



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

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

Evaluation des génotypes de mil *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. pour la résistance ou la tolérance à la mineuse de l'épi de mil, *Heliocheilus albipunctella* De Joannis au Niger

Mahamane Nassirou OUMAROU¹, Ibrahim BAOUA^{2*}, Abdoul Aziz SAIDOU³ et Laouali AMADOU L¹

¹Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) BP 240 Maradi Niger.

² Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi, BP 465 Maradi, Niger.

³Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UMR AGAP, Montpellier, France.

*Corresponding author; E-mail: baoua.ibrahim@gmail.com

RESUME

La Mineuse de l'Epi de Mil (MEM), *Heliocheilus albipunctella* De Joannis est un ravageur endémique du mil en zone sahélienne. Elle est responsable de la perte de plus de 60% de la production de cette céréale. Pour l'identification des génotypes résistants ou tolérants à ce ravageur, des tests de criblage de 31 variétés ont été mis en place au niveau des 3 villages de la région de Maradi en 2016 et 2017 avec un dispositif de parcelles en blocs randomisés. L'analyse en composante principale a permis de dégager 3 groupes : 1) les variétés précoces et infestées par la MEM ; 2) celles tardives et moins infestées par le ravageur et 3) les génotypes tardifs à haut rendement. Le taux d'infestation des variétés est négativement corrélé au délai 50% floraison ($r = -0,75$) et positivement corrélé à l'importance des dégâts du ravageur notamment le nombre des mines ($r = 0,97$) et la longueur des mines ($r = 0,98$). La variété Moro avec un délai 50% floraison court de 74 jours, un épi compact et un taux d'infestation de 2,45% a été identifiée comme résistante. Les variétés CZ-SNY-03-11, Toroniou-HTC, PE00353, PE01490 et PE00077 avec des taux d'infestation variant de 0,89 à 2,76% semblent présenter une pseudo-résistance à la MEM. Ces dernières ont présenté un délai 50% floraison plus long de 87 à 100 jours qui leurs a permis d'échapper à l'infestation du ravageur. La compacité des épis et la longueur du cycle sont apparues comme des caractères fortement héritables ($h^2 > 89$). Les informations obtenues ont révélé l'existence des aptitudes à la résistance avec la variété Moro. Les activités de recherche peuvent désormais se focaliser sur la recherche des gènes responsables de cette résistance pour une amélioration génétique et dans le cadre d'une lutte intégrée contre la MEM.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Précocité, infestation, compacité, héritabilité, pseudo-résistance.

Screening of millet genotypes *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. for resistance or tolerance to the mil head miner, *Heliocheilus albipunctella* De Joannis in Niger

ABSTRACT

The Millet Head Miner (MHM), *Heliocheilus albipunctella* De Joannis is an endemic pest of millet in the Sahelian zone. It is responsible for the loss of more than 60% yield of this cereal. To identify resistant or tolerant genotypes, screening tests were conducted with 31 varieties in villages of Maradi region in 2016 and

2017 with a randomized block design. Principal component analysis identified 3 groups: 1) early and MHM-infested varieties; 2) late and less infested by the pest; and 3) high yielding late genotypes. Variety infestation rate was negatively correlated with the 50% flowering ($r = -0.75$) and positively correlated with the importance of the pest damage including the number of mines ($r = 0.97$) and the length of mines ($r = 0.98$). The Moro variety with a 50% flowering time of 74 days, a compact panicle and an infestation rate of 2.45% was identified as resistant. Varieties CZ-SNY-03-11, Toroniou-HTC, PE00353, PE01490 and PE00077 with infestation rates ranging from 0.89 to 2.76% appear to have a pseudo-resistance to MHM. These genotypes had 50% longer flowering time of 87 to 100 days which allowed them to escape the pest infestation. The compactness of panicles and the length of the cycle appeared as strongly heritable characters ($h^2 > 89$). The information obtained revealed existence of some resistance in the Moro variety. Future activities could focus on finding the genes responsible for this resistance for genetic improvement as part of an integrated control of the MHM.

© 2020 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Precocity, infestation, compactness, heritability, pseudo-resistance.

INTRODUCTION

Le mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., est l'une des céréales les plus cultivées dans les régions arides et semi-arides (Sehgal et al., 2012). En Afrique de l'Ouest, le mil constitue un aliment de base de la population. Il tolère la sécheresse, la chaleur et les précipitations erratiques (Gahukar, 2019). Cependant, la Mineuse de l'Epi de Mil (MEM), *Heliocheilus albipunctella* De Joannis est devenue l'un des plus importants ravageurs de cette culture depuis les années de sécheresse de 1972-1974 occasionnant des pertes de plus de 60% de rendement (Youm, 2001 ; Amadou et al., 2017 ; Oumarou, 2019). Des études ont été conduites sur sa taxonomie (Matthews, 1987) et sa bio-écologie (Gahukar et al., 1986; Bernardi et al., 1989; Youm et Owusu, 1998). Pour lutter contre la MEM, plusieurs produits chimiques ont été testés sur ce ravageur (Gahukar, 1990a; Jago et al., 1993), mais l'usage des pesticides chimiques de synthèse est non seulement nocif à l'homme et son environnement (Gahukar, 2020), mais aussi n'est pas à la portée des producteurs compte tenu de leur faible revenu.

Au cours de cette dernière décennie, les activités de recherche ont été orientées vers la lutte biologique dont l'efficacité a été démontrée par plusieurs auteurs (Ba et al., 2014 ; Baoua et al., 2014 ; Amadou et al., 2017 ; Kaboré et al., 2017). En Afrique sahélienne, la forte variabilité environnementale exige l'usage de plusieurs

méthodes de lutte pour une gestion intégrée de la MEM. Ainsi l'utilisation des variétés résistantes à la MEM apparaît parmi les stratégies les plus adaptées au besoin des producteurs, comme elles exigent moins d'investissement et ne nuisent pas à l'environnement. Des travaux récemment effectués au Niger et au Sénégal ont rapporté les génotypes Moro, Souna 3, Thiameck-2 et PE08043 comme résistantes à la MEM (Ba, 2017 ; Goudiaby et al., 2018).

Pour le mécanisme de la résistance, Kadi Kadi (2005) a fait cas de la compensation, la non-préférence des femelles à pondre sur les épis et la pseudo-résistance. L'antixénose a été rapporté par Guevremont (1982) et Gahukar (1984). La compacité des épis et la présence des soies involucre et pédoncules floraux courts expliquent la faible infestation des génotypes par la MEM. Ba (2017) a rapporté des cas d'antibiose sur les variétés ICMV IS 89305, Gamoji, ICMV 177003, ICMV IS 85327, LCIC 9702, Moro, ICMV IS 92326, Souna 3, ICMV IS 94206, PE08043 et Ex borno. Une étude en station a démontré que ces génotypes permettaient le développement d'un faible nombre de larves du ravageur.

La présente étude a été conduite pour tester la performance de 31 variétés de mil actuellement en diffusion dans la zone sahélienne pour la résistance ou la tolérance à la MEM. Les résultats pourront être valorisés

par les programmes nationaux de sélection variétale et de vulgarisation.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

L'étude a été conduite dans la région de Maradi située au centre-sud du Niger, caractérisée par un climat de type sahélien semi-aride. La pluviométrie annuelle a varié de 334 à 583 mm/an étalée sur 3 à 4 mois. Les essais ont été installés en 2016 dans les villages de Malamaye Saboua (13,53208 ; 7,363298) et Dan Kada (13,513899 ; 7,659701). En 2017, un troisième site a été ajouté au niveau du village de Taka Lafia (13,64015 ; 7,045207). Le mil est cultivé sur des sols dunaires et sableux avec une faible teneur en matières organiques. Le semis des essais a été effectué dans la période du 20 mai au 5 juin selon les années avec les premières pluies utiles.

Dispositif expérimental

Il a été utilisé une collection de 31 génotypes originaires de l'Afrique de l'Ouest et de l'Inde (Tableau 1). Vingt-neuf (29) variétés proviennent de l'ICRISAT, Niger dont 17 issues de la collection IRD / ICRISAT réalisée en 1976 et 2003.

Le dispositif en blocs randomisés a été utilisé avec 2 répétitions en 2016 et 3 répétitions en 2017. Les parcelles élémentaires étaient composées de deux (2) lignes de dix (10) poquets chacune. Les lignes et les poquets étaient distants de 0,8 m. L'écartement entre les blocs était de 1,6 m. Le premier sarclage et le démariage à 3 plants ont été effectués 3 semaines après le semis. L'engrais (NPK) a été apporté en microdose (2 g par poquet) après le démariage. Les apports d'urée (5 g) ont été effectués 5 semaines après le semis au deuxième sarclage.

Collectes des données

Elle a débuté sept (7) semaines après le semis au stade nouaison du mil. Sur les parcelles élémentaires, les paramètres suivants ont été déterminés : nombre total des poquets,

délai 50% floraison (DF50), nombre total d'épis, nombre d'épi infesté et la production en grains. Sur les épis individuels, il a été déterminé : la longueur (LE), le nombre (NM) et la longueur totale des mines (LTM) par épi infesté, la compacité (CE) estimée par le nombre moyen des grains de mil par cm².

Le taux d'infestation (TI) des épis du mil par la MEM a été calculé par la formule suivante : $TI = (NEI / NTE) * 100$

Avec NEI : Nombre d'épis infestés par parcelle et NTE : Nombre total d'épis par parcelle.

Le rendement (Rdt) a été calculé par la formule suivante : $Rdt = (PGP/S) * 10\ 000$.

Avec PGP : Production Grain par parcelle et S : superficie de la parcelle.

Analyses statistiques

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour regrouper les variétés en fonction des sept (7) variables : délai 50% floraison (DF50), taux d'infestation (TI), longueur de l'épi (LE), nombre des mines (NM), longueur totale des mines (LTM), compacité de l'épi (CE) et rendement (Rdt). Chacun des sites expérimentaux par année a constitué un environnement d'étude (Tableau 2).

Les corrélations entre les variables ont été déterminées par le coefficient de Pearson « r » et le test de Student. L'héritabilité à sens large (h²) a été estimée par la formule suivante (Otecbeye & SAMARAWRA, 1992):

$$h^2 = \sigma_g^2 \times \left(\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{ge}^2}{E} + \frac{\sigma_e^2}{ER} \right)^{-1}$$

Avec σ_g^2 , la variance génotypique ; σ_{ge}^2 , variance de l'interaction génotype – environnement (G x E); et σ_e^2 , variance de l'erreur résiduelle de la répétition R et de l'environnement E.

Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les taux d'infestation entre les variétés.

Tableau 1: Liste des géotypes testés et leurs origines.

Origines des géotypes	Nombre géotypes	Géotypes testés
Burkina Faso	2	PE05927* et PE05984 (JIRA-NI)*
Cameroun	2	PE00025* et PE00077*
Inde	2	ICMV-221 patch-Source et ICMV-221 wh
Mali	5	CZ-SNY-03-11, PE00353*, PE05532 (SUPERSOSAT)*, PE05578 (mil de siaka)* et TORONIOU-HTC
Mauritanie	2	PE08043* et PE08030 (Sounama)*
Niger	15	CIVT-GMS, PE02604*, PE02783*, Moro, Zatib, 3/4KBH, ICRI-Tabi, KBH – Normal, M2D2 x SOUNA-3, GB8735*, ICMV IS 92222*, PE02935 x Sounna3, SOSAT-C88*, Zanfarwa et Zango
Nigeria	1	AON-644*
Sénégal	2	SOUNA3* et PE01490*
Total	31	

* = Géotypes provenant de la collection de l'IRD et ICRISAT.

Tableau 2: Date de semis et cumuls pluviométriques dans l'environnement d'étude.

Années	Sites	Date de semis	Cumul pluie (mm)	Nombre jours de pluie
2016	M. Saboua	20 mai	387,3	32
	Dan Kada	23 mai	583,2	22
2017	M. Saboua	26 mai	575	25
	Dan Kada	26 mai	334,8	28
	Taka Lafia	5 juin	452,5	26

RESULTATS

Le taux d’infestation des épis a varié de 0,89 à 25,82% selon les variétés avec une moyenne de 8,41% (ddl = 30 ; $p < 0,001$). Les ratios les plus bas ont été enregistrés avec les génotypes Moro, CZ-SNY-03-11, Toroniou-HTC, PE00353, PE01490 et PE00077. Le DF50 a été de 74 jours pour la variété Moro et entre 87 et 100 jours pour les 5 autres variétés (Figure 3). Les taux d’infestation les plus élevés ont été notés chez les variétés GB8735, ICMV-221 wh, PE0598, PE02604 et ICMV-221 patch-source. Elles ont présenté un DF50 compris entre 61 et 70 jours.

Les trois premiers axes de l’ACP ont permis d’expliquer 90,9% de la variabilité des données (Tableau 3).

L’axe1 qui a expliqué 61,1% de la variabilité a regroupé les variables suivantes : DF50, TI, NM et LTM. Il a permis de caractériser principalement les variétés de mil à cycle court et présentant un taux d’infestation élevé (Figure 1). Il s’agit des variétés GB8735, ICMV-221 patch-source, ICMV-221 wh et PE0598 (Figure 2). La variable DF50 a été négativement corrélée à la variable TI. Elle est positivement corrélée à la longueur et la compacité des épis (Tableau 4).

Le deuxième axe a exprimé 19,2% de la variabilité et a concerné les variables Rdt et LE. Il a regroupé les variétés de mil à épis long, rendement élevé et un taux d’infestation bas (Figure 1). Il s’agit des variétés Zongo, Zanfarwa, CIVT-GMS et la PE0527 (Figure 2). La variable LE a été positivement corrélée au rendement (Tableau 4).

Le troisième axe corrélé à la compacité des épis a expliqué 10,50% de la variabilité totale. Il a regroupé les génotypes Moro, PE00077, PE00025 et CZ-SNY-03-11 (Figure 2). La variable CE a été positivement corrélée à la variable DF50 et négativement corrélée au taux d’infestation (Tableau 4).

Les écarts entre les données minimales et maximales ont été élevés (Tableau 5). Les variances génotypiques (σ_g) et l’interaction génotype-environnement (σ_{gxe}) ont été fortement significatives ($p < 0,01$) pour les variables DF50, LE, CE et TI. Ces caractères ont présenté des valeurs d’héritabilité élevées ($h^2 > 70$). La variable Rdt a variée selon les environnements et a présenté une faible valeur d’héritabilité ($h^2 = 0,31$).

Tableau 3: Valeurs propres et pourcentage de variation exprimés par les trois premiers axes pour 7 variables analysées.

Composante principale	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Variance propre	4,2799	1,3471	0,738
Variance totale (%)	0,611	0,192	0,105
Variance totale cumulée (%)	0,611	0,804	0,909
Délai 50% floraison (DF50)	0,405	0,056	0,187
Taux d’infestation (TI)	-0,464	-0,131	-0,083
Nombre des mines (NM)	-0,469	-0,042	-0,077
Longueur totale des mines (LTM)	-0,465	-0,067	-0,08
Rendement (Rdt)	0,122	-0,68	-0,624
Longueur de l’épi (LE)	0,26	-0,625	0,366
Compacité de l’épi (CE)	0,319	0,348	-0,65

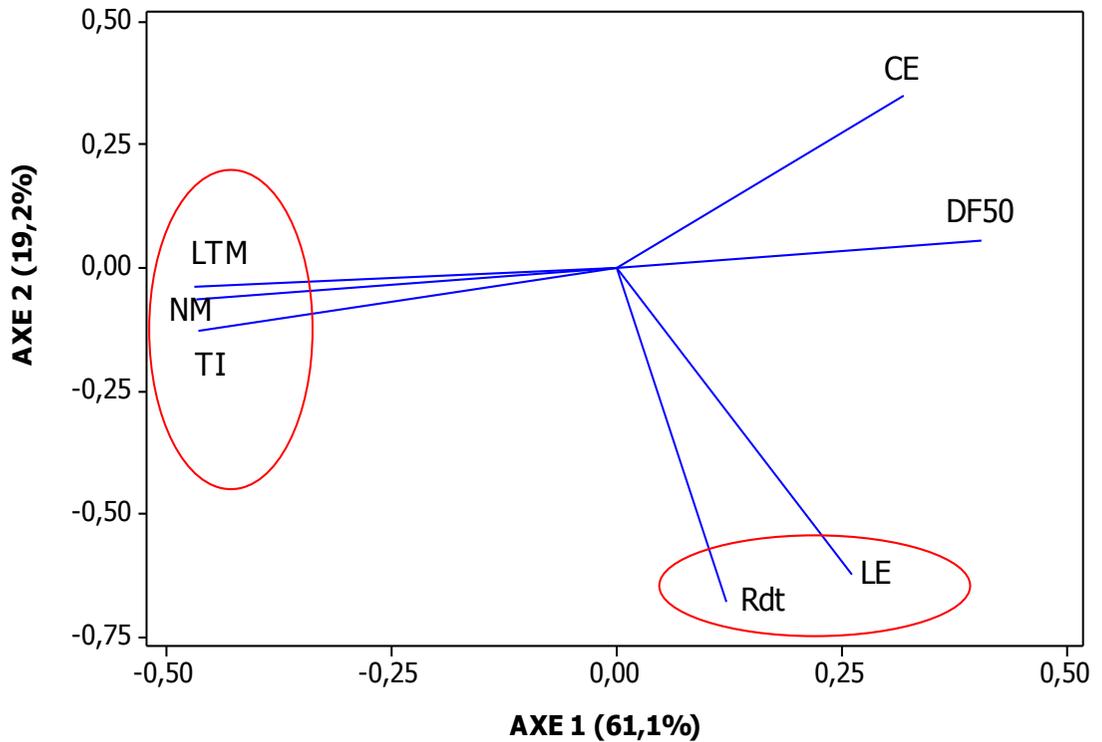


Figure 1: Structuration des caractères agro-morphologiques des variétés en lien avec l’incidence du ravageur *H. albipunctella*.

Tableau 4: Matrice des corrélations entre les variables mesurées en 2016 et 2017.

	DF50	TI	Rdt	NM	LM	CE
TI	-0,752**					
Rdt	+0,071 ns	-0,105 ns				
NM	-0,728**	+0,972**	-0,183 ns			
LTM	-0,712**	+0,981**	-0,162 ns	+0,991**		
CE	+0,546**	-0,603**	+0,101 ns	-0,58**	-0,574**	
LE	+0,478**	-0,386*	+0,492*	-0,477**	-0,442*	-0,027 ns

* : significative au seuil de 5%.

** : significative au seuil de 1%.

ns : non significatif au seuil de 5%.

Variables : TI = Taux d’Infestation ; Rdt = Rendement ; LE = Longueur des Epis ; NM = Nombre des Mines par épi ; LTM = Longueur Totale des Mines par épi ; CE = Compacité des épis ; DF50 = Délai 50% Floraison.

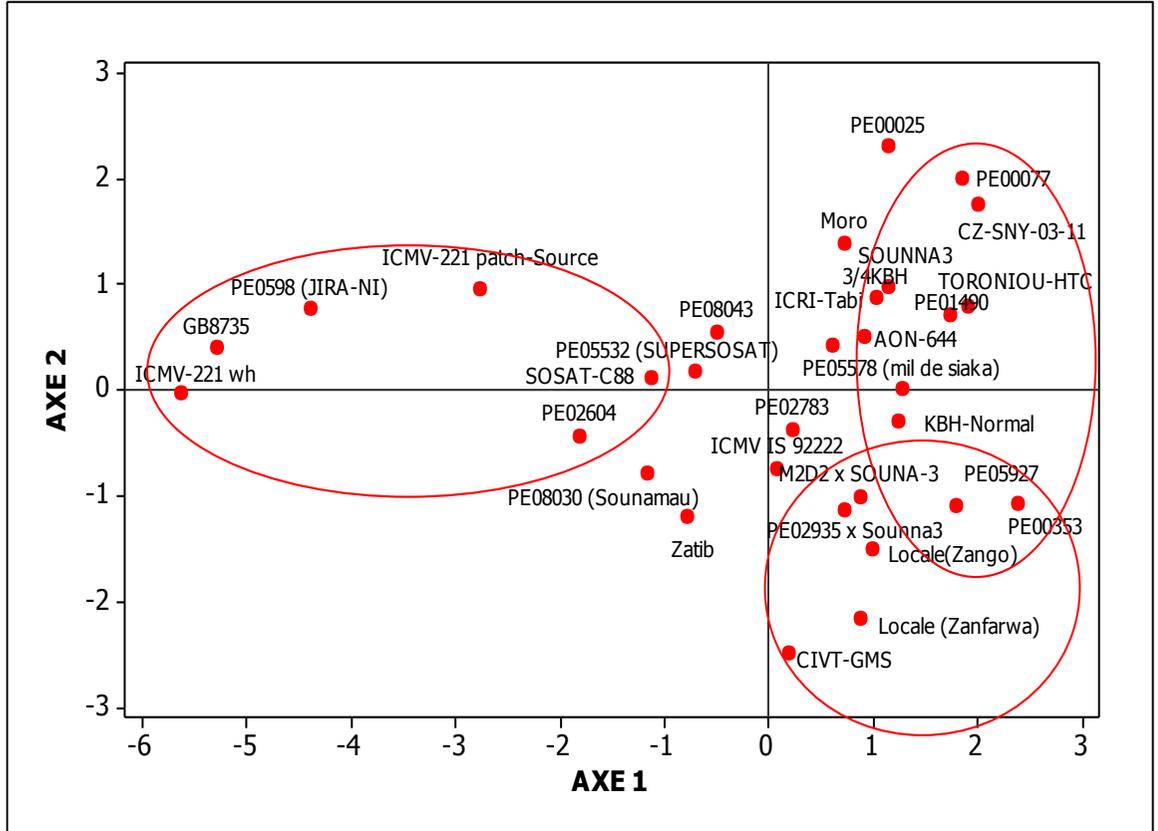


Figure 2: Structuration agro-morphologique des variétés en lien avec l'incidence de la *H. albipunctella*.

Tableau 5: Moyennes et variance génotypique (σ_g), interaction génotype – environnement (σ_{gxe}), environnementale (σ_e) et héritabilité (h^2) pour les variables mesurées sur 31 variétés testées en 2016 et 2017.

Variables	Moyenne	Mini -Maxi	Variance			h^2
			σ_g	σ_e	σ_{gxe}	
DF50 (jours)	81,50	63,00 – 99,80	83,76**	15,25**	28,28**	0,89
TI (%)	8,87	0,92 – 27,64	60,53**	42,34**	25,72**	0,77
Rdt (Kg/ha)	761,00	1474,90 – 295,60	13170,45	250473,40**	93395,46**	0,31
LE (cm)	34,91	16,53 – 61,53	98,65**	11,73**	16,08**	0,95
CE (grains/cm ²)	20,46	14,45 – 28,85	11,08**	0,87	2,17**	0,90

*, ** respectivement corrélation significative au niveau 5% et 1%.

TI = Taux d'Infestation ; Rdt = Rendement ; LE = Longueur des Epis ; CE = Compacité des épis ; DF50 = Délai 50% Floraison.

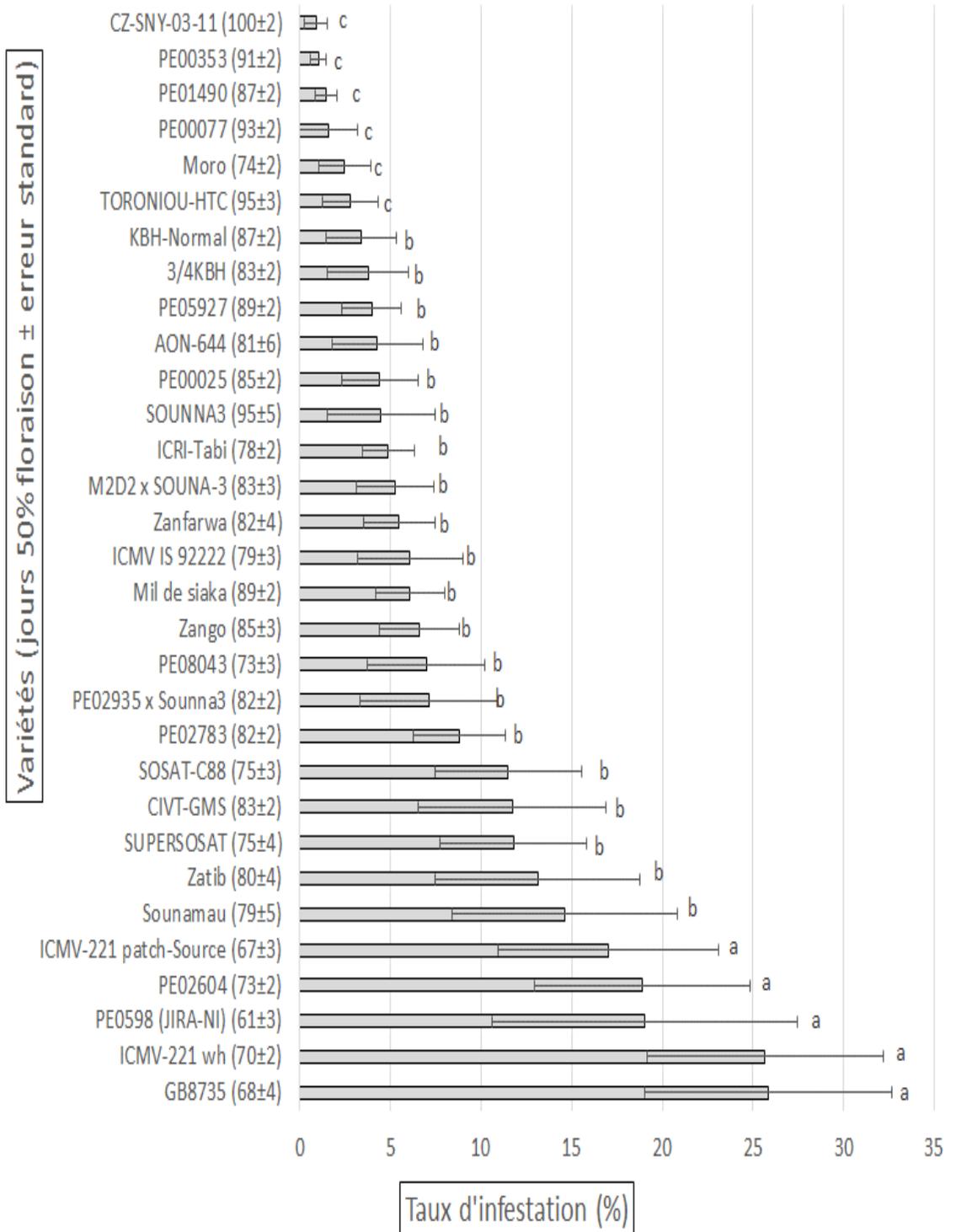


Figure 3: Moyennes d'infestation du mil par *H. albipunctella* et délais 50% floraison des variétés testées en 2016 et 2017.

DISCUSSION

Les données collectées démontrent que les caractéristiques des variétés testées semblent influencer l'infestation du mil par la MEM. Le taux d'infestation des génotypes a été négativement corrélé au délai 50% floraison. Au Niger, plusieurs auteurs ont déjà rapporté des coefficients de corrélation (r) de -0,7 ; -0,83 et -0,88 entre les taux d'infestation et les délais 50% épiaison et maturité du mil (ICRISAT, 1981 ; Guèvremont, 1982 ; 1983). Les variétés qui fleurissent tardivement s'exposent moins aux infestations et aux dégâts de la MEM. Les génotypes précoces qui fleurissent plus tôt en saison connaissent les infestations plus importantes de ravageur (Gahukar, 1987 ; 1990a ; Youm and Kumar, 1995 ; Gamatché, 2006).

Il est souvent avancé que les caractéristiques physiques des épis peuvent expliquer la faible infestation du mil au ravageur. Selon plusieurs études, les variétés à épis longs ou compacts sont moins attaquées par la MEM (Vercambre 1978 ; Guevremont, 1983 ; Gahukar, 1984 ; Nwanze et Harris 1992 ; Kassari, 2016). La taille de l'épi et la densité des graines peuvent influencer les infestations du mil par le ravageur comme démontré dans la présente étude. Il a été obtenu une corrélation de -0,6 à -0,4 entre ces deux paramètres et les niveaux d'infestation des épis. Cependant, Upadhyaya (2011) en Inde, a évalué 2094 accessions de mil. Il a démontré qu'il existe une corrélation positive entre la longueur du cycle des variétés et celle des épis. On peut donc présumer que les faibles infestations du mil ne sont pas uniquement liées à la longueur et à la compacité des épis, mais aussi à la durée du cycle de développement de la variété. Les études antérieures n'ont presque pas fait mention de la relation qui existe entre la compacité de l'épi et le cycle de la culture.

Certaines variétés ont des périodes d'épiaison-floraison ne coïncidant pas avec le vol des adultes de la MEM. Ces génotypes présentent un stade de développement non propice à la ponte du ravageur pendant sa période d'infestation du mil. Ce phénomène a été qualifié de pseudo-résistance par Gahukar

(1987) et Youm (1995). Guèvremont (1982) a aussi noté qu'une variété du mil est d'autant plus infestée par la MEM lorsque ses épis qui servent de support de ponte aux ravageurs sont dégagés durant la période de vol des adultes.

Parmi les 31 variétés testées, le génotype Moro est la seule variété précoce ayant présenté un taux d'infestation très bas. Ce génotype peut être considéré comme résistant à la MEM. Sa performance semble être comparable à celle des variétés souna 3 et PE08043 comme rapporté par Ba (2017). Il s'agit d'une variété précoce obtenue par épuration en 1983 au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Maradi au Niger. Elle est cultivée préférentiellement dans la zone comprise entre 200 et 300 mm, c'est une variété à épi compact avec un rendement potentiel de 1 à 1,8 T/ha (INRAN, 1987).

Cinq autres variétés dont CZ-SNY-03-11, Toroniou-HTC, PE00353, PE01490 et PE00077 ont été faiblement infestées par le ravageur. Ces génotypes qui présentent un délai 50% floraison variant de 87 à 100 jours ont échappés aux attaques du ravageur en raison du décalage entre leur période d'épiaison et celle du vol des adultes de la MEM. Il s'agit donc d'une pseudo-résistance telle que décrit plus haut.

Certains caractères des épis ont des valeurs d'héritabilité supérieures à 89%. Il s'agit principalement de délai 50% floraison, la longueur et la compacité des épis. D'autres auteurs (Pucher, 2015 ; Sattler, 2018) ont aussi rapporté des valeurs d'héritabilité très élevées pour ces trois caractères ($h^2 > 0,82$). Ces paramètres ont très peu varié selon les environnements d'étude. L'information sur la variabilité et l'héritabilité des caractères est essentielle pour identifier les caractères à améliorer génétiquement par la sélection (Vidya et al., 2006). Ces caractères qui sont plus ou moins stables peuvent être ciblés par les sélectionneurs pour l'amélioration génétique du mil au Sahel.

La variété Moro a montré une résistance à la MEM pendant les deux années, des recherches doivent être conduites pour expliquer le mécanisme de résistance de ce

génotype et identifier les gènes responsables de ce comportement.

Conclusion

Le travail réalisé a permis d'évaluer le comportement de quelques variétés du mil par rapport aux attaques de la MEM. Les variétés à cycle relativement long et des épis compacts ont échappé à l'infestation du ravageur. C'est le cas de la CZ-SNY-03-11, Toroniou-HTC, PE00353, PE01490 et PE00077. Par contre, il a été noté une résistance chez la variété Moro qui est caractérisée par un cycle court mais avec des épis compacts. Le cycle variétal et la compacité des épis sont des caractères fortement héréditaires. L'étude a permis d'identifier des pistes pour l'amélioration génétique du mil.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts en rapport avec cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

MNO et IB ont participé à la conception de l'article, à la recherche documentaire, à la synthèse des données scientifiques et à la rédaction du manuscrit. AAS et LA ont assuré la correction et la finalisation du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Cette activité a été réalisée grâce au soutien financier du projet « Gestion Intégrée de la Mineuse de l'Epi du Mil, phase III (GIMEM 3) » financé par le CCRP de la fondation McKnight. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs et ne reflètent pas les points de vue de la fondation McKnight.

REFERENCES

Amadou L, Baoua IB, Ba MN, Haussmann B, Altiné M. 2017. Gestion de la chenille mineuse de l'épi du mil par des lâchers du parasitoïde *Habrobracon hebetor* Say au Niger. *Cah. Agric.*, **26**(5): 55003. DOI: 10.1051/cagri/2017045

Ba MN, Baoua IB, Kaboré A, Amadou L, Oumarou N, Dabire-Binso C, Sanon A.

2014. Augmentative on-farm delivery methods for the parasitoid *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) to control the millet head miner *Heliocheilus albipunctella* (de Joannis) (Lepidoptera: Noctuidae) in Burkina Faso and Niger. *Bio. Control*, **59**(6): 689-696. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-014-9613-8>

- Ba MN. 2017. Sustainable large-scale biological control of the millet head worm in the Sahel. Technical annual report, ICRISAT, Niamey, Niger.
- Baoua IB, Amadou L, Oumarou N, Payne W, Roberts JD, Stefanova K, Nansen C. 2014. Estimating effect of augmentative biological control on grain yields from individual pearl millet heads. *Journal of Applied Entomology*, **138**(4): 281-288. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12077>
- Bernardi M, Mishoe JW, Jones JW. 1989. Raghava: A computer simulation of *Raghava albipunctella* population dynamics, and *Pennisetum americanum* and *P. typhoides* phenology. *Ecological Modelling*, **44**(3-4): 275-298. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(89\)90034-3](https://doi.org/10.1016/0304-3800(89)90034-3)
- Gahukar RT, Das RK. 2020. Plant-derived nanopesticides for agricultural pest control: challenges and prospects. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, **5**(1): 3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41204-020-0066-2>
- Gahukar RT, Ba MN. 2019. An Updated Review of Research on *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae), in Sahelian West Africa. *Journal of Integrated Pest Management*, **10**(1): 3. DOI: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz003>
- Gahukar RT, Guèvremont H, Bhatnagar VS, Doumbia YO, Ndoye M, Pierrard G. 1986. A review of the pest status of the millet spike worm, *Raghava albipunctella* De Joannis (Noctuidae: Lepidoptera) and its management in the Sahel. *International Journal of Tropical*

- Insect Science*, **7**(4): 457-463. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742758400009668>
- Gahukar RT. 1984. Rapport d'activité de l'année 1983. Programme d'entomologie : Projet CILSS de lutte intégrée, Nioro du Rip, Senegal.
- Gahukar RT. 1987. Relationship between spike worm (*Raghuva albipunctella*) infestation and flowering of pearl millet, and some sources of resistance. *Agronomie*, **7**: 595-598. DOI: 10.1051/agro:19870806
- Gahukar RT. 1990a. Reaction of Locally Improved Pearl Millets to Three Insect Pests and Two Diseases in Senegal. *J. Econ. Entomol.*, **83**(5): 2102-2106. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/83.5.2102>
- Gahukar RT. 1990b. Field screening of pearl millet cultivars in relation to insects and diseases. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, **11**: 13-19. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742758400019780>
- Gamatché I. 2006. Contribution à la connaissance de la biologie et l'éthologie de *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera, Braconidae) ectoparasitoïde de *Heliocheilus albipunctella* De Joannis (Lepidoptera, Noctuidae) dans la région de Maradi au Niger. Mémoire de fin de cycle, IPR de Katibougou, Mali, 80 p.
- Goudiaby MF, Sarr I, Sembene M. 2018. Source of resistance in pearl millet varieties against stem borers and the ear headminer. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **6**(1): 1702-1708. DOI: <http://eprints.icrisat.ac.in/id/eprint/15792>
- Guèvremont H. 1982. Etudes sur la mineuse de l'épi et autres insectes du mil. Rapport annuel de recherches pour l'année 1981, CNRA de Tama, Maradi, Niger, 57 p.
- Guèvremont H. 1983. Recherche sur l'entomofaune du mil. Rapport annuel de recherches pour 1982, CNRA, Tama, Niger, 69 p.
- ICRISAT. 1981. Section entomologie, Rapport annuel de 1980. ICRISAT, Centre Sahélien, Niamey, Niger, 18 p.
- INRAN (Institut National de Recherche Agronomique du Niger). 1987. Catalogue des variétés Recommandées de mil, sorgho, niébé et autres cultures du Niger. INRAN, 67 p.
- Jago ND, Kremer AR, West V. 1993. Les pesticides sur le Mil au Mali. *NRI Bulletin*, **50**.
- Kabore A, Ba NM, Dabire-Binso CL, Sanon A. 2017. Field persistence of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) following augmentative releases against the millet head miner, *Heliocheilus albipunctella* (de Joannis) (Lepidoptera: Noctuidae), in the Sahel. *Biological Control*, **108**(2017): 64–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.03.001>
- Kadi Kadi HA, Pendleton BB. 2005. Evaluation of pearl millet for resistance to millet head miner in Niger. *International Sorghum and Millets Newsletter*, **46**: 115-116. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301059947>
- Kassari IA. 2016. Development of head miner (*Heliocheilus albipunctella*) resistant pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) r. br.] hybrids in Niger. Thesis, University of Ghana.
- Matthews M. 1987. The African species of *Heliocheilus* Grote (Lepidoptera: Noctuidae). *System Entomology*, **12**: 459-473. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.1987.tb00218.x>
- Nwanze KF, Harris KM. 1992. Insect pests of pearl millet in West Africa. *Review of Agriculture Entomology*, **80**(12): 1132-1155. DOI: <http://oar.icrisat.org/id/eprint/1230>
- Nwanze KF. 1985. Some aspects of pest management and host plant resistance in pearl millet in the Sahel. *International Journal of Tropical Insect Science*, **6**(3): 461-465. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742758400004793>

- Otecbeye GO, Samarawra I. 1992. Genetics of Growth and Quality Characteristics of Eucalyptus. *Silvae Genetica*, **41**: 4-5.
- Oumarou N, Baoua I, Saidou AA, Amadou L, Stern D. 2019. Perception des paysans sur la contrainte de la mineuse de l'épi *Heliocheilus albipunctella* De Joannis, ravageur important du mil en zone sahélienne. *Tropicicultura*, **37**(1). DOI: <https://doi.org/10.25518/2295-8010.255>
- Pucher A, Sy O, Angarawai II, Gondah J, Zangre R, Ouedraogo M, Haussmann BI. 2015. Agro-morphological characterization of West and Central African pearl millet accessions. *Crop Science*, **55**(2): 737-748. DOI: 10.2135/cropsci2014.06.0450
- Sattler FT, Sanogo MD, Kassari IA, Angarawai II, Gwadi KW, Dodo H, Haussmann BIG. 2018. Characterization of West and Central African accessions from a pearl millet reference collection for agro-morphological traits and Striga resistance. *Plant Genetic Resources*, **16**(3): 260-272. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1479262117000272>
- Sehgal D, Rajaram V, Armstead IP, Vadez V, Yadav YP, Hash CT. 2012. Integration of gene-based markers in a pearl millet genetic map for identification of candidate genes underlying drought tolerance quantitative trait loci. *BMC Pl. Biol.*, **12**(1): 9. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-9>
- Upadhyaya HD, Yadav D, Reddy KN, Gowda CLL, Singh S. 2011. Development of pearl millet minicore collection for enhanced utilization of germplasm. *Crop Science*, **51**(1): 217-223. DOI: 10.2135/cropsci2010.06.0336
- Vercambre B. 1978. *Raghuva* spp. et *Masalia* sp., chenilles des chandelles du mil en zone sahélienne. *L'Agronomie Tropicale*, **33**(1): 62-79. DOI : <https://agritrop.cirad.fr/421402/>
- Vidya C, Oommen SK, Kumar V. 2006. Genetic variability and heritability of yield and related characters in yard-long bean. *Journal of Tropical Agriculture*, **40**: 11-13. DOI: <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810063417>
- Youm O, Kumar KA. 1995. Screening and breeding for resistance to millet head miner. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh, India.
- Youm O, Owusu EO. 1998. Assessment of yield loss due to the millet head miner, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae) using a damage rating scale and regression analysis in Niger. *Int. J. Pest. Manage.*, **44**(2): 119-121. DOI: <https://doi.org/10.1080/096708798228428>
- Youm O, Yacouba M, Kumar KA. 2001. An improved infestation technique using eggs of the millet head miner (*Heliocheilus albipunctella*) (Lepidoptera: Noctuidae) in millet resistance screening. *International Journal of Pest Management*, **47**(4): 289-292. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670870110047569>