

EFFET DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES PARAMÈTRES DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT DES ACCESSIONS DU FONIO [DIGITARIA EXILIS (KIPPIST.) STAPF.] AU NIGER

Idi Saidou SANI^{1*}, Maman Maarouhi INOUSSA², Zaman-Allah MAINASSARA⁷, Atta SANOUSSI³, Adeline BARNAUD^{4,5}, Claire BILLOT⁶, Yacoubou BAKASSO², Ali MAHAMANE^{1,2}, et Mahamane SAADOU^{2,7}

¹ *Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Production Végétale, UMR : Aridoculture et Cultures Oasiennes, BP 78, Diffa, Niger*

² *Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila, BP 10662, Niamey, 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 *Centre International de Recherche Agronomique Pour le Développement, UMR-AGAP. A A-108 / 03, Avenue d'Agropolis F-34398 Montpellier Cedex 5, Montpellier, France*

⁷ *Université de Maradi, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, BP 465, Maradi, Niger*

*Correspondance, e-mail : saidousani@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'identification des cultivars à haut niveau de performance pour la plupart des programmes d'amélioration des espèces cultivées nécessitent au préalable une évaluation et une caractérisation de leur variabilité sur une large gamme de conditions environnementales. Cette approche se base sur des études faisant appel à l'analyse de l'effet de l'environnement sur la diversité des caractères adaptatifs liés à la productivité et la croissance des ces espèces. Dans ce

contexte, la présente étude a été réalisée dans le but d'explorer la performance des accessions de *Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf. de provenance diverse, pendant les saisons pluvieuses de 2011 et 2012, à deux endroits agro-écologiquement différent au Niger. Le nombre de jours à 50 % floraison et le nombre de jours à 50 % de maturité ont été enregistrés. A maturité, la hauteur du plant, le poids total de la graine non decortiqué, le poids de la biomasse sèche ainsi que les paramètres de croissance végétative ont été mesurés. L'analyse de variance a montré une différence significative des accesions pour tous les caractères retenus. La variabilité est principalement attribuable à des différences dans le type de sol et les conditions climatiques. Les résultats suggèrent une interaction entre génotype et environnement.

Mots-clés : *croissance, environnement, Digitaria exilis, accessions, fonio, Niger.*

ABSTRACT

Effect of environment on growth and yield parameters of fonio accessions [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] in Niger

The identification of high-performance cultivars for most crop improvement programs requires prior assessment and characterization of their variability over a wide range of environmental conditions. This approach is based on studies using the effect of the environment on the diversity of adaptive traits related to the productivity and growth of these species. In this context, the present study was carried out with the aim of exploring the performance of the accessions of *Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf. Of diverse origin, during the rainy seasons of 2011 and 2012, in two agro-ecologically different places in Niger. The number of days at 50 % flowering and the number of days at 50 % maturity were recorded. At maturity, the height of the plant, the total weight of the unhulled seed, the weight of the dry biomass and the vegetative growth parameters were measured. The analysis of variance showed a significant difference of the accesions for all the traits retained. Variability is mainly due to differences in soil type and climatic conditions. The results suggest an interaction between genotype and environment.

Keywords : *growth, évaluation, environment, Digitaria exilis, accessions, fonio, Niger.*

I - INTRODUCTION

La dégradation des écosystèmes naturels (baisse de fertilité des sols, régression des ressources végétales, désertification) pose de réels problèmes aux paysans surtout pour les activités liées à l'agriculture [1, 2]. Le régime de pluie et la fluctuation de la température étant de plus en plus imprévisible, la production des espèces cultivées doit prendre en compte l'influence de l'environnement. Cela permettra d'identifier des cultivars performants qui s'adaptent aux changements et variabilités climatiques. Cette approche répond à un objectif de limitation des risques lié au climat en augmentant la résilience de la population locale. Des travaux sur l'influence de l'environnement des quelques espèces cultivées ont montré des effets significatifs du climat sur la productivité [1 - 3]. Ainsi des cultures comme le fonio en raison de son adaptation au milieu, de ses besoins non moins important en fertilisant, et de sa demande sur le marché mondiale constituent une opportunité pour les producteurs [4 - 7]. C'est pourquoi l'évaluation des accessions du fonio doit être faite dans différentes conditions agro-écologiques afin de voir l'impact de l'environnement sur leur performance agro-morphologique au Niger. Le fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] qui 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 [8, 9].

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 valorisées [4, 5, 10, 11]. Il semble moins sensible aux dommages parasitaires pendant le stockage que d'autres céréales [12, 13]. Le fonio se consomme sous diverses formes (couscous, bouillies, voire farine) ; ses pailles sont souvent utilisées comme fourrage pour nourrir les bovins, les chèvres et les moutons comme c'est le cas notamment dans les zones les plus arides, où les sources d'alimentation animale sont rares [4, 14, 15, 16]. Pauvre en gluten, le fonio est indiqué pour les personnes diabétiques et ceux qui souffrent du problème de surpoids [17, 18]. Dans le monde l'aire de culture du fonio s'étend du Sénégal au lac Tchad [4 - 19] mais il est surtout plus cultivé en Guinée où il constitue une des nourritures des bases des populations montagnaises du Fouta Djallon. On le rencontre également au Mali, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Nigeria, au Togo, au Bénin et au Niger [20, 21]. Sa production annuelle est actuellement de 560.000 T sur 600.086 Ha [22], mais les potentialités d'augmentation de production sont importantes [12]. Au Niger, les principales zones de production du fonio sont la région de Dosso et celle de 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 [21]. En effet, *Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf avec son énorme potentialité alimentaire et thérapeutique pourrait être une culture d'avenir au Niger pour sécuriser les besoins alimentaires et financiers des ménages locaux. Pour atteindre cet objectif, des investigations plus poussées sont nécessaires notamment à travers l'amélioration génétique des différents paramètres de production, la réduction des pertes de rendement liées aux facteurs endogènes (perte des graines à maturité lié à la verse et aux tiges non érigés des certaines accessions) et exogènes (maladies) de la plante. Afin d'asseoir un programme d'amélioration génétique à l'échelle du Niger, pays à grande variabilité climatique, il est indispensable d'explorer l'effet de l'environnement sur la culture de *D. exilis*. La présente étude vise à évaluer l'effet de l'environnement (climatique et édaphique) sur les paramètres de croissance et de rendement des accessions locales de fonio dans deux zones agro-écologiques différentes au Niger. Spécifiquement il s'agit (i) : d'identifier les performances des accessions dans les deux sites d'essai pour les paramètres qualitatifs et quantitatifs mesurés (ii) : de déterminer la variabilité au niveau de localité sur les paramètres quantitatifs (iii) : de savoir l'effet de l'interaction entre les conditions locales et les accessions sur la variation des caractères quantitatifs mesurés.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II - 1. MATÉRIEL

II-1-1. Sites expérimentaux

Les essais ont été conduits pendant les campagnes agricoles 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') situé dans la zone sahelienne à environ 670 km au Sud Est de Niamey, et celle de TARA à Gaya (latitude N11°53' et longitude E3°19') dans la zone Nord soudanienne à environ 300 km au Sud de Niamey, La longueur moyenne de la saison des pluies est 80 à 100 jours à Maradi et de 120 à 146 jours à Gaya [23]. Le **Tableau 1** présente les caractéristiques du climat et des sols des deux stations d'essai. Il ressort qu'au cours des essais, que 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 TARA. Le sol de cette station est de type ferrugineux tropical avec un pH de 5,1 et contient plus de 85 % de sables totaux. La teneur en matière organique est faible (0,3 %, de même que celle de l'azote total (0,02 %) [24]. La capacité d'échange cationique (1,04 meq / 100 g) est faible avec cependant une carence en phosphore (101 ppm). A TARNA, la température moyenne

journalière a varié entre 22,07 °C et 37,5°C en 2011, et entre 24,2°C et 40,1°C en 2012. Les sols de la station 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 (0,005 %). La capacité d'échange cationique (1,0 meq / 100 g) est aussi faible avec une carence accusée en phosphore (1,66 ppm). Pour les deux stations, les cumuls pluviométriques de 475,7 mm et 510,7 mm ont été respectivement enregistrés en 37 et 40 jours à la station de Tarna et des cumuls de 902,3 mm en 45 jours et 975,9 mm en 44 jours à la station de Tara.

Tableau 1 : *Caractéristiques du climat et du sol des 2 stations d'essai*

Caracteristiques	Gaya (Tara)	Maradi (Tarna)
Sol:		
Type de sol	ferrugineux tropical	ferrugineux tropical profond
Sable	86 %	96.70 %
Limon	5.80 %	2.80 %
Argile	8.17 %	3 %
Azote total	0.02 %	0.01 %
Carbone organique	0.30 %	0.22 %
Phosphore	101 ppm	1.6 ppm
Capacité d'échange cationique	1.04 meq / 100	1.0 meq / 100
Climat :		
Index Pluviométrique (IP)	PI > 600 mm	400 mm < PI < 600 mm
Humidité Relative (HR)	23 % < RH < 80.5 %	18% < RH < 70.5%
Température (T)	25°84 <T< 33°57	19° < T < 32°8
Amplitude Thermique	7°73	13°8
Durée de l'insolation	6.8 à 8.7 heures	6.9 à 9.3 heures
Moyenne pluviométrique (1992-2001)	805.59 mm	475.7 mm
Moyenne pluviométrique Pendant l'essai (2011-2012)	939,1 mm	492,2 mm

II-1-2. Matériel végétal

Le matériel végétal est 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 2**). Les semences prélevées des stocks semenciers des paysans constituent une accession.

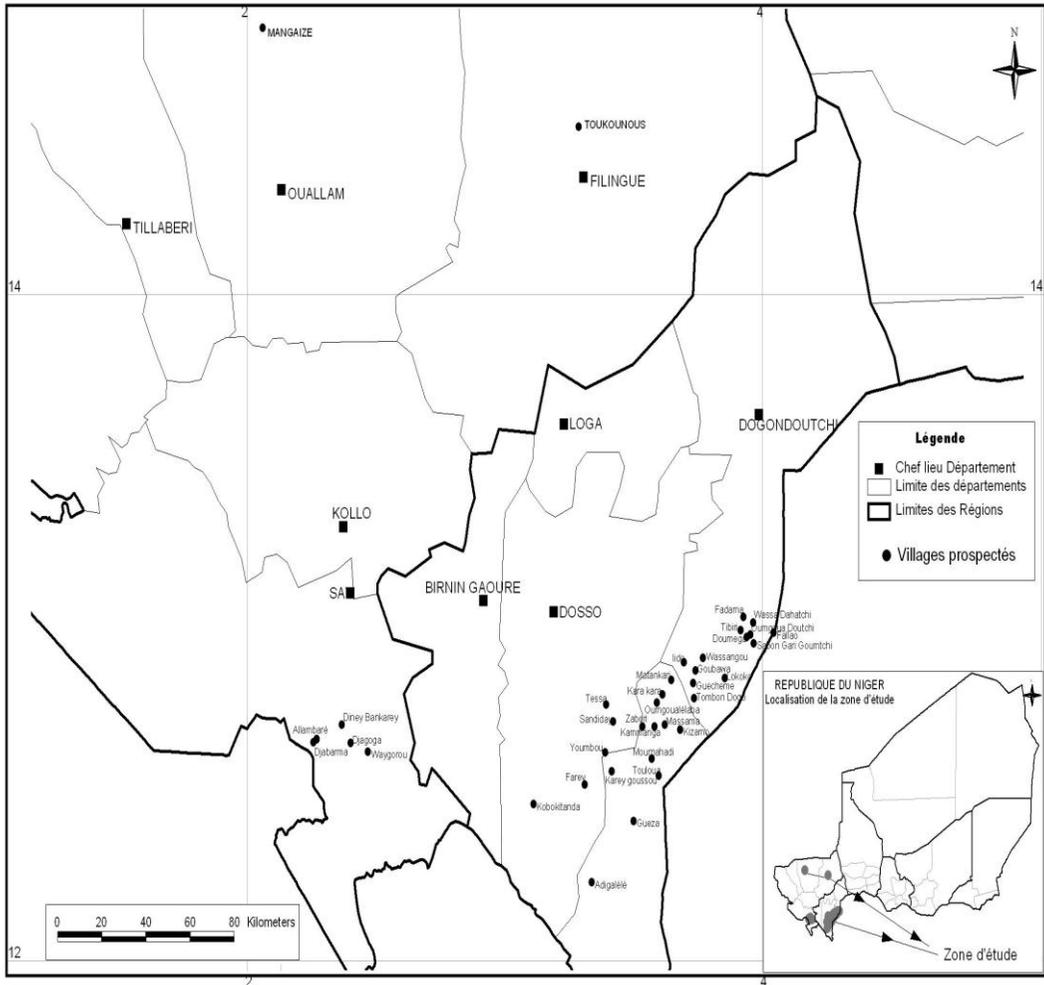


Figure 1 : Situation géographique des villages prospectés pour la collecte des accessions du fonio au Niger

Tableau 2 : Informations relatives aux sites de prospection des accessions du fonio collectées en 2011 au Niger

N°	Accession	Régions	Communes	Villages	Latitude	Longitude	N°	Accession	Régions	Communes	Villages	Latitude	Longitude
1	Ech1	Dosso	Tibiri	Tibiri	N12°59'29.0"	E003°57'23.2"	36	Ech159	Dosso	Zabori	Kammariga	N12°42'11.7"	E003°36'21.6"
2	Ech3	Dosso	Tibiri	Tibiri	N12°59'29.0"	E003°57'23.2"	37	Ech160	Dosso	Zabori	Kammariga	N12°42'11.7"	E003°36'21.6"
3	Ech8	Dosso	Doumega	Doumega	N12°58'19.6"	E003°58'52.4"	38	Ech162	Dosso	Zabori	Kammariga	N12°42'11.7"	E003°36'21.6"
4	Ech11	Dosso	Doumega	Doumega	N12°58'19.6"	E003°58'52.4"	39	Ech164	Dosso	Zabori	Zabori	N12°42'09.4"	E003°33'25.7"
5	Ech19	Dosso	Tibiri	Oumgoua Doutchi	N12°58'47.3"	E003°59'45.3"	40	Ech165	Dosso	Zabori	Zabori	N12°42'09.4"	E003°33'25.7"
6	Ech23	Dosso	Tibiri	Oumgoua Doutchi	N12°58'47.3"	E003°59'45.3"	41	Ech170	Dosso	Tessa	Tessa	N12°46'07.3"	E003°24'33.2"
7	Ech45	Dosso	Tibiri	Birni Fallao	N12°62'05.3"	E004°08'26.9"	42	Ech174	Dosso	Tessa	Sandiday	N12°43'07.1"	E003°26'12.5"
8	Ech46	Dosso	Tibiri	Birni Fallao	N12°62'05.3"	E004°08'26.9"	43	Ech177	Dosso	Tessa	Sandiday	N12°43'07.1"	E003°26'12.5"
9	Ech60	Dosso	Guecheme	Lokoko	N12°50'52.0"	E003°53'27.0"	44	Ech179	Dosso	Dioundou	Youmbou	N12°37'32.8"	E003°24'18.6"
10	Ech67	Dosso	Guecheme	Lokoko	N12°50'52.0"	E003°53'27.0"	45	Ech180	Dosso	Dioundou	Youmbou	N12°37'32.8"	E003°24'18.6"
11	Ech70	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	46	Ech181	Dosso	Dioundou	Youmbou	N12°37'32.8"	E003°24'18.6"
12	Ech71	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	47	Ech184	Dosso	Dioundou	Karey goussou	N12°34'03.5"	E003°25'56.1"
13	Ech72	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	48	Ech189	Dosso	Dioundou	Touloua	N12°33'16.5"	E003°37'24.6"
14	Ech73	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	49	Ech190	Dosso	Dioundou	Touloua	N12°33'16.5"	E003°37'24.6"
15	Ech74	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"	50	Ech192	Dosso	Dioundou	Touloua	N12°33'16.5"	E003°37'24.6"
16	Ech75	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	51	Ech194	Dosso	Dioundou	Mournahadi	N12°36'19.4"	E003°35'36.9"
17	Ech77	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	52	Ech196	Dosso	Dioundou	Mournahadi	N12°36'19.4"	E003°35'36.9"
18	Ech78	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	53	Ech200	Dosso	Yelou	Gueza	N12°25'11.1"	E003°31'11.6"
19	Ech91	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"	54	Ech204	Dosso	Yelou	Adigalélé	N12°14'08.2"	E003°20'59.1"
20	Ech95	Dosso	Guecheme	Guecheme	N12°49'56.9"	E003°45'48.0"	55	Ech207	Dosso	Yelou	Adigalélé	N12°14'08.2"	E003°20'59.1"
21	Ech101	Dosso	Guecheme	Guecheme	N12°49'56.9"	E003°45'48.0"	56	Ech208	Dosso	Yelou	Adigalélé	N12°14'08.2"	E003°20'59.1"
22	Ech104	Dosso	Guecheme	Tombon Dogo	N12°47'15.0"	E003°45'56.9"	57	Ech214	Dosso	Farrey	Farey	N12°31'44.3"	E003°19'17.1"
23	Ech117	Dosso	Guecheme	Lido	N12°53'42.2"	E003°43'29.0"	58	Ech224	Tillabery	Tamou	Diney Bankarey	N12°42'29.0"	E002°20'07.0"
24	Ech121	Dosso	Guecheme	Lido	N12°53'42.2"	E003°43'29.0"	59	Ech225	Tillabery	Tamou	Djagoga	N12°39'12.4"	E002°22'14.1"
25	Ech125	Dosso	Matankari	Matankari	N12°50'32.8"	E003°40'.25.1"	60	Ech227	Tillabery	Tamou	Djagoga	N12°39'12.4"	E002°22'14.1"
26	Ech127	Dosso	Matankari	Matankari	N12°50'32.8"	E003°40'.25.1"	61	Ech232	Tillabery	Tamou	Waygorou	N12°37'35.8"	E002°26'23.4"
27	Ech128	Dosso	Matankari	Matankari	N12°50'32.8"	E003°40'.25.1"	62	Ech234	Tillabery	Tamou	Waygorou	N12°37'35.8"	E002°26'23.4"
28	Ech134	Dosso	Kara kara	Kizamo	N12°41'38.0"	E003°42'33.9"	63	Ech236	Tillabery	Tamou	Djabarma	N12°39'17.8"	E002°13'06.2"
29	Ech136	Dosso	Kara kara	Kizamo	N12°41'38.0"	E003°42'33.9"	64	Ech211	Dosso	Farrey	Farey	N12°31'44.3"	E003°19'17.1"

30	Ech141	Dosso	Kara kara	Kizamo	N12°41'38.0"	E003°42'33.9"	65	Ech238	Dosso	Guecheme	Goubawa	N12°52'14.6"	E003°46'19.6"
31	Ech146	Dosso	Kara kara	Kara kara	N12°47'55.5"	E003°38'16.6"	66	Ech44	Dosso	Tibiri	Birni Fallao	N13°00'40.8"	E004°04'31.4"
32	Ech151	Dosso	Kara kara	Oumgoualélaba	N12°46'28.7"	E003°36'52.3"	67	Ech68	Dosso	Guecheme	Wassangou	N12°54'29.3"	E003°48'07.4"
33	Ech152	Dosso	Kara kara	Oumgoualélaba	N12°46'28.7"	E003°36'52.3"							
34	Ech153	Dosso	Kara kara	Massama	N12°42'27.1"	E003°38'51.9"							
35	Ech154	Dosso	Kara kara	Massama	N12°42'27.1"	E003°38'51.9"							

II-2. Méthodes

II-2-1. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en bloc de Fisher complètement randomisés avec trois répétitions. Dans chaque bloc une accession a une superficie de 1 m². Les carrés d'un même bloc sont séparés par une distance de 1 m et les blocs successifs sont distants de 2 m les uns des autres. 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. Un premier désherbage à la main à été effectué au niveau de chaque accession, seize jours après semis suivis de trois autres afin de limiter la compétition des plants avec les mauvaises herbes.

II-2-2. Observations des caractères

Deux catégories de caractères ont été évaluées. Il s'agit de 15 caractères quantitatifs décrits dans le **Tableau 3** et deux caractères qualitatifs, la couleur de la graine non décortiquée (CGD) et la couleur de la tige (CTG).

Tableau 3 : Variables quantitatives utilisées pour l'évaluation des accessions du fonio

Variables	Abréviations	Descriptions	Unité de mesure
Nombre de jours 50 % Tallage	NJT	Nombre de jours écoulés du semis au tallage de 50 % des plants par m ² par accession.	JAS
Nombre de talles par plante	NTP	Correspond au nombre de talles compté chez un individu par m ² par accession. Moyenne de 5 individus de différentes plantes au niveau de chaque m ² .	
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.	JAS
cycle de maturité	MAT	Nombre de jours, du semis jusqu'au moment où 50 % des plantes par m ² ont atteint leur maturité.	JAS
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	Regroupement des épillets en deux, trois ou quatre sur les pédicelles au niveau des racèmes qui donnent des informations sur le type de variété du fonio.	

II-2-3. Analyse des données

Les données obtenues ont été analysées avec le logiciel 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 Lèvene, des analyses de variance (ANOVA) basée sur la comparaison des moyennes multiples ont été également réalisées sur les différents paramètres et interprétées en modèle mixte. Dans cette analyse, nous avons fixé le matériel végétal c'est-à-dire les accessions du fonio du Niger et fait varier le site ainsi que les années d'essai dans le même site. Des comparaisons des moyennes de ces variables sur les deux années d'essai ont été également faites entre les deux sites pour évaluer l'influence de l'environnement sur la culture du fonio.

III - RÉSULTATS

III-1. Performance des accessions pour les caractères qualitatifs

Les fréquences d'apparition des différents types morphologiques pour chacun des caractères qualitatifs, sur l'ensemble des accessions étudiées sont

représentées par la **Figure 2**. On observe une prédominance d'un type morphologique aussi bien pour le caractère couleur de la glume avec 93 % de morphotype blanc que pour la couleur de la tige avec 94 % de morphotypes verts.

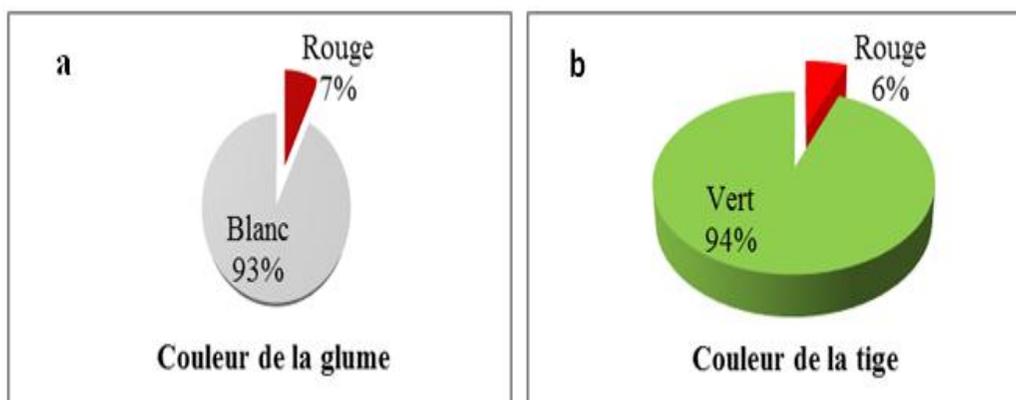


Figure 2 : Variation des différents caractères qualitatifs des accessions : (a) couleur de la glume, (b) couleur de la tige

III-2. Performance des accessions pour les caractères quantitatifs

Les performances moyennes, les minima, les maxima et les coefficients de variation des accessions ainsi que les résultats de l'analyse de variances pour les 14 caractères quantitatifs étudiés sur les stations de tara et de Tarna sont consignés dans les **Tableaux 4 et 5** respectivement. L'examen de ces résultats montre de très grandes amplitudes de variation pour tous les caractères sur les deux sites à l'exception du nombre de talles par plante (NTP) ; le Nombre du racème par panicule (NRP); l'exertion de la panicule (EXE) ; la longueur des feuilles (LoF) ; la largeur des feuilles (LaF) ; le nombre des entrenœuds (NEN) ; la longueur des entrenœuds (LEN) ; le groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes (GEP) pour le site de Tarna et, la hauteur de la plante à maturité (HPM) ; l'exertion de la panicule (EXE) ; la longueur des feuilles (LoF) ; la largeur des feuilles (LaF) ; le nombre des entrenœuds (NEN) ; la longueur des entrenœuds (LEN) ; le groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes (GEP) pour le site de tara. A titre d'exemple, l'accession la plus précoce fleurit 37 jours après le plus tardif à Tara tandis que sur le site de Tarna cette amplitude est de 39 jours. Pour le poids de graines par hectare, le rapport est plus important, à Tarna l'accession la plus performante a un rendement de 1066 kg contre 418 kg soit une amplitude 648 kg et à Tara nous obtenons une amplitude de 330 kg Pour le poids de la biomasse par hectare le rapport est également plus important, à Tarna l'accession la plus performante a un rendement de 49002.0 kg contre 807.0 kg soit une amplitude 48195.0 kg et à Tara nous obtenons une amplitude de 13690 kg.

Tableau 4 : Performance moyenne des accessions à la station de Tarna (Maradi)

Caractères	Moyenne	Mini	Maxi	CV	F
NJT	25.81	18.00	34.00	6.04	152.45***
NTP	6.44	3.20	10.00	19.77	0.072 ^{ns}
FLO	51.68	39.00	76.00	31.50	4665.28***
MAT	81.60	78.00	94.00	11.15	2137.91***
NdP	3.67	2.60	26.00	54.74	0.38 ^{ns}
HPM	70.43	21.50	87.20	8.48	8.30**
PBM	10893.0	807.0	49002.0	56.86	208.98***
PGR	954.5	418	1066	70.18	450.09***
EXE	8.83	6.90	12.40	11.12	0.06 ^{ns}
LoF	10.78	8.60	12.2	5.79	0.09 ^{ns}
LaF	0.50	0.40	1.00	14.59	0.03 ^{ns}
NEN	6.96	5.60	8.20	18.42	0.08 ^{ns}
LEN	6.01	4.15	9.75	18.42	0.16 ^{ns}
GEP	2.58	2.00	4.00	27.71	0.36 ^{ns}

FLO : cycle de floraison; *MAT* : cycle de maturité a 50 % ; *HPM* : hauteur de la plante a 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 des entrenœuds ; *LEN* : Longueur des entrenœuds ; *CV* : Coefficient des variations. * : Significatif au seuil de probabilité ($\alpha = 0,05$) ; ** : Hautement significatif au seuil de probabilité ($\alpha = 0,05$) ; *** : Très hautement significatif au seuil de probabilité ($\alpha = 0,05$) ; ns : Non significatif.

Tableau 5 : Performance moyenne des accessions à la station de tara (Gaya)

Caractères	Moyenne	Mini	Maxi	CV	F
NJT	23.60	12.00	39.00	39.33	990.06***
NTP	15.31	3.00	15.0	62.11	97.30***
FLO	74.41	37.00	86.00	4.49	0.29*
MAT	90.65	67.00	96.00	3.48	5.16*
NdP	3.48	2.00	5.00	18.98	91.17***
HPM	70.71	41.00	98.00	10.85	1.19 ^{ns}
PBM	4906.00	750.00	14440.0	53.49	380.05***
PGR	1050.00	470.00	800.00	53.03	148.79***
EXE	8.84	6.90	12.40	11.10	0.01 ^{ns}
LoF	10.77	8.60	12.20	5.83	0.05 ^{ns}
LaF	0.51	0.40	1.00	14.54	0.02 ^{ns}
NEN	6.96	5.60	8.20	9.09	0.03 ^{ns}
LEN	5.98	0.40	9.75	19.54	0.30 ^{ns}
GEP	2.58	2.00	4.00	27.72	0.01 ^{ns}

Les résultats de l'analyse de variance par site présentés dans les *Tableaux 4 et 5* montrent que toutes les accessions diffèrent de manière significative à hautement significative pour les caractères étudiés (NJT ; FLO ; MAT ; HPM ; PBM et PGR) ($p < 0.01$; $p < 0.001$) sauf pour les paramètres qui sont le NTP ; le NRP ; la HPM ; l'EXE ; la LoF ; la LaF ; le NEN ; la LEN et le GEP. Pour l'effet localité, les performances moyennes des accessions sont significativement différentes d'une année à l'autre au niveau d'un même site pour les caractères qui sont la FLO, MAT, NJT, NTP, NRP, PGR et PBM à Tara ; et les caractères tels que la MAT, NJT, NTP, NRP, PGR et PBM pour le site de Tarna comme confirmé par le test de T (LSD ou ppds) ou quel que soit le caractère considéré, la différence de performance intra et inter sites est toujours supérieure à la LSD (*Tableau 6*).

Tableau 6 : Comparaison des performances moyennes des variables mesurées sur les accessions pour les deux années d'essai à Tarna et à Tara

Caractères	Performances moyennes des variables					
	Tara (Gaya)			Tarna (Maradi)		
	Année1	Année2	ppds	Année1	Année2	ppds
NJT	31,47 ± 6,70	15,84 ± 2,30	0,97***	25,06 ± 0,07	26,34 ± 0,16	0,26***
NTP	11,09 ± 8,03	19,47 ± 9,02	1,67***	6,65 ± 0,14	6,59 ± 0,10	0,24 ^{ns}
FLO	67,40 ± 3,28	36,20 ± 5,59	0,89***	72,99 ± 0,51	72,97 ± 0,56	0,65 ^{ns}
MAT	90,00 ± 0,01	73,33 ± 5,11	0,70***	89,73 ± 0,45	89,61 ± 0,36	0,61*
NRP	3,19 ± 0,49	3,76 ± 0,68	0,11***	4,30 ± 0,21	3,99 ± 0,26	0,39 ^{ns}
HPM	71,12 ± 9,74	70,29 ± 4,83	1,49 ^{ns}	71,03 ± 0,33	68,30 ± 0,70	1,16**
PBM	6745,24±2289,15	3093±1375,13	368,3***	14028,65±42,721	697,751±29,140	98,6***
PGR	759,07 ± 393,24	1282,74±492,26	87,11***	452,69 ± 1,604	1381,19 ± 4,564	9,02***
EXE	8,83 ± 0,98	8,85 ± 0,98	0,19 ^{ns}	8,83 ± 0,98	8,83 ± 0,98	0,19 ^{ns}
LoF	10,78 ± 0,62	10,77 ± 0,63	0,12 ^{ns}	10,78 ± 0,62	10,78 ± 0,62	0,12 ^{ns}
LaF	0,50 ± 0,07	0,50 ± 0,07	0,01 ^{ns}	0,50 ± 0,07	0,50±0,07	0,01 ^{ns}
NEN	6,96 ± 0,63	6,95 ± 0,63	0,12 ^{ns}	6,96 ± 0,63	6,96 ± 0,63	0,12 ^{ns}
LEN	6,01 ± 1,10	5,95 ± 1,22	0,22 ^{ns}	6,01± 1,10	6,01 ± 1,10	0,21 ^{ns}
GEP	2,58 ± 0,72	2,57 ± 0,71	0,13 ^{ns}	2,58 ± 0,72	2,59 ± 0,71	0,14 ^{ns}

Les résultats de l'analyse de variance en modèle mixte qui prend en compte les deux sites à la fois montrent que l'interaction entre accession et localité est très hautement significative pour les caractères EXE ; LoF ; LaF ; NEN ; LEN et GEP, tandis qu'elle est non significative pour les restes des paramètres (**Tableau 7**). Les résultats montrent également que pour un caractère donné, chaque fois que l'interaction est significative l'effet localité devient non significatif. Cela suppose que l'interaction masque l'effet de la localité pour ces paramètres (**Tableau 7**).

Tableau 7 : Résultats de l'analyse de variance (mixed models)

Caractères	Source de variation	ddl	CM	F
NJT	localité	1	998.7	13.38***
	localité*Accessions	66	763.7	0.16 ^{ns}
NTP	localité	1	15880.2	297.31***
	localité*Accessions	66	1772	0.51 ^{ns}
FLO	localité	1	104523	406.95***
	localité*Accessions	66	1251	0.07 ^{ns}
MAT	localité	1	16499	209.19***
	localité*Accessions	66	1476	0.29 ^{ns}
Ndp	localité	1	6.94	2.81 ^{ns}
	localité*Accessions	66	113.73	0.72 ^{ns}
HPM	localité	1	19	0.43 ^{ns}
	localité*Accessions	66	3589.6	1.29 ^{ns}
PBM	localité	1	72418165	272.38***
	localité*Accessions	66	10322047	0.61 ^{ns}
PGR	localité	1	18518	3.49**
	localité*Accessions	66	156378	0.46 ^{ns}
EXE	localité	1	0.01	0.02 ^{ns}
	localité*Accessions	66	110.19	2.96***
LoF	localité	1	0.01	0.04 ^{ns}
	localité*Accessions	66	48.217	3.06***
LaF	localité	1	0.00001	0.003 ^{ns}
	localité*Accessions	66	0.51	2.93***
NEN	localité	1	0.009	0.038 ^{ns}
	localité*Accessions	66	44.523	3.04***
LEN	localité	1	0.15	0.23 ^{ns}
	localité*Accessions	66	127.41	2.96***
GEP	localité	1	0.003	0.01 ^{ns}
	localité*Accessions	66	57.16	3.01***

Pour une bonne interprétation de l'effet localité nous avons calculé un autre F à partir du carré moyen de l'interaction. Les résultats obtenus montrent un effet localité très hautement significatif pour l'ensemble de caractères étudiés, mais aussi un effet accession très hautement significatif pour les caractères tel que 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) et le groupement des épillets sur les pédicelles au niveau des racèmes (GEP) (*Tableau 8*).

Tableau 8 : Résultats de l'analyse de variance avec l'interaction comme source d'erreur (modèle mixte)

Caractères	Source de variation	ddl	CM	F
NJT	localité	1	994	19.65***
	Accessions	66	770	0.24 ^{ns}
NTP	localité	1	15849	320.26***
	Accessions	66	1935	0.61 ^{ns}
FLO	localité	1	104373	647.22***
	Accessions	66	1151	0.11 ^{ns}
MAT	localité	1	16538	322.53***
	Accessions	66	1245	0.37 ^{ns}
Ndp	localité	1	6.92	3.03***
	Accessions	66	136.93	0.94 ^{ns}
HPM	localité	1	14.9	0.33***
	Accessions	66	3722.5	1.27 ^{ns}
PBM	localité	1	72465345	304.02***
	Accessions	66	9980171	0.65 ^{ns}
PGR	localité	1	18663	4.69*
	Accessions	66	205466	0.81 ^{ns}
EXE	localité	1	0.01	0.02 ^{ns}
	Accessions	66	420.5	18.07***
LoF	localité	1	0.01	0.064*
	Accessions	66	164.2	16.76***
LaF	localité	1	0.00001	0.004**
	Accessions	66	2.73	25.17***
NEN	localité	1	0.008	0.06***
	Accessions	66	180.57	19.77 ^{ns}
LEN	localité	1	0.16	0.36***
	Accessions	66	624.8	22.58***
GEP	localité	1	0.003	0.02***
	Accessions	66	230.289	19.5***

L'analyse de l'effet de la localité en tenant compte cette fois ci des moyennes des deux années d'essai montre que les performances moyennes des accessions sont significativement différentes d'un site à l'autre comme l'atteste le F calculé à partir de l'erreur résiduelle (*Tableau 7*). Ce résultat est confirmé par le test de T (LSD ou ppds) ou quel que soit le caractère considéré, la différence de performance entre les deux sites est toujours supérieure à la LSD (*Tableau 9*).

Tableau 9 : Comparaison des performances moyennes des accessions sur les deux sites d'essai

Caractères	Performance moyenne		
	Tara (Gaya)	Tarna (Maradi)	ppds
NJT(JAS)	25,63 ± 0,09	31,03 ± 0,48	5,97
NTP	6,43 ± 0,09	11,24 ± 0,55	4,59
FLO (JAS)	72,39 ± 0,38	66,89 ± 0,28	6,11
MAT(JAS)	89,44 ± 0,29	89,14 ± 0,28	0,59
NRP	3,75 ± 0,21	3,71 ± 0,16	0,55
HPM (cm)	69,02 ± 0,39	71,34 ± 0,98	0,39
PBM (kg)	6646,23 ± 162,83	82777,00 ± 31,042	52434,00
PGR (kg)	730,57 ± 28,16	6371,90 ± 3,314	6853,00
EXE (cm)	8,84 ± 0,98	8,83 ± 0,98	0,01
LoF (cm)	10,78 ± 0,63	10,78 ± 0,26	0,14
LaF (cm)	0,50 ± 0,07	0,50 ± 0,02	0,01
NEN	6,95 ± 0,63	6,96 ± 0,43	0,11
LEN (cm)	5,98 ± 1,16	6,01 ± 1,10	0,13
GEP	2,58 ± 0,71	2,58 ± 0,66	0,34

IV - DISCUSSION

L'évaluation des caractères qualitatifs faite sur les accessions du fonio du Niger à permis, d'observer une prédominance d'un type morphologique donné. Ainsi, 93 % des individus ont des graines non decortiquées de couleur jaune pâle (CGD), 94 % possèdent des tige de couleur rouge (CTG) et enfin 7 % et 6 % ont respectivement une couleur marron des grains non decortiqué (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 ces accessions à l'exception notable de la couleur des grains non decortiquée. Aussi, la variation de ces caractères est sans nul

doute liée à l'expression d'un ou plusieurs gènes qui gouvernent pour ces caractères dont l'identification pourrait être faite par l'analyse moléculaire. Par ailleurs, les accessions ayant la couleur marron de leur graine non décortiquée ont été observés unique dans la région de Dosso plus particulièrement dans les villages de Oumgoua Douchi, Birni Fallao, Sandiday et Wassangou. Les résultats de l'analyse de variance, en modèle mixte où nous avons fixé les accessions et fait varier le site, ont montré un effet hautement significatif de l'interaction entre localité et accession. Nous avons aussi noté un effet localité significative pour certaines des caractères que sont la FLO, MAT, NJT, NTP, NRP, HPM, PGR et PBM. Cependant, pour les autres caractères non significatif (EXE, LoF, LaF, GEP, NEN et LEN), l'effet de l'interaction a masqué l'effet de la localité sur la variation de ces caractères. Ces résultats traduisent une influence importante de l'environnement sur la culture de *Digitaria exilis*.

Vu que les accessions sont fixées et les localités d'évaluation variables, la variabilité observée pour les différents caractères étudiés peut être attribuée pour une large part à la nature du sol et aux conditions climatiques. Au nombre de paramètres les plus contrastants nous avons la quantité de pluie enregistrée et sa répartition dans le temps en ce qui concerne le climat. C'est ainsi qu'en 2011 et 2012, les cumuls pluviométriques de 475,7 mm et 510,7 mm ont été respectivement enregistrés en 37 et 40 jours à la station de Tarna à Maradi et des cumuls de 902,3 mm en 45 jours et 975,9 mm en 44 jours à la station de Tara à Gaya. 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 Tara. A Tarna, elle a varié entre 22,07 °C et 37,5°C en 2011, et entre 24,2°C et 40,1°C en 2012. Quant à la nature du sol, il est plus argileux (8,17 %) et limoneux (5,8 %) à Tara qu'à Tarna (argile 3 % et limon 2,8 %) où il est plus sableux avec 96,7 % contre 86 % à Gaya.

Le site de Tara est plus riche en phosphore (101 ppm) et en azote total (0,02) contre respectivement 1,6 ppm et 0,005 pour le site de Tarna. Les performances moyennes des accessions, pour tous les caractères étudiés, sont meilleures à Tarna qu'à Tara. Ceci laisse croire que le fonio préfère un sol sableux (Cas du site de Tarna) pour une bonne production par rapport à un sol argileux (site de Tara). Plusieurs auteurs ont confirmé l'hypothèse que le fonio s'adapte et produit bien sur un sol riche en sable [4, 5, 21-25]. Cela explique d'une part les meilleures performances de production enregistrées à Tarna pour la culture du fonio malgré que la saison pluvieuse soit beaucoup plus meilleure à Tara qu'à Tarna. Des travaux sur la fertilisation chez *D. exilis* [2, 3], ont montré des effets significatifs du climat et de la saison pluvieuse. Par ailleurs les travaux réalisés par [1] sur l'influence de l'environnement sur le fonio, ont également montré des effets significatifs de

la température et de la lumière. Il a été démontré que la croissance de *D. exilis* est proportionnelle à la température, à la longueur du jour et au cycle de maturation ; c'est une culture qui montre une réaction photopériodique. Cette espèce se développe bien sur les sols fertiles mais peut aussi tolérer les sols sableux et limoneux modérément fertiles ou pauvre [21]. Il a été également observé ailleurs sur le plateau de Fouta Djallon en Guinée que le fonio pousse sur des sols acides dont la teneur en aluminium est très élevée [5, 18, 26, 27]. Le fonio peut s'adapter aux sols pauvres, superficiels, sableux ou rocheux qui ne conviennent pas aux autres céréales [4, 5]. Le cycle de *D. exilis* requiert, pour un bon développement, des pluies mensuelles de 130 à 260 mm pendant les 3 à 4 premiers mois de croissance. Selon [2] les traitements fertilisants augmentent significativement la production de la biomasse chez *D. exilis*. Il a été démontré en générale que la réponse à l'azote intervient dans les premiers stades de développement des espèces cultivées [28, 29] ; des résultats similaires ont été obtenus par [2, 3] pour la réponse à l'azote, au potassium et au calcium. Comme les paramètres de production de graines, de la biomasse, le cycle de développement, la hauteur de la plante sont influencés par l'environnement, tout programme d'amélioration génétique doit nécessairement tenir compte de la spécificité de chaque zone agro-écologique du Niger.

V- CONCLUSION

En somme les différents résultats obtenus confirment qu'une évaluation appropriée de l'interaction entre accession et localité saveur nécessaire pour un programme effectif d'amélioration génétique des variétés. Beaucoup d'espèces, particulièrement celles cultivées dans une large gamme de conditions agro-climatiques, exigent d'être testées en plein champs dans différents sites, à cause des interactions génotype et localité hautement significatives. Les conclusions de cette étude fournissent des preuves supplémentaires que tout programme de sélection variétale ou d'accession de *D. exilis* doit considérer l'environnement comme un facteur important de décision auquel il faut intégrer aussi le facteur social issue des enquêtes réalisées au moment des collectes des accessions.

RÉFÉRENCES

- [1] - A. A. ALIERO, J. A. MORAKINYO, Photoperiodism in *Digitaria exilis*. *African journal of biotechnology*, 4 (2005) 241 - 243
- [2] - M. G. KANFANY, 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, (2009) 35 p.

- [3] - D. STILMANT, J. GIGOU, T. A. DIALLO, N. CISSE, M. D. SANOGO, M. VAKSMANN AND B. DUPUIS, Fonio millet (*Digitaria exilis*) response to n, p and k fertilizers under varying climatic conditions in west africa. Cambridge University Press, *Expl Agric*, 45 (2009) 401 - 415
- [4] - J-F. CRUZ, Fonio a small grain with potential. LEISA, magazine on low external input and sustainable agriculture valuing crop diversity, 1 (2004) 16 - 17
- [5] - J. F. CRUZ, F. BEAVOGUI, D. DRAME, *Le fonio, une céréale africaine*. Collection Agricultures tropicales en poche. Editions. Quae / Cta / Presses agronomiques de Gembloux. Versailles, France, (2011) 175 p.
- [6] - E. VALL, A. B. KANWE, B. DAHO, F. BEAVOGUI, T. A. DIALLO, D. SOGODOGO, Opportunities for diversification and multipurpose uses of fonio in crop-livestock farming systems. In Upgrading Quality and Competitiveness of Fonio for Improved Livelihoods in West Africa. Second Activity Report, (Ed J. F. Cruz). Montpellier : CIRAD (INCO FONIO Project (n° 015403)), (2008) 64 - 70
- [7] - E. VALL, N. ANDRIEU, F. BEAVOGUI, D. 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 (2011) 294 - 300, doi : 10.1684/agr.2011.0499
- [8] - R. PORTERES, Les céréales mineures du genre *Digitaria* en Afrique et en Europe. *Journal d'Agri- culture Tropicale et de Botanique Appliquée*, 2 (1955) 349 - 386, 477 - 510, 620 - 675
- [9] - P. POILECOT, Les Poaceae du Niger : Mémoires de botanique systématique. *Boissiera*, 56 (1999) 448 - 469
- [10] - I. B. Cissé, La culture de fonio et quelques aspects écophysologiques de la plante. Landbouwhogeschool, Wageningen, Netherlands, (1975) 72 p.
- [11] - J. CLEMENT, J. M. LEBLANC, *Prospection des Digitaria exilis* (Fonio) en Afrique de l'Ouest. Collecte IBPGR-ORSTOM de 1977. Catalogue ORSTOM, (1984) 72 p.
- [12] - A. DANSI, H. ADOUKONOU-SAGBADJA, R. VODOUHE, Diversity, conservation and related wild species of Fonio millet (*Digitaria spp.*) in the northwest of Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57 (2010) 827 - 839
- [13] - H. ADOUKONOU-SAGBADJA, C. WAGNER, A. DANSI, 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 (2007) 917 - 931
- [14] - C. N. EZEKIEL, M. SULYOK, B. WARTH, Multi-microbial metabolites in fonio millet (acha) and sesame seeds in Plateau State, Nigeria. *European Food Research and Technology*, 235 (2012) 285 - 293
- [15] - I. A. JIDEANI, V. A. JIDEANI, Development on the cereal grains *Digitaria exilis* (acha) and *Digitaria iburua*. *Journal of Food Science and Technology*, 3 (2010) 251 - 259
- [16] - I. A. JIDEANI, *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 (2012) 3834 - 3843

- [17] - J. BAMA, Intérêt du fonio dans l'alimentation des diabétiques : Thèse présentée à la Faculté des sciences de la santé de l'Université de Ouagadougou pour l'obtention du Doctorat en Pharmacie (diplôme d'Etat), (1999) 120 p.
- [18] - S. R. VODOUHÈ, E. G. ACHIGAN, *Digitaria exilis* (Kippist) Stapf In : Brink, M. & Belay, G. (Éditeurs). PROTA 1 : Cereals and pulses/Céréales et légumes secs. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Pays Bas, (2006)
- [19] - R. PORTERES, African cereals : Eleusine, Fonio, Black Fonio, Teff, Brachiara, Paspalum, Pennisetum, and African Rice, in J. Harlan, J.M.J. de Wet and A.B.L. Stemler (eds), The origins of African plant domestication, The Hague : Mouton, (1976)
- [20] - H. ADOUKONOU-SAGBADJA, Genetic Characterization of Traditional Fonio millets (*Digitaria exilis*, *D. iburua* Stapf) Landraces from West-Africa : Implications for Conservation and Breeding. Thèse presented at Institute of Crop Science and Plant Breeding I Justus-Liebig University Giessen, Germany, (2010) 119 p.
- [21] - D. D. OUMAROU, Le refus de la culture du fonio dans le village de Tombon-Dogo, Commune Rurale de guéchémé (Département de Tibiri). Mémoire présentée à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Niamey pour obtenir le grade de Maîtrise ès lettres / option : Sociologie Rurale, (2012) 59 p.
- [22] - FAO-STAT, Amino-acid content of foods and biological data on proteins. FAO Nutrition Studies No 24, Rome, Italy, (2011) 285 p. faostat3.fao.org
- [23] - M. V. K. SIVAKUMAR, A. MAIDOUKIA and R. D. STERN, Agroclimatology of west Africa : Niger. Information Bulletin N° 5, ICRISAT, (1993) 108 p
- [24] - Y. BAKASSO, Ressources génétiques des roselles (*Hibiscus sabdariffa* L.) du Niger : évaluations agromorphologique et génétique. Thèse présentée à la Faculté des sciences de l'Université de Niamey pour obtenir le grade de Docteur d'état Es-Sciences Naturelles (génétique), (2010) 139 p.
- [25] - I. S. SAIDOU, Y. BAKASSO, M. M. INOUSSA, M. ZAMAN-ALLAH, S. ATTA, A. BARNAUD, C. BILLOT, M. SAADOU, Diversité agromorphologique des accessions de fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (4) (2014) 1710 - 1729
- [26] - H. M. BURKILL, The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 2, Families E-I. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom, (1994) 636 p.
- [27] - T. A. DIALLO, Connaissances endogènes sur le fonio en Guinée. In : Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) en Afrique de l'Ouest (S.R. Vodouhè, A. Zannou et E. Achigan Dako, eds), 4-6 août 1998, Conakry, Guinée, IPGRI, Rome, (2003) 42 - 44
- [28] - A. E. SALAH, Effect of different fertilization rates on the growth and yield of Roselle in Egypt. *Indian J. Agric. Sci.*, 49 (2) (1977) 118 - 119
- [29] - E. G. RHODEN, P. DAVID and T. SMALL, Effect of nitrogen nutrition on Roselle. In New Crops, Janick J, Simon JE (eds). Wiley : New York, (1993) 583 - 584