

African Crop Science Journal by African Crop Science Society is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 Uganda License. Based on a work at www.ajol.info/ and www.bioline.org.br/cs
DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/acsj.v26i2.1>



PERFORMANCES AGRO-MORPHOLOGIQUES DES VARIETES LOCALES ET AMELIOREES DE MAÏS AU SUD-OUEST DU NIGER

A.A. MOUSSA^{1,2}, V.K. SALAKO¹, D.S.J. CHARLEMAGNE GBEMAVO¹, M. ZAMAN-ALLAH³, R.G. KAKAI¹ et Y. BAKASSO²

¹Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 04 BP 1525, Cotonou, Bénin

²Laboratoire de Recherche en Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP: 10662, Niamey, Niger

³Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi et CIMMYT/Zimbabwe, BP 465, Maradi, Niger

Auteur de correspondance : abdoulrazakalio@gmail.com

(Received 30 August, 2017; accepted 17 April, 2018)

RÉSUMÉ

Le maïs (*Zea mays* L.) joue un rôle important dans la sécurité alimentaire des populations du Niger. Toutefois, sa culture est en baisse, ce qui constitue une menace à la sécurité alimentaire et aux ressources phylogénétiques du maïs. L'objectif général de cette étude était d'évaluer les performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées du maïs au Sud-Ouest du Niger afin d'identifier les variétés prometteuses sur la base de leurs performances agronomiques. Au total, vingt-cinq variétés de maïs dont deux variétés locales et vingt-trois variétés améliorées produites par le Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé du Zimbabwe (CIMMYT/Zimbabwe) ont été évaluées à la station expérimentale de Tara (Gaya/ Niger). Treize caractères agro-morphologiques dont la compacité de l'épi, la forme du grain, le taux d'émergence, le nombre de jours à 50% floraison mâle et femelle, la hauteur de la plante, la longueur de l'épi, le diamètre de l'épi, le nombre d'épis à la récolte, le poids des épis à la récolte, le poids des grains, le poids de 100 grains et le poids du fourrage sec ont été utilisés. L'analyse de variance a montré des différences significatives entre les variétés pour les différents caractères agro-morphologiques. La classification hiérarchique ascendante (CHA) a révélé que cette variabilité est structurée en 4 groupes. Les groupes 1 et 2 regroupent les variétés plus précoces, plus productives avec un fort taux d'émergence. Les groupes 3 et 4 regroupent les variétés moins précoces, moins productives et avec un faible taux d'émergence. Sept variétés prometteuses appartenant aux groupes 1 et 2 ont été identifiées. Il s'agit toutes des variétés améliorées (CZH132163, CZH132194, CZH1262, CZH132150, CZH132139, CZH1155 et CZH1261). Ces résultats peuvent être directement utilisés pour un programme d'amélioration de la productivité du maïs au Sud-Ouest du Niger.

Mots Clés: Niger, sécurité alimentaire, variété prometteuse, *Zea mays* L.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) plays an important role in food security in West Africa. However, its cultivation is declining, thus, threatening food security and leading to loss of genetic resources of maize. The objective of this study was to evaluate the agro-morphological performance of local and improved maize varieties in South-Western Niger. A total of twenty five maize varieties, including two local varieties and twenty three improved varieties produced by the International Maize and Wheat Improvement Centre of Zimbabwe (CIMMYT/Zimbabwe), were evaluated at the Tara Experimental Station (Gaya/Niger). Thirteen agro-morphological descriptors

were used in this study. These descriptors include, corncob compactness, ear shape, emergence rate, number of days to 50% tasseling, number of days to 50% silking, plant height, corncob length, corncob diameter, number of cobs at harvest, weight of cobs at harvest, grain weight, 100 grain weight and weight of stover. Analysis of variance showed significant differences among varieties for the different agro-morphological traits. The Hierarchical Clustering Analysis (HCA) revealed that this variability is structured into four groups. Groups 1 and 2 included precocious, more productive and high emergence rate varieties. On the other hand, groups 3 and 4 were composed of less precocious, less productive and low emergence rate varieties. Seven promising varieties belonging to groups 1 and 2 were identified, all of which are improved varieties (CZH132163, CZH132194, CZH1262, CZH132150, CZH132139, CZH1155 and CZH1261). These results can be used to support the maize productivity improvement programme of South-West Niger.

Key Words: Food security, Niger, promising variety, *Zea mays* L.

INTRODUCTION

Le maïs (*Zea mays* L.) est la plante la plus cultivée au monde et la première céréale produite devant le blé (*Triticum aestivum* L. *subsp. aestivum*) (FAOSTAT, 2016). La production de maïs en 2016 dans le monde serait de 1060 millions de tonnes, contre 749 millions de tonnes pour le blé (FAOSTAT, 2016). Le maïs est la céréale la plus énergétique, par ses atouts nutritifs (richesse en amidon, présence de protéines et de minéraux) et économiques (culture simple à produire, à récolter et à stocker) (Charcosset, 2009). Dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, le maïs constitue la base du régime alimentaire des populations. Il est utilisé pour l'alimentation humaine et animale (volailles, porcs, bovins) et sert de matière première dans certaines industries (brasserie, savonnerie et huilerie) (Boone *et al.*, 2008).

Au Niger, depuis 1984, le problème de l'insécurité alimentaire liée à une production agricole très aléatoire due à la pluviométrie, demeure une préoccupation majeure sur l'ensemble du territoire national. Le maïs y joue un rôle important comme culture de subsistance, commerciale et à caractère socioculturel. Sa production est destinée à l'alimentation humaine sous forme d'épi frais grillé ou sous forme de semoule. Il est également utilisé dans l'alimentation animale et dans l'élevage moderne (Doffangui, 1997). La production nationale était de 9400 tonnes en 2010, ce qui fait du maïs la quatrième céréale la plus cultivée après le mil (3 837 500 tonnes),

le sorgho (1 301 800 tonnes) et le riz (30 000 tonnes) (ASN, 2010). Bien qu'il soit cultivé un peu partout selon les conditions agro-écologiques, la culture du maïs est progressivement abandonnée au profit des autres céréales dont principalement le mil et le sorgho (ASN, 2010). Ces dernières occupent environ 80% des superficies emblavées (ASN, 2010). Ceci est dû entre autres à l'irrégularité des pluies, à la baisse de la fertilité des sols, aux maladies et ravageurs et à la production à grande échelle de variétés traditionnelles à fortes potentielles rustiques adaptées aux zones agro-écologiques, mais à faible potentiel de production. En effet, dans l'agriculture traditionnelle, les variétés locales représentent l'essentiel du matériel végétal utilisé (Missihoun *et al.*, 2012). Créé en 1966, le Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé (CIMMYT) basé au Mexique à travers ses programmes de recherche pour l'Afrique, a mis au point plusieurs variétés améliorées de maïs tolérantes à la sécheresse et peu exigeantes en azote. Certaines de ces variétés déjà vulgarisées ont fait le bonheur de plusieurs agriculteurs et consommateurs au Kenya, au Malawi, en Zambie et au Zimbabwe (CIMMYT). Afin de faire connaître ces variétés améliorées aux producteurs et utilisateurs et contribuer ainsi au progrès agricole et à la sécurité alimentaire, une évaluation des performances agro-morphologiques a été conduite au Sud-Ouest du Niger. De plus, les ressources phytogénétiques constituent la clé de la sécurité alimentaire et du développement

agricole durable (Diouf *et al.*, 2007). L'objectif général de cette étude est d'évaluer les performances agro-morphologiques des variétés locales et améliorées de maïs en zone soudanienne (Gaya : Sud-Ouest nigérien) par l'utilisation de ses descripteurs agro-morphologiques (IBPGR, 1991). Il s'agit spécifiquement de (i) : déterminer la variabilité morphologique et agronomique des différentes variétés ; et (ii) : identifier les variétés prometteuses sur la base de leurs performances afin de contribuer à l'augmentation de la productivité du maïs au Niger.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude. L'essai a été conduit dans la station expérimentale de l'Institut National de Recherches Agronomiques du Niger (INRAN) située dans le village de Tara (département de Gaya latitude N11°53' et longitude E3°19') durant la campagne agricole 2015 (Fig. 1). Le climat est du type Nord-soudanien. La longueur moyenne de la saison des pluies est de 120 à 146 jours à Gaya (Sivakumar *et al.*, 1993). En 2015, les cumuls pluviométriques ont été de 732,5 mm en 51 jours à la station de Tara. Au cours de l'essai, la température moyenne journalière a varié entre 28,41 °C et 34,10 °C et l'humidité relative moyenne entre 42,34% et 62,07%. Le sol de Tara est 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 (197 mg kg⁻¹). Sa capacité d'échange cationique (1,20 Cmol kg⁻¹) est faible avec cependant une carence en phosphore (129 mg kg⁻¹) (Bakasso, 2010; Abdelkader, 2012).

Matériel végétal. Le matériel végétal utilisé lors de cette étude est constitué de vingt-cinq (25) variétés de maïs (Tableau 1). Il s'agit de deux (2) variétés locales (maïs jaune corné et maïs jaune denté) et de vingt-trois (23) variétés améliorées provenant du Centre International d'Amélioration du Maïs et du Blé du Zimbabwe

(CIMMYT/Zimbabwe). Toutes les variétés améliorées sont des hybrides développés par le programme de sélection du CIMMYT Zimbabwe (CZH = CIMMYT ZIMBABWE HYBRID). Les deux premiers chiffres après CZH représentent l'année de sélection finale de la variété. Toutes les variétés avant 2012 sont essentiellement sélectionnées pour la tolérance à la sécheresse. Celles de 2012 ou après ont été sélectionnées pour la tolérance à la sécheresse et à la déficience en azote minéral (Tableau 1).

Dispositif expérimental. Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en blocs aléatoires incomplets avec 3 répétitions. Chaque répétition est divisée en 5 sous blocs intercalés de 2 mètres. Chaque sous bloc comprend 5 parcelles élémentaires recevant 5 variétés. La parcelle a comporté 2 lignes de 21 poquets d'une même variété. Les écartements ont été de 0,25 m entre les poquets sur une même ligne, de 0,75 m entre les lignes, de 1 m entre les parcelles élémentaires et de 2,5 m entre les répétitions. Les dimensions de l'essai sont de 46,75 m pour la longueur globale et de 20 m pour la largeur globale soit une superficie totale de 935 m².

Conduite de l'essai. Toutes les variétés ont été semées à la main le 27 juillet 2015 à raison de deux graines par poquet. Les semences ont préalablement été traitées au fongicide (le calthio). Des apports d'engrais minéraux sous forme DAP (Di-ammonium-phosphate) et d'urée ont été appliqués à la dose de 100 kg ha⁻¹ respectivement 19 jours et 33 jours après le semis pour suppléer à la faible fertilité du sol constatée. Deux sarclages ont été réalisés respectivement 20 jours et 38 jours après le semis.

Collecte des données. Suivant le manuel de descripteurs pour le maïs (IBPGR, 1991), Treize caractères agro-morphologiques ont été évalués. Il s'agit de 11 caractères quantitatifs et 2 caractères qualitatifs. Les mesures et/ou observations ont concerné 20 pieds centraux

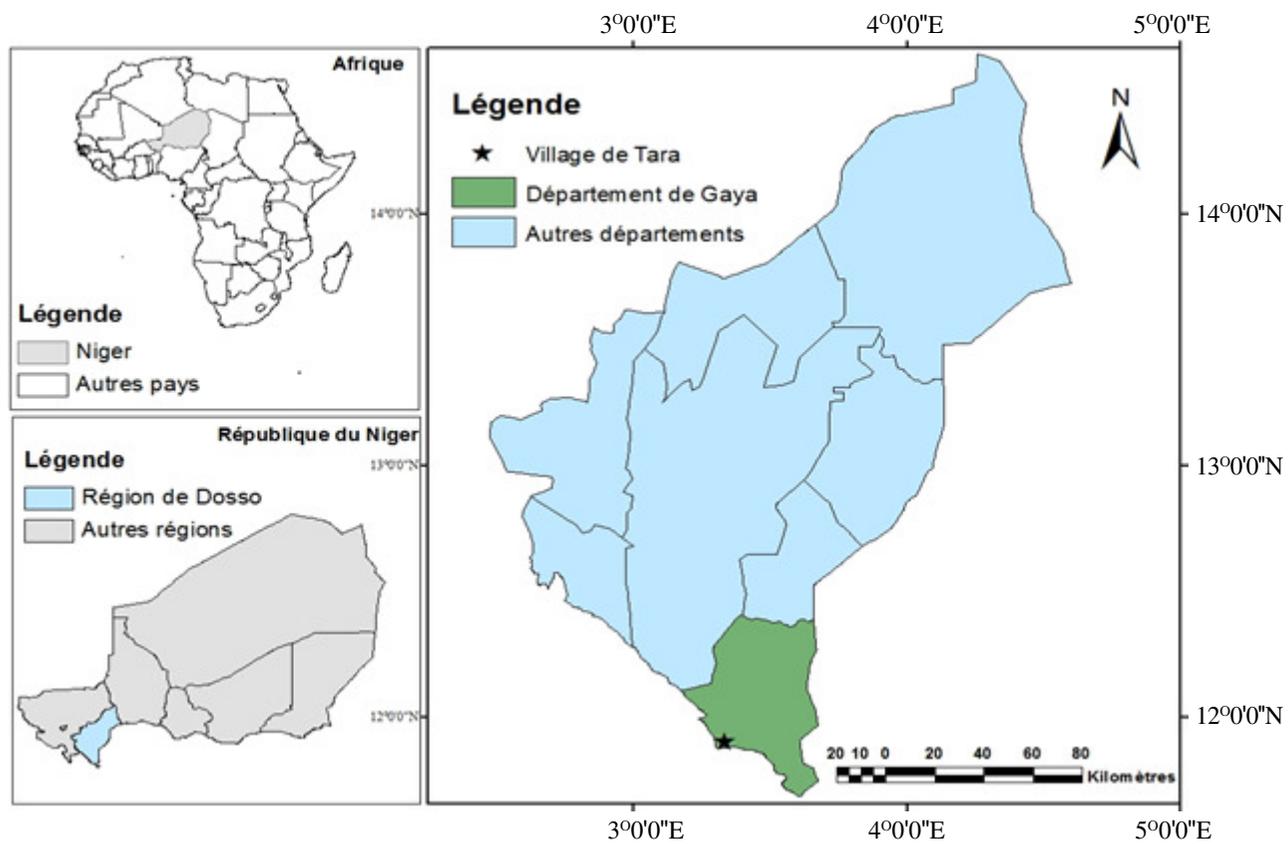


Figure1. Localisation de la zone d'étude.

TABLEAU 1. Liste des différentes variétés de maïs utilisées.

Code de la variété	Nom de la variété	Provenance	Forme de grains	Couleur
V1	CZH1258	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V2	CZH1270	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V3	CZH1261	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V4	CZH1262	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V5	CZH132163	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V6	CZH132164	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V7	CZH132133	CIMMYT/Zimbabwe	Intermédiaire	Blanche
V8	CZH132134	CIMMYT/Zimbabwe	Intermédiaire	Blanche
V9	CZH132139	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V10	CZH132150	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V11	CZH132151	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V12	CZH132155	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V13	CZH0811	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V14	CZH1136	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V15	CZH1155	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V16	CZH132107	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V17	CZH132108	CIMMYT/Zimbabwe	Intermédiaire	Blanche
V18	CZH132117	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V19	CZH132118	CIMMYT/Zimbabwe	Intermédiaire	Blanche
V20	CZH132124	CIMMYT/Zimbabwe	Intermédiaire	Blanche
V21	CZH132194	CIMMYT/Zimbabwe	Intermédiaire	Blanche
V22	CZH1272	CIMMYT/Zimbabwe	Cornée	Blanche
V23	CZH0948	CIMMYT/Zimbabwe	Dentée	Blanche
V24	Maïs jaune corné	Niger	Cornée	Jaune
V25	Maïs jaune denté	Niger	Dentée	Jaune

de maïs par parcelle élémentaire. Elles ont porté sur la compacité de l'épi, la forme du grain, le taux d'émergence, le nombre de jours à 50 % floraison mâle, le nombre de jours à 50 % floraison femelle, la hauteur de la plante, la longueur de l'épi, le diamètre de l'épi, le nombre d'épis à la récolte, le poids d'épis à la récolte, le poids des grains, le poids de 100 grains et le poids du fourrage sec (Tableau 2). Les rendements en épis, en grains et en fourrage sec ont été déduits selon la formule suivante :

Rendement (kg/ha) =

$$\frac{\text{Poids /parcelle(g)}}{\text{Surface/parcelle(msu)}} \times \frac{10000\text{me}}{1\text{ha}} \times \frac{1\text{kg}}{1000 \text{ g}}$$

Analyse des données. Les statistiques descriptives (moyenne, coefficient de variation, minimum et maximum) et

distributions de fréquence ont été présentées pour décrire les caractères. Une analyse de variance, modèle hiérarchisé à trois facteurs a été réalisée pour comparer les performances des variétés. Le premier facteur est la variété, le deuxième facteur est la répétition et le troisième facteur est le bloc incomplet (emboité dans répétition). Les conditions de normalité et d'homogénéité de variances des résidus ont été vérifiées avec le test de Ryan-Joiner et du test de Levene, respectivement. Par ailleurs, le degré de liaison entre les caractères étudiés a été évalué par le coefficient de corrélation de Pearson. La classification hiérarchique ascendante (CHA) a été réalisée pour regrouper les variétés en des classes homogènes. Une analyse factorielle discriminante (AFD) a été effectuée afin de déterminer les paramètres qui discriminent les classes de variétés obtenues. Les analyses ont été réalisées à l'aide des

TABLEAU 2. Description des paramètres agro-morphologiques mesurés et observés

Caractères	Abréviations	Descriptions	Unités
Caractères quantitatifs			
50% floraison mâle	FLOM	Nombre de jours, du semis jusqu'au moment où 50% des plantes par parcelle élémentaire portent des fleurs mâles	jour
50% floraison femelle	FLOF	Nombre de jours, du semis jusqu'au moment où 50% des plantes par parcelle élémentaire portent des fleurs femelles	jour
Hauteur de la plante à maturité	HPL	Hauteur mesurée en centimètre depuis le niveau du sol jusqu'au sommet de la panicule, la moyenne sur 20 plantes	cm
Nombre d'épis à la récolte	NEPR	Nombre d'épis à la récolte, la moyenne sur 20 plantes	-
Poids des épis à la récolte	PEPR	Mesure en g du poids d'épis des 20 plantes centrales	g
Poids grains	PGR	Mesure en g du poids des grains des 20 plantes centrales par parcelle élémentaire	g
Longueur de l'épi	LOEP	Mesure en cm de la longueur d'épis des 20 plantes centrales par parcelle élémentaire	cm
Poids de 100 grains	P100G	Mesure en g du poids de 100 graines mures sélectionnées au hasard	g
Diamètre épis	DEP	Mesure en cm du diamètre d'épis des 20 plantes centrales par parcelle élémentaire	cm
Taux d'émergence	TEMG	Pourcentage calculé par le rapport du nombre de poquets émergés deux semaines après le semis sur le nombre total de poquets	%
Poids du fourrage sec	PFOS	Mesure en g du poids du fourrage sec des 20 plantes centrales par parcelle élémentaire	g
Caractères qualitatifs			
Compacité de l'épi	COEP	Appréciation de la compacité de l'épi notée : 1 = très mauvaise ; 2 = mauvaise ; 3 = moyenne ; 4 = excellente	-
Forme du grain	FGR	Appréciation de la forme des graines notée 1 = cornée, 2 = dentée ; 3 = intermédiaire	-

logiciels Xlstat version 7.5.2 pour Windows (SAS, 2010) et Minitab 14.

RÉSULTATS

Variation de la compacité des épis et de la forme des grains. L'évaluation qualitative des différentes variétés du maïs a montré que 40% possèdent des épis ayant une compacité mauvaise, 24% une compacité très mauvaise, 20% une compacité excellente et 16% une compacité moyenne. Pour le caractère forme des grains, 37% ont des grains cornés, 35% des grains dentés et 28% des grains de forme intermédiaire.

Variation globale des paramètres quantitatifs. Les performances minimales, maximales, moyennes et les coefficients de variations des 11 caractères quantitatifs étudiés sont présentés dans le Tableau 3. Les caractères poids des grains (144,58 à 4247,39 kg ha⁻¹), poids des épis à la récolte (401,61 à 6470,33 kg ha⁻¹), poids du fourrage sec (1740,29 à 6247,21 kg ha⁻¹) et diamètre de l'épi (1,43 à 2,99 cm) ont les variabilités les plus importantes (CV >15%). Parmi tous les caractères quantitatifs, la durée (en jours) de semis (50 %), floraison mâle et la durée (en jours) de semi-floraison femelle ont le moins

de variation (3,03 et 3,18%, respectivement). En moyenne, les variétés étudiées ont un cycle de semi-floraison femelle de 64,53±0,41 jours. La plus précoce a commencé sa FLOF à partir de 61 jours et la plus tardive à 69 jours. La hauteur de la plante varie de 119,26 cm à 166,76 cm pour une moyenne de 137,53±2,67 cm. Le nombre moyen d'épis à la récolte est compris entre 32 et 107 épis par hectare, avec une moyenne de 82,61±4,43 épis ha⁻¹. La longueur des épis varie de 11,44 cm à 17,25 cm avec une moyenne de 13,68±0,35 cm. Le rendement en grains et fourrage est compris entre 144,58 et 1740,29 kg ha⁻¹, respectivement pour les variétés les moins productives et entre 4247,39 kg ha⁻¹ et 6247,21 kg ha⁻¹ pour les variétés les plus productives avec une moyenne respective de 1560,75±226 kg ha⁻¹ et 3330,66±221,19 kg ha⁻¹. Le poids de 100 grains varie de 9,07 à 18 g avec une moyenne de 14,44±0,37 g. L'analyse de la variance portant sur les performances des différentes variétés a révélé une différence très significative au seuil de 5% pour tous les caractères quantitatifs étudiés à l'exception de la durée semi-floraison mâle et femelle, du poids de 100 grains et du nombre d'épis à la récolte (Tableau 4). L'effet bloc est très hautement significatif (P<0,001) pour tous les caractères à l'exception du poids de 100 grains, du

TABLEAU 3. Statistique descriptive des 11 caractères agro-morphologiques quantitatifs étudiés

Traits quantitatifs	Min	Max	Moy±ET	CV (%)
Taux d'émergence (%)	48,41	100,00	86,32±2,60	15,08
50% floraison mâle (jr)	55	63	58,87±0,36	3,03
50% floraison femelle (jr)	61	69	64,53±0,41	3,18
Hauteur de la plante à maturité (cm)	119,26	166,76	137,53±2,67	9,72
Longueur de l'épi (cm)	11,44	17,25	13,68±0,35	12,90
Diamètre épis (cm)	1,43	2,99	2,11±0,07	17,43
Nombre d'épis à la récolte	32	107	82,61±4,43	26,81
Poids des épis à la récolte (kg ha ⁻¹)	401,61	6470,33	2573,85±321,08	62,37
Poids grains (kg ha ⁻¹)	144,58	4247,39	1560,75±226,88	72,68
Poids de 100 grains (g)	9,07	18,00	14,44±0,37	12,91
Poids du fourrage sec (kg ha ⁻¹)	1740,29	6247,21	3330,65±221,19	33,20

Min = minimum, Max = maximum, Moy = moyenne, ET = erreur type de la moyenne, CV = coefficient de variation

TABLEAU 4. Analyses de variance des différents paramètres phénologiques, de rendement et morphologiques étudiés (Test de Fisher)

Caractères	Carrés moyens sur les variables phénologiques et de rendement		
	Variétés	Répétition	Blocs (Répétition)
DDL	24	2	12
PFOS	2,8**	3,1 ^{ns}	7,2***
P100G	1,1 ^{ns}	1,6 ^{ns}	1,9 ^{ns}
PGR	1,8*	5,3**	4,8***
NEPR	1,7 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,9 ^{ns}
PEPR	1,8*	2,5 ^{ns}	5,7***
TEMG	3,2***	4,3*	0,6 ^{ns}
50%FLOM	1,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}	5,7***
50%FLOF	1,5 ^{ns}	2,7 ^{ns}	7,0***

	Carrés moyens sur les variables morphologiques		
	Répétition	Blocs (Répétition)	Variétés (Répétition Blocs)
DDL	2	12	60
HPL	14,6***	76,1***	8,6***
LOEP	139,6***	27,9***	5,4***
DEP	10,5***	50,9***	8,1***

TEMG : Taux d'émergence, 50%FLOM : 50% floraison mâle, 50%FLOF : 50% floraison femelle, HPL : Hauteur de la plante à maturité, LOEP : Longueur de l'épi, DEP : Diamètre épis, NEPR : Nombre d'épis à la récolte, PEPR : Poids des épis à la récolte, PGR : Poids de grains, P100G : Poids de 100 grains, PFOS : Poids du fourrage sec, DDL : Degré de liberté. * P < 0,05 ; ** P < 0.01 ; *** P < 0.001 ; ns = non significatif

nombre d'épis à la récolte et du taux d'émergence.

Corrélations entre les caractères agromorphologiques. La matrice de corrélation de Pearson a révélé des corrélations significatives entre les différents caractères quantitatifs étudiés (Tableau 5). La semi-floraison femelle a présenté une corrélation positive hautement significative avec la semi-floraison mâle ($r=0,844$) mais significativement corrélée négativement au poids de grains ($r=-0,665$), au poids du fourrage sec ($r=-0,447$), au poids de 100 grains ($r=-0,494$), à la hauteur de la plante ($r=-0,499$), au diamètre de l'épis ($r=-0,687$), au nombre d'épis à la récolte ($r=-0,537$) et au poids d'épis à la récolte ($r=-0,658$). La hauteur de la plante a montré une corrélation positive

hautement significative avec le poids du fourrage sec ($r=0,899$) et une corrélation positive significative avec le poids de grains ($r=0,711$) et le poids de 100 grains ($r=0,575$). Au contraire, la hauteur de la plante est significativement corrélée négativement à la semi-floraison mâle ($r=-0,497$) et à la semi-floraison femelle ($r=-0,575$) (Tableau 5). Les corrélations les plus fortes ont été celles entre les caractères morphologiques (HPL, DEP) et les caractères de rendement (PGR, PFOS, PEPR,) d'une part et celles entre les caractères phénologiques (FLOM, FLOF) et les caractères du rendement d'autres part. La plus forte corrélation positive ($r = 0,99$) a lié le poids de grains au poids d'épis à la récolte tandis que la plus forte corrélation négative ($r = -0,70$) a lié le nombre de jours de semi-floraison mâle au diamètre de l'épi.

TABLEAU 5. Corrélations entre les différents caractères quantitatifs

	50%FLOM	50%FOF	PGR	P100G	PFOS	TEMG	HPL	LOEP	DEP	NEPR
50%FOF	0,84									
PGR	-0,68	-0,66								
P100G	-0,37	-0,49	0,40							
PFOS			-0,39	-0,44	0,74	0,51				
TEMG	-0,34	-0,21	0,35	-0,05	0,15					
HPL	-0,49	-0,49	0,71	0,55	0,89	0,23				
LOEP	-0,39	-0,31	0,56	0,49	0,70	-0,10	0,75			
DEP	-0,70	-0,68	0,90	0,50	0,70	0,35	0,72	0,57		
NEPR	-0,40	-0,53	0,64	0,28	0,38	0,61	0,29	0,01	0,57	
PEPR	-0,65	-0,65	0,99	0,42	0,77	0,34	0,74	0,57	0,89	0,66

En gras, les valeurs significatives au seuil $\alpha = 0,05$ (test bilatéral)

TEMG : Taux d'émergence, 50%FLOM : 50% floraison mâle, 50%FLOF : 50% floraison femelle, HPL : Hauteur de la plante, LOEP : Longueur de l'épi, DEP : Diamètre des épis, NEPR : Nombre d'épis à la récolte, PEPR : Poids des épis à la récolte, PGR : Poids de grains, P100G : Poids de 100 grains, PFOS : Poids du fourrage sec

Classification des variétés. Les résultats de la CHA (basée sur l'algorithme de Ward) réalisée à partir des moyennes ajustées des différentes variétés pour les caractères étudiés a produit un dendrogramme (Fig. 2) permettant de visualiser avec un pourcentage de conservation d'information de 67,1% quatre classes homogènes de variétés. L'effectif total des variétés au niveau des différents groupes est 10, 4, 5 et 6 pour les classes 1, 2, 3 et 4, respectivement (Fig. 2). La répartition des variétés dans les différentes classes a montré que la diversité est structurée sans distinction d'origine. En effet, les variétés V24 et V25 qui ont la même origine (variétés locales) sont réparties dans 2 classes différentes (classe 3 et 4, respectivement) (Fig. 2).

Caractéristiques des classes de variétés. Le Tableau 6 présente les distances au sens de Mahalanobis entre les classes identifiées et leur signification issue de l'analyse factorielle discriminante appliquée aux données des quatre classes de variétés de maïs identifiées. La classe 2 et la classe 4 ont été les plus proches et les classes 2 et 3 les plus éloignées. Les résultats ont montré aussi une différence significative entre les 4 classes sur la base de

toutes les variables à l'exception du poids de 100 grains. Ces résultats sont confirmés par le test multivarié de Wilks' Lambda (Prob. <0,002) présentés dans le Tableau 7. L'examen des valeurs F de Fischer a montré que les caractères tels que le poids des grains, le poids des épis à la récolte, la hauteur de la plante, la longueur de l'épi, le diamètre de l'épi, le nombre d'épis à la récolte et le taux d'émergence sont les plus discriminants avec des valeurs de F relativement élevées comparativement aux autres variables. Le Tableau 8 présente les corrélations entre les variables initiales et les axes discriminants. Il ressort de ce tableau que l'axe canonique 1 décrit la précocité, le rendement en grains et le taux d'émergence. L'axe canonique 2 peut être considéré comme l'axe de la hauteur des plantes et des caractéristiques de l'épi. La projection des 4 classes dans le système d'axes canoniques 1 et 2 (Fig. 3) indique que le premier axe permet de discriminer les classes 3 et 4 qui rassemblent les variétés les moins précoces, à faible taux d'émergence et faible rendement en grains par opposition aux classes 1 et 2 qui rassemblent les variétés plus précoces, ayant une bonne capacité d'émergence et un rendement en grains élevé.

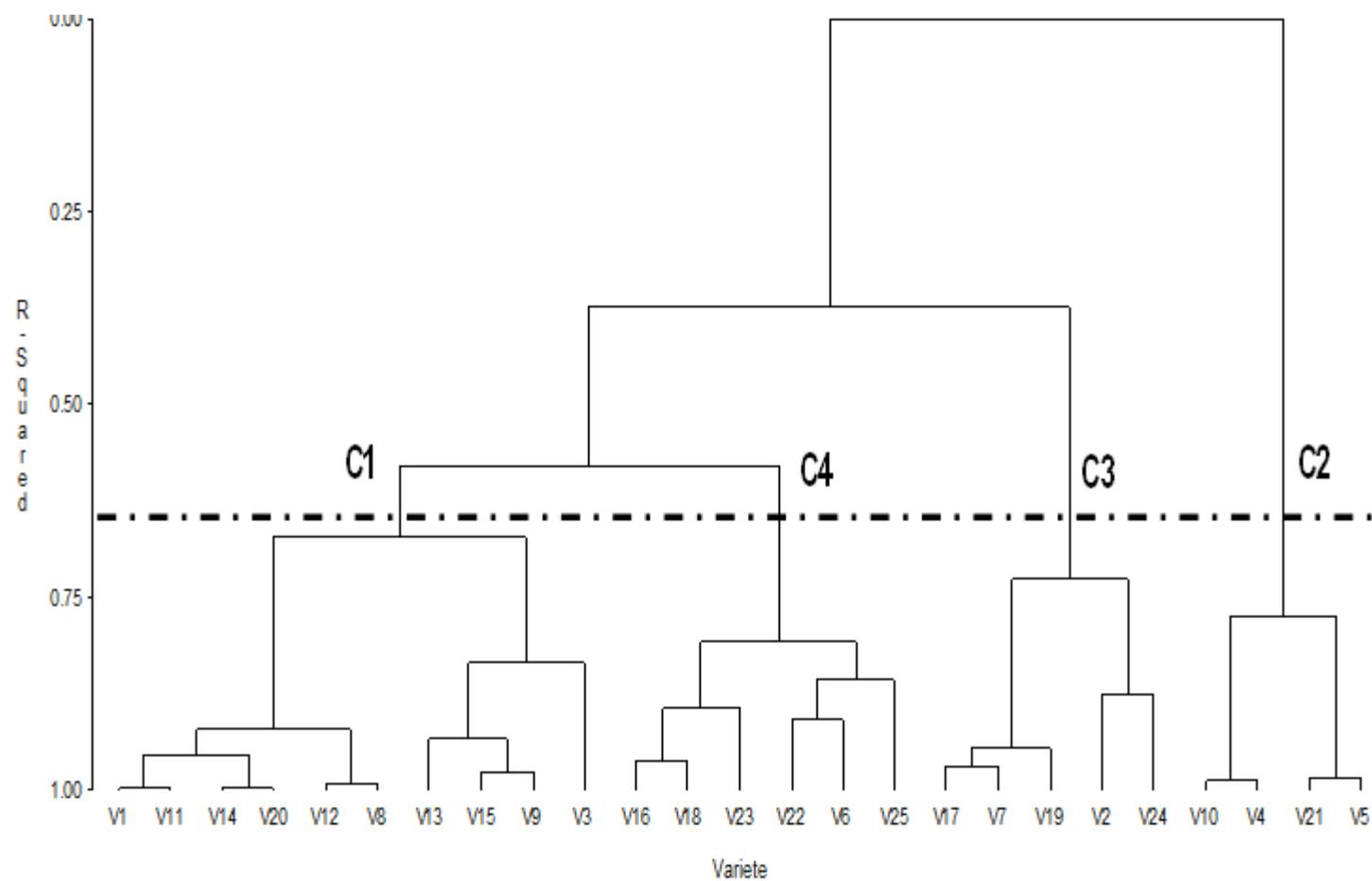


Figure 2. Dendrogramme issu de la CHA des 25 variétés de maïs étudiées.

TABLEAU 6. Distance de Mahalanobis entre les classes de variétés et niveau de leur signification

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Classe 2	5,84**		
Classe 3	10,95***	11,68***	
Classe 4	7,67**	5,19**	6,12*

* P < 0,05 ; ** P < 0.01 ; *** P < 0.001

TABLEAU 7. Analyses de variance comparant les groupes de variétés pour chacune des variables

Variables	F-value	Pr>F
FLOM50	8,43	0,0007
FLOF50	9,17	0,0004
PGR	37,79	<,0001
P100G	4,32	0,0161
PFOS	10,85	0,0002
HPL	20,72	<,0001
LOEP	25,13	<,0001
DEP	18,79	<,0001
NEPR	16,28	<,0001
PEPR	31,13	<,0001
TEMG	13,53	<,0001

TABLEAU 8. Corrélations entre variables initiales et axes discriminants.

Variables	Can1 (56.6%)	Can2 (31.42%)
50%FLOM	0,91	-0,41
50%FLOF	0,89	-0,45
PGR	-0,82	0,37
P100G	-0,49	0,87
PFOS	-0,49	0,84
HPL	-0,49	0,87
LOEP	-0,19	0,93
DEP	-0,87	0,44
NEPR	-0,99	-0,16
PEPR	-0,81	0,41
TEMG	-0,89	-0,15

TEMG : Taux d'émergence, 50%FLOM : 50% floraison mâle, 50%FLOF : 50% floraison femelle, HPL : Hauteur de la plante à maturité, LOEP : Longueur de l'épi, DEP : Diamètre épis, NEPR : Nombre d'épis à la récolte, PEPR : Poids des épis à la récolte, PGR : Poids de grains, P100G : Poids de 100 grains, PFOS : Poids du fourrage sec

Par rapport à l'axe 2, les variétés de la classe 4 et de la classe 2 sont de grande taille ; elles produisent beaucoup de fourrage et possèdent de très bons épis par opposition aux variétés de la classe 1 et 3 qui sont de petite taille avec des épis de mauvaise qualité. Ainsi les variétés de la classe 2 ont une bonne capacité d'émergence, sont plus précoces, de grande taille et plus productives tout en donnant des épis de bonne qualité contrairement à celles de la classe 3 qui possèdent de faibles valeurs pour ces mêmes caractères. La classe 1 possède des variétés de petite taille, plus précoces, ayant une bonne capacité d'émergence et un bon rendement en grain. La classe 4 est constituée de variétés de grande taille, plus tardives, à faible capacité d'émergence et moins productives.

Variétés prometteuses pour un programme d'amélioration de la productivité du maïs au Niger. Sur la base des résultats de l'analyse des performances agro-morphologiques des variétés et compte tenu des critères économiques les plus utilisés par les agriculteurs (rendement en grains et précocité) dans le choix des variétés locales de maïs dans un contexte de variabilités climatiques, sept (7) variétés prometteuses ont été identifiées pour une utilisation dans l'amélioration de la productivité du maïs au Niger (Fig. 4). La précocité (exprimée par la durée de semi-floraison femelle) a varié entre 61 et 65 jours (Fig. 4a). Quatre variétés, à savoir, V3, V10, V4 et V21 sont avérées les plus précoces avec 61 ; 61, et 62 et 62 jours de durée de semi-floraison, respectivement. Les plus longues durées de semi-floraison étaient enregistrées chez les variétés V9 (65 jours), V5 (63 jours) et V15 (63 jours). Le rendement en grains de ces variétés « élites » allait de 2,11 à 4,25 tonnes ha⁻¹ (Fig. 4b). Les rendements les plus élevés ont été enregistrés chez les variétés V5 (4,25 tonnes ha⁻¹), V21 (3,52 tonnes ha⁻¹), V4 (3,51 tonnes ha⁻¹) et V10 (3,40 tonnes ha⁻¹). Les variétés V9, V15 et V3 ont enregistré les rendements en grains de moins de trois tonnes

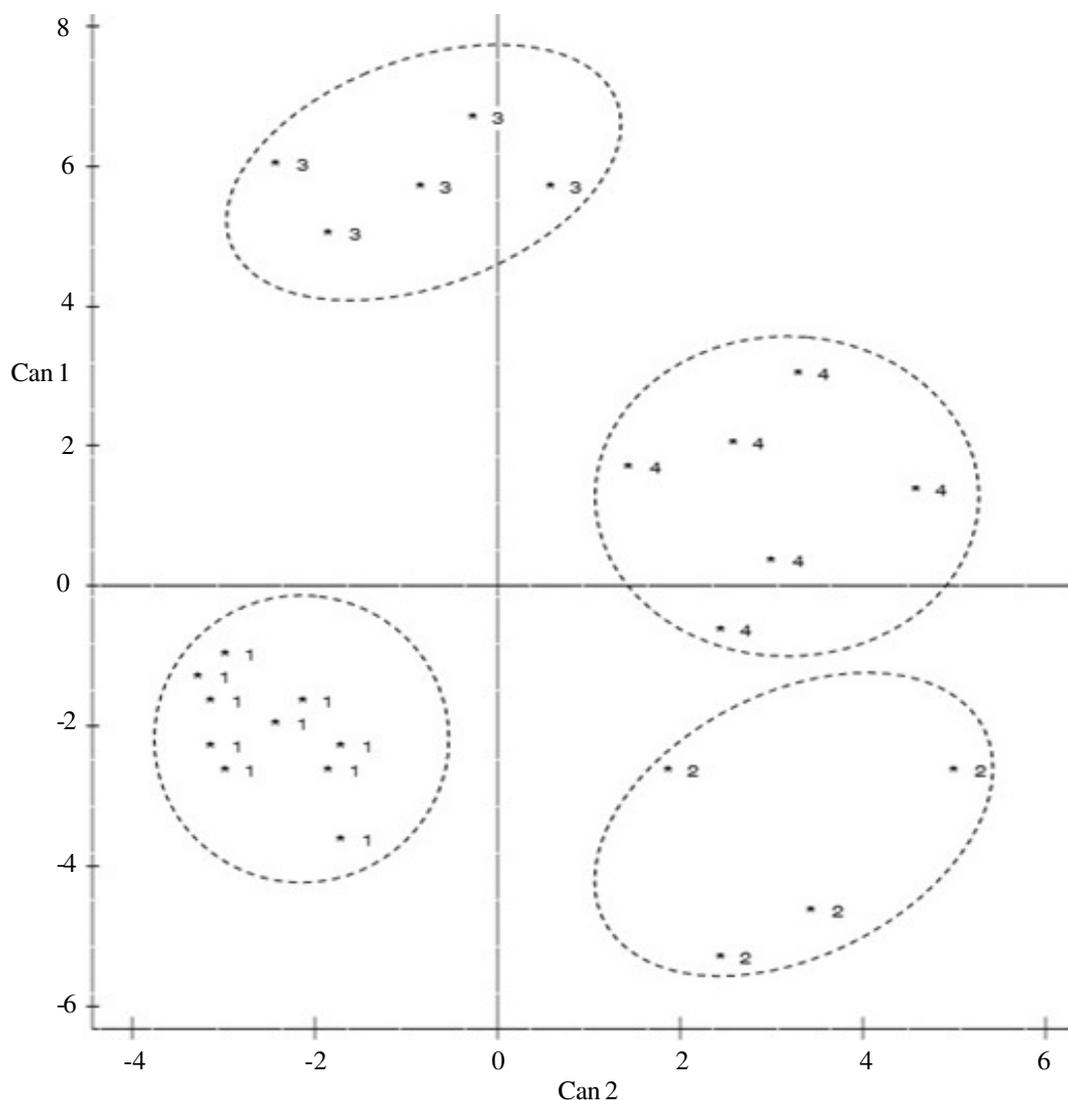


Figure 3. Projection des quatre classes de variétés dans le système d'axe formé par les deux premiers axes canoniques.

par hectare ($2,75 \text{ t ha}^{-1}$; $2,34 \text{ t ha}^{-1}$ et $2,11 \text{ t ha}^{-1}$, respectivement) (Fig. 4b).

DISCUSSION

Variabilité des génotypes. La connaissance de la variabilité génétique est essentielle en sélection variétale. La mise en évidence de cette variabilité génétique pour certains caractères morphologiques constitue la première étape indispensable dans la description des

ressources génétiques (Radhouane, 2004 ; Deffan *et al.*, 2015).

L'étude des performances agromorphologiques des 25 génotypes de maïs a mis en évidence une forte variabilité ($CV > 15\%$ selon N'da, 2014) entre les variétés pour tous les paramètres étudiés sauf pour la durée de semi-floraison mâle et femelle, la hauteur de la plante et la longueur des épis ($CV < 15\%$). Ces variations phénotypiques sont certainement dues à des différences entre les génotypes

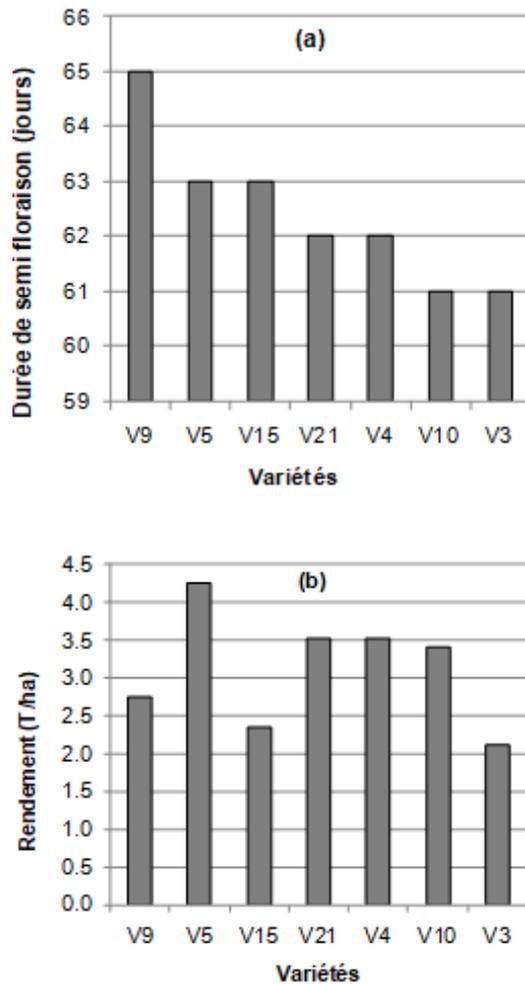


Figure 4. Sept génotypes élités de maïs et (a) leurs durées de semi-floraison femelle (b) leurs rendements en grains.

(transmissibles de génération en génération) sans négliger les effets de l'environnement (température, humidité relative, fertilisation, etc). En effet, de nombreux travaux ont montré que la longueur du jour (Harris et Azam-Ali, 1993; Linnemann *et al.*, 1995; Brink, 1999), la température (Linnemann et Craufurd, 1994; Brink, 1998) et l'humidité relative (Collinson *et al.*, 1996) entraînent des effets variables sur le développement végétatif et physiologique des plantes. Dans la plupart des cas, ces deux causes de variation inter-agissent fortement (interactions génotype-environnement), et il

n'est pas aisé de mesurer leur part relative dans la variation phénotypique totale. Néanmoins, les méthodes classiques pour estimer la diversité génétique des populations utilisent les caractères morphologiques et agronomiques, en sachant que ces caractères peuvent être influencés par des facteurs environnementaux (Bautista Salas *et al.*, 2009). Les analyses descriptives ont montré des écarts importants entre les valeurs minimales et les valeurs maximales pour la plupart des caractères agro-morphologiques analysés. Ceci témoigne d'une variabilité inter-variété importante. La forte variabilité significative observée pour le rendement en grain et le poids des épis à la récolte a été rapporté pour la même céréale par N'da *et al.* (2014) et Deffan *et al.* (2015) en Côte d'Ivoire et pour le sorgho par Djè *et al.* (2007) au Maroc ; Elangovan *et al.* (2013) en Inde ; et Dossou-Aminon *et al.* (2015) au Bénin. Cependant, une faible variabilité a été observée au niveau des caractères 50 % floraison mâle et femelle pour toutes les variétés. La floraison la plus précoce a été observée chez la variété améliorée CZH132150 et la plus tardive chez la variété locale V24 (maïs jaune corné). La transition de l'inflorescence mâle à l'inflorescence femelle occupe un intervalle de temps de 3 à 9 jours selon les variétés. Les résultats de cette étude sont loin de ceux obtenus par Deffan *et al.* (2015), qui ont obtenu un intervalle de 2 à 4 jours entre la floraison mâle et la floraison femelle. Ceci peut s'expliquer par le fait que les cycles de floraison sont très dépendants de la température du sol et de l'humidité relative.

L'analyse de variance relative aux performances des différentes variétés a révélé une différence significative entre les variétés pour le taux d'émergence, le rendement en grain et en fourrage sec, la hauteur de la plante, le diamètre et la longueur de l'épi et le poids d'épis à la récolte. Les résultats de la présente étude sont très proches de ceux obtenus par Shrestha (2013) ; N'da *et al.* (2014) , Deffan *et al.* (2015). Les rendements en grains et en

fourrage les plus élevés ont été obtenus chez la variété améliorée CZH132163 (4,24 t ha⁻¹ et 6,24 t ha⁻¹ respectivement) et les plus faibles ont été enregistrés chez la variété locale V24 (0,14t ha⁻¹ et 1,74t ha⁻¹ respectivement). Les très faibles rendements observés chez certaines variétés telles que la variété locale V24 peuvent s'expliquer par le fait qu'une courte période de sécheresse (absence de pluie d'environ 18 jours) intervenue au cours de l'essai (plus précisément pendant la phase de maturation) a eu un impact négatif sur le potentiel de certaines variétés testées. Les rendements relativement supérieurs observés chez les variétés améliorées peuvent s'expliquer par le fait que ces variétés ont été originellement sélectionnées par le CIMMYT/Zimbabwe pour la tolérance à la sécheresse et à la déficience en azote minéral. Dans l'ensemble, le rendement moyen obtenu est de 1,56 t ha⁻¹ très proche du rendement régional qui est de 1,7 t ha⁻¹ en Afrique de l'Ouest (Smale *et al.*, 2011). Néanmoins, ce rendement est en-deçà des 4,4-5,4 t ha⁻¹ des essais de terrain des variétés améliorées, avec des intrants optimaux et dans des conditions de gestion améliorées, menés à bien par le CIMMYT/IIAT (Macauley et Ramadjita, 2015). Ceci peut s'expliquer par les conditions climatiques (pluviométrie, température, humidité relative, etc) et pédologiques (nature du sol, fertilité du sol, etc) du milieu d'étude. Le poids de 100 grains des variétés de maïs étudiées est compris entre 9,07 et 18,00 g très loin de celui obtenu par N'da *et al.* (2014) compris entre 20 et 40 g. Selon les rapports de la FAO (1993), le poids des grains dépend entre autre des facteurs génétiques (liés à chaque variété), mais aussi des facteurs environnementaux et des pratiques agronomiques (fertilisation, date et densité de semis, protection antifongique, etc.). La mesure du poids de 100 ou 1000 grains sert à estimer la taille des graines et le rendement d'une céréale avant la récolte (Deffan *et al.*, 2015).

Corrélations entre les caractères étudiés.

La présente étude a révélé une corrélation positive significative entre la durée de semi-floraison mâle et femelle. En effet, plusieurs études antérieures notamment celles de N'da *et al.* (2014) et de Deffan *et al.* (2015) ont aussi rapporté que les durées des cycles semi-floraisons mâle et femelle chez le maïs sont corrélées positivement. Une corrélation négative significative a été observée entre la semi floraison (mâle et femelle) et, la hauteur des plantes, le poids de grain, le poids du fourrage sec, le poids des épis, le diamètre des épis, le nombre d'épis, le poids de 100 grains. La hauteur des plantes est corrélée positivement avec les paramètres de rendement qui par ailleurs sont corrélés positivement entre eux. En somme, les résultats de notre étude ont indiqué une corrélation claire entre les caractères morphologiques et le rendement des variétés. Les traits montrant des fortes corrélations significatives positives avec la précocité devraient jouer un rôle capital dans la sélection des génotypes à maturité précoce. La corrélation positive entre le rendement et ses différentes composantes constitue un bon indicateur pour la sélection directe des génotypes à haut rendement. Des résultats similaires ont été obtenus par Elangovan *et al.* (2013) ; Deffan *et al.* (2015) ; Dossou-Aminon *et al.* (2015). En effet, les variétés à cycle relativement court et avec des individus à caractères végétatifs plus développés donnent les meilleurs rendements.

Implications agronomiques. La variabilité observée, pour la plupart des caractères étudiés, atteste la possibilité d'amélioration génétique de cette espèce pour mieux répondre aux besoins agronomiques, nutritifs et industriels. Les variabilités de rendements en grains pourraient servir à la sélection du maïs grain tandis que celles de rendements en biomasse à la sélection du maïs fourrage. Les corrélations entre les caractères pourraient

faciliter l'amélioration génétique dans la mesure où quand les caractères sont en corrélation positive, l'amélioration de l'un entraînera simultanément celle des autres (Bakasso, 2010; Abubakar et Bubuche, 2013; Dossou-Aminon *et al.*, 2015). Cette étude a également permis de comprendre que même si les variétés sont géographiquement éloignées certaines d'entre elles présentent des caractères agro-morphologiques et génétiques proches les unes des autres, ce qui explique les différents groupes homogènes obtenus à l'issue de la classification hiérarchique ascendante (CHA) et de l'analyse factorielle discriminante (AFD). Basé sur la précocité et le rendement en grains des différentes variétés, sept (7) génotypes promoteurs (appartenant aux classes 1 et 2 obtenues par le regroupement de la CHA) ont été identifiés. Ces critères (précocité et rendement en grain) sont principalement utilisés par les agriculteurs pour sélectionner les variétés locales cultivées (Dossou-Aminon *et al.*, 2015). Il faut noter que ces génotypes notamment CZH132163, CZH132194, CZH1262, CZH132150, CZH132139, CZH1155 et CZH1261 sont toutes, des variétés améliorées ayant été sélectionnées par CIMMYT/Zimbabwe pour la tolérance à la sécheresse et/ou à la déficience en azote minéral. Ces génotypes « élites » peuvent directement être multipliés dans les champs des agriculteurs pendant au moins trois générations afin de les purifier pour les caractères quantitatifs tels que la précocité et le rendement (Dossou-Aminon *et al.*, 2015). En effet, pour améliorer la productivité du maïs au Niger, ces variétés peuvent être directement utilisées en raison de leurs aptitudes agronomiques. Par conséquent, ils peuvent aussi être évalués dans d'autres zones agro-écologiques du pays à travers des essais multi-locaux pour mieux sélectionner les variétés les plus adaptées aux conditions environnementales du pays. D'autres investigations doivent être réalisées pour prendre en compte d'autres critères paysans de préférence (considérations ethniques,

propriétés organoleptiques, etc.) et de sélection variétale utiles pour les programmes d'amélioration et d'introduction variétale. L'analyse moléculaire de la diversité génétique est aussi recommandée afin de caractériser et évaluer avec précision les ressources génétiques de ces différentes variétés.

CONCLUSION

La présente étude a permis d'évaluer les performances agro-morphologiques en zone soudanienne de 25 variétés de maïs dont deux variétés locales et vingt-trois variétés améliorées provenant du CIMMYT/Zimbabwe. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'existence d'une grande variabilité génétique entre les différentes variétés de maïs. La variabilité observée, pour les différents caractères agronomiques et morphologiques peut contribuer à l'amélioration génétique de cette espèce pour mieux répondre aux besoins agronomiques, nutritifs et industriels. Cette variabilité a été structurée en quatre (4) groupes homogènes : les groupes 1 et 2 regroupent les variétés plus précoces, plus productives avec un fort taux d'émergence et les groupes 3 et 4 regroupent les variétés moins précoces, moins productives et avec un faible taux d'émergence. Sept variétés prometteuses appartenant aux groupes 1 et 2 ont été identifiées. Il s'agit des variétés améliorées (CZH132163, CZH132194, CZH1262, CZH132150, CZH132139, CZH1155 et CZH1261). Ces résultats peuvent être directement utilisés pour un programme d'amélioration de la productivité maïsicole au Sud-Ouest du Niger.

REMERCIEMENT

Cette étude a été effectuée dans le Laboratoire de Recherche en Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel (GeVaBioS) du Département de Biologie à Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Nous remercions Mr Djibo

MOUSSA (chef de la station de expérimentale de recherche de Tara) pour son appui technique lors de la collecte des données.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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 présenté 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. 71pp.
- Abubakar, L. and Bubuche, T.S. 2013. Correlation analysis of some agronomic traits for biomass improvement in sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) genotypes in North-Western Nigeria. *African Journal of Agricultural Research* 8(28): 3750-3756.
- ASN, Annuaire statistique du Niger. 2010. Ministère du développement agricole/ Direction des Statistiques, Niamey, Niger. 185pp.
- 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, Niger. 139pp.
- Bautista-Salas, A.M. 2009. Caractérisation agro-morphologique et moléculaire d'une collection de landraces péruviennes de pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) pour l'analyse de sa diversité. Thèse de Doctorat d'état en Biologie cellulaire et moléculaire Végétale, Université de Namur, Namur, Belgique. 244pp.
- Boone, P., Stathacos, C.J.D. and Wanzie, R.L. 2008. Évaluation sous-régionale de la chaîne de valeurs du maïs, rapport technique ATP n°1. Bethesda, MD: projet ATP, Abt Associates Inc Accra-Ghana. 73pp.
- Brink, M. 1999. Development, growth and dry matter partitioning in bambara groundnut (*Vigna subterranea*) as influenced by photoperiod and shading. *Journal of Agricultural Sciences* 133:159-166.
- Brink, M. 1998. Matching crops and environments: quantifying photothermal influences on reproductive development in bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc). PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 161pp.
- Charcosset, A. 2009. Genomics of quantitative traits: Insights into maize adaptation to Europe and prospects for marker assisted breeding. Conference of the 52nd Annual Maize Genetics Conference. Italie.
- Collinson, S.T., Azam-Ali, S.N., Chavula, K.M. and Hodson, D.A. 1996. Growth, development and yield of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) in response to soil moisture. *Journal of Agricultural Sciences* 126:307-318.
- Deffan, K.P., Akanvou, L., Akanvou, R., Nemlin, G.J. and Kouamé, P.L. 2015. Evaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (*Zea mays* L.) produites en Côte d'Ivoire. *Afrique Sciences* 11(3):181-196.
- Diouf, M., Mbengue, N.B. and Kante, A. 2007. Caractérisation des accessions de 4 espèces de légumes-feuilles traditionnels (*Hibiscus sabdariffa* L., *Vigna unguiculata* (L.) Walp *Amaranthus* L. spp. et *Moringa oleifera* LAM) au Sénégal. *Revue africaine de l'alimentation, de nutrition et de développement* 7(3):1-16.
- Djè, Y., Heuertz, M., Ater, M., Lefebvre, C. and Vekemans X. 2007. Evaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 11(1):39-46.
- Doffangui, K. 1997. Fiche technique du maïs, Institut Agricole de Bouaké (IAB). Côte d'Ivoire. 40pp.
- Dossou-Aminon, I., Dansi, A., Ahissou, H., Cissé, N., Vodouhè, R. and Sanni, A. 2015. Climate variability and status of the production and diversity of sorghum

- (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the arid zone of northwest Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution* 63:1181-1201.
- Elangovan, M., Jain, S.K. and Patel, N.V. 2013. Characterization of sorghum germplasm collected from Gujarat. *Indian Journal of Plant Genetic Resources* 26(1):42-46.
- FAOSTAT, Statistiques des Fonds des Nations Unies pour l'Alimentation, 2016. data base .<http://www.fao.org/>., consulté le 15/01/2018.
- Food and Agricultural Organization (FAO), 1993. Le maïs dans la nutrition humaine: Alimentation et nutrition, collection n°25, Genève. 119pp.
- Harris, D. and Azam-Ali, S.N. 1993. Implications of daylength sensitivity in bambara groundnut (*Vigna subterranea*) for production in Botswana. *Journal of Agricultural Sciences* 120:75-78.
- IBPGR, 1991. Descriptors for maize. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico City-Intl. Board Plant Genet. Resources, Rome, Italy. 100pp.
- Linnemann, A.R. and Craufurd, P.Q. 1994. Effects of temperature and photoperiod on phenological development in three genotypes of bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Annals of Botany* 74:675-681.
- Linnemann, A.R., Westphal, E. and Wessel, M. 1995. Photoperiod regulation of development and growth in bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Field Crops Research* 40:39-47.
- Macauley, H. and Ramadjita, T. 2015. Les cultures céréalières: Riz, maïs, millet, sorgho et blé : Plan pour la transformation de l'agriculture africaine: Document de référence, Centre international de conférences Abdou Diouf, 21-23 Octobre 2015, Dakar, Sénégal.
- Missihoun, A.A., Agbangla, C., Adoukonou-Sagbadja, H., Ahanhanzo, C. and Vodouhe, R. 2012. Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6:1003-1018.
- N'da, H.A., Akanvou, L., Kouakou, C.K. and Zoro, A.I.B. 2014. Diversité morphologique des variétés locales de maïs (*Zea mays* L.) collectées au Centre et Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal* 10(12):349-365.
- Radhouane, L. 2004. Etude de la variabilité morpho-phénologique chez *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:18-22.
- Shrestha, J. 2013. Agro-morphological characterization of maize inbred lines. *Journal of Agricultural Research* 2(7): 209-211.
- Sivakumar, M.V.K., Maidoukia, A. and Stern, R.D. 1993. Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest: le Niger. Deuxième édition. Bulletin d'information n5. Patancheru, A.P. 502 324, Inde : ICRISAT, Niamey, Niger. 116pp.
- Smale, M., Byerlee, D. and Jayne, T. 2011. Maize revolution in Sub-Saharan Africa. Document de travail sur la recherche politique n° 5659. Washington DC, USA: Banque mondiale. 47pp.