Afrique SCIENCE *16(1) (2020) 21 - 29*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Relation entre le rendement et ses composantes en condition de déficit hydrique chez le maïs (*Zea mays* L.)

Oumarou Abdoulaye MOUSSA[1*], Issoufou Hassane BIL-ASSANOU[2], Abdelkader Mahamane SOULE[3], Ali Mahamane[4], Mahamane SAADOU[1] et Maïnassara ZAMAN - ALLAH[1]

[1] Université Dan Dicko Dankoulodo, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, BP 465, Maradi, Niger
[2] Université Dan Dicko Dankoulodo, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Département des Sciences et Techniques de Productions, BP 465, Maradi, Niger
[3] Institut National de la Recherche Agronomique, Maradi, Niger
[4] Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques

* Correspondance, courriel : *oa_moussa@yahoo.fr*

Résumé

Le stress hydrique est le principal facteur abiotique limitant la production du maïs (*Zea mays* L.) dans les zones sahéliennes du fait de son impact négatif sur le rendement et ses composantes. Cette étude a pour objectif d'examiner les relations entre le rendement et ses composantes en condition de stress hydrique chez quatre génotypes de maïs (CZH131001, CZH142013, SC303 et P3K). Pendant deux années consécutives, ces génotypes ont été testés sous deux régimes d'irrigation, un optimal et l'autre avec un déficit de la disponibilité d'eau pour simuler la sécheresse. Le dispositif expérimental utilisé est un Split-Plot avec quatre répétitions. Les résultats montrent des différences significatives entre les génotypes pour toutes les composantes de rendement en conditions aussi bien optimales que stressées. Dans les deux conditions d'irrigation, le rendement est positivement corrélé au nombre d'épis par plante, au poids de cent grains, à la longueur de grains, la largeur de grains et au nombre de grains par épis. Les génotypes CZH1310001 et CZH142013 sont les plus performants avec le plus haut rendement en graines, le plus grand nombre d'épis par plante et le plus grand nombre total de graines par épis, tandis que SC303 a donné le rendement le plus faible quel que soit le type de régime hydrique.

Mots-clés : *maïs, stress hydrique, rendement en grains, composantes de rendement.*

Abstract

Relationship between maize (*Zea mays* L.) yield and yield components under water deficit conditions

Water stress is the main abiotic factor limiting maize (*Zea mays* L.) production in the sahel due to its negative impact on yield and it's components. The objective of this study is to assess the relationship between yield and its components under water stress in four maize genotypes (CZH131001, CZH142013, SC303 and P3K). For two consecutive years, the genotypes were tested under two irrigation, one optimal and one with water deficit to simulate drought. The experimental design used was a Split-Plot with four replications. The results show

significant differences between genotypes for all yield components in optimal and water deficit conditions. In both irrigation conditions, the yield was positively correlated to the number of ears per plant, the weight of one hundred grains, the grain length, the grain width and the number of grains per ear. The genotypes CZH1310001 and CZH142013 were the most productive with the highest grain yield, the highest number of ears and the highest total number of grain, while SC303 gave the lowest yield regardless of the water regime type.

Keywords : *maize, water stress, grain yield, yield components.*

1. Introduction

Le maïs (*Zea mays* L.) est aujourd'hui la première céréale cultivée en Afrique subsaharienne avec 84 millions de tonnes produite en 2017 sur 40 millions d'hectares [1]. Sa consommation continue d'augmenter aussi bien dans les villes que dans les campagnes [2] en raison principalement de la forte croissance démographique [3]. Cependant, le rendement moyen en Afrique reste le plus faible au monde (moins de 2 T/Ha contre 6 T/Ha en Amérique du sud et 5 T/Ha en Asie [1]. A l'instar des autres pays ouest-africains, le Niger connait aussi une augmentation de la demande de maïs. Cette céréale est très appréciée dans les grandes villes du Niger ou elle est consommée sous différents mets. Elle est transformée en farine pour faire de la pâte *(tô)* consommée lors des diners familiaux et la semoule de maïs sert à faire un couscous local associé aux feuilles de légumineuses *(Dambou)* très apprécié pour le déjeuner et le petit-déjeuner. Le maïs frais immature est beaucoup consommé aussi grillé ou simplement bouilli dans l'eau tandis que le chaume et les tiges de maïs sont également utilisés en alimentation bétail [4]. Bien qu'occupant la quatrième place parmi les céréales les plus cultivées au Niger, le taux de croissance de la culture est très variable 32 % en 2009-2013 [5] contre -9 % en 2013-2017 [6]. D'autres parts, la culture du maïs reste marginale [7] avec seulement 12335 ha de superficie emblavée en 2014 pour une production de 8635 tonnes et un rendement moyen de 0,7 T/Ha. En effet, le maïs est produit en système pluviale principalement dans la zone soudanienne et en système irrigué dans les aménagements hydro-agricoles. Or ces sols sont très dégradés et le contexte de forte variabilité climatique caractérisant le sahel en général et le Niger en particulier [8], accentue le stress hydrique concourant à la réduction de sa production au regard de l'exigence en eau et nutriments du maïs [9]. En effet, le stress hydrique est le principal facteur limitant la croissance des cultures dans les régions arides et semi-arides en raison des précipitations faibles et incertaines [10] et la gravité des effets causés dépend de l'intensité du stress et du stade de développement de la culture [11]. Chez le maïs, plusieurs études ont porté sur l'effet du stress hydrique sur la germination [12 - 15], la croissance des plantes, la variabilité agro-morphologique [16, 17] et sur les composantes de rendement [18]. Cependant, ces études ont été souvent réalisées en conditions contrôlées ou semi-contrôlées ; celles menées en champs paysans étant rares. L'objectif de cette étude, est de tester les effets de la sécheresse en plein champ sur le rendement et ses composantes chez quatre génotypes de maïs. Ceci permettra aux programme d'amélioration variétale au Niger d'utiliser les composantes de rendement les plus robustes et faciles à mesurer comme critère de sélection indirecte.

2. Matériel et méthodes

Des expérimentations ont été menées en mars 2016 et 2017, avec quatre génotypes de maïs, sur le site de Keguel en milieu paysan au niveau du périmètre irrigué de Jiratawa (latitude 13°41' et longitude = 7°14') situé à 10 km de la ville de Maradi au Niger. Trois génotypes, CZH131001, CZH142013 et SC303, ont été obtenus auprès du Centre international d'amélioration du maïs et du blé basé à Hararé au Zimbabwe (CIMMYT) et le quatrième, P3K, a été obtenu auprès de l'Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN). P3K est très utilisé localement tandis que CZH131001 et CZH142013 sont reconnus pour leur tolérance à la

sècheresse (CIMMYT HARARE). Le dispositif expérimental est un Split-Plot avec 4 répétitions et 2 facteurs : le régime hydrique en grandes parcelles et à 2 niveaux, le génotype en petites parcelles et à 4 niveaux. Chacune des parcelles contient 16 lignes de 4 m de long séparées entre elles de 80 cm pour chaque génotype avec une séparation de 1 m entre génotypes ; ce qui fait 28 m * 4 m (112 m^2) par parcelle. Chacune des sous parcelles contient 4 lignes de 4 m séparées de 80 cm soit 4 m * 2 m (8 m^2) par sous parcelle. Les répétitions sont séparées de 2m et les grandes parcelles de 4 m pour éviter l'effet de ruissèlement. Le dispositif est installé sur 112 m*12, soit 1344 m^2. Il permet d'irriguer simultanément toutes les parcelles d'un même traitement. Les parcelles témoins ont été irriguées de façon optimale (1 fois tous les 5 jours) tout le long de leur cycle alors que celles sous stress hydrique ont reçu une irrigation optimale jusqu'à une semaine avant la floraison male puis une irrigation tous les 10 jours jusqu'à la fin du cycle [19].

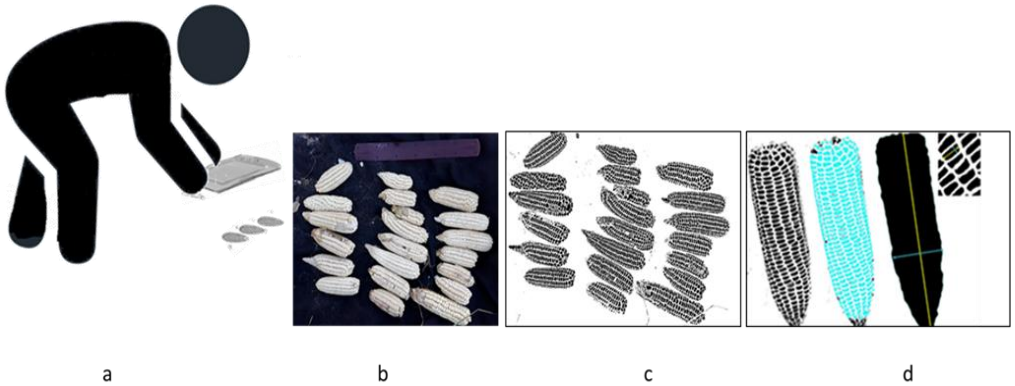

Figure 1 : *Procédure d'acquisition de photos à l'aide d'une tablette (a, b) et procédure de traitement des images (c, d)*[20]

2-1. Données collectées

Les mesures ont été effectuées sur un total de 10 plantes sélectionnées de façon aléatoire au niveau des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire, soit 40 pieds par génotype et par régime hydrique. Pour évaluer les composantes de rendement, la méthode de phénotypage numérique des épis a été utilisée ***(Figure 1)***. Elle consiste à prendre des photos d'épis récoltés et à analyser ces photos à l'aide du logiciel d'analyse d'images ImageJ. Ces données ont été complétées par l'évaluation du poids de cent graines (P100G), le rendement (RDT) en poids de grains et le nombre d'épis par plant (NEP). Une sonde hygrothermique de type Tiny Tag plus-2 (Dataloggers Gemini Tinytag Ultra 2 TGU-4500 (UK) Ltd, Chichester, au Royaume-Uni) a été placée au milieu du champ expérimental pendant toute la période d'essai afin d'enregistrer les données relatives à l'humidité relative et à la température (minimale et maximale). Les échantillons de sol ont été prélevés dans la tranche 0-30 cm avant l'expérimentation, puis ont été analysés au laboratoire d'analyse du sol du département des sciences du sol de l'université Bayero de Kano au Nigeria. Les caractéristiques suivantes du sol ont été déterminées :

- pH du sol avec la méthode du pH-mètre à électrode de verre [21] ;
- Texture du sol ; pourcentage de sable, de limon et d'argile selon la méthode d'hydromètre d'analyse mécanique du sol [22] ;
- Matière organique selon la méthode Walking-Black [23] ;
- CEC
- Bases échangeables : K, Na, Mg, Ca ;

2-2. Analyse statistique

Une analyse de variance à deux facteurs a été réalisée pour tester les effets « génotypes », « régime hydrique » et leur interaction sur les composantes de rendement. La séparation des moyennes a été faite suivant le test de Fisher au seuil de 0.05 (GENSTAT 16th Edition). Par ailleurs, le degré d'association entre les composantes du rendement et les indices de tolérance à la sécheresse a été estimé par le coefficient de corrélation de Pearson.

3. Résultats

3-1. Conditions pédoclimatiques de l'essai

Le ***Tableau 1*** montre les caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental. Le sol est de type sablo-limoneux. Il a une texture légère avec 85,17 % (p/p) de sable, 13,44 % (p/p) de limon et 1,39 % (p/p) d'argile. Le pH eau et pHCaCl2 de la solution du sol sont respectivement de 7,20 et 6,97.

Tableau 1 : *Caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental de Keguel*

pH		Granulométrie			Matière organique(%)		Complexe absorbant Cmol/kg						
H_2O	***$CaCl_2$***	***S***	***L***	***A***	***N***	***O.C***	***P***	***Ca***	***Mg***	***K***	***Na***	***E.A***	***CEC***
7,21	6,98	85,17	13,44	1,39	0,14	0,35	5,95	1,61	0,74	0,1	0,1	0,39	3,11

Au cours de la période d'essai, la température maximale journalière a varié de 34,88 à 45,44°C et la température minimale journalière de 12,93 à 28,74°C. L'humidité relative de l'air à fluctué entre 20,36 et 49,28 % en période sèche et entre 83,00 et 99,26 % en période humide ***(Figure 2)***.

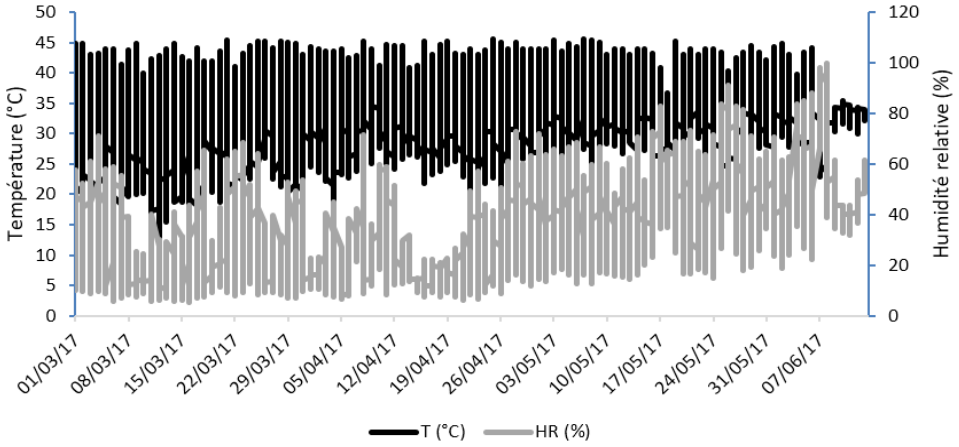

Figure 2 : *Évolution de la température moyenne et de l'humidité relative moyenne journalière en fonction du temps exprimé en dates durant l'essai 2017 au champ*

3-2. Variation du rendement et ses composantes en conditions optimales et stressées

Toutes les composantes de rendement ont varié significativement en fonction du génotype et du régime hydrique, à l'exception des paramètres lies aux graines (longueur et largeur des graines) ***(Tableau 2)***. En ce qui concerne l'interaction génotype-régime hydrique, seul la largeur des épis, le nombre total de graines et le rendement en grain ont révélé un effet significatif.

Tableau 2 : *Résultats de l'analyse de variance sur les effets « génotypes », « régime hydrique » et leur interaction sur les composantes du rendement suivant le test de Fisher au seuil de 0.05*

Effet	DDL	NEP	LE	lE	P100G	RDT	NTG	lG	LG
RH	1	2572,39***	67,08***	26,96***	104,16***	2480992***	34147953***	0.02ns	0.04ns
GEN	3	167,67**	7,2894**	1,2569**	33,760**	1092912***	27302260***	0.06***	0.05***
RH*GEN	3	53,94ns	0,0486ns	1,9348**	3,810ns	280887**	1215261**	0.08ns	0.020ns
Erreur	32	25,5	0,8593	0,3038	4,751	38597	1123981	0.01	0.02
CV (%)		24,4	8,4	16,4	11,2	33	37,8	3.5	3.4

, **, * ns, significatif au seuil de probabilité de 5 % ; 1% ; 0,1 % ; non significatif au seuil de 0.05 respectivement NEP : nombre d'épis ; LE : longueur d'épis ; lE : largeur des épis ; P100G : poids de cent graines ; RDT : rendement graines (kg/Ha) ; NTG : nombre total de graines ; LG : longueur d'épis ; lG : largeur des grains*

Le ***Tableau 3*** présente la comparaison du rendement et ses composantes chez quatre génotypes en fonction du régime hydrique. Chez tous les génotypes l'imposition du stress hydrique a provoqué une baisse de rendement et de ses composantes sauf pour la longueur et la largeur des graines. Le rendement moyen en graines a baissé de 72 % pour SC303, 60 % pour P3K, 45 % pour CZH142013 et 38 % pour CZH1310001. Le poids de 100 graines a baissé chez tous les génotypes, mais il est resté cependant plus élevé chez les génotypes CZH142013 et CZH1310001 que chez SC303 et P3K.

Tableau 3 : *Rendement et ses composantes de quatre génotypes du maïs cultivé en conditions optimales (Op) et stressées (Str)*

	NEP		LE		lE		P100G		RDT		NTG		LG		lG	
Génotype	Op	Str	Op	Str	Op	Str	Op	Str	Op	Str	Op	Str	Op	Str	Op	Str
CZH142013	26,12	17,38	11,46	9,49	3,86	2,73	21,73	18,94	954,4	520,2	3940	2556,56	0,677	0,6	0,42	0,41
CZH1310001	33,62	16	11,99	9,89	4,89	2,64	23,61	19,33	1099.89	671,77	5448	3458,25	0,648	0,61	0,41	0,4
SC303	23,69	11,38	11,96	9,78	3,56	2,97	21,08	18,15	510,3	139,31	2029	976,62	0,629	0,59	0,37	0,36
P3K	24,88	12,84	13,02	11,07	3,73	2,51	18,22	16,39	601,3	259,52	2723	1305,62	0,632	0,61	0,39	0,37
MG	27,08	14,40	12,11	10,06	4,01	2,71	20,75	18,20	791,50	397,70	3535,00	2074,26	0,65	0,60	0,40	0,39
SE	14,34	4,96	1,33	1,17	0,80	0,69	2,44	2,05	502,80	303,90	2682,00	1315,00	0,05	0,05	0,04	0,03

NEP : nombre d'épis ; LE : longueur d'épis ; lE : largeur des épis ; P100G : poids de cent graines ; RDT : rendement graines (kg/ha) ; NTG : nombre total de graines ; LG : longueur d'épis ; lG : largeur des grains

3-3. Corrélations entre les différents caractères mesurés

La matrice de corrélation ***(Tableau 4)*** indique que le rendement est positivement corrélé avec le nombre total des graines (NTG) (r = 0,90 et 0,76) et le nombre d'épis (NEP) (r = 0,83 et 0,46), le poids de 100 graines (P100G) (r = 0,55 et 0, 43), la largeur de graines (lG) (r = 0,49 et 0,53) et la longueur de graines (LG) (r = 0,49 et 0,46) en conditions hydriques optimales et stressées respectivement. Par contre le rendement est négativement corrélé avec la longueur des épis (r = - 0,07) en conditions optimales. Le nombre total des graines (NTG) est hautement significative, positivement corrélée avec le nombre d'épis (NEP) (r = 0,87 et 0,49) en conditions optimales et stressées respectivement.

Tableau 4 : *Matrice de corrélation du rendement et ses composantes*

	lE	LG	lG	LE	NEP	NTG	P100G	RDT
	Conditions optimales							
lE	1							
LG	0,06ns	1						
lG	0,12ns	0,96***	1					
LE	-0,16ns	-0,36*	-0,44**	1				
NEP	0,07ns	0,52**	0,48**	-0,02ns	1			
NTG	0,18ns	0,52**	0,48**	0,09ns	0,87***	1		
P100G	-0,02ns	0,06ns	0,08ns	-0,13ns	0,21ns	0,17ns	1	
RDT	0,11ns	0,49**	0,49**	-0,07ns	0,83***	0,90***	0,55**	1
	Conditions stressées							
lE	1							
LG	0,20ns	1						
lG	0,15ns	0,93***	1					
LE	-0,14ns	-0,12ns	-0,19ns	1				
NEP	0,06ns	0,42**	0,32ns	0,23ns	1			
NTG	0,09ns	0,43**	0,49**	-0,09ns	0,49**	1		
P100G	0,33ns	0,33ns	0,25ns	-0,01ns	0,54***	0,56***	1	
RDT	0,05ns	0,46**	0,53**	0,02ns	0,46**	0,76***	0,43**	1

NEP : nombre d'épis ; LE : longueur d'épis ; lE : largeur des épis ; P100G : poids de cent graines ; RDT : rendement graines (kg/ha) ; NTG : nombre total de graines ; LG : longueur d'épis ; lG : largeur des grains

4. Discussion

L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets du stress hydrique sur le rendement et ses composantes chez quatre génotypes. Les résultats ont montré que le régime hydrique a eu une influence négative significative sur le rendement et ses composantes. Des résultats similaires ont été rapportés par une étude menée avec quatre cultivars de maïs en Iran [18]. En effet, le maïs est connu comme une plante exigeante en eau [24, 25]. Du fait de son comportement isohydrique [26], cette plante ferme ses stomates en cas déficit hydrique ; ce qui entraine un ralentissement de la photosynthèse et une baisse sensible de la croissance [27] et la production. D'autre part, nos résultats ont montré une baisse du nombre total de graines en condition de déficit hydrique. Ces résultats s'expliqueraient par le fait que les anthères de la fleur male et les soies de la fleur femelle sont séparées d'une distance d'environ un mètre. Ce qui les expose facilement à la sécheresse de l'air avec une réduction subséquente de la pollinisation [28, 29] entrainant ainsi une plus grande sensibilité du maïs au déficit en eau par rapport aux autres céréales. Nos résultats ont montré que le déficit hydrique a également négativement impacté le poids de cent graines mais n'a pas eu d'effets sur leurs dimensions. En outre, le nombre total de graine s'est révélée la composante la plus corrélée au rendement. Nos résultats sont conformes à ceux de plusieurs auteurs [30 - 32]. Cependant, les résultats de [33] sont contraires aux nôtres, car ces auteurs ont montré que le poids de graine a eu plus d'effet sur le rendement en grains que le nombre de grains lorsque déficit hydrique a lieu pendant le stade de remplissage de graine. Cette différence est due au fait que ces auteurs ont appliqué le stress hydrique en période de remplissage de graine, ce qui n'a pas affecté le nombre total de graine. Tandis que dans notre étude, c'est plutôt au stade de floraison que le stress hydrique a été appliqué conduisant à une réduction du nombre de graine par épi. Face au déficit hydrique, les réponses aussi bien morphologiques que physiologiques d'une espèce donnée dépendent du génotype testé, de la durée et de l'intensité du stress ainsi que du stade de développement correspondant à son application [34]. L'analyse des composantes de rendement peut servir de base pour la compréhension de

l'interaction génotype-environnement. Nos résultats ont montré un effet « génotype » sur le rendement et deux de ses composantes (NTG et IE). En effet, les génotypes les plus tolérants au déficit hydrique, *CZH142013* et *CZH1310001*, ont été les moins impactés en termes de rendement. En zone soudanienne au Niger, en saison des pluies, [4] ont rapporté que les variétés améliorées *CZH132163*, *CZH132194*, *CZH1262*, *CZH132150*, *CZH132139*, *CZH1155* et *CZH1261* sont plus productive et plus précoce que les variétés locales. En Turquie, sous climat méditerranéen, [33] ont trouvé que la variété de maïs hybride *Indaco* a présenté le rendement le plus élevé à cause de sa stabilité en nombre de grains et en poids de grains que les variétés *Sancia*, *71May69*, *Aaccel*, *Calgary*, *70May82*, *72May80*. En Azerbaijan (Iranien), [18] ont montré que le cultivar KSC720 qui présente le nombre de grains par épis, le nombre de grains par rangée et le poids de cent grains le plus élevés est plus productif que *KSC 700*, *KSC- N84-01* et *KSC 708GT* aussi bien en condition favorable qu'en condition de déficit hydrique.

5. Conclusion

Dans cette étude, le déficit hydrique a globalement eu un effet significatif sur le rendement. Cependant, cet effet a varié en fonction des génotypes. Le nombre total de graines est la composante de rendement qui est la plus liée à la baisse de production en condition de déficit hydrique. L'analyse du rendement et de ces composantes sur le modèle interaction génotype-environnement a montré que les variétés *CZH142013* et *CZH1310001* sont les plus tolérantes au déficit hydrique et présenteraient un intérêt agronomique potentiel dans la région sahélienne. Cependant, dans les zones arides et semi-arides, les hautes températures peuvent également constituer un facteur limitant la production céréalière ; il est donc nécessaire de tester la tolérance de ces deux variétés aux hautes températures afin de les proposer aux agriculteurs du centre-sud du Niger.

Références

[1] - (Septembre 2019) FAOSTAT Statistical Database of the Food and Agriculture, (2017), http://www.fao.org/statistics/databases/en/. Consulter le 10/09/2019

[2] - ÉRIC JOËL FOFIRI NZOSSIE, Joseph-Pierre Ndamè, Ludovic Temple, Sandrine Dury, Robert Ndjouenkeu et Michel Simeu Kamdem, " L'émergence du maïs dans la consommation alimentaire des ménages urbains au Nord Cameroun, "*Economie rurale*, (2010) 65 - 79

[3] - HENRI LERIDON, " Afrique subsaharienne : une transition démographique explosive," *Futuribles,* 407 (2015) 5 - 21

[4] - A. A. MOUSSA, V. K. SALAKO, D. S. J. CHARLEMAGNE GBEMAVO, M. ZAMAN-ALLAH, R. G. KAKAÏ et Y. BAKASSO, " Performances Agro-Morphologiques Des GenotypesLocales Et Améliorées De Maïs Au Sud-Ouest Du Niger, "*African Crop Science Journal*, Vol. 26, 2 (2018) 157 - 173

[5] - Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, " Résultats définitifs de la Campagne Agricole d'Hivernage 2014 et Perspectives Alimentaires 2014/2015, " Février (2015)

[6] - Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, " Rapport d'Evaluation de la Campagne Agricole d'Hivernage 2018 et Perspectives Alimentaires 2018/2019 ", Avril (2019)

[7] - Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, " La production de céréales et de niébé en Afrique de l'Ouest, et la place du Niger ", Mai (2010)

[8] - BEN PARKES, JENNIFER CRONIN, OLIVIER DESSENS, BENJAMIN SULTAN, " Climate change in Africa : costs of mitigating heat stress, " *Climatic Change*, 154 (2019) 461 - 476

[9] - AG. CIRILO, J. DARDANELLI, M. BALZARINI, FH. ANDRADE, M. CANTARERO, S. LUQUE, HM. PEDROL, " Morpho-physiological traits associated with maize crop adaptations to environments differing in nitrogen availability, " *Field Crops Research*, Vol. 113, (2009) 116 - 124

[10] - R. Hayat, S. Ali, " Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield, " *Int J Agric Biol*, 6 (2004) 998 - 1002

[11] - TL. SETTER, B. FLANNIGAN, J. MELKONIAN, " Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize " *Crop Sci*, 41 (2001) 1530 - 1540

[12] - C. PARTHEEBAN, C. N. CHANDRASEKHAR, P. JEYAKUMAR, R. RAVIKESAVAN and R. GNANAM, "Effect of PEG Induced Drought Stress on Seed Germination and Seedling Characters of Maize (Zea mays L.) Genotypes, " *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 6 (5) (2017) 1095 - 1104

[13] - ZAHRA KHODARAHMPOUR, " Screening maize (Zea mays L.) hybrids for salt stress tolerance at Germination stage, " *African Journal of Biotechnology*, 10 (71) (2011) 15959 - 15965

[14] - ZAHRA KHODARAHMPOUR, "Evaluation of drought stress effects on germination and early growth of inbred lines of MO17 and B73, "*African Journal of Microbiology Research*, 6 (16) (2012) 3749 - 3754

[15] - MANU M. MAGAR, ATIT PARAJULI, BINDESHWOR P. SAH, JIBAN SHRESTHA, BINESH M. SAKH, KESHAB B. KOIRALA, SHAMBHU P. DHITAL, "Effect of PEG Induced Drought Stress on Germination and Seedling Traits of Maize (Zea mays L.) Lines, " *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 6 (2) (2019) 196 - 205

[16] - JAVERIA RAMZAN, MUHAMMAD ASLAM, MUHAMMAD AHSAN and FAISAL SAEED AWAN, " Selection of Screening Criteria Against Drought Stress at Early Growth Stages in Maize (Zea mays L.), "*Pak. J. Agri. Sci*, 56 (3) (2019) 633 - 643

[17] - OUMAROU ABDOULAYE MOUSSA, SEYNI BOUREIMA, HASSANE BIL-ASSANOU ISSOUFOU, YACOUBOU BAKASSO, ALI MAHAMANE, MAHAMANE SAADOU, MAINASSARA ZAMAN-ALLAH, "Response of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids to Diurnal Variation of Vapor Pressure Deficit (VPD) and Progressive Soil Moisture Depletion, " *Journal of Plant Science*, 7 (2019) 1 - 7

[18] - MAROUF KHALILI, MOHAMMAD REZA NAGHAVI, ALIREZA POUR ABOUGHADAREH and HOUSHANG NASERI RA, " Effects of Drought Stress on Yield and Yield Components in Maize cultivars (*Zea mays* L.), "*International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (4) (2013) 809 - 812

[19] - OUMAROU ABDOULAYE MOUSSA, HASSANE BIL-ASSANOU ISSOUFOU, ALI MAHAMANE, MAHAMANE SAADOU, MAINASSARA ZAMAN-ALLAH, " Agro-Morphological Evaluation of Three Exotic Maize Genotypes (*Zea mays* L.) in the Sahelian Context: Prospects for Improving Local Production, "*Int. J. Pure App. Biosci*, 7 (2) (2019) 1 - 9

[20] - R. MAKANZA, M. ZAMAN‐ALLAH, J. E. CAIRNS, J. EYRE, J. BURGUEÑO, ÁNGELA PACHECO, C. DIEPENBROCK, "Correction to : High‐throughput method for ear phenotyping and kernel weight estimation in maize using ear digital imaging, "*Plant Methods*, 14 (2018) 49

[21] - R. G. BATES, " Electrometric pH Determinations, " John Wiley and sons, Inc., New York, (1954)

[22] - G. H. BOUYOUCOS, " A Recalibration Hydrometer for Making Mechanical Analysis of soils, " *Agronomy Journal*, 43 (1951) 434 - 438

[23] - A. WALKLEY and I. A. BLACK, " An Examination of degtjareff Method for DeterminingSoil Organic Matter and proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method ", *Soil Science*, 37 (1934) 29 - 38

[24] - C. GRANIER, D. INZÉ & F. TARDIEU," Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status," *Plant Physiology*, 124 (2000) 1393 - 1402

[25] - G. O. EDMEADES, M. BÄNZIGER, H. R. MICKELSON and C. B. PEÑA-VALDIVIA, " Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize, " Proceedings of a Symposium, CIMMYT, El Batán, Mexico, March (1996)

[26] - F. TARDIEU & T. SIMONNEAU, " Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours", *Journal of Experimental Botany*, 49 (1998) 419 - 432

[27] - F. TARDIEU, "Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress, " *C. R. Geoscience*, 337 (2005) 57 - 67

[28] - P. MONNEVEUX, C. SANCHEZ and A. TISSEN, "Future progress in drought tolerance in maize needs new secondary traits and cross combinations " *J. Agric. Sci.*, 146 (2008) 287 - 300

[29] - J. BOLANOS & G. EDMEADES, "Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior " *Field Crops Res.*, 31 (1993) 253 - 268

[30] - M. YUSUF, "Genetic variability and correlation in single cross hybrids of quality protein maize (*Zea mays* L.) " *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development,* 10 (2) (2010) 2166 - 2175

[31] - INAMULLAH, N. REHMAN, N. H. SHAH, M. ARIF, M. SIDDIQ and I. MIAN, "Correlations among grain yield and yield attributes in maize hybrids in various nitrogen levels " *Sharad J. Agric*, 27 (4) (2011) 531 - 538

[32] - G. BIKAL and T. DEEPIKA, "Analysis of yield and yield attributing traits of maize genotypes in Chitwan, Nepal " *World Journal of Agricultural Research,* 3 (5) (2015) 153 - 162

[33] - AYMAN EL SABAGH, CELALEDDIN BARUTÇULAR, HIROFUMI SANEOKA, " Assessment of Drought Tolerance Maize Hybrids at Grain Growth Stage in Mediterranean Area, "*International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering,* 9 (2015) 1010 - 1013

[34] - M. M. CHAVES, J. S. PEREIRA, J. MAROCO, M. L. RODRIQUES, , C. P. P. RICARDO, , M. L. OSARIO, , I. CARVALHO, T. FARIA and C. PINHEIRO, "How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth " *Ann. Bot*, 89 (2002) 907 - 91