



Optimisation de la densité des plants pour une amélioration du rendement du mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] au Niger

Abdelkader Mahamane Soulé^{1,*}, Issoufou Kassari Ango¹, Issaka Ahmadou¹

¹ Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Département des Cultures Pluviales

*Auteur correspondant. Email : m.souleyabdoukader@yahoo.fr

Submitted 28/05/2025, Published online on 31/07/2025 in the <https://www.m.elewa.org/Journals/journal-of-applied-biosciences> <https://doi.org/10.35759/JABs.210.6>

RESUME

Objectif : cette étude vise à contribuer à l'augmentation du rendement du mil par une optimisation de la densité des plants dans un contexte de faible productivité de cette culture au Niger.

Méthodologie et Résultats : quatre niveaux d'espacement inter-poquet (25, 50, 75 et 100 cm) placés en grandes parcelles et trois niveaux de démariage (1, 2 et 3 plants) en petites parcelles ont été randomisés dans un dispositif en Split-Plot à trois répétitions pendant deux années d'expérimentation (2021 et 2022). Les données ont été collectées chaque année sur la hauteur des plants, le nombre de talles, la longueur et le nombre des épis, le rendement en grains et en paille. Ces données ont été analysées. Les résultats ont montré que la hauteur des plants n'a pas été significativement affectée par les deux facteurs. L'espacement de 100, 75 et 50 cm entre les poquets a donné un plus grand nombre de talles avec 3.5, 3.33 et 3.33 talles comparé à l'espacement de 25 cm ayant produit moins de talles par plant (2.44 talles). Les poquets démariés à 1 et 2 plants ont produit plus de talles par plant (4.12 et 3.37 talles) comparés à ceux démariés à 3 plants (1.95 talles). L'espacement inter-poquets de 25 cm a produit plus d'épis/m² (6.55 épis) alors que les poquets espacés de 100 cm en ont produit moins (3.27 épis). Les poquets démariés à 3 plants ont produit plus d'épis par m² (5.04 épis) que les poquets possédant un plant unique (4.29 épis). La longueur des épis a été très peu influencée dans cette étude. Pour le rendement en grain les espaces de 25 et 50 cm entre poquets ont produit les meilleurs rendements avec 1244.5 et 1025.7 kg/ha respectivement comparés aux traitements de 75 et 100 cm ayant produit 805.1 et 806.2 kg/ha respectivement. L'effet interactif a révélé que le meilleur rendement en grain (1350 kg/ha) a été obtenu avec l'interaction 25 cm x 1 plant (40 000 plants/ha), suivi de 25 cm x 3 plants avec 1206 kg/ha (120 000 plants/ha) et 25 cm x 2 plants avec un rendement de 1177 kg/ha (80 000 plants/ha). Le meilleur rendement fourrager a été obtenu avec les espacements de 50 cm (2779 kg/ha), 100 cm (2241 kg/ha) mais la faible production fourragère (1988 kg/ha) a été obtenue à 75 cm d'espacement. Le nombre de plants démariés n'a pas affecté le rendement fourrager.

Conclusion et application des résultats : il ressort de cette étude que le semis du mil à un espacement de 25 cm entre les poquets et 100 cm entre les lignes est une option recommandable aux producteurs pour maximiser leurs productions en grains et fourrage au Niger.

Mots clés : mil; espacement inter-poquet ; nombre de plants démariés ; rendement ; Niger.

ABSTRACT

Objective : this study aimed at contributing to increased grain and fodder yield of pearl millet by optimizing the plant density in Niger.

Methodology and Results:: four levels of inter-plant spacing (25, 50, 75 and 100 cm) on whole plots and three treatments of plants number per pocket (1, 2 and 3 plants) on sub-plots were randomized in a Split-Plot design with three replications during two years (2021 and 2022). Data were collected on plant height, number of tillers, number and panicle length, and grain and fodder yield. Statistical analysis. Results have shown that plant height was not influenced by the factors. However the number of tillers was higher with larger inter-hill spacing of 100, 75, and 50 cm which produced 3.5, 3.33 and 3.33 tillers, respectively compared to the narrowed spacing of 25 cm with 2.44 tillers. Also, thinning at 1 and 2 plants produced more tillers (4.12 and 3.37) than the 3 plants per hill showing only 1.95 tillers. The number of heads per square-meter was higher (6.55 heads) with 25 cm inter-hill spacing while at 100 cm spacing the number of heads was lower (3.27 heads). Also, thinning at 3 plants per hill produced more heads/m² (5.04) compared to the single plant/hill with only 4.29 heads/m². The panicle length was slightly affected in this study. The highest grain yield (GY) was observed with 25 and 50 cm inter-hill spacing with 1244.5 and 1025.7 kg/ha compared to 75 cm (805.1 kg/ha) and 100 cm (806.2 kg/ha). The interaction between the two factors showed a highest GY (1350 kg/ha) at 25 cm x 1 plant (40 000 plants/ha) followed by 25 cm x 3 plants (120 000 plants/ha) with 1206 kg/ha and 25 cm x 2 plants (80 000 plants/ha) with 1177 kg/ha. The fodder yield was higher (2779 kg/ha) at 50 cm inter-hill spacing and lower (1988 kg/ha) at 75 cm between hills.

Conclusion and application of results: Growing millet at 25 cm inter-hill spacing thinned at 1 to 3 plants/hill could be recommended to farmers to maximize millet production in Niger.

Key words: millet; inter-hill spacing; number of plants thinned; yield; Niger.

INTRODUCTION

Le mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] est une céréale tropicale cultivée sur environ 26 millions d'hectares en zones semi-arides de l'Afrique et de l'Inde (Azare *et al.* 2020). Le mil serait originaire de l'Afrique de l'Ouest, dans la zone sahélienne située au nord de l'Équateur, de l'Atlantique à la Mer Rouge, où y seraient distribuées les différentes formes sauvages comme *Pennisetum monodii* et *P. mollissimum* (Cedric et Vigouroux, 2008). L'analyse monophylétique du mil cultivé en Afrique de l'Ouest a montré une origine plus proche de cette région (Oumar *et al.*, 2008). Le mil reste la céréale la plus cultivée au Sahel à cause des conditions de production qui y sont très difficiles, donc à très haut risque. Le mil tolère la sécheresse, la faible fertilité des sols et le faible pH du sol ; et il peut répondre très bien quand les conditions deviennent favorables (Ouendeba et Siaka, 2004). Le

Niger est le plus grand producteur de mil en Afrique. Au Niger le mil est la principale culture pluviale et occupe 6,8 millions d'hectares en moyenne des 10 dernières années (2013-2023) (MAE-DSA, 2023). Connu au Niger sous différentes appellations (Hatchii, Guéro, Haïni Gaouri, Maiwa, Somno, ...) le mil est emblavé chaque année sur près de 7 millions d'hectares (MAE-DSA, 2023), essentiellement pour son grain, principale source d'alimentation des populations (Ouendeba et Siaka, 2004). En 2023, la production du mil était estimée à 3 161 868 tonnes et représentait plus de 64% de la production céréalière d'hivernage du pays (MAE-DSA, 2023). Cependant cette culture fait face à des multiples contraintes notamment les stress biotiques (attaques parasitaires et maladies) et abiotiques (sécheresse, pauvreté des sols etc.) résultant à de faibles rendements

de l'ordre 502 kg/ha sur la moyenne des 10 dernières années. A ces contraintes viennent s'ajouter d'autres facteurs techniques notamment les faibles niveaux de fertilisation organique et minérale (Maman *et al.* 2018), le contrôle des adventices ainsi que la densité de plants par unité de surface. En général, les rendements en grains des céréales diminuent avec l'augmentation de la densité de semis au-delà de l'optimum, mais les variétés améliorées peuvent tolérer des densités élevées, même avec une faible application d'azote (Adnan *et al.*, 2020 and O'Neill *et al.*, 2004). Au Niger, les producteurs de mil utilisent traditionnellement de très faibles densités de plants (5200 poquets par hectare), inférieures à l'espacement jusque-là recommandé à l'échelle nationale qui est de 1m sur 1m (10 000 poquets) et démarré à trois plants soit 30 000 plants par hectare (Maman et Mason, 2013), afin de réduire le risque de perte de rendement dû au stress hydrique (Bationo *et al.*, 1990). Dans des enquêtes villageoises menées au Niger, McIntire (1983) a constaté que la densité de plants était très faible - pouvant aller en deçà des 5200 poquets

ha⁻¹ - avec une grande variabilité entre les champs des agriculteurs. Des études ont suggéré que l'augmentation de la densité des plants peut améliorer le rendement en grains du mil ainsi que celui de la matière sèche totale (Bastos *et al.*, 2022 ; Illiasso *et al.*, 2022). Selon Pandit *et al* (2020), un peuplement optimal des plants améliore l'efficacité de la culture du mil et permet de mieux exploiter les facteurs de croissance, ce qui influence finalement les rendements de la culture. Cependant une forte densité de plants du mil entraîne une concurrence entre les cultures de même qu'une faible densité des plants réduit considérablement le rendement. Ce paradoxe justifie la nécessité d'une optimisation de la densité pour un rendement maximum de cette culture. L'optimum est défini comme un point au-delà duquel la compétition entre les plantes pour la lumière, l'eau et les nutriments devient importante et peut conduire à une diminution des rendements agricoles (Li *et al.*, 2016). L'objectif de cette étude était de déterminer la densité optimale de plants à l'hectare en vue d'améliorer significativement le rendement du mil en milieu réel au Niger.

MATERIEL ET METHODES

Site expérimental : Cette étude a été conduite en hivernages 2021 et 2022 au niveau de la station de recherche de Tarna du Centre Régional de Recherche Agronomique de Maradi, située dans le sud Niger qui est une importante zone de production du mil. Le site expérimental dont les coordonnées sont

13°27'54,2"E et 07°06'22,7"N, se caractérise par un sol sableux, pauvre en matière organique. Les informations pédologiques du site sont données dans le tableau 1. Le climat de la zone est de type sahélien avec une pluviométrie annuelle moyenne de 450 à 600 mm.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental en hivernage 2021

Paramètre physico-chimique	Unité	Profondeur du sol (cm)		
		0-16	16-38	38-60
Sable	%	58	54	52
Limon	%	30	28	29
Argile	%	12	18	18
pH(H2O)	1:2.5	5,2	5,6	5,5
OC	%	0,27	0,26	0,23
N	%	0,018	0,014	0,018
Meh P	ppm	1,41	1,13	1,55
Ca	cmol+/kg	0,38	1,01	0,87

Mg	cmol+/kg	0,13	0,34	0,27
K	cmol+/kg	0,10	0,08	0,09
Na	cmol+/kg	0,05	0,04	0,05
CEC	cmol+/kg	1,31	1,46	1,28
Zn	ppm	10,08	4,15	9,49
Cu	ppm	4,03	4,03	5,39
Mn	ppm	54,00	82,71	130,17
Fe	ppm	90,25	67,26	75,80

Matériel végétal : Le matériel végétal utilisé est la variété de mil HKP qui est très appréciée des producteurs nigériens. Localement appelée Haini-Kirei Précoce (90-95 jours), cette variété a été développée par l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN). C'est une variété à épis moyens (55 à 60 cm) qui est largement vulgarisée dans toutes les zones millicoles du Niger. Elle est plus particulièrement adaptée à la zone Nord sahélienne du Niger entre les isohyètes 350 à 800 mm où son rendement potentiel en grains atteint 1,5 à 2,5 t/ha.

Facteurs d'étude et dispositif expérimental : Deux facteurs déterminant la densité de plants ont été étudiés dans cette expérimentation. Le premier facteur est l'espacement entre les poquets au semis au sein des lignes avec quatre modalités : 0.25, 0.5, 0.75 et 1m.

L'espacement entre les lignes qui est maintenu à 1 m reste uniforme pour tous les traitements. Le second facteur est le nombre de plants laissés au démariage avec trois options : 1, 2 et 3 plants par poquet. Ces deux facteurs ont été combinés en un dispositif en Split-Plot à trois répétitions, avec l'espacement entre les poquets en grande parcelle et le nombre de plants démariés en petite parcelle. La combinaison factorielle des quatre espacements entre poquets et trois nombres de plants laissés au cours du démariage forme ainsi douze traitements donnés dans le tableau 2. Il faut noter que l'espacement de 1 m entre les lignes et 1 m entre les poquets (1 m x 1 m) avec 3 plants démariés (soit 30 000 plants/ha) qui est la densité jusque-là recommandée, est considéré comme témoin dans cette étude.

Tableau 2 : Combinaison factorielle des traitements

Traitements	Facteur1 (Espacement entre poquets en mètre)	Facteur2 (Nbre de plants démariés)	Nbre de poquets/ha	Fact1*Fact2
				Nbre de plants/ha
T1	1m	1 plant	10000	10000
T2	1m	2 plants	10000	20000
T3	1m	3 plants	10000	30000
T4	0.75m	1 plant	13334	13334
T5	0.75m	2 plants	13334	26668
T6	0.75m	3 plants	13334	40002
T7	0.5m	1 plant	20000	20000
T8	0.5m	2 plants	20000	40000
T9	0.5m	3 plants	20000	60000
T10	0.25m	1 plant	40000	40000
T11	0.25m	2 plants	40000	80000
T12	0.25m	3 plants	40000	120000

Dimension des parcelles expérimentales : La parcelle élémentaire qui représente donc la parcelle utile est constituée de 4 lignes de 5 mètres de longueur et espacées de 1 mètre entre les lignes, soit une superficie de 20 m².

Opérations culturales : La préparation de terrain a consisté en un labour au tracteur suivi d'un hersage afin d'aplanir le terrain. Les lignes de semis ont été tracées au moyen d'un rayonneur afin d'obtenir l'espacement des poquets en conformité avec les différents traitements. Le semis a été fait le 05/07/2021 et le 01/07/2022 pour les deux campagnes. Le premier sarclage et le démariage étaient effectués trois semaines après le semis. Un deuxième sarclage a été fait trois semaines après le premier. La fertilisation a consisté en un apport localisé d'engrais NPK (15-15-15) à la dose de 6g/poquet après le démariage. L'apport d'urée a été fractionné en deux apports de 3g/poquet conformément à la recommandation en vigueur.

Collecte des données : Les données agronomiques ont été collectées sur la date de floraison, la date de maturité, le nombre de

talles, le nombre d'épis, le rendement en grains et le rendement en paille (fourrage). Toutes ces données ont été collectées sur les deux lignes centrales (parcelle unitaire). Les données pluviométriques ont été collectées pendant les deux saisons d'étude. Des échantillons du sol ont été prélevés afin de connaître les caractéristiques physico-chimiques du sol.

Analyse statistique : Les données agronomiques collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) afin d'examiner les effets des facteurs étudiés sur les différents paramètres et surtout leur interaction. La comparaison des moyennes des paramètres a été faite par le test de Fisher. Des courbes de régression du niveau de densité des plants sur le rendement ont été générées pour connaître la nature de la réponse du rendement à la densité des plants. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel Genstat-18.

Situation pluviométrique : La situation pluviométrique en hivernage 2021 a été normale. Les pluies ont débuté en juin et se sont arrêtées en octobre (figure 1).

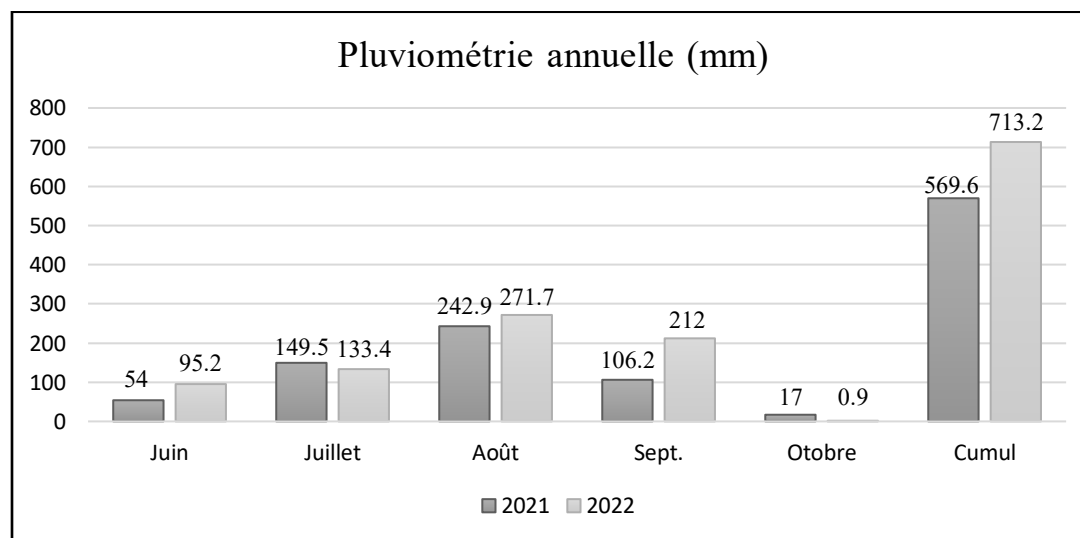


Figure 1 : cumul pluviométrique mensuel au niveau du site expérimental en 2021 et 2022

Le mois d'août a enregistré le plus grand cumul (242.9 mm). Le cumul annuel a été de 569.6 mm, ce qui se situe dans la fourchette normale de la zone d'étude. En hivernage 2022

le cumul annuel (713.2 mm) a été exceptionnel, car au-dessus de la normale des 10 dernières années de la zone d'étude qui est de 557.8 mm. En 2022 également les pluies ont

débuté en juin et se sont arrêtées en octobre. Au cours des deux hivernages, aucune sécheresse majeure n'a survécu ce qui a favorisé le développement normal des cultures. **Caractéristiques physico-chimiques du sol :** L'analyse de la granulométrie (proportion des particules physiques) au niveau des 3 horizons du sol révèle une texture sablo-limoneuse du site expérimental (tableau 2). Le pH variant de 5.2 à 5.6 indique un sol légèrement acide. Le

niveau de carbone organique et de l'azote est relativement bas ce qui indique une faible fertilité du sol. D'après Dabin (1970), une bonne teneur en matière organique dans un sol sableux doit être supérieure à 11 %. Selon la classification de la fertilité des sols de Dabin, (1970) à partir du pH et de la teneur en azote total, le sol du site expérimental a un niveau de fertilité jugé '*mauvais*'.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques du sol du site expérimental en hivernage 2021

Paramètre physico-chimique	Unité	Profondeur du sol (cm)		
		0-16	16-38	38-60
Sable	%	58	54	52
Limon	%	30	28	29
Argile	%	12	18	18
pH(H2O)	1:2.5	5,2	5,6	5,5
OC	%	0,27	0,26	0,23
N	%	0,018	0,014	0,018
Meh P	ppm	1,41	1,13	1,55
Ca	cmol ⁺ /kg	0,38	1,01	0,87
Mg	cmol ⁺ /kg	0,13	0,34	0,27
K	cmol ⁺ /kg	0,10	0,08	0,09
Na	cmol ⁺ /kg	0,05	0,04	0,05
CEC	cmol ⁺ /kg	1,31	1,46	1,28
Zn	ppm	10,08	4,15	9,49
Cu	ppm	4,03	4,03	5,39
Mn	ppm	54,00	82,71	130,17
Fe	ppm	90,25	67,26	75,80

RESULTATS

Effet de l'espacement inter-poquets et du nombre de plants démariés sur la hauteur des plants du mil : L'analyse par année et combinée des données a montré que l'espacement inter-poquets (EIP) et le nombre de plants après démariage (NPD) n'ont eu aucun effet significatif ($P>0.05$) sur la hauteur des plants de mil. (Tableaux 3, 4 et 5). La hauteur moyenne des plants était de 214.4 cm et 214.7 cm pour les deux années respectivement. L'interaction entre les deux facteurs en étude a été également non significative pour les deux campagnes prises isolément ou de façon combinée.

Effet de l'espacement inter-poquets et du nombre de plants démariés sur le nombre de talles par plant du mil : L'espacement inter-poquets n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre de talles par plant (NTP) en 2021 (tableau 3). Cependant en 2022 le NTP a été significativement influencé par l'espacement inter-poquets (tableau 3). Les plants des poquets espacés de 100 cm ont produit le plus grand nombre de talles (3.55 talles) comparés aux plants des poquets espacés de 25 et 50 cm ayant produit moins de talles avec respectivement 2.44 et 2.22 talles par plant. L'analyse combinée des deux années d'étude a également montré un effet significatif (0.05) de

l'espacement inter-poquets sur le nombre de talles par plant (tableau 5). L'espacement de 100, 75 et 50 cm entre les poquets a donné un plus grand nombre de talles avec 3.5, 3.33 et

3.33 talles comparé à l'espacement de 25 cm ayant produit relativement moins de talles par plant (2.44 talles).

Tableau 3 : Analyse de variance des paramètres observés en hivernage 2021

Traitement	HP	NT	Nep/m ²	LEp	RGr	Rbiom
EIP						
25	219,9	2.66	6.88 a	71,56	1587 a	1937
50	213,3	3.67	4.55 b	72,56	1097 b	3119
75	216,1	4.00	4.33 b	69,56	969 b	2264
100	208,4	3.67	3.33 c	68,33	787 b	2710
SE (±)	10,41	0.55	0.253	2,316	100.6	516.2
F pr.	0,74 (ns)	0.18 (ns)	<.001	0,342 (ns)	0.001	0.216 (ns)
NPD						
1	212,2	5.91 a	4.16 b	70,33	1106	2825
2	213,9	2.41 b	4.75 ab	69,67	1124	1815
3	217,2	2.16 b	5.41 a	71,5	1100	2883
SE (±)	7,99	0.61	0.268	1,392	66.1	486.8
F pr.	0,824 (ns)	<.001	0.001	0,43 (ns)	0.930 (ns)	0.076 (ns)
Interaction						
EIP x NPD	0,17 (ns)	0,95 (ns)	0,133 (ns)	0,077 (ns)	0,875 (ns)	0.635 (ns)

EIP : Espacements inter-poquets
NPD : Nombre de plants démarisés
HP : Hauteur des plants
NT : nombre de talles par plant

Nep/m² : nombre d'épis par mètre-carré
LEp : longueur moyenne des épis
RGr : rendement en grain
RBiom : rendement en biomasse fourragère

Tableau 4 : Analyse de variance (ANOVA) des paramètres observés en hivernage 2022

Traitement	HP	NT	Nep/m ²	LEp	RGr	Rbiom
EIP						
25	207,3	2.44 b	6,22 a	53.14ab	902	2300 a
50	215,3	2.22 b	5,33 ab	56.43a	955	2439 a
75	216,4	3.00 ab	3,88 bc	53.15ab	641	1711 b
100	219,7	3.55 a	3,22 c	50.33b	825	1772 b
SE (±)	13,27	0.311	0,603	1,386	246,4	157,318
F pr.	0,817 (ns)	0.019	0,009	0,026	0,627 (ns)	0,008
NPD						
1	211,4	4.41 a	4,42	51,86	759	2070,69
2	221,8	2.58 b	4,92	54,1	957	2094,17
3	210,9	1.41 c	4,67	53,83	776	2001,75
SE (±)	12,07	0.289	0,45	1,627	134,9	176,511
F pr.	0,608 (ns)	<.001	0,561 (ns)	0,347 (ns)	0,293 (ns)	0,863 (ns)
Interaction						
EIP x NPD	0,944 (ns)	0.329 (ns)	0,485 (ns)	0,136 (ns)	0,063 (ns)	0,479 (ns)

Tableau 5 : Analyse de variance (ANOVA) des paramètres observés en années combinées

Traitement	HP	NT	Nep/m2	LEp	RGr	Rbiom
EIP						
25	213,6	2.44 b	6.55 a	62,35 ab	1244,5 a	2119 b
50	214,3	3.33 a	4.94 b	64,49 a	1025,7 ab	2779 a
75	216,3	3.33 a	4.11 bc	61,35 ab	805,1 b	1988 b
100	214,1	3.50 a	3.27 c	59,33 b	806,2 b	2241 ab
SE (±)	8,73	18	0,327	1,5	133,4	18
F pr.	0,99 (ns)	0.05	<.001	0,067 (ns)	0,046	0.05
NPD						
1	211,8	4.12 a	4.29 b	61,1	933	2318
2	217,8	3.37 a	4.83 ab	61,88	1041	2183
3	214	1.95 b	5.04 a	62,66	938	2345
SE (±)	7,12	24	0,265	1,157	65,8	24
F pr.	0,701 (ns)	<.001	0,023	0,419 (ns)	0,211 (ns)	0.80 (ns)
Interaction						
EIP x NPD	0,698 (ns)	0.206 (ns)	0,694 (ns)	0,123 (ns)	0,037	0.46 (ns)

Le nombre de plants laissés au démariage a eu un effet très significatif (<.001) sur le nombre de talles par plant de mil en 2021 (Tableau 3). Les poquets démariés à un plant ont produit 5.91 talles comparés à ceux démariés à 2 plants (2.41 talles) et à 3 plants (2.16 talles). La même tendance a été observée en hivernage 2022 avec 4.41, 2.58 et 1.41 talles pour les poquets respectivement démariés à 1, 2 et 3 plants (tableau 4). L'analyse des données combinées a montré que les poquets démariés à 1 et 2 plants ont produit plus de talles par plant (4.12 et 3.37 talles) comparés aux poquets démariés à 3 plants 1.95 talles). L'interaction entre les deux facteurs s'est révélée non significative pour les deux années ainsi que pour l'analyse combinée.

Effet de l'espacement inter-poquets et du nombre de plants démariés sur le nombre d'épis par mètre-carré : Le nombre d'épis par mètre-carré a significativement varié en fonction de l'espacement inter-poquets aussi bien en hivernage 2021 qu'en 2022 avec la même tendance (tableaux 3 et 4). Les poquets espacés de 25 cm ont produit le grand nombre

d'épis par mètre-carré avec 6.88 et 6.22 épis respectivement pour les deux années. Ce record est suivi de l'écartement de 50 cm (4.55 et 5.33 épis). L'espacement de 100 cm entre poquets a produit moins d'épis par mètre-carré soit 3.33 et 3.22 épis respectivement. L'analyse combinée a suivi la même tendance que les valeurs annuelles où l'espacement inter-poquets de 25 cm a produit le plus grand nombre d'épis (6.55 épis) alors les poquets espacés de 100 cm ont produit moins d'épis (3.27 épis) (tableau 5). Le nombre de plants démariés par poquet a eu effet significatif ($P < .001$) sur le nombre d'épis par mètre-carré en hivernage 2021 où le démariage à 3 et 2 plants ont produit le plus grand nombre d'épis (5.41 et 4.75 épis/m²) comparé au démariage à 1 plant par poquet qui a produit 4.16 épis/m² (tableau 3). Cependant en hivernage 2022, l'effet du nombre de plants démariés par poquet a été non significatif sur le nombre d'épis par mètre-carré (tableau 4). L'analyse combinée a permis de dégager une tendance où les poquets démariés à 2 et 3 plants ont produit plus d'épis que les poquets possédant un plant

unique (tableau 5). L'interaction des deux facteurs n'a pas été significative sur le nombre d'épis par mètre-carré pour les deux années d'expérimentation chacune ainsi que pour l'analyse combinée.

Effet de l'espacement inter-poquets et du nombre de plants démariés sur la longueur moyenne des épis : Les résultats de l'analyse de variance des données collectées en hivernage 2021 sur la longueur des épis a montré que l'espacement inter-poquets n'a pas significativement influencé la taille des épis de mil (tableau 3). La longueur moyenne des épis était de 70.5 cm. Cependant en hivernage 2022 la longueur des épis a significativement varié en fonction de l'espacement entre les poquets (tableau 4). En effet les poquets espacés de 50 cm ont produit les plus longs épis (56.43 cm) suivis des poquets espacés de 25 et 75 cm dont les épis ont respectivement 53.14 et 53.15 cm de longueur. Les épis issus des poquets espacés de 100 cm ont été plus courts (50.33 cm). L'analyse combinée des résultats des deux années d'expérimentation a permis d'observer la même tendance qu'en hivernage 2022 avec une longueur moyenne de 61.88 cm (tableau 5). Par contre le nombre de plants démariés par poquet n'a pas eu d'effet significatif sur la longueur des épis de mil aussi bien en hivernages 2021, 2022 qu'en analyse combinée. Ce qui montre que la longueur des épis de mil n'a pas significativement varié en fonction du nombre de plants démariés. L'interaction des deux facteurs n'a pas été significative sur la longueur des épis qu'il s'agisse de l'analyse des résultats par année ou combinée.

Effet de l'espacement inter-poquets et du nombre de plants démariés sur le rendement en grains du mil : En hivernage 2021 l'espacement inter-poquets a eu un effet très significatif ($P=0.001$) sur le rendement en grains du mil (tableau 3). Le plus haut rendement (1587 kg/ha) a été obtenu avec l'espacement de 25 cm entre les poquets. Les trois autres types d'espacement ont été

statistiquement similaires avec 1097, 969 et 787 kg/ha pour 50, 75 et 100 cm respectivement. Ces résultats montrent une tendance à l'augmentation du rendement en grains avec la diminution des espaces inter-poquets. Par contre en hivernage 2022 le rendement en grains n'a pas significativement varié en fonction des espacements inter-poquets (tableau 4). Tout de même on constate une légère supériorité du rendement en grains avec les poquets espacés de 25 et 50 cm comparés aux autres traitements. L'analyse combinée des données annuelles a révélé une influence significative de l'espacement inter-poquets sur la productivité en grains du mil (tableau 5). Les espaces de 25 et 50 cm entre poquets ont produit les meilleurs rendements avec 1244.5 et 1025.7 kg/ha respectivement comparés aux traitements de 75 et 100 cm ayant produit 805.1 et 806.2 kg/ha respectivement. Ces résultats confirment la tendance d'augmentation du rendement en grains de mil avec la réduction des espaces inter-poquets. Ces résultats montrent également que la variété de mil utilisée dans cette étude (variété HKP) performe mieux avec les fortes densités entre les poquets. Le nombre de plants démariés n'a pas significativement affecté le rendement en grains du mil au cours des hivernages 2021, 2022 ainsi qu'en analyse combinée (tableaux 3, 4 et 5). Ceci indique que les démariages à 1 plant, 2 plants et 3 plants ont produit des rendements en grains statistiquement similaires. L'interaction entre les facteurs espacement inter-poquets (EIP) et nombre de plants démariés (NPD) a été significative en analyse combinée des deux années d'expérimentation (tableau 5). Les tableaux 6 et 7 donnent le classement des options d'interactions avec un rapprochement du nombre de plants à l'hectare. Il ressort de ce résultat que le meilleur rendement en grains (1350 kg/ha) a été obtenu avec l'interaction 25 cm x 1 plant (soit une densité de 40 000 plants/ha), suivi de 25 cm x 3 plants (120 000 plants/ha) avec 1206 kg/ha et 25 cm x 2 plants

(80 000 plants/ha) avec un rendement de 1177 kg/ha (tableaux 6 et 7). Ces résultats montrent une excellente réponse de cette variété de mil pour un espacement inter-poquets de 25 cm quel que soit le nombre de plants démariés. Le plus faible rendement (606 kg/ha) a été obtenu avec l'interaction 100 cm x 1 plant soit une

densité de 10 000 plants/ha. Le traitement interactif 100cm x 3plants (soit 30 000 plants/ha) qui est considéré comme témoin dans cette étude (car issus des résultats d'anciennes études jusque-là vulgarisées au Niger) a produit l'un des plus faibles rendements (685.9 kg/ha).

Tableau 6 : Interaction Espacement inter-poquets et Nombre de plants démariés (EIP x NPD) en analyse combinée pour le rendement en grain

EIP	NPD		
	1	2	3
25	1350 a	1177 ab	1206 ab
50	985 abcd	1090 abc	1001 abcd
75	789 cde	768 cde	858 bcde
100	606 e	1127 abc	686 de

Tableau 7 : Classement des traitements en interaction pour le rendement grain avec l'équivalence de la densité en nombre de plants par hectare.

Interaction	Nombre de plants/ha	Rendement Grain (kg/ha)
25cm x 1plant	40000	1350.3 a
25cm x 3plants	120000	1206.3 ab
25cm x 2plants	80000	1176.9 ab
100cm x 2plants	20000	1127.1 abc
50cm x 2plants	40000	1090.3 abc
50cm x 3plants	60000	1001.3 abcd
50cm x 1plant	20000	985.4 abcd
75cm x 3plants	40000	858.1 bcde
75cm x 1plant	13334	788.9 cde
75cm x 2plants	26668	768.3 cde
100cm x 3plants	30000	685.9 de
100cm x 1plant	10000	605.7 e

Analyse de la régression du rendement en grains en fonction de la densité : La figure 2 ci-dessous montre la tendance globale d'évolution du rendement en grains en fonction des deux facteurs. On observe une tendance régulière à l'augmentation du rendement en grains du mil avec la diminution des espacements inter-poquets. Cette augmentation est plus prononcée avec les poquets démariés à 1 plant (graphe 1), avec un rendement maximal atteint à 25 cm d'espacement inter-poquets. L'analyse des coefficients de détermination (R^2) de la courbe

de tendance révèle que la variation du rendement en grain du mil a été très significativement déterminée par l'espacement inter-poquets pour le démariage à un plant (graphe 1) avec comme équation $y = 45,5x^2 + 15,3x + 553$ ($R^2 = 0.99$), pour le démariage à 2 plants/poquet (graphe 2) avec comme équation $y = 31x^2 - 11,2x + 755.5$ ($R^2 = 0.85$) et pour le démariage à trois plants par poquet avec comme équation $y = 8,25x^2 + 129,05x + 553,25$ ($R^2 = 0.99$) (graphe 3). Il en ressort que ces modèles polynomiaux sont bien indiqués

pour expliquer la réponse du rendement en grains du mil aux espacements inter-poquets. **Calcul de la densité optimale en nombre de plants par hectare (plants/ha) :** Le modèle qui a permis d'obtenir le rendement en grains le plus élevé (1350 kg/ha) est celui du graphe 1 avec 25 cm x 1 plant/poquet (soit 40 000 poquets/ha et 40 000 plants/ha). En considérant donc le nombre de plants/ha, la

figure 3 montre le modèle de régression polynomiale du nombre de plants/ha sur le rendement en grains. Ce modèle a pour équation $y = -7E-07x^2 + 0,0574x + 114,43$ avec un fort coefficient de détermination $R^2 = 0,99$. En utilisant la formule de l'optimum ($x = -b/2a$) on retrouve une densité optimale de 40 714 plants/ha pour maximiser le rendement en grains du mil.

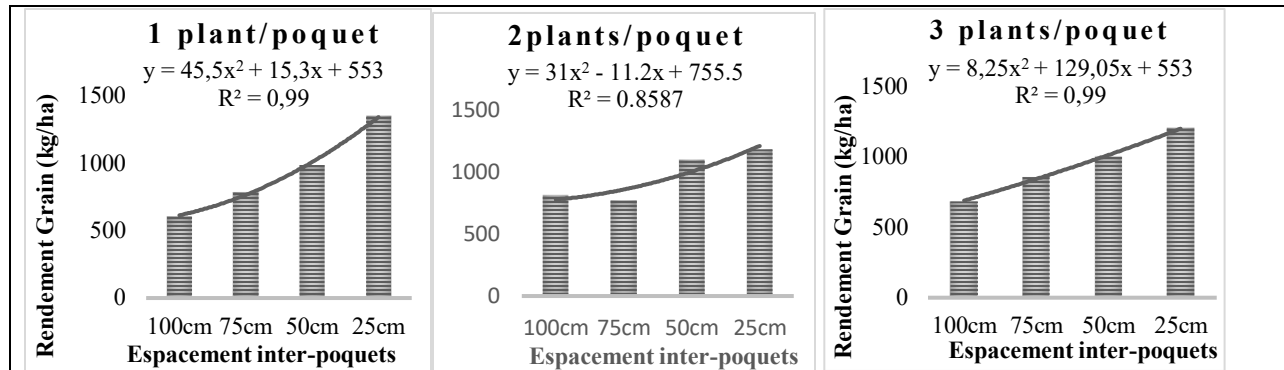


Figure 2 : courbe de tendance d'évolution du rendement en grains en fonction de l'espacement inter-poquets pour chaque nombre de plants démariés.

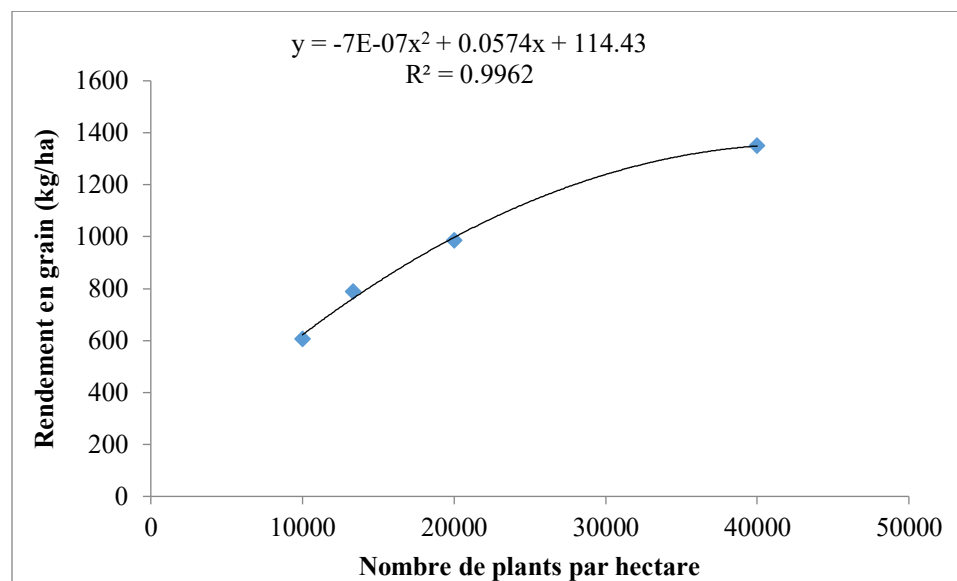


Figure 3 : Modèle de régression polynomiale du rendement en grains en fonction du nombre de plants/ha pour le démariage à un plant par poquet.

Effet de l'espacement inter-poquets et du nombre de plants démariés sur le rendement fourrager du mil : L'espacement inter-poquets n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement fourrager en hivernage 2021

(tableau 3). Cependant en hivernage 2022 l'espacement inter-poquets a significativement affecté la production fourragère (tableau 4). Les poquets espacés de 25 et 50 cm ont produit le meilleur rendement fourrager avec

respectivement 2300 et 2439 kg/ha. La faible production fourragère a été observée au niveau des poquets espacés de 75 et 100 cm ayant respectivement produit 1711 et 1772 kg/ha. Une tendance à peine similaire a été observée en analyse combinée des deux années (tableau 5). En effet le meilleur rendement fourrager a été produit sur les parcelles des poquets espacés de 50 cm (2779 kg/ha), suivi des espacements inter-poquets de 100 cm (2241 kg/ha) alors que la faible production fourragère a été obtenue avec l'espacement inter-poquets

de 75 cm (1988 kg/ha). Ces résultats confortent la stabilité et la meilleure performance des espacements de 50 cm entre les poquets pour la production fourragère. Par contre le nombre de plants démariés n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement fourrager pour les deux années expérimentales (2021 et 2022) ainsi que pour l'analyse combinée des résultats obtenus au cours de ces dernières (tableaux 3, 4 et 5). L'interaction des deux facteurs n'a pas été significative pour le rendement fourrager tout au long de cette étude (tableaux 3, 4 et 5).

DISCUSSION

La hauteur des plants de mil n'a pas varié quel que soit l'espacement inter-poquets ou le nombre de plants démariés. Ceci pourrait indiquer que ce paramètre est beaucoup plus contrôlé par la constitution génétique de la culture. Cette absence de réponse de la hauteur des plants de mil à la densité de plants a été également observée par Bamba *et al* (2019) et Faye *et al* (2023). Il faut tout de même noter que des variations significatives de hauteur du mil ont été observées en réponse à d'autres facteurs agronomiques comme les fertilisants (Garba *et al.* (2024) ; Faye *et al* (2023)). Le tallage est un paramètre de croissance qui est très déterminant pour le rendement du mil. Il est influencé par la densité des plants. Dans cette étude ce paramètre a été évalué en nombre de talles produites par plant. Il a été révélé que les faibles densités (large espacement inter-poquets et nombre minimal de plants démariés) ont permis le meilleur tallage du mil. Ceci serait lié à la faible compétition ayant favorisé un développement plus élevé du plateau de tallage par plant. Ces résultats s'alignent avec ceux de (Lopy, 2018), Siene *et al.* (2010) et Dutordoir (2005) qui trouvèrent que les densités de milles plus élevée sont produit moins de talles. Le plus grand nombre de talles au niveau des poquets démariés à un plant pour les deux années s'explique par un meilleur développement du plateau de tallage favorisé par une quasi-

absence de compétition. Le nombre d'épis par mètre-carré est un paramètre contribuant au rendement du mil. Cette étude a révélé une meilleure performance des fortes densités à produire le maximum nombre d'épis ce qui est similaire aux résultats de Siene *et al.* (2010). L'absence d'effet significatif des deux facteurs de densité sur la longueur des épis en 2021 et même en 2022 pour le nombre de plants démariés pourrait s'expliquer par une grande proportion de contrôle génétique de ce paramètre au même titre que la hauteur des plants comme établi par Bamba *et al.* (2019) qui a conclu que ces paramètres dépendent de l'écotype utilisé ainsi que Alhassane (2009) qui estime que les valeurs potentielles des hauteurs des plantes sont d'origine génétique. Ce comportement similaire de la hauteur des plants et la longueur des épis a été observé par Patil *et al* (2018) qui a démontré une forte et significative corrélation phénotypique (0.538) et génotypique (0.667) entre la hauteur des plants et la longueur de l'épi chez le mil. Kovi *et al* (2011) a observé également une positive corrélation entre ces deux traits chez le riz. L'espacement inter-poquets a été le facteur le plus déterminant du rendement grain dans cette étude qui a révélé que les fortes densités (25 et 50 cm d'espacement inter-poquets) ont contribué à une augmentation remarquable du rendement en grains du mil en comparaison au rendement témoin (100 cm d'espacement

inter-poquets). Ceci pourrait expliquer que les petits espacements inter-poquets permettent une meilleure exploitation des réserves nutritives du sol. Faye *et al.* (2023) a expliqué cette performance par le fait que les densités élevées augmentent l'efficacité de l'utilisation de la lumière et réduisent probablement la perte d'eau grâce à une couverture du sol accrue. Par conséquent, les plantes sous une densité de semis élevée ont produit plus de fourrage. Abondant dans le même sens, Buerkert *et al.* (2001) ont rapporté qu'un peuplement dense entraîne une augmentation significative du rendement en grains dans des conditions marginales de faible fertilité, de faible pluviométrie moyenne et de sécheresses fréquentes. Néanmoins, les rendements céréaliers augmentaient généralement avec une densité de peuplement accrue dans les années avec des pluies régulières (De Rouw, 2004). La combinaison des espacements inter-poquets avec le nombre de plants démariés définit les niveaux de densité déterminants pour le rendement en grains. Dans cette étude la plage de densité comprise entre 40 000 plants/ha (soit 25 cm x 1 plant) et 120 000 plants/ha (soit 25 cm x 3 plants) a été la plus performante en rendement en grains. Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus par Bationo *et al.* (1990) qui a conclu qu'une densité de 45 000 à 60 000 plants à l'hectare) avec 30 kg ha⁻¹ d'azote permettent à un producteur de mil de maximiser la production et le bénéfice de ses intrants avec moins de risque Bamba *et al.* (2019) a suggéré que pour une amélioration durable de la productivité du mil tardif au Sénégal, un semis précoce avec une densité de 60 000 plants ha⁻¹ en zone soudano-sahélienne a permis d'obtenir les meilleurs rendements (854 kg ha⁻¹). Pandit *et al.* (2020) recommande une densité de 50 x 20 (100 000 plants ha⁻¹) pour un rendement maximum (3.19 t ha⁻¹) de variétés hybrides de mil en Inde. Les travaux conduits par Faye *et al.* (2023) au Sénégal ont montré une augmentation significative de rendement en

graines (de <1000 kg ha⁻¹ à 1700 kg ha⁻¹) du mil lorsque la densité passait de 37 500 plants à 75 000 plants à l'hectare. Plus récemment une simulation du modèle CERES-Mil réalisée par Garba *et al.* (2024) a abouti à de meilleurs rendements (1300 kg ha⁻¹ pour la variété HKP) de mil avec une densité de 6 plants m⁻² (60 000 plants ha⁻¹) en zone sahélienne du Niger. Tous ces résultats sont en parfaite adéquation avec ceux de la présente étude. L'optimum de la densité qui est défini par Li *et al.* (2016) comme un point au-delà duquel la compétition entre les plantes pour la lumière, l'eau et les nutriments devient importante et peut conduire à une diminution des rendements agricoles, a abouti à une valeur de 40714 plants/ha. Cette valeur est assez proche de 40 000 plants/ha ayant produit le meilleur rendement en grains. Ceci confirme donc la performance du modèle et la pertinence des résultats de cette étude. Il faut également observer que pour la densité de 40 000 plants/ha (à 25 cm x 1 plant/poquet) qui a produit le meilleur rendement grain (1350 kg ha⁻¹), la même densité a produit un moindre rendement mais avec 50 cm x 2 plants (1090 kg ha⁻¹) et 75 cm x 3 plants (858 kg ha⁻¹), ce qui indique qu'il serait plus judicieux de pratiquer des faibles espacements inter-poquets sur les lignes pour obtenir les meilleurs rendements du mil. Cette relation du rendement en grains et des espacements inter-poquets a été analysée au moyen de courbes de tendance dont les coefficients de détermination (R²) ont montré que la variation du rendement grain est fortement liée aux espacements inter-poquets. Les deux meilleurs modèles sont ceux dont le coefficient est le plus élevé c'est à dire la combinaison de 25 cm x 3 plants et 25 cm x 1 plant. L'espacement inter-poquets de 25 cm avec un démariage à un plant a produit le plus haut rendement (1350 kg/ha) ce qui se serait traduit par un tallage productif ayant favorisé un nombre important d'épis produits par m² (6.55 épis). Le rendement fourrager a également augmenté avec les fortes densités issues des petits espacements inter-poquets. Ce

résultat est en concordance avec ceux de Faye *et al* (2023) qui a obtenu le meilleur rendement fourrager du mil (soit 4200 kg ha⁻¹) avec une densité de 75 000 plants/ha. Bamba *et al.*,

(2019), Siene *et al.*, (2010) et Alhassane (2009) ont également eu des résultats similaires.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude a permis de comprendre la réponse de la variété HKP de mil à plusieurs niveaux de densité de plants par unité de surface. Des variations notables des paramètres de croissance et de rendement ont été observées en fonction surtout des espacements inter-poquets mais aussi du nombre de plants démariés. La hauteur des plants de mil n'a pas été influencée par ces deux facteurs de densité tout au long de l'étude. Cependant les plants de mil ont produit plus de talles avec les faibles densités (larges espacements inter-poquets et moindre nombre de plants démariés) contrairement aux fortes densités. Le nombre d'épis par mètre-carré ainsi que les rendements en grains et fourrager ont été supérieurs lorsque la densité de la culture est forte,

notamment avec les espacements de 25 cm et 50 cm entre les poquets, indépendamment du nombre de plants démariés. Les résultats de cette étude ouvrent des perspectives d'une amélioration significative du rendement du mil au Niger. Pour l'instant on peut recommander aux producteurs de mil d'adopter un écartement de 25 à 50 cm entre les poquets en démariant à un, deux ou trois plants par poquets en vue d'une amélioration de leur rendement. Cependant il serait nécessaire et utile d'approfondir l'étude en considérant d'autres facteurs comme les niveaux de fertilisation organo-minérale avec plusieurs variétés de mil et aussi une évaluation sur plusieurs sites.

RÉFÉRENCES

- Adnan A.A., Jan D., Jibrin M.J., Alpha Y.K., Abdulwahab S.S. Ismail I.G., Peter C. and Miet M. (2020). Optimizing sowing density-based management decisions with different nitrogen rates on smallholder maize farms in Northern Nigeria. *Experimental Agriculture* (2020), 56,866– 883. doi:10.1017/S001447972000037X
- Azare I.M., Dantata I.J, Abdullahi M.S., Adebayo A. et Aliyu M.. (2020). Effects of climate change on pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L. R. Br.]) production in Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 24. 157. 10.4314/jasem.v24i1.23.
- Bamba B., Moustapha G., Abdoulaye B., Daouda N. et Samba Laha K.A.(2019). Effet de la date et de la densité de semis sur la croissance et le rendement en grain du mil tardif [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] dans les zones sud est et sud du Sénégal. *Journal of Applied Biosciences* 138: 14106 – 14122. ISSN 1997-5902
- Bastos LM, Faye A, Stewart ZP, Akpilo TM, Min D, Prasad PV, Ciampitti IA. (2022). Variety and management selection to optimize pearl millet yield and profit in Senegal. *European Journal of Agronomy*. 139:126565. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022>.
- Bationo A., Christianson C.B. et Baethgen W.E. (1990). Plant Density and Nitrogen Fertilizer Effects on Pearl Millet Production in Niger. *Agronomy Journal* 82:290-295.
- Buerkert A., Bationo A. and Piepho H.P. (2001). Efficient phosphorus application strategies for increased crop production in sub-Saharan West

- Africa. *Field Crops Research*. 72, 1–15.
- Cedric M and Vigouroux Y. (2008). Phylogeny and origin of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br) as revealed by microsatellite loci. *Theoretical and Applied Genetics*. 117:489–497, DOI 10.1007/s00122-008-0793-4
- Dabin, B. (1970). Les Facteurs Chimiques De La Fertilité Des Sols (Bases Echangeables, Sels, Utilisation Des Echelles De Fertilité.). In: Segalen, P., Dabin B., Maignien, R., Combreau A., Bachelier G., Schmid M., Bosser J., Guinard M. and Verdier P., Réd., *Pédologie et Développement*, ORSTOM, *Techniques Rurales en Afrique*, No. 10, 221- 237.
- De Rouw, A. (2004). Improving yields and reducing risks in pearl millet farming in the African Sahel. *Agricultural Systems*. 81, 73–93.
- Dutordoir D.C. (2005). Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger). Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de bio- ingénieur à l'université catholique de Louvain, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale, 214 p.
- Faye A., Akpilo T.M., Stewart Z.P., Min D., Obour A.K., Assefa Y. and Prasad P.V.V. (2023). Increasing Millet Planting Density with Appropriate Fertilizer to Enhance Productivity and System Resilience in Senegal. *Sustainability* 2023, 15, 4093.
- Garba M., Alpha Y. Kamara, Ali Mohamed M.L., Tofa A.I., Soulé A.M., Hanarou S., Balkissa I. K., Tahirou A. and Ismail I.G. (2024). Assessing the effects of plant density and nitrogen on millet yield in Southern Niger using the CERES-millet model. *CABI Agriculture and Bioscience* (2024) 5:50 <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00254-x>. <https://doi.org/10.3390/su1505409>
- Illiasso A.D.K.T, Ali I., Dougbedji F., Jean-Baptiste E.D. and Vincent B. (2022). Pearl millet yields and yield stability under long-term soil fertility management in the Sahel. *Agronomy Journal*. <https://doi.org/10.1002/agj2.21129>.
- Kovi M.R., Bai X. and Mao D. (2001). Impact of seasonal changes on spikelets per panicle, panicle length and plant height in rice (*Oriza sativa* L.). *Euphytica* 179, 319-331. <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0332-7>
- Li Y., Cui Z., Ni Y., Zheng M., Yang D. and Jin M. (2016). Plant density effect on grain number and weight of two winter wheat varieties at different spikelet and grain positions. *PLoS ONE* 2016, 11, e0155351.
- Loppy B. (2018). Effets de la densité de semis et de la fertilisation sur la productivité du mil Sanio (*Pennisetum glaucum* L.) en Haute Casamance (Kolda). Mémoire de Master. Soutenu publiquement le 18 Décembre 2018. Université Assane Seck de Ziguinchor.
- MAE-DSA (2023). Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, Direction des Statistiques Agricoles. Résultats définitifs de la campagne agricole de l'hivernage 2023.
- Maman G, Idriss S, Wortmann C. (2018). Crop yield response to fertilizer relative to soil properties in Sub-Saharan Africa. *Soil Science Society of America Journal*. 82(4):862– 70. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.02.0066>.
- Maman N, Mason S. (2013). Poultry manure and inorganic fertilizer to improve pearl millet yield in Niger. *African Journal of Plant Science*. 7(5):162–9.

- McIntire, J. (1983). Annual report of the ICRISAT Economics Program in Niger for 1982. ICRISAT, Niamey-Niger
- O'Neill P.M., Shanahan J.F., Schepers J.S. and Caldwell B. (2004). Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agronomy Journal*. American Society of Agronomy, 96(6), 1660. doi: 10.2134/agronj2004.1660.
- Ouendeba B. et Siaka B.S. (2004). Le mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] au Niger : généralités et résultats de la sélection. IRD Editions. p 33-43. DOI : [10.4000/books.irdeditions.511](https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.511)
- Oumar I., Mariac C., Pham J.L. et Vigouroux Y. (2008). Phylogeny and origin of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br) as revealed by microsatellite loci. *Theoretical and Applied Genetics* · 117:489–497. June 2008. DOI: 10.1007/s00122-008-0793-4 : PubMed
- Pandit S.K., Prasad S., Singh M.K., Singh Y.K., Niranjana I.K. and Kumar R. (2020). Effect of Fertility Level, Plant Density and Age of Seedling on Transplanted Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(06): 1124- 1131. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.139>
- Patil K.S., Gupta S.K., Dangi K.S., Shashibhushan D., Balram M. and Ramesh T. (2018). Panicle Traits and Plant Height are Important Selection Indices to Enhance Productivity in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.R.Br.) Populations. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(12): 306-312. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.712.037>.
- Siene L., Ambroise C., Bertrand M. et Séverin A. (2010). Etude du développement et de la répartition de la biomasse chez deux variétés de mil de longueur de cycle différente sous trois densités de semis. *Journal of Applied Biosciences* 35: 2260 – 2278. ISSN 1997– 5902.