

Effets combinés des doses croissantes de fientes de poules associées à la cendre, des placement et sarclage mécaniques et de traitements de semences sur la performance du mil au Niger

M. Nourou ABDOURAHAMANE ISSA^{1,2*}, Saidou ADDAM KIARI², Mamadou Ibrahim AISSATA², Abdoulaye AMADOU OUMANI¹ et Aune B. JENS³

¹ Université Dan Diko Dankoulodo (UDDK) de Maradi, Niger

² Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN)

³ Norwegian University of Life Sciences

* Correspondance, courriel : anourou2000@gmail.com

Résumé

Une étude sur les effets combinés des doses croissantes de fientes de poules associée à la cendre, des placement et sarclage mécaniques et de traitements de semences (trempage dans l'eau et enrobage avec les fongicides) a été faite au Niger sur 02 années afin d'améliorer la production du mil. Le dispositif expérimental était en blocs complètement randomisés à 06 répétitions et 06 traitements : T₀: témoin (semis et sarclages manuels, sans traitement de semences, sans fertilisants), T₁ (Placement et sarclage mécaniques (PM) + Traitement de semences (T) + 0,3 g/poquet NPK), T₂ (PM + T + 30 g de 2 : 1 fiente-cendre), T₃ (PM + T + 60 g de 2 : 1 fiente-cendre), T₄ (PM + T + 30 g de 4 : 1 fiente-cendre) et T₅ (PM + T + 60 g de 4 : 1 fiente-cendre). Les analyses physicochimiques de sols des sites étudiés, de la fiente et de la cendre ont été faites au Laboratoire de l'Institut National de la recherche Agronomique du Niger (INRAN). Les résultats ont montré que les sols des sites étudiés sont acides et pauvres en matière organique (inférieurs à 1 %) et en phosphore. Le traitement T₅ (PM + T + 60 g de 4 : 1 fiente-cendre) a permis de réduire la durée du cycle de développement de 11 jours et d'améliorer les rendements en grains et en biomasse respectivement de 81,09 % et 49,24 % comparé au témoin. Ce traitement a donné aussi la plus grande marge brute à l'hectare correspondant à 154780 FCFA. Il peut donc être proposé aux producteurs pour améliorer leur production du mil et par conséquent leur revenus.

Mots-clés : *fiente, placement mécanique, sarclage, mil, Niger.*

Abstract

Combined effects of increasing doses of chicken manure associated with ash, mechanical sowing and weeding and seed treatments on pearl millet production in Niger

A study on the combined effects of increasing doses of chicken manure associated with ash, mechanical sowing and weeding and seed treatments (priming in water and coating with fungicides) was conducted in Niger over 02 years in order to improve millet production. The experimental design was in completely randomized blocks with 06 repetitions and 06 treatments : T₀ : control (manual sowing and weeding, without seed treatment, without fertilizers), T₁ (Mechanical sowing and weeding (PM) + Seed treatment (T) + 0,3 g. hill⁻¹ of

microdosing NPK 15–15–15 hill⁻¹), T2 (PM + T + 30 g.hill⁻¹ of 2:1 Chicken manure-ash), T3 (PM + T + 60 g. hill⁻¹ of 2 : 1 Chicken manure-ash), T4 (PM + T + 30 g. hill⁻¹ of 4 : 1 Chicken manure-ash) and T5 (PM + T + 60 g. hill⁻¹ of 4 : 1 Chicken manure-ash). The physicochemical analyzes of the soil of study sites, chicken manure and ash were carried out at the Laboratory of the National Institute of Agronomic Research of Niger (INRAN). The results showed that the soils of study sites are acidic and poor in organic matter (less than 1 %) and phosphorus. The T5 treatment (PM + T + 60 g of 4: 1 Chicken manure-ash) reduced the development cycle time by 11 days and improved grain and biomass yields by 81,09 % and 49, respectively, 24 % compared to control. This treatment also gave the highest gross margin per hectare corresponding to 154,780 FCFA. This treatment can therefore be offered to producers to improve their millet production and therefore their income.

Keywords : *pearl millet, seed priming, weeding, coating, Niger.*

1. Introduction

Au Niger, l'agriculture est le secteur le plus important de l'économie du pays car elle représente la principale source de revenus pour plus de 80 % de la population et contribue à hauteur de plus de 40 % du produit intérieur brut national [1]. Mais cette agriculture se fait dans un contexte marqué par un régime pluvial faible et variable, et par une pression forte et croissante exercée sur les terres arables [2]. Les sols cultivés sont en grande partie dunaires, peu productifs, fragiles, généralement pauvres en éléments nutritifs et en matière organique. Pourtant, l'utilisation des engrais minéraux reste encore très faible (4 kg ha⁻¹) et moins de 4 % des superficies cultivées en pluvial reçoivent de l'engrais [3]. Alors que la fertilisation minérale constitue un moyen approprié pour accroître la production agricole. Des études ont démontré que l'utilisation judicieuse d'engrais minéraux conduit à une augmentation considérable des rendements à condition qu'aucun autre facteur de croissance (comme la pluie et le rayonnement solaire) ne devienne restrictif [4, 5]. Toutes fois, ces engrais minéraux restent très peu disponibles et leurs coûts sont assez élevés pour les petits producteurs. Bien qu'ils améliorent les rendements, leurs utilisations à long termes et exclusive présentent des conséquences négatives sur les propriétés chimiques des sols entraînant de ce fait une réduction de rendement [2, 6, 7]. Dans ce contexte, la fertilisation organique devrait constituer une solution pour la restauration et le maintien de la fertilité des sols.

De nombreuses études ont trouvé que le maintien de la matière organique du sol permet d'accroître la durabilité des systèmes agricoles tout en améliorant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol [2, 8 - 11]. De plus, dans beaucoup de pays de la sous-région et au Niger en particulier, des résultats satisfaisants ont aussi été obtenus avec certaines technologies agricoles. Le trempage de semences qui consiste à introduire les graines dans l'eau pendant un temps bien déterminé selon les spéculations, a permis un accroissement de rendement en céréales de 30 % au Soudan [12] et de 26 % au Mali [13]. L'enrobage de semences avec les fongicides a été prouvé efficace pour accroître le rendement de mil de 15 % au Mali [14]. Le placement mécanique a induit une augmentation du rendement de sorgho de 14 % comparé au semis manuel [15]. Au Niger des études récentes menées au Niger ont montré que la combinaison du trempage de graine, de l'enrobage de semences avec les fongicides, de la microdose d'engrais (0,3 g/poquet d'engrais NPK 15-15-15) et du placement et sarclage mécaniques a augmenté le rendement en graine du mil de 55 % comparé au témoin sans ces traitements [16]. Quant à l'usage des fumures organiques, les plus utilisées sont les résidus de culture, le fumier de ferme et le compost, qui sont soit appliqués à la surface du sol, soit incorporés dans le sol. Mais dans ce pays, l'utilisation d'autres sources d'éléments nutritifs comme les fientes de la volaille et la cendre en culture pluviale sont peu documentés. Vu leur disponibilité dans la plupart des exploitations en milieu rurale, l'utilisation de ces

fertilisants pourrait être une solution en partie aux problèmes de fertilisation des sols. La présente étude vise à évaluer les effets de la combinaison de doses croissantes de fientes de la volaille associés et de la cendre et de technologies simples dont le trempage de semences dans l'eau, l'enrobage de semences avec les fongicides et la mécanisation de semis et du sarclage avec le semoir sur la performance du mil. Il est question plus spécifiquement de comparer la pratique paysanne de la culture manuelle du mil à des pratiques basées sur des technologies améliorées utilisant des doses croissantes de fiente de la volaille associé à la cendre, le placement et sarclage mécaniques et les traitements de semences. Aussi, d'évaluer les effets de traitements sur le taux de germination, la vigueur des plants à la levée, le cycle de développement, les rendements en grains et en biomasse, et la marge brute.

2. Matériel et méthodes

2-1. Sites de l'étude

L'étude s'est déroulée dans les régions sahéliennes du Niger comprises entre le 12^{ème} et 14^{ème} degré de Latitude Nord dans deux stations de l'INRAN de Lossa (13°56'02" N et 1°34'29" E) et de N'Dounga (13°56'29" N et 2°14'51" E) dans la région de Tillabery au cours des saisons des pluies 2018 et 2019.

2-2. Matériel végétal

Le matériel végétal est le mil de la variété HKP qui a été choisie en raison de son adaptation aux différentes zones d'étude. Cette variété est aussi adaptée aux isohyètes 230 à 350 mm et résistante au Borer de la tige et au Mildiou. Elle arrive à l'épiaison à 50 à 55 jours après le semis, et sa maturité est atteinte 70 à 80 jours après le semis. La hauteur moyenne de la tige varie de 175 à 180 cm à l'épiaison [17].

2-3. Dispositif expérimental et traitements

Le dispositif de l'essai est un bloc de Fischer complètement randomisé de 70 m de longueur et 37,5 m de largeur. Il est organisé en 06 traitements et 06 répétitions (**Tableau 1**) soit au total 36 parcelles pour l'ensemble de l'essai. Les parcelles élémentaires sont de 50 m² (5 m x 10 m), les allées sont de 2 m entre les répétitions et de 1,5 m entre les parcelles élémentaires.

Tableau 1 : Composition des paquets de technologies utilisés par traitement

Traitements	Éléments des paquets technologiques				
T ₀	Sans trempage	Sans enrobage	Sans microdosage	Semis manuel	Sarclage manuel
T ₁	Trempage	Enrobage	Microdose (0,3g/poquet NPK)	Placement mécanique	Sarclage mécanique
T ₂	Trempage	Enrobage	Microdosage (30 g/poquet 2 : 1 fiente-cendre)	Placement mécanique	Sarclage mécanique
T ₃	Trempage	Enrobage	Microdosage (60 g/poquet 2 : 1 fiente-cendre)	Placement mécanique	Sarclage mécanique
T ₄	Trempage	Enrobage	Microdosage (30 g/poquet 4 : 1 fiente-cendre)	Placement mécanique	Sarclage mécanique
T ₅	Trempage	Enrobage	Microdosage (60 g/poquet 4 : 1 fiente-cendre)	Placement mécanique	Sarclage mécanique

2 : 1 fiente-cendre : 2 kg de fiente pour 1 kg de cendre, 4 : 1 fiente-cendre : 4 kg de fiente pour 1 kg de cendre.

Le témoin manuel (T0) a été semé à l'aide de la houe et sarcler avec la hilaire. Le trempage de semences au niveau des traitements (T1, T2, T3, T4 et T5), a consisté à introduire les graines dans l'eau pendant huit heures de temps à la température ambiante. Après le trempage, les graines ont été séchées sur un sac en cotonnade dans un endroit bien aéré à l'ombre pendant deux heures de temps. Les graines ont été ensuite traitées avec l'insecticide/fongicide combiné Calthio D5 (lindane de 20 % et thirame de 25 %) à un taux de 0,5 g par kilogramme de semences. Avant le semis, les champs ont été labourés et planés afin de faciliter le déplacement du semoir. Pour le traitement T1, les semences traitées et l'engrais minérale NPK 15-15-15 ont été mélangés dans un rapport de 1 :1 et semés avec le semoir. Pour les traitements T2 et T3, les semences ont été introduit dans le premier compartiment de la trémie destinée à cet effet et le mélange 2 : 1 de la fiente de la volaille et de cendre (2 kg de fiente + 1 kg de cendre) a été introduit dans le deuxième compartiment de la trémie avant le semis. Concernant les traitements T4 et T5, les semences ont été introduit dans le premier compartiment de la trémie comme précédemment et le mélange 4 :1 de la fiente de la volaille et de cendre (4 kg de fiente + 1kg de cendre) a été introduit dans le deuxième compartiment de la trémie avant le semis. Le semis a été effectué avec le nouveau prototype de semoir *Gangaria* conçu en 2018 par l'INRAN et fabriqué par Unité de Construction de Matériels Agricole, Zinder, Niger (UCOMA). *Gangaria* est un semoir mono-rang composé d'une trémie à double compartiment, d'un soc semeur couplé au coutre, de 2 rasettes, de 2 roues motrices, d'un traceur, d'une roue plumbeuse et d'un ensemble de disques distributeurs (**Figure 1**). Ce semoir livre en même temps les semences et la fumure à travers un ensemble des disques distributeur fixé sur l'axe d'entraînement des roues. La densité de semis et la quantité de semences livrées dépend des disques, et ces derniers sont interchangeable. Le disque livreur de semences a un trou d'un volume de $0,144 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ et applique 0,3 g/poquet et le trou du disque livreur de la fumure a $12 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ de volume qui applique 60 g du mélange fientes-cendre (**Figure 2**). La distance entre les lignes, est réglée à travers un traceur annexé au châssis de la machine. Des dents ont été montées sur le châssis du semoir pour le rendre apte au sarclage dans les interlignes. En outre, un sarclage manuel entre les plants a été réalisé après chaque opération de sarclage mécanique.

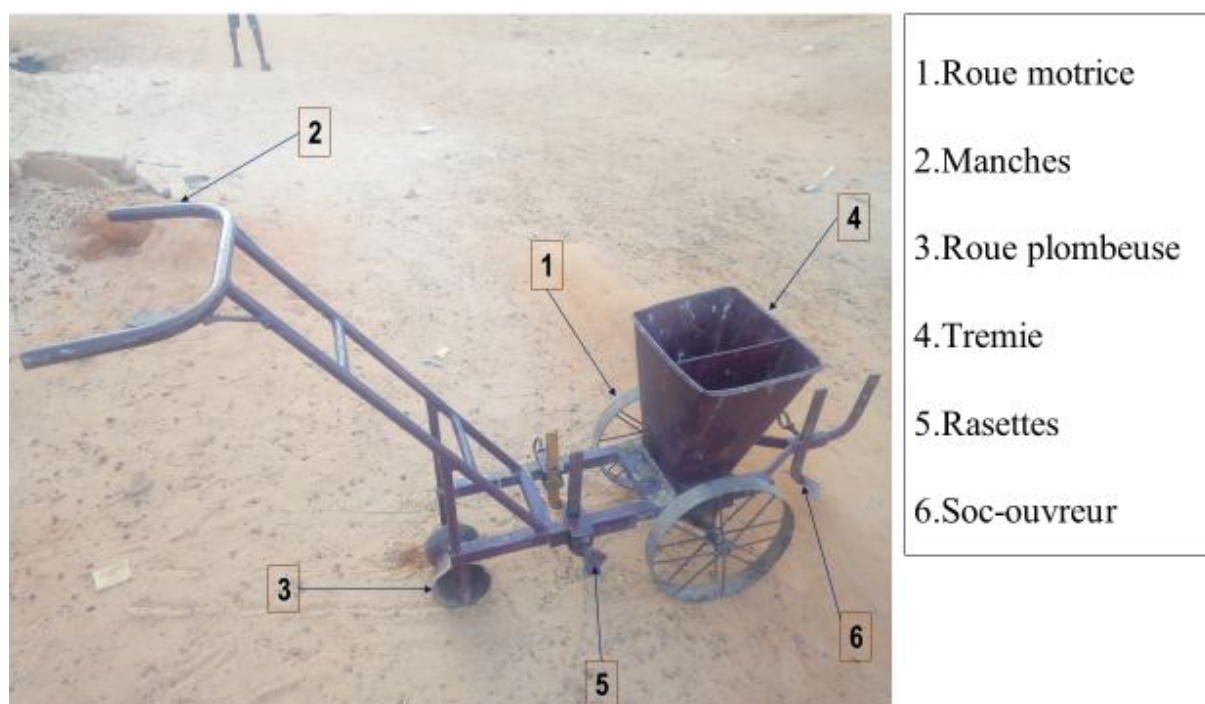


Figure 1 : Semoir à traction animale « *Gangaria* »



1. Disque de fumure

2. Disque de semence

Figure 2 : Ensemble disques distributeurs de Gangaria

2-4. Mesures agronomiques

Les mesures agronomiques effectuées, ont porté sur le taux de germination, la vigueur des plants à la levée, la date de 50 % maturité, le rendement en grains et le rendement en biomasse. Le taux de germination, a été estimé par comptage de nombre de poquets pour chaque parcelle élémentaire à partir du 2,5 jour après le semis au niveau de tous les sites. Le rendement en grains et le poids de matière sèche ont été déterminés après le battage et le pesage par parcelle utile.

2-5. Caractérisations physico-chimique des sols de sites étudiés, de fiente de la volaille et de la cendre

Les échantillons de sols sont prélevés sur chaque site. Chaque site est subdivisé en trois parties. Sur les trois parties de chaque site, des prélèvements de sols à la tarière ont été effectués. Ainsi au total trois échantillons ont été collectés par site. Les analyses des échantillons de sols prélevés sur chaque site, ont été effectuées dans le laboratoire de l'INRAN. Elles ont porté sur la granulométrie et les analyses physicochimiques. Ces échantillons prélevés sur les sites ont été séchés à la température ambiante du laboratoire et tamisés à 2 mm. Les analyses ont été effectuées sur la terre fine. Les analyses physico-chimiques ont permis de déterminer : la granulométrie, le pH-eau, le carbone organique total (C), l'azote total (N), le Phosphore total et assimilable (P), le potassium total (K), la conductivité électrique (CE), la capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables (Ca^{++} , Mg^{+} , Na et K^{+}). La granulométrie a été déterminée par la méthode de la pipette Robinson. La mesure du PH s'effectue selon l'OIN international standard ISO 10390 (1994), Le carbone organique est mesuré par la méthode décrite par Walkley et Black. La méthode de Kjeldahl (NT 76.05, 1983) a été utilisée pour déterminer la teneur en azote. La méthode de [Murphy J, Riley JP.] a permis de déterminer le P disponible. Le potassium a été déterminé à l'aide d'un photomètre de flamme. Le potassium K^{+} a été lis directement dans la minéralisation. Des bases échangeables (Na^{+} , Ca^{++} , magnésium Mg^{+}) ont été extraites par la solution de l'acétate d'ammonium ($NH_4 OAc$) à pH 7. Par ailleurs, des échantillons de la cendre et de fientes ont prélevés et analysés au laboratoire. Ces analyses ont porté sur le PH, le potassium, le phosphore total, le carbone, la teneur en matière organique et l'azote.

2-6. Evaluation économique

Le revenu a été calculé sur la base de valeurs de rendements en grains et en biomasse de chaque traitement. Ce calcul a été fait en tenant compte du prix moyens sur le marché dans les villages, le kilogramme de grains coute 200 FCFA et celui de la biomasse 8,2 FCFA. Les traitements ont des coûts relatifs aux intrants comme les semences, la fiente, la cendre et les fongicides et ceux relatives à la main d'œuvre comme le semis, le démarrage, le sarclage, la récolte, le transport de bottes et le battage/vannage. Le prix par kilogramme était à 1000 FCFA pour les semences, 25 FCFA pour la fiente, 8 FCFA pour la cendre et 300 FCA pour le sachet de fongicides. Le coût journalier de la main d'œuvre est de 2500 FCFA/Homme. Le coût de la main d'œuvre par botte est de 150 FCFA pour la récolte, 100 FCFA pour le transport et 200 FCFA pour le battage/vannage. Pour le semis mécanique, il n'y a pas de coût de la main-d'œuvre lié au démarrage parce que le semoir livre une petite quantité de graine au poquet. La marge brute a été calculée à travers la différence entre le coût de production et celui du revenu.

2-7. Analyse statistique

Les données collectées de l'essai ont été analysées à l'aide des logiciels Excel et GenStat version 9. 2 (VSN International, Hemel Hempstead, UK). Une analyse des variances a été effectuée pour l'ensemble des traitements. Des intervalles de confiance sont présentés pour séparer les moyens.

3. Résultats

3-1. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Lossa et N'Dounga

L'analyse physico-chimiques montre que les valeurs du pH sont acides et varient de 6,36 à 6,87 à Lossa et de 6,52 à 6,93 à N'Dounga en fonction des casiers (**Tableau 2**). La teneur en bases échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) varie selon les sites et les bases. Les teneurs en Ca^{++} et Mg^{++} de N'Dounga sont supérieures à celles de Lossa tandis que les teneurs en Na^+ et K^+ de Lossa sont supérieures à celles de N'Dounga. Les teneurs en phosphate assimilable obtenues à Lossa sont plus faibles (3,43 à 9,56 ppm) que celles obtenues à N'Dounga (11,1 à 52,93 ppm). A Lossa, les teneurs en potassium sont constantes (0,82) tandis que celles obtenus à N'Dounga varient de 0,4 à 1,2. Les teneurs en carbone organique de ces sols sont très faibles, et varient de 0,1 à 0,3 % à Lossa et de 0,15 à 0,34 % à N'Dounga et celles de l'azote de 0,024 à 0,035 % à Lossa et de 0,023 à 0,028 % à N'Dounga. Le rapport C/N est très bas, il est compris entre 7,2 et 10 à Lossa et 5,4 à 13,6 à N'Dounga. Le carbone organique de ces sols étant inférieure à 3 %, et le rapport C/N très bas, ce qui indiquent ces deux sols sont pauvre en matière organique. Les valeurs obtenues dans l'analyse granulométrique présentent une dominance du sable fins et du limon sur toutes les autres textures, variant respectivement de 45 à 52 % et de 29 à 37 % à Lossa et de 45 à 58 % et de 26 à 33 % à N'Dounga. Les textures de ces deux sols sont sablo-limoneuses (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Lossa et N'Dounga

Sites	Casiers	Prof	Analyse chimique										Texture			
			PH eau	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	k ⁺	P _{ass}	Carbone	MO	Azote	C/N	A	L	SF	SG
			1/2,5	méq/100g				ppm	%		%					
Lossa	PL1	0 - 20	6,87	0,2	0,121	0,38	0,82	7,18	0,21	0,36	0,029	7,2	16,3	29,3	51,5	2,9
	PL2	0 - 20	6,36	0,17	0,074	0,37	0,82	3,43	0,3	0,52	0,035	8,6	17	34,8	45,7	2,53
	PL3	0 - 20	6,82	0,25	0,134	0,23	0,82	9,56	0,24	0,41	0,024	10	10,1	36,6	50,9	2,46
N'Dounga	PKS1	0 - 20	6,93	0,47	0,255	0,3	1,22	44,39	0,34	0,58	0,025	13,6	14	26,7	57,7	2,08
	PKS2	0 - 20	6,66	0,23	0,136	0,24	0,51	52,93	0,15	0,26	0,028	5,4	20,2	30	47,4	2,41
	PKS3	0 - 20	6,52	0,2	0,106	0,2	0,4	11,1	0,18	0,3	0,023	7,8	20,2	32,4	45,5	1,96

Prof : profondeur, MO : matière organique, A : argile, L : limon, SF : sable fins, SG : sable grossiers, PL1 : prélèvement du sol de la partie antérieure du dispositif de Lossa ; PL2 : prélèvement du sol de la partie centrale du dispositif de Lossa , PL3 : prélèvement du sol de la partie postérieure du dispositif de Lossa , PKS1 : prélèvement du sol de la partie antérieure du dispositif de N'Dounga ; PKS2 : : prélèvement du sol de la partie centrale du dispositif de N'Dounga , PKS3 : prélèvement du sol de la partie postérieure du dispositif de N'Dounga.

3-2. Caractéristiques chimiques de la fiente et la cendre utilisées

Les résultats de l'analyse chimiques révèlent que le pH de la fiente est basique (8,5) alors que celui de la cendre est très acide (1,1) (**Tableau 3**). La teneur en phosphate totale de la fiente (881 mg/kg) est inférieure à celle de la cendre (1375 mg/kg). Les teneurs en potassium de 1,6 et 0,8 ont été obtenus respectivement pour la fiente et la cendre. La teneur en carbone organique est plus élevée avec la fiente (1,3 %) qu'avec la cendre (0,8 %). Le taux de la matière organique est plus élevé avec la fiente (2,7 %) qu'avec la cendre (1,4 %). Le teneur en azote de la fiente (0,6 %) a triplé celle de la cendre (0,2 %) (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Caractéristiques chimiques de fiente et la cendre

Identification	PH eau	k ⁺	Phosphore total	Carbone	MO	Azote
	1/2,5	méq/100g	mg/kg		%	
Fiente	8,5	1,6	881	1,3	2,27	0,6
Cendre	1,1	0,8	1375	0,8	1,4	0,2

3-3. Effets des traitements sur le taux de germination 2,5 JAS et la vigueur des plants à la levée

Le taux moyen de germination 2,5 JAS de deux année 2018 et 2019, a été de 26,92 % pour le témoin contre 87,42 ; 88,54 ; 89,54 ; 90,13 et 92,96 % respectivement pour les traitements T₁, T₂, T₃, T₄, et T₅ (**Tableau 4**). Ces résultats montrent que le taux de germination ne présente pas une grande variation entre les traitements tandis qu'il a varié avec le témoin de 33,58 % à 20,25 % de 2018 à 2019. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements pendant les deux années (P = 0.054).

Tableau 4 : Effets des traitements sur Le taux moyen de germination 2,5 JAS et la Vigueur à la levée des plants de différents sites au cours de deux années

Station	Année	Taux de germination 2,5 JAS					Vigueur des plants à la levée						
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Lossa	2018	28,67±11,9	88,33±4,1	82,5±8,2	83,67±9,2	87,5±6,1	89,17±6,6	1	3,5±0,5	2,83±0,4	3±0,6	3,17±0,4	3,83±0,4
	2019	23,17±8,8	89,17±8	90,83±4,9	85,83±7,4	90,83±9,2	94,17±4,9	1	2,83±0,5	2,83±0,4	3,83±0,4	3	4
N'Dounga	2018	38,5±6	94,17±4,9	91,67±11,3	96,17±4,5	94,67±4,5	94,33±5,9	1,5±0,5	3,67±0,5	2,67±0,5	3	3,67±0,5	3,67±0,5
	2019	17,33±7,6	78±34,4	89,17±5,8	92,5±7,6	87,5±10,4	94,17±8	1,17±0,4	3	3±0,6	3,67±0,5	3,33±0,5	4
Moyenne	2018	33,58±10,3	91,25±5,3	87,08±10,5	89,92±9,5	91,08±6,4	91,75±6,6	1,25±0,5	3,58±0,5	2,75±0,5	3±0,4	3,42±0,5	3,75±0,5
	2019	20,25±8,4	83,58±24,5	90±5,2	89,17±7,9	89,17±9,5	94,17±6,3	1,08±0,3	2,92±0,3	2,92±0,5	3,75±0,5	3,17±0,4	4
Moyenne 2018-2019		26,92±11,5	87,42±17,8	88,54±8,3	89,54±8,6	90,13±8	92,96±6,4	1,17±0,4	3,25±0,5	2,83±0,5	3,38±0,6	3,29±0,5	3,88±0,3
Fpr													
Année (A)							0.054						
Site (S)							0.071						
Traitement (T)							<.001						
AxS							<.001						
AxT							0.024						
SxT							0.388						
SxTxA							0.848						
Cv							11.9						
							14.1						

T₀: témoin sans trempage, sans enrobage, sans microdose, semis manuel, sarclage manuel ; *T₁*: placement et sarclage mécaniques (PM), trempage et enrobage de semences (TE) et microdose d'engrais minérale (0,3 g/poquet NPK) ; *T₂*: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 2 :1 fiente-cendre) ; *T₃*: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 2 : 1 fiente-cendre) ; *T₄*: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 4 :1 fiente-cendre) ; *T₅*: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 4 :1 fiente-cendre). Signification des indices de la vigueur des plants à la levée : 1 : Mauvaise 2 : Moyenne 3 : Bonne 4 : Excellente

L'effet des traitements a significativement influencé la vigueur moyenne des plants à la levée pendant les deux campagnes 2018 et 2019. La vigueur moyenne des plants à la levée de ces deux années, a été de 1,17 pour le témoin, contre 3,25 ; 2,83 ; 3,38 ; 3,29 et 3,88 respectivement pour les traitements *T₁*, *T₂*, *T₃*, *T₄*, et *T₅* (**Tableau 4**). Ces résultats montrent que le traitement *T₅* a été le plus vigoureux (3,88), les traitements *T₁*, *T₃* et *T₄* ont obtenus aussi de bonnes vigueurs des plants avec de valeurs qui se situent entre 3 et 3,5. Le traitement *T₄* a présenté une valeur intermédiaire de 2,83. Il n'y a pas de différence significative entre les années ($P = 0.842$).

3-4. Effet de traitements sur la date de 50 % maturité

La durée du cycle de développement des plants a été significativement réduit par les différents traitements pendant la première et la deuxième campagne sur les sites d'études (**Tableau 5**). Le date moyenne de 50 % maturité a été 79 jours pour témoin contre 69, 69, 68, 69 et 68 jours respectivement pour les traitements *T₁*, *T₂*, *T₃*, *T₄*, et *T₅* durant cette période (Tableau 5). Ces résultats montrent que le cycle est réduit de 10 jours avec les traitements *T₃* et *T₅* contre 11 jours pour les traitements *T₁*, *T₂* et *T₄*. L'ensemble de traitements ont donc permis de réduire le cycle de développement des plants du mil. Des différences significatives ont été observés entre les sites ($P < .001$) et les années ($P < .001$).

Tableau 5 : Effet des traitements sur la date de 50 % maturité de différents sites au cours de deux années

Station	Année	Date de 50% maturité					
		T0	T1	T2	T3	T4	T5
Lossa	2018	77,17±0,8	69±1,3	68,83±0,8	67±0,6	68,33±1	66,67±0,8
	2019	79,83±0,8	69,5±0,8	69±0,6	67,83±1,2	69,17±0,8	67,83±0,8
N'Dounga	2018	79,17±1	69,5±0,8	69,83±0,4	68,33±0,8	69,5±0,8	69±1,3
	2019	81,67±1	70,33±1	70,33±0,8	69,17±0,4	69,83±0,4	68,33±0,8
Moyenne	2018	78,17±1,3	69,25±1,1	69,33±0,8	67,67±1	68,92±1,1	67,83±1,6
	2019	80,75±1,3	69,92±1	69,67±1	68,5±1,1	69,5±0,7	68,08±0,8
Moyenne 2018-2019		79,46±1,8	69,58±1,1	69,5±0,9	68,08±1,1	69,21±0,9	67,96±1,2
Fpr							
Année (A)		<.001					
Site (S)		<.001					
Traitement (T)		<.001					
AxS		0.289					
AxT		<.001					
SxT		0.191					
SxTxA		0.254					
Cv		1.2					

T₀: témoin sans trempage, sans enrobage, sans microdose, semis manuel, sarclage manuel ; T₁: placement et sarclage mécaniques (PM), trempage et enrobage de semences (TE) et microdose d'engrais minérale (0,3 g/poquet NPK) ; T₂: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 2 :1 fiente-cendre) ; T₃: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 2 :1 fiente-cendre) ; T₄: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 4 :1 fiente-cendre) ; T₅: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 4 :1 fiente-cendre).

3-5. Effet de traitements sur les rendements en grains et en biomasse sèche

Les effets de traitements ont induit une augmentation significative du rendement en grains du mil (**Tableau 6**). En 2018, le rendement en grains a été de 620 kg/ha pour le témoin contre 954, 989, 1044, 1014 et 1131 kg/ha respectivement pour les traitements T₁, T₂, T₃, T₄, et T₅ (**Tableau 6**). Il a été de 406 kg/ha pour le témoin contre 590, 627, 687, 650 et 728 kg/ha respectivement pour les traitements T₁, T₂, T₃, T₄, et T₅ en 2019. Durant les deux années, on observe un accroissement moyen par rapport au témoin de : 50,48 ; 57,5 ; 68,81 ; 62,18 et 81,09 % de respectivement pour les traitements T₁, T₂, T₃, T₄, et T₅ (**Tableau 6**). Ces résultats montrent que les traitements T₅ a été plus efficace pour augmenter les grains, il est suivi du traitement T₃. Ils indiquent que plus la dose de fientes est élevée plus les rendements en grains augmentent. Mais l'ensemble de traitements ont été efficace sur le rendement en grains du mil.

Tableau 6 : Effet des traitements sur les rendements en grains et en biomasse de différents sites au cours de deux années

Station	Année	Rendement en grains					Rendement en biomasse						
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Lossa	2018	567±52	872±120	902±122	958±122	924±123	1057±111	1403±190	1716±299	1840±339	1932±367	1902±352	2028±399
	2019	370±85	528±120	559±120	611±142	578±126	646±154	703±184	914±247	1019±262	1082±262	1052±254	1166±265
N'Dounga	2018	673±89	1035±170	1075±172	1130±166	1104±169	1206±177	1748±233	2101±281	2254±311	2358±325	2325±322	2463±326
	2019	442±42	652±77	696±81	763±86	723±79	809±107	867±76	1148±101	1257±101	1312±112	1285±102	1386±117
Moyenne	2018	620±89	954±165	989±169	1044±164	1014±170	1131±161	1576±271	1909±342	2047±378	2145±399	2114±390	2246±415
	2019	406±74	590±116	627±121	687±137	650±126	728±153	785±159	1031±218	1138±228	1197±227	1168±221	1276±227
Moyenne 2018-2019		513±135	772±232	808±234	866±235	832±236	929±257	1180±459	1470±528	1592±556	1671±579	1641±574	1761±594
Fpr													
Année (A)				<.001						<.001			
Site (S)				<.001						<.001			
Traitement (T)				<.001						<.001			
AxS				0.509						0.016			
AxT				0.083						0.775			
SxT				0.871						0.992			
SxTxA				0.999						1.000			
Cv				14.5						14.6			

T₀: témoin sans trempage, sans enrobage, sans microdose, semis manuel, sarclage manuel ; *T₁*: placement et sarclage mécaniques (PM), trempage et enrobage de semences (TE) et microdose d'engrais minérale (0,3 g/poquet NPK) ; *T₂*: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 2:1 fiente-cendre) ; *T₃*: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 2:1 fiente-cendre) ; *T₄*: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 4:1 fiente-cendre) ; *T₅*: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 4:1 fiente-cendre)

Les effets de traitements ont aussi induit une augmentation significative du rendement en biomasse du mil (**Tableau 6**). Le rendement moyen en biomasse de 2018 et 2019, a été de 1180 kg/ha pour le témoin contre 1470, 1592, 1671, 1641 et 1761 kg/ha respectivement pour les traitements *T₁*, *T₂*, *T₃*, *T₄*, et *T₅*. On observe un accroissement par rapport au témoin de : 24,57 ; 34,91 ; 41,61 ; 39,07 et 49,24 % respectivement pour les traitements *T₁*, *T₂*, *T₃*, *T₄*, et *T₅* (**Tableau 6**). Ces résultats indiquent que plus la dose de fientes est élevée plus les rendements en biomasse augmentent. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de rendements en grains.

3-6. Evaluation économique

Les résultats de l'évaluation économique montrent que les Traitements *T₀*, *T₁*, *T₂*, *T₃*, *T₄*, et *T₅* ont obtenus des marges brutes respectives de 53826, 132754, 135454, 140102, 139076, 154780 FCFA (**Tableau 7**). Ils indiquent un accroissement de marge brute à l'hectare comparée à *T₀* de 146,6 ; 151,6 ; 160,3 ; 158,4 et 187,6 %. Les meilleurs rendements obtenus par les différents traitements et leur coûts réduit comparés au témoin *T₀* sont les principaux facteurs qui expliquent les revenus les plus élevés enregistrés par ces traitements. Les coûts de la production à l'hectare sont de 58450 FCFA ha⁻¹ pour le traitement *T₀* tandis qu'il est de 33700, 39200, 46800, 40780 et 45460 FCFA ha⁻¹ respectivement pour les traitements *T₁*, *T₂*, *T₃*, *T₄*, et *T₅*. Le traitement *T₁* a eu des coûts de production inférieurs à tous les traitements. Les coûts liés à la main d'œuvre pour le semis, les sarclages et le démariage ont beaucoup contribué à l'augmentation du coût de production du traitement *T₀*.

Tableau 7 : Evaluation économique

Traitements	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Revenus						
Grains	102600	154400	161600	173200	166400	185800
Biomasse	9676	12054	13454	13702	13456	14440
Chiffre d'affaire	112276	166454	174654	186902	179856	200240
Cout de la production						
Semis	6050	3050	3050	3050	3050	3050
Semences	4800	1800	1800	1800	1800	1800
Fongicide	----	300	300	300	300	300
Engrais minérale	----	1200	----	----	----	----
Fiente	----	----	5000	10000	6000	12000
Cendre	----	----	800	1600	480	960
Démariage	5000	----	----	----	----	----
Sarclages	29100	7100	7100	7100	7100	7100
Récolte d'épis	4500	6750	7050	7650	7350	6750
Transport de bottes	3000	4500	4700	5100	4900	4500
Battage et vannage	6000	9000	9400	10200	9800	9000
Total coût de production	58450	33700	39200	46800	40780	45460
Marge brute	53826	132754	135454	140102	139076	154780

T₀: témoin sans trempage, sans enrobage, sans microdose, semis manuel, sarclage manuel ; T₁: placement et sarclage mécaniques (PM), trempage et enrobage de semences (TE) et microdose d'engrais minérale (0,3 g/poquet NPK) ; T₂: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 2 :1 fiente-cendre) ; T₃: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 2 :1 fiente-cendre) ; T₄: PM, TE et microdosage (30 g/poquet 4 :1 fiente-cendre) ; T₅: PM, TE et microdosage (60 g/poquet 4 :1 fiente-cendre).

4. Discussion

Les analyses physico-chimiques ont révélé les sols de Lossa et de N'Dounga ont été tout deux acide. Cette acidité de ces sols serait dû à la décomposition de débris végétaux par les microorganismes d'une part et à l'antécédent d'apport d'engrais minérale d'autre part. La teneur en bases échangeables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺) varie selon les sites et les bases mais augmentent avec le pH. Dans une étude conduite au Burkina Faso, il a été rapporté que toutes les fumures ont entraîné une baisse du pH-KCl de 0,2 à 0,5 unité, et que la fumure minérale NPK acidifiait beaucoup plus le sol avec une baisse du pH-KCl de l'ordre de 0,5 unité [18]. Sur les deux sites, les teneurs en phosphate assimilable des sols ont été faibles. Ces résultats confirment des nombreuses études qui ont rapporté que le phosphore est le facteur limitant de la production végétale dans les sols sableux au Niger dont la teneur en phosphate disponible, est très bas [19, 20]. La faible teneur en phosphore de ces sols s'explique par la nature de matériau parental, composé en majeure partie de sable éoliens pauvres en réserves minérales, et la faible teneur en argile et en matière organique [21]. Le rapport C/N de Lossa situé entre 7,2 et 10 est supérieure à celui de N'Dounga compris entre 5,4 à 13,6 à N'Dounga. Aussi, les taux de la matière organique de ces sols sont inférieurs à 1 %. Les sols de ces deux sites sont pauvres en matière organique. L'analyse granulométrique a indiqué une dominance du sable fins et du limon sur toutes les autres textures, et l'argile qui contribue à la cohésion des éléments du sol en faible proportion dans ces sols, ce qui indique que ces sols ont une bonne porosité et une faible capacité à stocker l'eau et les éléments minéraux. La teneur minimale de matières organiques du sol requise pour maintenir la structure du sol dépend de la teneur en argile et en limon [22]. Dans l'ensemble, ces résultats rejoignent de nombreuses études qui ont montré que les sols tropicaux de l'Afrique présentent une fertilité naturelle faible, qui s'exprime par le faible niveau de carbone organique (moins de 0,3 %), de phosphore assimilable, d'azote et de capacité d'échange cationique [23 - 25]. L'analyse chimique a révélé que la valeur du pH de la

fiente est basique (8,5) tandis que celle de la cendre est très acide (1,1). Les teneurs en éléments chimiques comme le carbone carbonique, la matière organique et l'azote sont plus importantes dans la fiente alors que la cendre est riche en phosphate totale et en potassium. D'autre part, l'analyse chimique a montré que les sols étudiés sont acides et pauvres en matière organique et en phosphore. La combinaison de ces deux substances organiques au poquet pourrait contribuer à augmenter le stock en éléments minéraux de ces sols. La basicité de la fiente permettrait d'atténuer l'acidité de sols de ces sites. En effet, Les fientes de poules contiennent des éléments nutritifs à la fois sous formes minérale et organique. Lors de la décomposition et la minéralisation de la fiente, la libération des nutriments est bénéfique au sol. L'utilisation d'une quantité importante de la fiente de poules s'explique aussi par le fait qu'elle concentre une grande quantité de nutriments dont l'azote (N) et le phosphore (P) qui interviennent dans la croissance et le développement. Des études ont montrés que la fiente de poules est à l'origine des améliorations dans la croissance de la plante observée à la montaison, à la floraison et après grenaison [26 - 28]. Les effets positifs de fientes de la volaille sur les rendements de cultures ont été démontré au Cameroun à travers une étude sur la croissance et la production de biomasse de *Brachiaria ruziziensis* (Poaceae) [28].

Cette richesse de fiente de la volaille et de la cendre en éléments minéraux, est une bonne opportunité pour les paysans nigériens du fait que l'aviculture est pratiquée par une bonne partie des ménages et que la production de la cendre est quasi-quotidienne dans la plupart des familles avec l'utilisation des bois de chauffe. Malgré leur teneur en éléments minéraux, la collecte de la fiente et de la cendre, et leurs préparations comme fertilisants prennent beaucoup de temps et demande beaucoup de travail pour les producteurs. Les effets de traitements ont significativement amélioré le taux de germination à 2,5 JAS au niveau de l'ensemble de sites étudiés. Cette amélioration de la germination est très probablement due aux effets bénéfiques du trempage de semences dans l'eau et au placement mécanique à travers l'accélération de la germination, la régularité de la profondeur de semis et de leurs écartements. Des nombreuses études effectuées au Mali, au Soudan et au Niger, ont montré l'importance de la combinaison de ces technologies, et plus particulièrement sur le raccourcissement de temps de germination de semences de 1 à 2 jours et l'installation rapide et uniforme des plants cultivés dans les mêmes conditions agro écologiques [14 - 16, 29, 30]. L'ensemble de traitements ont également conduits à l'amélioration de la vigueur des plants à la levée par rapport au témoin. Le traitement ayant plus de doses de fientes (T_5) a donné la plus grande vigueur à la levée que les autres traitements.

Ces résultats satisfaisants montrent la pertinence de la dose (60 g 1 : 4 fientes-cendre) au poquet qui contient plus d'éléments nutritifs que les autres traitements. La durée du cycle de développement a été influencé par l'effet de traitements confirmant ainsi l'effet des éléments minéraux sur la date de 50 % maturité dont le phosphore qui stimule la précocité de la floraison et de la récolte [31, 32]. Ces résultats rejoignent ceux des études réalisées en Côte d'Ivoire et au Togo [33, 9]. Mais d'autre facteurs comme le climat, le sol, la température, la pluviométrie, la fréquence des cultures et autres peuvent aussi influencer la phénologie d'une plante [34 - 36]. Les traitements ont eu un effet significatif sur les rendements en grains du mil. Ces meilleurs résultats sont dus à l'effet conjoint du traitement de semences (trempage et enrobage), de l'utilisation de doses des fumures, et l'utilisation de semoir Gangaria à travers le placement et sarclages mécaniques. Ainsi, le trempage de grains dans l'eau permet une augmentation des rendements de céréales de 20 à 30 % [12, 13]. L'enrobage de semences avec les fongicides a aussi permis un accroissement de rendement du mil de 15 % au Mali [14]. Quant au placement mécanique, il permet d'accroître le rendement en céréale de 14 % par rapport au semis manuel [15]. Le sarclage mécanique combiné au traitement de semences, à la microdose d'engrais (0,2 g/poquet) et au placement mécanique ont permis d'augmenter la productivité des sols en céréale au Mali [37]. Des études effectuées au Niger ont montré que la combinaison de trempage de semences, de l'enrobage avec les fongicides, des placement et sarclage mécaniques et de

la microdose d'engrais 0,3 g/poquet NPK, a permis d'accroître le rendement en grains du mil de 55,3 % [16]. La combinaison de technologies du traitement de semences (trempage et enrobage), du placement et sarclages mécaniques et la dose (60 g 4 : 1 fientes-cendre)/poquet à travers le traitement (T₅) a donné le meilleur rendement en grains. Les fumures appliquées au semis, en rendant les éléments minéraux disponibles, ont permis d'accroître davantage les rendements en grains obtenus selon les doses apportées. Ces résultats ont révélé un accroissement moyen exponentiel par rapport au témoin de : 50,48 ; 57,5 ; 68,81 ; 62,18 et 81,09 % respectivement pour les traitements T₁, T₂, T₃, T₄ et T₅. Le traitement T₁ qui a induit une augmentation 50,48 % ne contient que 0,3 g/poquet d'engrais NPK et le traitement T₅ qui a obtenu un accroissement record 81,09 % est composé de 60 g (4 : 1 fientes-cendre)/poquet. Des études effectuées au Nigeria et en RDC, ont montré que plus les doses de fumures augmentent plus les rendements du gombo et du chou sont élevés [38, 39]. L'effet des traitements sur les rendements en biomasse est plus ou moins identique à ceux du rendement en grains confirmant ainsi les apports bénéfiques du trempage de semences, de l'enrobage, de l'effet de l'utilisation de semoir *Gangaria* pour le semis et le sarclage, et de différentes doses de fumures apportées. Le meilleur résultat 1761 Kg/ha est obtenu par T₅ (60 g de 4 : 1 fientes-cendre/poquet), le traitement T₁ (0,3g d'engrais NPK) a donné le résultat le plus faible 1470 Kg/ha tandis que les traitements T₂ (30 g de 2 : 1 fientes-cendre)/poquet), T₃ (60 g de 2 : 1 fientes-cendre)/poquet) et T₄ (30 g de 4 : 1 fientes-cendre)/poquet) ont présenté des valeurs intermédiaires respectives de 1592, 1671 et 1641 Kg/ha.

La performance du traitement T₅ sur la production de la biomasse, est dû au fait qu'il contient plus doses d'éléments fertilisants comme le phosphore, le potassium mais surtout l'azote contenu dans la fiente. Des études ont montré qu'il existe chez le maïs une relation linéaire entre la biomasse produite et la quantité d'azote appliquée au sol [40, 41]. L'évaluation économique a révélé que la combinaison de traitements de semences (trempage et enrobage), du placement et sarclage mécaniques et de la microdose 0,3 g d'engrais NPK au poquet, a coûté moins chers (33700 FCFA) que les autres traitements tandis que la combinaison de traitements de semences (trempage et enrobage), du placement et sarclage mécaniques et la dose de 60 g de 2 : 1 fientes-cendre/poquet a permis d'obtenir le meilleur revenu (200240 FCFA) et la plus grande marge brute à l'hectare (154780 FCFA). Cette performance est dû non seulement aux faibles coûts de semences et de la main d'œuvre lié au semis, au démarrage et au sarclage mais aussi à son chiffre d'affaire élevé. La combinaison de traitements de semences (trempage et enrobage), du placement et sarclage mécaniques et de la dose de 60 g de 2 : 1 fientes-cendre/poquet est donc un paquet technologique qui permet de produire plus du mil à faible coût. Le traitement T1 est aussi efficace pour augmenter les rendements et il est plus facile d'utiliser l'engrais minérale pour les paysans que la fiente associée à la cendre. Cependant, du point de vue amélioration de la fertilité du sol, les traitements qui contiennent plus de la matière organique est bien plus supérieure que les autres.

5. Conclusion

Les études réalisées ont révélé que les sites étudiés présentent de sols sableux à pH acide avec une fertilité faible qui s'exprime par une faible teneur en carbone organique (moins de 0,3 %), en phosphore assimilable et en azote. Les teneurs en éléments chimiques comme le carbone carbonique, la matière organique et l'azote sont plus importantes dans la fiente alors que la cendre est riche en phosphate totale et en potassium. La combinaison de ces deux substances organiques pourrait contribuer à augmenter le stock en éléments minéraux de ces sols, une fois appliquée au poquet lors du semis. Les résultats de cette étude, ont aussi montré que la combinaison de traitements de semences (trempage et enrobage), du placement et sarclage mécanique avec le semoir *Gangaria* et de la dose (60 g de 4 : 1 fientes-cendre/poquet), est un paquet technologique qui permet de réduire le temps de germination et la durée du cycle de développement. Il a

permis aussi d'induire un accroissement considérable de rendements en grains et en biomasse. Et ces rendements augmentent en même temps que les doses de fumures apportées, et la marge brute à l'hectare du mil comparé à un traitement sans ces technologies. Le paquet technologique le plus prometteur a permis d'accroître le rendement moyen en grains de 81,09 % et d'améliorer considérablement la marge brute à l'hectare. Les résultats de cette étude, ont indiqué que le producteur a la possibilité d'augmenter son rendement en fonction de ses moyens. Il n'y a pas une grande différence entre les traitements en terme de la rentabilité, mais de point de vue durabilité, il est conseillé d'apporter les fertilisants qui contiennent plus de la matière organique. La disponibilité de la fiente et le temps de sa collecte, sont les principaux facteurs limitants de cette technologie. Mais la commercialisation de la fiente et de la cendre, est devenue fréquente ces dernières années dans certaines régions du Niger avec la vulgarisation de la technique du compostage.

Remerciements

Les auteurs remercient la Norvège pour le financement de cette étude ainsi que CARE Niger et INRAN qui ont contribué à la réalisation de ce travail à travers le projet REDSAAC.

Références

- [1] - BANQUE MONDIALE, "Evaluation des risques du secteur agricole au Niger : De la réaction aux crises à la gestion des risques à long terme". Banque internationale pour la reconstruction et le développement / Banque mondiale, Rapport numéro : 74322-NE, (2013) 96 p.
- [2] - H. ZEINABOU, "Contribution du Niébé et des fumures organiques et minérales à la nutrition azotée et aux rendements du mil dans les systèmes de cultures en zone sahélo-soudanienne au Niger", Thèse de doctorat, Université de Bobo-Dioulasso, (2017) 126 p.
- [3] - SDR., Plan d'Action. "Le secteur rural, principal moteur de la croissance économique". Comité Interministériel de Pilotage de la Stratégie de Développement Rural/ Secrétariat Exécutif, (2006) 164 p.
- [4] - A. BATIONO, U. MOKWUNYE, P. L. G. VLEK and KOALA S. SHAPIRO, "Soil Fertility management for Sustainable Land Use in the West African Sudano-Sahelian Zone"., *In: M.P. Gichuru M.P., Bationo A., Bekunda M.A. Goma C.H., Mafongaonya P.L., Mugendi D.N., Murwira H.M., Nandwa S.M., Nyathi., Swift M.J.,(eds.), Soil Fertility Management in Africa: A Regional Perspective. Academy Science Publishers (ASP) TSBF-CIA, (2003) 253 - 292*
- [5] - J. O. FENING, N. EWUSI-MENSAH and E. Y. SAFO, "Short-term effects of cattle manure compost and NPK application on maize grain yield and soil chemical and physical properties". *Agricultural Science Research Journal*, 1 (3) (2011) 69 - 83
- [6] - B. KOULIBALY, O. TRAORE, D. DAKUO, P. N. ZOMBRE et D. BONDE, "Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso". *Tropicicultura*, 28 (2010) 184 - 189
- [7] - A. BATIONO, B. WASWA, A. ABDU, B. V. BADO, M. BONZI, E. IWUAFOR, C. KIBUNJA, J. KIHARA, M. MUCHERU, D. MUGENDI, J. MUGWE, C. MWALE, J. OKEYO, A. OLLE, K. ROING and M. SEDOGO, "Overview of long term experiments in Africa". *In: Lessons learned from long-term soil fertility management experiments in Africa. Springer Science + Business Media Dordrecht, (2012) 1 - 26*
- [8] - M. BONZI, "Evaluation du déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre Burkina Faso : Etude par traçage isotopique ¹⁵N au cours d'essais en station et en milieu paysan". Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine. Nancy France, (2002) 177 p.

- [9] - T. OUTENDE, T. KOFFI, A. A. KOKOU, K. LANKONDJOA, GADO TCHANGBEDJI, KOFFI KILI et BABA GNON, "Effets de la biomasse et du compost de cassia occidentalis L. sur la croissance en hauteur, le rendement du maïs (zea mays L.) et la teneur en NPK d'un sol dégradé en station expérimentale". *European Scientific Journal*, 10 (3) (2014) 294 - 310
- [10] - F. LOMPO, Z. SEGDA, Z. GNANKAMBARY et N. OUANDAOGO, "Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs". *Tropicultura*, 27 (2) (2009) 105 - 109
- [11] - A. MALTAS, H. OBERHOLZER, R. CHARLES et S. SINAJ, "Effets à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol". *Recherche Agronomique Suisse*, 3 (3) (2012) 148 - 155
- [12] - JB. AUNE and A. OUSMAN, "Effect of seed priming and micro-dosing of fertilizers on sorghum and pearl millet in Western Sudan", doi:10.1017/S0014479711000056, *Exp Agr*, 47 (2011) 419 - 435
- [13] - A. COULIBALY, K. WOUMOU and JB. AUNE, "Sustainable Intensification of Sorghum and Pearl Millet Production by Seed Priming, Seed Treatment and Fertilizer Microdosing under Different Rainfall, Regimes in Mali". *Agronomy* 9: 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100664>, *Exp Agr*, 47 (2019) 419 - 435
- [14] - JB. AUNE, CO. TRAORÉ and S. MAMADOU, "Low-cost technologies for improved productivity of dryland farming in Mali", doi:10.5367/oa,2012,0084 *Outlook Agr*, 41 (2012) 103 - 108
- [15] - JB. AUNE, A. COULIBALY and K. WOUMOU, "Intensification of dryland farming in Mali through mechanisation of sowing, fertiliser application and weeding". *Arch. Agron. Soil Science*, 65 (2019) 400 - 410
- [16] - M. NOUROU A. I, A. K. SAIDOU, W. ARIFA, A. O. ABDOULAYE and B. A. JENS, "Intensification of Pearl Millet Production in Niger through Mechanized Sowing and Weeding, Seed Priming, Seed Treatment, and Microdosing", doi:10.3390/agronomy10050629, *Agronomy* 2020, 10, 629 (2020) 12 p.
- [17] - CNEV, Niger, "CATALOGUE NATIONAL DES ESPÈCES ET DES VARIÉTÉS VÉGÉTALES", (2012) 276 p.
- [18] - B. V. BADO, "Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guiné Burkina Faso". Thèse de PhD, Université de Laval Québec, Canada, (2002) 184 p.
- [19] - A. ADAMO, A. BATIONO, R. TABO and S. KOALA, "Improving soil fertility through the use of organic and inorganic plant nutrient and crop rotation in Niger". In A. Batiano, B. Waswa, J. Kihira and J. Kimetu (eds.). *Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*. Springer, Netherlands, (2007) 589 - 598
- [20] - A. BATIONO, LK. FUSSEL, PG. SERAFINI and MC. KLIAJ, "Management practices to increase yield and yield stability of pearl millet in Africa". Proceeding of the international pearl millet workshop, Icrisat, (1987) 255 - 267
- [21] - A. MANU, L. R. HASSNER, N. PERSAUD and J. G. DAVID, "Phosphorus management of a millet/cowpea inter-crop system on sandy dunal soils of western Niger", *Journal of plant nutrition*, 17 (6) (1994) 889 - 910
- [22] - C. PIÉRI, "Fertilité des terres de savane. Bilan de 30 années de recherche et de développement agricoles au sud du sahara". Paris : Agridoc-International. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT, (1989) 444 p.
- [23] - Z. HAMIDOU, "Isothermes d'Adsorption du Phosphore et Facteurs Physico-Chimiques Responsables de l'Adsorption du Phosphore de quelques Sites Représentatifs de l'Ouest du Niger". DEA. Faculté des Sciences et Techniques, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, (1997) 44 p.
- [24] - A. BATIONO, BR. NTARE, S. TARAWALI and R. TABO, "Soil Fertility management and cowpea production in the semiarid and tropics". In: Fatokum C.A., Tarawali S.A., Sing B.B., Kormewa A.M., Tanio M., (eds), Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. Proceeding of World Cowpea Conference III IITA Ibadan Nigeria 4-8 sept 2000, (2002) 301 - 318
- [25] - S. MAHAMANE, "Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes for adaptation to low soil phosphorus conditions and to rock phosphate application" PhD Dissertation Texas A&M University, USA., (2008) 141 p.

- [26] - TM. AGBEDE, SO. OJENIYI and AJ. ADEYEMO, "Effect of poultry manure on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of sorghum in southwest, Nigeria". *American-Eurasian Journal Sustainable Agriculture*, 2 (1) (2008) 72 - 77
- [27] - B. P. K. YERIMA, A. Y. TIAMGNE et E. VAN RANST, "Réponse de deux variétés de tournesol (*Helianthus* sp.) à la fertilisation à base de fiente de poule sur un Hapli-Humic Ferrasol du Yongka Western Highlands" Research Garden Park (YWHRGP) Nkwen-Bamenda, Cameroun, Afrique centrale. *Tropicultura*, 32 (4) (2014) 168 - 176
- [28] - J. A. GILLES, F. N. VICTOR, T. FERNAND, F. W. DAVID et T. P. ETIENNE, "Effets des différents niveaux de fertilisation aux fientes de poules sur la croissance et la production de biomasse de *Brachiaria ruziziensis* (Poaceae) en fonction des stades phénologiques à l'Ouest-Cameroun", June 2019, ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print) *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (3) (2019) 1762 - 1774
- [29] - D. HARRIS, "Development and testing of "on-farm" seed priming", doi:10.1016/S0065-2113(06)90004-2 *Adv Agron*, 90 (2006) 129 - 178
- [30] - A. COULIBALY, JB. AUNE et P. SISSOKO, "Etablissement des cultures vivrières dans les zones sahéenne et soudano sahéenne du Mali", Dryland Coordination Group Report no, 60, Oslo, http://drylandsgroup.org/assets/documents/Publications/1045-gcoza_rapport_no,_60.pdf, Accessed 21 September 2016, (2010)
- [31] - W. G. HOPKINS and C. M. EVRARD, "Physiologie végétale". De Boeck supérieure, Bruxelles, Belgium, (2003) 532 p.
- [32] - S. CHRISTIAN, C. M. JEAN et D. JACQUES, "Guide de fertilisation raisonnée", (2005) 4 p.
- [33] - A. J. A. KOTAIX, P. T. K. ANGUI, C. Z. K. PIERRE, N. L. DIBY, D. DAO et B. BONFOH, "Effet de l'engrais organique liquide « dragon 1 » sur le développement de la tomate au sud et au centre-ouest de la côte d'ivoire", *Agronomie Africaine*, 25 (1) (2013) 37 - 52
- [34] - V. MAIRE, "Evaluation expérimentale d'un modèle de prélèvement du phosphore par une culture du maïs irriguée sur un sol sableux landais". Mémoire de Master 2, "Systèmes écologiques" Bordeaux I, (2005) 43 p.
- [35] - J. M. SOGBEDJI, H. M. VAN ES' and K. L. AGBEKO, "Cover cropping and Nutrient Management Strategies for Maize Production in Africa". *Agron. J.*, 98 (2005) 883 - 889
- [36] - A. C. SHISANYA, M. W. MUCHERU, D. N. MUGENDI and J. B. KUNG'U, "Effect of organic and inorganic nutrient sources on soil mineral nitrogen and maize yields in central highlands of Kenya". *Soil and Tillage Res.*, 103 (2) (2009) 239 - 246
- [37] - JB. AUNE, A. COULIBALY, E. KEN and GILLER, "Precision farming for increased land and labour productivity in semi-arid West Africa", A review. *Give s. Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 37, 16 (2017)
- [38] - J. O. OLANIYI, W. B. AKANBI, O. A. OLANIRAN and O. T. ILUPEJU, "Effect of organic, inorganic and organominerals on growth, fruit yield and nutritional composition of okra (*Abelmoschus esculentus*)". *Journal of Animal and Plant Sciences*, 9 (1) (2010) 1135 - 1140
- [39] - L. N. KIMUNI, M. K. MWALI, T. M. MULEMBO, J. L. W. WALABA, A. K. LUBOBO, B. N. KATOMBE, M. M. MICHEL et B. L. LOUIS, "Effets de doses croissantes des composts de fumiers de poules sur le rendement de chou de Chine (*Brassica chinensis* L.) installé sur un sol acide de Lubumbashi", in *Journal of Applied Biosciences*, 77 : 6509 - 6522 ISSN (2014) 1997 - 5902
- [40] - N. ZIADI, G. BELANGER, F. GASTAL, A. CLAESSENS, G. LEMAIRE and N. TREMBLAY, "Leaf nitrogen concentration as an indicator of corn nitrogen status". *Am. Society of Agric.*, 101 (4) (2009) 947 - 957
- [41] - X. YIN, M. HAYES, M. A. MCCLURE and H. J. SAVOY, "Assessment of plant biomass and nitrogen nutrition with plant height in early-to mid-season corn". *Sci. of Food and Agric.*, 92 (13) (2012) 2611 - 2617