exertion de la panicule ; LoF : Longueur des feuilles ; LaF : Largeur des feuilles ; NEN : Nombre d'entreœud ; LEN : Longueur des entreœuds

Les accessions précoces identifiées dans cette étude sont qualifiées d'extra-précoces à hatives selon les critères proposés par Portères (1976). Cette précocité permet d'envisager plus d'une culture par an.

Les accessions tardives au rendement en biomasse plus élevé peuvent être sélectionnées à de fins alimentaires pour les bétails grâce à leurs forte productivité en fourrage. Par ailleurs, nos résultats sont en conformité avec ceux de Ouédraogo et al. (2008) qui ont rapporté qu'au Burkina-Faso, les accessions tardives donnaient les plus faibles rendements en graines.

Les corrélations constituent un outil indispensable pour les améliorateurs dans le choix des caractères à intégrer dans les programmes de sélection.

Les analyses multivariées à travers la CAH et l'AFD ont montré que la variabilité de nos accessions est structurée en quatre groupes sur la base des caractères rendement en graine et en biomasse sèche par hectare Il ressort, de la forte représentativité des deux

premiers axes canoniques de l'AFD (98,04%), l'existence d'une forte organisation génotypique et phénotypique du matériel étudié.

Les dissemblances morphologiques et phénologiques observées entre les différents groupes phénotypiques suggèrent que les accessions sont maintenues sous des processus évolutifs très différents dans leur agroécosystème respectif.

Les agroécosystèmes sont susceptibles d'exercer des pressions sélectives très variables sur les génotypes (Sadiki et Jarvis, 2005) ainsi que les pressions anthropiques (Robert et al., 2004). En effet, le mode de gestion des semences par les agriculteurs tels que les tris sélectifs, les techniques post récolte de la culture et les pratiques agricoles conduisent à une sélection entraînant le maintien, voire la création d'une diversité phénotypique importante (Robert et al., 2005).

Tableau 4: Résultats de l'analyse de variance sur les 16 paramètres quantitatifs.

Source de variation	ddl	NJT	NTP	FLO	MAT	NRP	HPM	PBM	PGR	EXE	LoF	LaF	NEN	LEN	GEP
		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Accessions	66	0,27 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,15 [*]	0,53 [*]	0,89 ^{ns}	1,36 [*]	1,10 ^{**}	1,54 ^{**}	23,26 ^{***}	22,48 ^{***}	32,65 ^{***}	26,48 ^{***}	29,60 ^{**}	26,51 ^{***}
localité	1	20,51 ^{***}	353,93 ^{***}	873,80 ^{***}	450,41 ^{***}	2,23 ^{ns}	0,47 ^{ns}	488,81 ^{***}	9,07 ^{**}	0,04 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,02 ^{ns}
année	1	224,41 ^{***}	86,56 ^{***}	424,41 ^{***}	421,71 ^{***}	3,25 ^{ns}	7,87 ^{**}	411,80 ^{***}	573,56 ^{***}	0,04 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Bloc	2	3,57 [*]	9,84 ^{***}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,32 ^{ns}	7,29 ^{**}	0,01 ^{ns}	9,25 ^{***}	0,13 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Accessions*année	66	0,35 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,55 ^{**}	6,05 ^{***}	6,57 ^{***}	6,15 ^{***}	6,49 ^{***}	6,03 ^{***}	6,74 ^{***}
Accessions*localité	66	0,27 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,19 ^{**}	6,05 ^{***}	6,57 ^{***}	6,15 ^{***}	6,49 ^{***}	6,03 ^{***}	6,59 ^{***}
Accessions*Bloc	132	0,23 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,36 [*]	0,86 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,03 ^{ns}

FLO : cycle de floraison; MAT : cycle de maturité a 50% ; HPM : hauteur de la plante à maturité ; NJT : Nombre des jours 50% Tallage ; NTP : Nombre de talles par plante ; NRP: Nombre du racème par panicule; PGR : poids des graines par hectare ; GEP : Groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes ; PBM: Poids de la biomasse sèche par hectare ; EXE : Exertion de la panicule ; LoF : Longueur des feuilles ; LaF : Largeur des feuilles ; NEN : Nombre d'entreœud ; LEN : Longueur des entreœuds ; * (0,01) : Significatif ; ** (0,001) : Hautement significatif ; *** (0,0001) : Très hautement significatif ; F : Valeur de Fisher.

Tableau 5: Corrélation de Pearson entre variables initiales.

	EXE	LoF	LaF	NEN	LEN	NJT	NTP	FLO	MAT	NdP	HPM	PBM	PGR
EXE	1.0000	0.2456	-0.0081	-0.0933	0.0962	0.0313	-0.0046	0.0112	0.1531	-0.0495	-0.2063	-0.0218	-0.1374
LoF		1.0000	0.1413	-0.2137	-0.0369	-0.1228	0.1566	-0.0859	0.0282	-0.0078	0.0776	0.0765	0.0899
LaF			1.0000	-0.1350	-0.0425	0.1442	0.1833	0.1270	-0.0523	-0.1651	0.0717	0.1269	0.2087
NEN				1.0000	-0.0735	0.0025	0.0567	0.0733	-0.2049	0.0909	0.1425	0.1947	0.0065
LEN					1.0000	-0.0374	0.0021	0.1462	0.3838	0.0035	-0.2726	0.5358*	-0.5048*
NJT						1.0000	-0.0575	0.1180	0.1679	-0.0364	0.1340	0.0232	-0.1677
NTP							1.0000	-0.0507	-0.2521	0.0411	0.0554	0.0155	0.5358*
FLO								1.0000	0.2010	0.0703	0.1051	0.0934	-0.1067
MAT									1.0000	-0.2419	0.0011	-0.2883	-0.2394
NdP										1.0000	0.0241	0.0639	-0.1526
HPM											1.0000	0.0261	-0.1830
PBM												1.0000	-0.8186*
PGR													1.0000

FLO : cycle de floraison; MAT : cycle de maturité a 50% ; HPM : hauteur de la plante à maturité; NJT : Nombre des jours 50% Tallage ; NTP : Nombre de talles par plante ; NRP: Nombre du racème par panicule; PGR : poids des graines par hectare ; GEP : Groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes ; PBM : Poids de la biomasse sèche par hectare ; EXE : Exertion de la panicule ; LoF : Longueur des feuilles ; LaF : Largeur des feuilles ; NEN : Nombre d'entrenœud ; LEN : Longueur des entrenœuds, * coefficient de corrélation significative au seuil ($\alpha = 0,05$).

Tableau 6: Résultats des tests univarié et multivarié du pouvoir discriminant des groupes par les variables : Valeurs de R² et significativité.

Variabiles	R ²	F(3)*	Prob
NJT	0,30	0,778	0,511
NTP	0,50	0,587	0,626
FLO	0,10	0,305	0,822
MAT	0,53	0,334	0,801
NRP	0,59	1,434	0,241
HPM	0,23	0,383	0,766
PBM	0,96	6,146	0,001
PGR	0,92	25,939	< 0,0001
GEP	0,60	0,673	0,571
EXE	0,005	0,110	0,953
LoF	0,03	0,570	0,635
LaF	0,04	0,970	0,411
NEN	0,08	1,900	0,139
LEN	0,70	4,530	0,006
Statistique de Wilks' Lambda		36, (ddl=150)	<0,0001

Tableau 7 : Proportions d'informations concentrées sur les axes canoniques, corrélations canoniques et significativité des axes canoniques (Test de Bartlett).

Axes	Proportions	Proportions cumulées	R _{can} ²	Khi ²	ddl	Prob
1	0,9401	0,9401	0,910	119,566	33	0,0001
2	0,0403	0,9804	0,413	16,566	20	0,6810
3	0,0196	1,0000	0,302	5,598	9	0,7790

Ces facteurs évolutifs pourraient être les causes de la nette différenciation agromorphologique et phénologique observées entre les accessions. Cette évolution constante, influencée par les facteurs pédologiques, climatiques et anthropiques dans les différents agroécosystèmes, donne aux accessions des caractéristiques qui leurs sont propres (Azam-Ali et al., 2001). La présence du groupe de diversité GI et GII avec des caractéristiques intermédiaires entre les accessions précoces et tardives pourrait être le résultat d'un processus adaptatif.

En effet, la structuration de la diversité des accessions du fonio du Niger n'a pas permis de définir une organisation communale, régionale ou spatiale à partir des

caractères agromorphologiques quantitatifs évalués car les différents groupes définis par les analyses multivariées renferment des accessions provenant de chaque zone de collecte (Communes ou Régions).

La grande variabilité observée dans cette étude pourrait être due à des échanges des semences de ces différentes accessions cultivées entre le producteur d'un village à un autre village voisin ou éloigné. Ce type d'observation qui montre la forte variabilité intra-accession et inter-accession a été décrit par plusieurs auteurs chez différentes espèces cultivées en Afrique de l'Ouest (Rouamba et al., 2001; Demol et al., 2002 ; Barnaud et al., 2007; Bakasso, 2010 ; Antoine et al., 2012).

Tableau 8 : Caractéristiques des groupes : valeurs moyennes et écarts-types des paramètres par groupe, valeur de la statistique de Newmann Keuls et leur significativité.

Variables	GrpI (N=19)		Grp II (N=11)		Grp III (N=8)		Grp IV (N=29)		Global		Statistique du test		
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	F	Prob	CV(%)
NJT	24,62 ^a	1,19	24,68 ^a	0,95	25,14 ^a	0,43	24,59 ^a	1,19	24,76 ^a	0,26	0,778	0,655	4,3
NTP	10,98 ^a	1,59	10,93 ^a	1,86	10,23 ^a	0,89	11,05 ^a	1,97	10,80 ^a	0,38	0,587	0,688	5,5
FLO	63,00 ^a	0,93	63,00 ^a	1,24	63,10 ^a	0,98	62,76 ^a	1,19	62,97 ^a	0,14	0,305	0,874	1,7
MAT	90,85 ^a	1,88	88,31 ^a	1,64	90,88 ^a	1,05	86,69 ^a	0,93	90,68 ^a	0,26	0,334	0,673	1,7
NRP	3,43 ^a	0,14	3,44 ^a	0,14	3,54 ^a	0,13	3,43 ^a	0,14	3,46 ^a	0,05	1,434	0,254	4,1
HPM	70,94 ^a	2,68	70,78 ^a	3,06	70,90 ^a	1,70	70,12 ^a	2,41	70,69 ^a	0,38	0,383	0,816	3,7
PBM	7972,7 ^b	912,84	7696,61 ^b	806,02	9148,07 ^a	1797,08	7287,66 ^b	821,48	8026,26 ^b	799,07	6,146	0,001	27,9
PGR	882,72 ^c	130,99	993,13 ^b	113,76	716,80 ^d	113,91	1163,17 ^a	126,69	938,96 ^c	187,73	25,939	<0,0001	19,0
GEP	2,72 ^a	0,79	2,55 ^a	0,76	2,38 ^a	0,52	2,50 ^a	0,65	2,54 ^a	0,14	0,673	0,625	14,2
EXE	8,816 ^a	0,644	8,982 ^a	0,665	8,725 ^a	0,838	8,831 ^a	1,301	8,84 ^a	0,22	0,110	0,3687	11,2
LoF	10,67 ^a	0,565	10,71 ^a	0,509	10,75 ^a	1,090	10,90 ^a	0,559	10,76 ^a	0,19	0,570	0,139	5,8
LaF	0,516 ^a	0,121	0,489 ^a	0,045	0,538 ^a	0,052	0,503 ^a	0,042	0,51 ^a	0,02	0,970	0,081	4,7
NEN	6,808 ^a	0,625	7,055 ^a	0,587	7,406 ^a	0,577	6,909 ^a	0,645	7,04 ^a	0,16	1,900	0,813	9,1
LEN	5,674 ^b	1,144	5,991 ^b	0,811	7,212 ^a	0,698	5,816 ^b	1,101	5,92 ^b	0,24	4,530	0,005	18,5

FLO : cycle de floraison; MAT : cycle de maturité a 50% ; HPM : hauteur de la plante à maturité ; NJT : Nombre des jours 50% Tallage ; NTP : Nombre de talles par plante ; NRP: Nombre du racème par panicule; PGR : poids des graines par hectare ; GEP : Groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes ; PBM: Poids de la biomasse sèche par hectare ; EXE : Exertion de la panicule ; LoF : Longueur des feuilles ; LaF : Largeur des feuilles ; NEN : Nombre d'entreœud ; LEN : Longueur des entreœuds. Sur chaque ligne les valeurs accompagnées par des lettres différentes sont significativement différents au seuil de probabilité ($\alpha = 0,05$).

Conclusion

La variabilité observée à l'intérieur des accessions étudiées constitue un argument de choix pour la conservation en milieu paysan des cultivars traditionnelles du fonio du Niger. Cette variabilité importante au sein de l'espèce pourrait être favorisée par le mode de reproduction qui reste à être confirmé par les analyses moléculaires.

La place des accessions locales dans les ressources végétales des plantes cultivées n'étant plus à démontrer, une attention particulière doit être accordée aux régions qui assurent la pérennité de cette source de variabilité. Les caractères analysés peuvent ainsi constituer des critères de base pour différencier les accessions des autres régions du Niger et servir dans des études de diversité morphologique du fonio en Afrique de l'Ouest. Ces résultats montrent la nécessité de tester l'approche génétique par l'utilisation de marqueurs moléculaires afin de mieux connaître la diversité génétique globale ainsi que le régime de reproduction. Cette diversité comparée avec celle identifiée par la perception des paysans, mais aussi à la diversité obtenue à l'issue de l'évaluation phénotypique des accessions collectées au Niger, permet une utilisation rationnelle de cette ressource dans les programmes de l'amélioration du fonio du Niger.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce à un financement de l'Université Abdou Moumouni. Nous remercions l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN) pour nous avoir autorisé à réaliser notre expérimentation dans leurs stations de recherche de Tarna et de Tara et l'IRD pour son appui logistique.

REFERENCES

- Abdelkader M.S. 2012. Etude de l'effet de la gestion intégrée de la fertilité du sol sur la production de maïs (*Zea mays*). Mémoire de fin de cycle présentée à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Maradi pour l'obtention du diplôme de Master II, Université de Maradi, Maradi, Niger, p.71.
- Adoukonou-Sagbadja H, Dansi A, Voudouhe R. 2006. Indigenous knowledge and traditional conservation of fonio millet (*Digitaria exilis*, *Digitaria iburua*) in Togo. *Biodiversity and Conservation*, **15**: 2379-2395.
- Adoukonou-Sagbadja H, Schubert V, Dansi A, Jovtchev G, Meister A, Pistrick K, Akpagna K, Friedt W. 2007a. Flow cytometric analysis reveals different nuclear DNA contents in cultivated fonio (*Digitaria* spp.) and some wild relatives from West Africa. *Plant Systematics and Evolution*, **267**: 163-176.
- Adoukonou-Sagbadja H, Wagner C, Dansi A. 2007b. Genetic diversity and population differentiation of traditional fonio millet (*Digitaria* spp.) landraces from different agro-ecological zones of West Africa. *Theoretical and Applied Genetics*, **7**: 917-931.
- Adoukonou-Sagbadja H, Wagner C, Ordon F, Freidt W. 2010. Reproductive system and molecular phylogenetic relationships of fonio millets (*Digitaria* spp. Poaceae) with some polyploidy wild relatives. *Tropical Plant Biology*, **10**: 240-251.
- Ahmadi N, Becquer T, Larroque C, Arnaud M. 1988. Variabilité génétique du riz (*Oryza sativa* L.) à Madagascar. *Agron. Trop*, **43**: 209-221.

- Aliero AA, Morakinyo JA. 2005. Photoperiodism in *Digitaria exilis*. *African Journal of Biotechnology*, **4**: 241-243.
- Antoine AM, Adoukonou-Sagbadja H, Rollande AD, Corneille A, Clément A. 2012: Impacts des pratiques culturales sur l'organisation génétique des sorghos cultivés par les Lokpa au Nord-Ouest du Bénin révélés par les marqueurs SSRs. *Journal of Applied Biosciences*, **60**: 4394-4409.
- Azam-ali SN, Sesay A, Karikari SK, Massawe FJ, Aguilar-manjarrez J, Bannayan M, Hampson KJ. 2001. Assessing the potential of an underutilized crop – A case study using bambara groundnut. *Experimental Agriculture*, **37**: 433-472.
- Bakasso Y. 2010. Ressources génétiques des roselles (*Hibiscus sabdariffa* L.) du Niger : évaluations agromorphologique et génétique. Thèse de Doctorat d'état, université de Niamey, Niamey, p. 139.
- Bama J. 1999. Intérêt du fonio dans l'alimentation des diabétiques : Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, p. 120.
- Barnaud A. 2007. Savoirs, pratiques et dynamique de la diversité génétique : le sorgho (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*) chez les Duupa du Nord Cameroun. Thèse de doctorat, université de Montpellier II, Montpellier, p. 282.
- Brown AHD, Munday J. 1982. Population-genetic structure and optimal sampling of landraces of barley from Iran. *Genetica*, **58**: 85–96.
- Brush SB. 1995. In situ conservation of landraces in centers of diversity. *Crop Sci*, p. 35.
- Chantereau J, Arnaud M, Ollitrault P, Nabayaogo P, Noyer JL. 1989. Étude de la diversité morphophysologique et classification des sorghos cultivés. *Agron. Trop*, **44**: 223–232.
- Cherifi K, Boussaïd M, Marrakchi M. 1993. Diversité génétiques de quelques populations naturelles de *Medicago ciliaris* (L) Krock et de *Medicago intertexta* (L) Mill. Analyse de la variabilité morphologique. *Agronomie* (Elsevier/INRA), **13**: 895-908.
- Cruz JF. 2004. Fonio a small grain with potential. LEISA, magazine on low external input and sustainable agriculture valuing Crop diversity, **1**: 16-17.
- Cruz JF, beavogui F, Drame D. 2011. *Le Fonio, une Céréale Africaine*. Collection Agricultures tropicales en poche. Editions. Quae / Cta / Presses agronomiques de Gembloux:Versailles, France; 175 p.
- Dansi A, Adoukonou-Sagbadja H, Vodouhè R. 2010. Diversity, conservation and related wild species of fonio millet (*Digitaria spp.*) in the northwest of Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **57**: 827-839.
- Demol J, Baudouin JP, Louant BP, Marechal R, Mergeai G, Otoul E. 2002. Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 582 p.
- Djè Y, Ater M, Lefèbvre C, Vekemans X. 1998. Patterns of morphological and allozyme variation in sorghum landrace of northwestern Morocco. *Genet. Res, Crop. Evol.*, **45**: 541-548.
- Doebley J, Goodman M, Stuber C. 1985. Isozyme variation in the races of maize from Mexico. *Amer. J. Bot.*, **75**: 629–639.

- Ezekiel CN, Sulyok M, Warth B. 2012. Multi-microbial metabolites in fonio millet (acha) and sesame seeds in Plateau State, Nigeria. *European Food Research and Technology*, **235**: 285-293.
- Fofana B, Vekemans X, du Jardin P, Baudoin JP. 1997. Genetic diversity in Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) as revealed by RAPD markers. *Euphytica*, **95**: 157-165.
- Frankel O, Brown AHD, Burdon JJ. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press: New York, USA; 299 p.
- Harlan JR. 1975. Our vanishing genetic resources. *Science*, **188**: 618-621.
- Jideani IA. 2012. *Digitaria exilis* (acha/fonio), *Digitaria iburua* (iburua/fonio) and *Eleusine coracana* (tamba/finger millet)-Non-conventional cereal grains with potentials. *Scientific Research and Essays*, **45**: 3834-3843.
- Jideani IA, Jideani VA. 2010. Development on the cereal grains *Digitaria exilis* (acha) and *Digitaria iburua*. *Journal of Food Science and Technology*, **3**: 251-259.
- Kanfany MG. 2009. Effets de la fertilisation organo minérale sur la croissance et le rendement du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) en Casamance et au Sénégal Oriental. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie (DEA), Université Cheik Anta Diop. 35.p.
- Maquet A, Zoro BI, Delvaux M, Wathelet B, Baudoin JP. 1997. Genetic structure of a Lima bean base collection using allozyme markers. *Theor. Appl. Genet*, **95**: 980-991.
- McLACHLAN GJ. 1992. *Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition*. Wiley: New-York; 526 p
- Ouédraogo M, Ouédraogo JT, Tignéré JB, Balma D, Dabiré CB, Konaté G. 2008. Characterization and evaluations of accessions of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt) from Burkina Faso. *Sciences et Nature*, **5**(2): 191-197.
- Oumarou DD. 2012. Le refus de la culture du fonio dans le village de Tombon-Dogo, Commune Rurale de guéchémé (Département de Tibiri). Thèse Mémoire présentée à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Niamey pour obtenir le grade de Maitrise ès lettres/option: Sociologie Rurale, 59p.
- Poilecot P. 1999 : Les Poaceae du Niger : Mémoires de botanique systématique. Boissiera , 56(1) : 448-469 Africain. *Agron Trop*, **1**: 589-592.
- Porteres R. 1976. African cereals: Eleusine, Fonio, Black Fonio, Teff, Brachiara, Paspalum, Pennisetum, and African Rice. In *The Origins of African Plant Domestication*, Harlan J, de Wet JMJ, Stemler ABL (eds). The Hague: Mouton.
- Portères R. 1946 : L'aire culturale du *Digitaria iburua* Stapf, céréale mineure de l'ouest Africain. *Agron Trop*, **1**: 589-592.
- Robert T, Luxereau A, Mariac C, Ali K, Allinne C, Bani J, Beidari Y, Bezaçon G, Gayeux S, Couturon E, Dedieu V, Sadou M, Seydou M, Seyni O, Tidjani M, Sarr A. 2004. Gestion de la diversité en milieu paysan : influence de facteurs anthropiques et des flux de gènes sur la variabilité génétique des formes cultivées et spontanées du mil

- (*Pennisetum glaucum* ssp. *glaucum*) dans deux localités du Niger, Actes du 4^e colloque national. Le patrimoine génétique : la diversité et la ressource. La Châtre, 14-16 octobre 2002. Bureau des ressources génétiques 2004.
- Robert T, Mariac C, Allinne C, Ali K, Beidari Y, Bezançon G, Couturon E, Moussa D, Sasou MS, Seydou M, Seyni O, Tidjani M, Luxereau A. 2005. Gestion des semences et dynamiques des introgressions entre variétés cultivées et entre formes domestiques et spontanées des mils (*Pennisetum glaucum* ssp. *glaucum*) au Sud-Niger. Les Actes du BRG, 5^e colloque national. Un dialogue pour la diversité. Lyon, 3-4-5 novembre 2004.
- Rouamba A, Sandmeier M, Sarr A, Ricroch A. 2001. Allozyme variation within and among populations of onion (*Allium cepa* L.) from West Africa. *Theoretical and Applied Genetics*, **103**: 855-861.
- Sadiki M, Jarvis D. 2005. Conservation in situ de la diversité génétique des cultures par sa gestion à la ferme dans les agroécosystèmes marocains. *Les Actes du BRG*, **5**: 445-464.
- SAS. 2010. Using JMP 9. *SAS Institute Inc.*, Cary: NC, USA ; 599.
- Sivakumar M. V. K., Maidoukia A. & Stern R. D .1993. Agroclimatology of West Africa: Niger. Information Bulletin n° 5, ICRISAT; 108.
- Vall E, Andrieu N, Beavogui F, Sogodogo D. 2011. 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**: 294-300.