



LE RENDEMENT DU MIL (*Pennisetum glaucum* var.) VARIE EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES FUMURES ET DES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS DANS LES SAVANES TCHADIENNES

MIL PERFORMANCE (*Pennisetum glaucum* var.) VARIES BY MODES OF MANAGEMENT OF FUELS AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOILS IN CHADIAN SAVANES

| Michel Naitormbaide ^{*1} | Hassane Bismarck Nacro ² | François Lompo ³ | et | Papaoba Michel Sedogo ³ |

¹. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) | Programme Gestion Durable des Ressources Naturelles | Bébédjia | Tchad |

². Université Nazi Boni | Institut de Développement Rural | Bobo-Dioulasso | Burkina Faso |

³. François LOMPO, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) | Ouagadougou | Burkina Faso |

³. Papaoba Michel SEDOGO | Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) | Ouagadougou | Burkina Faso |

| Received | 20 March 2019 |

| Accepted | 26 April 2019 |

| Published | 19 June 2019 |

| ID Article | Michel-ManuscriptRef.1-ajira200319 |

RESUME

Introduction : Dans les savanes tchadiennes, la production du mil (*Pennisetum glaucum* var.) occupe la deuxième place après celle du sorgho, mais son rendement reste très faible à cause de la pauvreté des sols. **Objectifs :** Cette étude vise à tester les options de fertilisation à même d'améliorer le rendement du mil, mais aussi, pour déterminer les caractéristiques du sol selon les rendements obtenus dans les différents agro systèmes des savanes tchadiennes. **Méthodes :** Le dispositif expérimental est en blocs de Fischer sur Station avec cinq répétitions et en blocs dispersés en milieu paysan. Les traitements comparés sont T (Témoin non amendé), Fo (5 t ha⁻¹ tous les 2 ans de fumier), Fmc (50 kg ha⁻¹ NPK), Fom (50 kg ha⁻¹ NPK+50 kg ha⁻¹ urée + 5 t ha⁻¹ de fumier tous les 2 ans), Fm (50 kg ha⁻¹ NPK+ 50 kg ha⁻¹ urée). Les teneurs des sols en carbone organique, phosphore, azote, bases échangeables, de même que le rendement du mil de chaque traitement ont été évalués. **Résultats :** Les résultats montrent qu'avec l'application conjointe du fumier et les engrais minéraux sur le mil, les terres s'appauvrissent en carbone organique, phosphore, azote et bases échangeables. L'utilisation des engrais minéraux seuls ou associés au fumier améliore le rendement du mil de +27 à +32 % par rapport au témoin non amendé qui n'est que de 0,8 t ha⁻¹. Le meilleur rendement du mil a été obtenu sur un sol faiblement acide (pH 6,29) et riche en carbone (6,3 g C kg⁻¹ de sol). **Conclusion :** Ces résultats recommandent l'utilisation conjointe des engrais minéraux et du fumier pour une production intensive et durable du mil dans les savanes tchadiennes.

Mots clés : Élément minéraux, sols, matière organique, mil, Tchad.

ABSTRACT

Background: In the Chadian savannas, production of millet (*Pennisetum glaucum* var.) is second only to sorghum, but its yield is very low because of poor soils. **Objectives:** This study aims to test fertilization options to improve millet yield, but also, to determine the characteristics of the soil according to the yields obtained in the different agro systems of the Chadian savannas. **Methods:** The experimental setup is in Fischer blocks on Station with five repetitions and in scattered blocks in peasant environment. The compared treatments are T (Control without fertilizer), Fo (5 t ha⁻¹ organic fertilizer every 2 years), Fmc (50 kg ha⁻¹ NPK), Fom (50 kg ha⁻¹ NPK+50 kg ha⁻¹ urea + 5 t ha⁻¹ of organic fertilizer every 2 years), Fm (50 kg ha⁻¹ NPK + 50 kg ha⁻¹ urea). Soil contents of organic carbon, phosphorus, nitrogen, exchangeable bases, as well as millet yield of each treatment were evaluated. **Results:** The results show that with the combined application of manure and mineral fertilizers on millet, the land is depleted in organic carbon, phosphorus, nitrogen and exchangeable bases. The use of mineral fertilizer alone or in combination with manure improves the yield of millet from +27 to + 32% compared to the control which is only 0.8 t ha⁻¹. The best yield of millet was obtained on a weekly acid soil (pH 6.29) and rich in carbon (6.3 g C kg⁻¹ soil). **Conclusion:** These results recommend the joint use of mineral fertilizers and manure for intensive and sustainable production of millet in Chadian savannas.

Keywords: Mineral elements, soils, organic matter, millet, Chad.

1. INTRODUCTION

L'agriculture des pays d'Afrique subsaharienne est peu productive à cause des pluies erratiques, de la croissance démographique galopante, de la mauvaise gestion des terres, entraînant leur appauvrissement rapide en élément nutritifs [2]. Les producteurs africains n'ont utilisé que 25,4 kg ha⁻¹ d'engrais en 2005, alors que les producteurs d'Asie et d'Amérique Latine ont utilisé respectivement en moyenne, 202 et 101 kg ha⁻¹ [17].

Au Tchad, les engrais minéraux sont très peu utilisés à cause de leurs coûts élevés et du manque de moyens financiers

des producteurs. La consommation des engrais minéraux de type NPK en rapport avec la superficie des terres cultivées n'est que de 5 kg ha^{-1} [17]. Les cultures, telles que le maïs, le sorgho, et le riz ne reçoivent que 35 à 75 kg ha^{-1} de NPK et 42 kg ha^{-1} d'urée [22, 24]. La fumure organique est très peu utilisée alors que plusieurs auteurs [27,25] ont montré l'importance de l'apport de l'amendement organique dans le maintien de la qualité agronomique des sols.

Dans les savanes tchadiennes, la production du mil (*Pennisetum glaucum var*) occupe la deuxième place après celle du sorgho, même si elle est souvent cultivée sur des sols pauvres. Par conséquent, son rendement compris entre 500 et 700 kg ha^{-1} , reste très faible [14]. Cette étude vise à i) tester les options de fertilisation à même d'améliorer le rendement du mil et ii) déterminer les caractéristiques du sol selon les rendements du mil obtenus dans les différents agro systèmes des savanes tchadiennes

2. MATERIELS AND METHODES

2.1. Sites d'étude

L'étude a été conduite de 2008 à 2010 sur la station de recherche de Bébédjia et en milieu paysan dans les villages Ndaba, Nguetté1 et Tala1 (Figure 1).

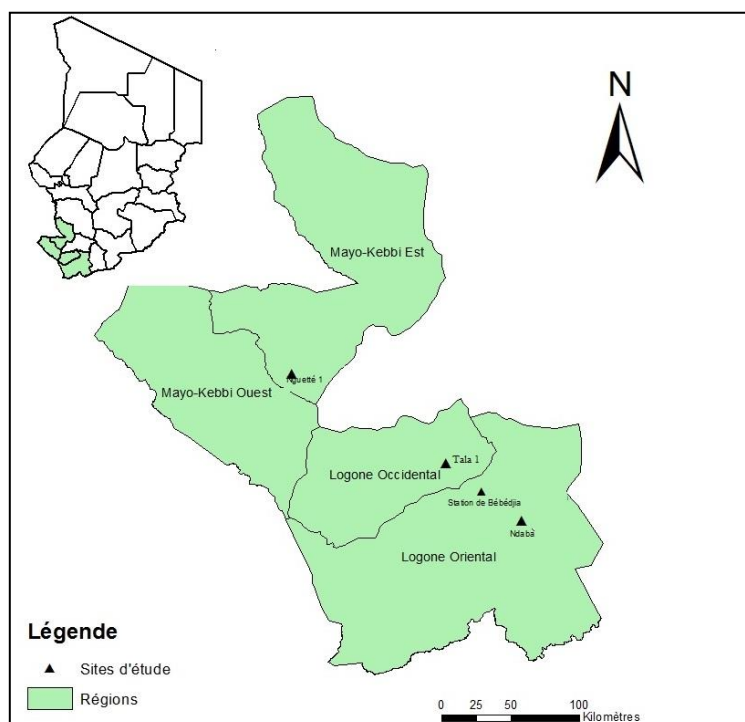


Figure 1 : La figure montre la position géographique des sites d'étude dans le territoire tchadien.

Bébédjia ($16^{\circ} 30' - 16^{\circ} 35' \text{ E}$ et $8^{\circ} 38' - 8^{\circ} 44' \text{ N}$) compte 21 475 habitants ($12 \text{ habitants/km}^2$). Il est situé sur les sols ferrugineux tropicaux avec une pluviosité annuelle de 1200 mm.

Ndaba ($16^{\circ}45'39'' - 16^{\circ}52'27'' \text{ E}$ et $8^{\circ}26'51'' - 8^{\circ}31'41'' \text{ N}$) compte 1 066 habitants ($21 \text{ habitants/km}^2$). Avec une pluviosité annuelle de 1056 mm, ce site est sur les sols hydromorphes et ferrugineux tropicaux. Avec une pluviosité moyenne annuelle de 837 mm et une population de 2 600 habitants ($21 \text{ habitants/km}^2$).

Nguetté1 ($15^{\circ}11'32'' - 15^{\circ}15'43'' \text{ E}$ et $9^{\circ}17'41'' - 9^{\circ}24'23'' \text{ N}$) est sur les lithosols, les sols colluviaux et ferralitiques.

Tala1 ($16^{\circ}15'29'' - 16^{\circ}17'23'' \text{ E}$ et $8^{\circ}51'29'' - 8^{\circ}53'42'' \text{ N}$) compte une population de 705 habitants (88 habitant/km^2). Ce site est situé sur les lithosols et ferralitiques avec une pluviosité moyenne annuelle de 970 mm.

2.2. Matériel étudié

Le matériel végétal utilisé dans les expérimentations était la variété de mil S42, d'un cycle de 90 jours et un potentiel de rendement de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$.

La fertilisation du mil a été assurée par l'engrais coton 19N-12P-19K-5S-1,2B ; l'urée (46%N) ainsi que le fumier de parc utilisé comme amendement organique.

2.3. Méthodes

Sur la Station de Bébédjia l'étude a été mise en place en 2008 selon un dispositif expérimental en blocs de Fisher avec 5 répétitions et 5 traitements ($T = \text{Témoin non amendé}$, $F_0 = 5 \text{ t ha}^{-1}$ tous les 2 ans de fumier, $F_m = 50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ NPK} + 50$

kg ha⁻¹ d'urée, Fmc = 50 kg ha⁻¹ NPK et Fom = 50 kg ha⁻¹ NPK+50 kg ha⁻¹ urée + 5 t ha⁻¹ de fumier tous les 2 ans. Ces traitements ont été étudiés dans un système de succession triennale mil-arachide-mil sur une superficie totale de 1736 m².

En 3^e année (2010), l'étude a été poursuivie à la fois sur la Station de Bébédjia et en milieu paysan dans les villages de Nguetté1, Tala1 et Ndaba, où le dispositif est en blocs dispersés d'une superficie de 450 m² chacun chez 5 producteurs par site, soit 15 producteurs représentant chacun une répétition. Les traitements étudiés (Fom = 5 t ha⁻¹ + (50 NPK + 50 d'urée) kg ha⁻¹ et Fmc = 50 kg ha⁻¹ NPK+50 kg ha⁻¹ urée) les meilleurs obtenus après la première année d'étude à la Station de Bébédjia sont comparés au témoin T0 sans apport.

Le mil a été semé aux écartements de 80 cm entre lignes et entre poquets, puis démarré à 2 plants par poquet deux semaines après la levée. Le fumier est épandu au sol, puis enfoui à l'aide du labour. Le NPK est enfoui dans les sillons tracés à environs 10 cm des plants 20 jours après la levée. L'urée est également appliquée de la même manière au stade de montaison du mil.

Paramètres évalués : les principales variables ont été mesurées sur le mil car l'arachide n'a été cultivée que pour assurer une bonne succession culturale. Ainsi, le nombre des plants à la levée et à la récolte, la taille des plants, le poids des tiges, des épis et des grains ont été évalués (en station sur chaque parcelle utile (16 m²), en milieu paysan dans des carrés de rendements de 10 m²).

L'évaluation de la fertilité chimique des sols a porté sur 60 échantillons composites prélevés sur la profondeur 0–20 cm. Les analyses ont été effectuées aux laboratoires de Kamboinsé/INERA (Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles)/Burkina Faso. Les teneurs en azote total (N) et en phosphore total (P), ont été déterminées selon les méthodes décrites par Bremner (1965) [7]. Les teneurs en potassium (K) échangeable sont dosées au spectrophotomètre à émission de flammes. La méthode de Bray-I est utilisée pour la détermination du P assimilable [6]. Le carbone est déterminé par la méthode Walkley et Black (1934) [32]. Le pH est mesuré par la méthode électrométrique avec des rapports sol/solution de 1/2,5. Le dosage spectrométrique des cations Ca²⁺ et Mg²⁺ en absorption atomique et de K⁺ en émission de flamme a permis de déterminer les bases échangeables. La Capacité d'Echange Cationique (CEC) a été mesurée à partir de la solution d'extraction des bases échangeables.

2.4. Traitements statistiques

Le logiciel XLSTAT 2007 a été utilisé pour les analyses descriptives et de variance (ANOVA). La séparation des moyennes lorsque l'analyse de variance révèle de différences significatives entre les traitements au seuil de probabilité de 5%, a été faite en utilisant le test de Newman-Keuls.

3. RESULTATS

3.1. Variation des teneurs des sols en Carbone (C) et en azote (N) en fonction des options de fertilisation

L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les teneurs en carbone (C) des sols au début de 2008 et à la fin de 2010 des expérimentations. L'analyse de variance a révélé qu'en 2008, la teneur en C du traitement Fmc (50 kg ha⁻¹ NPK+50 kg ha⁻¹ urée) est significativement ($p < 0,05$) la plus élevée (Tableau 1). La plus faible teneur en C des sols est observée dans le traitement Fumure organique-minérale (Fom). En 2010, la teneur en C de Fmc est la plus élevée, alors que celle de T est la plus faible. Pour les teneurs N, le test de Newman-Keuls ($p < 0,05$) ne révèle pas de différence significative. Par contre, un effet significatif a été noté pour les rapports C/N des sols des traitements étudiés en 2010.

Tableau 1 : Le tableau montre la variation du carbone (C) et de l'azote (N) total en fonction des options de fertilisation entre 2008 et 2010.

Type de fumure	C		N total		C/N	
	2008	2010	2008	2010	2008	2010
	g kg ⁻¹					
Fmc	7,276 ^a	5,977 ^a	0,819 ^a	0,743 ^a	11,479 ^a	11,1 ^{ab}
T	5,220 ^{cd}	3,862 ^b	0,925 ^a	0,645 ^a	10,270 ^a	10,9 ^{ab}
Fm	5,739 ^c	4,461 ^{ab}	0,930 ^a	0,621 ^a	9,889 ^a	9,6 ^{bc}
Fo	6,526 ^b	5,278 ^{ab}	0,751 ^a	0,637 ^a	9,947 ^a	8,8 ^c
Fom	4,577 ^d	4,240 ^{ab}	0,606 ^a	0,643 ^a	9,320 ^a	11,7 ^a
Moyenne	5,868	4,763	0,806	0,658	10,180	7,401
Pr > F	0,000	0,037	0,723	0,327	0,923	0,458
Significatif	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui
CV (%)	21	40	79	24	56	37

Fmc = fumure minérale composé uniquement de NPK (50 kg ha⁻¹ NPK) ; **Fo** = fumure organique à base de fumier (5 t ha⁻¹ fumier tous les 2 ans) ; **Fm** = fumure minérale composé de l'engrais NPK et de l'urée (50 kg ha⁻¹ NPK+ 50 kg ha⁻¹ urée) ; **Fom** = fumure organique-minérale et fumure minérale (NPK + urée) ; **T** = témoin non amendé ; **CV** = coefficient de variation. Les lettres **a, b, c, d** ou groupes de lettres **ab, bc, cd** permettent de classer par ordre décroissant les valeurs moyennes dans chaque colonne. Les valeurs suivies de la même lettre ou groupes de lettres dans la colonne du tableau ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ selon le test de Newman-Keuls.

En 2010, le rapport C/N du traitement Fumure organique-minérale (Fom) est statistiquement supérieur au rapport C/N des traitements Fo et Fm. L'analyse de variance a montré des différences significatives pour les teneurs en C des sols des traitements entre 2008 et 2010. Le test de Newman-Keuls ($p < 0,05$) a révélé que les teneurs en C des sols des traitements Fm (50 kg ha^{-1} NPK) et Témoin non amendé ont baissé respectivement de 7 et 9 % par an.

3.2. Variation de la teneur du sol en phosphore (P) assimilable en fonction des options de fertilisation

L'analyse de variance des teneurs en P assimilable des sols prélevés avant la mise en place de l'essai a montré des différences significatives. Le test de Newman-Keuls ($P < 0,05$) a révélé que le traitement Fmc a une teneur en P assimilable plus élevée (Tableau 2). Puis, suivent respectivement celles des traitements Fo (5 t ha^{-1} / 2 ans fumier) et T statistiquement identiques et supérieures à celles des traitements Fom et Fm statistiquement identiques entre elles. La teneur en P assimilable du traitement témoin (T) de l'année 2010 est statistiquement plus faible que celle de l'année 2008.

Tableau 2 : Le tableau montre la variation du P assimilable des sols en fonction des options de fertilisation entre 2008 et 2010.

Type de fumure	Phosphore assimilable (mg P kg^{-1})		Comparaison entre 2008 et 2010 phosphores assimilables
	2008	2010	
Fmc	49,443 ^a	46,787 ^a	ns
Fo	43,889 ^b	43,497 ^a	ns
T	45,795 ^{ab}	40,415 ^{ab}	s
Fm	33,761 ^c	31,531 ^c	ns
Fom	36,106 ^c	34,407 ^{bc}	ns
Moyenne	41,8	39,3	-
Pr > F	0,000	0,000	
Significatif	Oui	Oui	
CV	18	23	

Fmc = fumure minérale composé uniquement de NPK (50 kg ha^{-1} NPK) ; **Fo** = fumure organique à base de fumier (5 t ha^{-1} fumier/2 ans) ; **Fm** = fumure minérale composé de l'engrais NPK et de l'urée (50 kg ha^{-1} NPK+ 50 kg ha^{-1} urée) ; **Fom** = fumure organique-minérale (fumier) et fumure minérale (NPK + urée) ; **T** = témoin non amendé ; **CV** = coefficient de variation. Les lettres **a, b, c** ou groupes de lettres **ab, bc** permettent de classer par ordre décroissant les valeurs moyennes dans chaque colonne. Les valeurs suivies de la même lettre ou groupes de lettres dans la colonne du tableau ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ selon le test de Newman-Keuls.

3.3. Variation du complexe absorbant

La CEC des traitements Fmc, T, et Fo pour l'année 2008, sont statistiquement identiques et supérieurs aux traitements Fm et Fom également identiques entre eux (Tableau 3). Par contre, aucune différence significative n'a été notée pour l'année 2010. De même en 2008, aucune différence significative n'a été observée pour la somme des bases échangeables (SBE). Par contre, à la fin de l'étude en 2010, le traitement Fom est statistiquement supérieur aux traitements Fmc et T qui eux, sont identiques entre eux (Tableau 3). Une baisse tendancielle de la SBE entre 2008 et 2010 peut être observée dans tous les traitements. Cependant, elle est relativement faible dans le traitement Fom.

Tableau 3 : Le tableau montre la variation du complexe absorbant des sols en fonction des options de fertilisation entre 2008 et 2010.

	Capacité d'échange cationique (CEC)		Somme des bases échangeables ($\text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}$)		V %
	2008	2010	2008	2010	
			Cmol kg^{-1}		
Fmc	5,591 ^a	5,320 ^a	2,572 ^a	2,286 ^b	44 ^a
Fo	5,519 ^a	5,623 ^a	2,928 ^a	2,622 ^{ab}	48 ^a
T	5,573 ^a	5,039 ^a	2,632 ^a	2,098 ^b	43 ^a
Fm	5,095 ^b	5,978 ^a	2,660 ^a	2,365 ^{ab}	42 ^a
Fom	4,913 ^b	5,279 ^a	2,915 ^a	2,831 ^a	55 ^a
Moyenne	5,338	5,448	2,7412751	2,44040335	46
Pr > F	0,000	0,328	0,227	0,006	0,068
Significatif	Oui	Non	Non	Oui	Non
CV (%)	9	21	18	21	27

Fmc = fumure minérale composé uniquement de NPK (50 kg ha^{-1} NPK) ; **Fo** = fumure organique à base de fumier (5 t ha^{-1} fumier/2 ans) ; **Fm** = fumure minérale composé de l'engrais NPK et de l'urée (50 kg ha^{-1} NPK+ 50 kg ha^{-1} urée) ; **Fom** = fumure organique (fumier) et fumure minérale (NPK + urée) ; **T** = témoin non amendé. Les moyennes suivies de la même lettre dans les colonnes des tableaux ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ selon le test de Newman-Keuls ; **CV** = coefficient de variation. Les lettres **a, b** ou groupe de lettres **ab** permettent de classer par ordre décroissant les valeurs moyennes dans chaque colonne. Les valeurs suivies de la même lettre ou groupes de lettres dans la colonne du tableau ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ selon le test de Newman-Keuls.

3.4. Variation du rendement du mil à Bébédjia

En 2008, les rendements du mil ont varié entre 976 et 1379 kg ha⁻¹ avec un rendement moyen de 1213 kg ha⁻¹. Le test de Newman-Keuls ($p < 0,05$) est significatif et révèle que les traitements Fom statistiquement supérieur aux traitements Fo ; Fmc et le témoin (Tableau 4). En 2010, il est observé une baisse tendancielle des rendements obtenus dans tous les traitements par rapport à 2008. Cependant, le test de Newman-Keuls ($p < 0,05$) ne révèle pas de différence significative entre les rendements du mil entre 2008 et 2010. En 2010, le traitement Fom reste statistiquement supérieur au traitement Fmc et au témoin sans amendement. De 2008 à 2010, des baisses tendancielle des rendements variant de 4 à 13% sont observées dans les traitements étudiés. La plus importante baisse est celle observée dans le témoin et dans le traitement où ne sont utilisés que les engrais minéraux.

Tableau 4 : Le tableau montre la variation du rendement de mil en fonction des options de fertilisation entre 2008 et 2010 à Bébédjia.

Traitement	Rendement du mil en 2008	Rendement du mil en 2010	Proportion de baisse (%)
Fom	1378,958 ^a	1290,904 ^a	-6
Fm	1342,575 ^{ab}	1231,887 ^{ab}	-8
Fmc	1206,158 ^{bc}	1054,635 ^b	-13
Fo	1162,107 ^c	1116,373 ^{ab}	-4
T	976,580 ^d	881,767 ^c	-10
Moyenne	1213,276	1115,113	
Pr > F	0,000	0,000	
Significatif	Oui	Oui	
Coefficient de variation (%)	20	23	

Fmc = fumure minérale composé uniquement de NPK (50 kg ha⁻¹ NPK) ; **Fo** = fumure organique à base de fumier (5 t ha⁻¹ fumier/2 ans) ; **Fm** = fumure minérale composé de l'engrais NPK et de l'urée (50 kg ha⁻¹ NPK+ 50 kg ha⁻¹ urée) ; **Fom** = fumure organique (fumier) et fumure minérale (NPK + urée) ; **T** = témoin non amendé. Les lettres **a, b, c, d** ou groupes de lettres **ab** et **bc** permettent de classer par ordre décroissant les valeurs moyennes dans chaque colonne. Les valeurs suivies de la même lettre ou groupe de lettres dans la colonne du tableau ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ selon le test de Newman-Keuls.

3.5. Variation du rendement du mil à Tala1, Nguetté1, Ndaba et Bébédjia

Le test de Newman Keuls ($p < 0,05$) appliqué aux rendements du mil obtenus avec les trois traitements n'est significatif que pour le site de Bébédjia. Les traitements Fom et Fm sont statistiquement identiques et supérieurs au témoin non amendé (Tableau 5).

Quel que soit le traitement étudié (Fom, Fm ou T) en milieu paysan, le meilleur rendement du mil est obtenu à Ndaba (1780 à 2244 kg ha⁻¹). Bébédjia et Nguetté1 ont des rendements intermédiaires (693 à 1778 kg ha⁻¹), alors que ceux de Tala1 sont les plus faibles (326 à 488 kg ha⁻¹) quel que soit la technologie testée. Le pH et la teneur en carbone des sols de ce site n'étant que de 5,80 et 3,2 g C kg⁻¹ de sol respectivement.

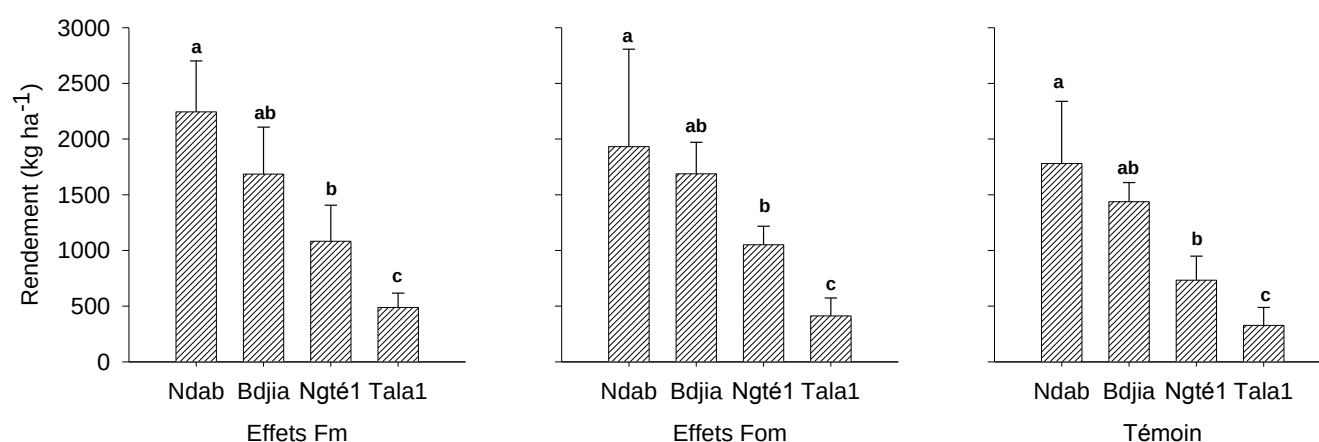


Figure 2 : La figure présente la comparaison des effets de chaque type de fumure sur le rendement du mil dans les sites d'étude.

Fm = fumure minérale composé de l'engrais NPK et de l'urée (50 kg ha⁻¹ NPK+ 50 kg ha⁻¹ urée) ; **Fom** = fumure organique (fumier) et fumure minérale (NPK + urée) ; **T** = témoin non amendé ; **Ngté1** = Nguetté1 ; **Bdjia** = Bébédjia ; **Ndab** = Ndaba, **Tala1** = Tala1. Les bâtons dans les figures représentent les rendements du mil obtenus avec les technologies (Fom, Fm, T) dans un site donné. Les lettres **a, b, c** ou groupe de lettres **ab** permettent de classer par ordre décroissant les valeurs moyennes. Les bâtons portant la même lettre ou groupe de lettres ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$ selon le test de Newman-Keuls.

4. DISCUSSION

4.1. Variation des teneurs des sols en Carbone (C) et en azote (N) en fonction des options de fertilisation

Malgré l'application des fumures organiques et minérales, les teneurs en C des sols ont sensiblement baissé après la mise en culture des parcelles. Cependant, l'importance de la baisse des teneurs en ces éléments varie en fonction du type de fumure appliquée. La baisse de la teneur en carbone (C) varie entre 2 et 9% par an entre 2008 et 2010. Plusieurs auteurs [13, 25] ont aussi montré que sur les sols d'Afrique de l'Ouest, la mise en culture entraînait une diminution systématique de la matière organique avec une vitesse de la minéralisation de 4% par an [4] et une diminution des rendements. En appliquant conjointement le fumier et les engrais minéraux, la baisse de la teneur en C du sol après trois années de culture n'est que de 2% an⁻¹. Ce résultat suggère que l'application au sol du fumier contribue au maintien des teneurs en C des sols. Pour induire un bilan humique satisfaisant, Berger (2006) préconisent des doses de 4 à 6 t ha⁻¹ de fumier. La dose appliquée est conforme à cette norme [5].

A la 3^e année d'étude, à l'exception de la teneur en C du sol du traitement Fmc (50 kg ha⁻¹ NPKSB+50 kg ha⁻¹ urée), celles des autres traitements sont inférieures à 5,8 g kg⁻¹. Lorsque la teneur en C des sols est de l'ordre de 3,8 g kg⁻¹, on constate « une absence de réponse aux engrais minéraux [3]. Pour assurer aux sols cultivés une fertilité correcte, il faut maintenir la teneur en C des sols supérieure à 5,8 g kg⁻¹, au minimum 3,6 g kg⁻¹ pour les sols sableux [9]. En dessous de ce seuil, on observe un lessivage des bases suivi d'une apparition de toxicité de l'aluminium donc l'acidification des sols cultivés. Avec un rapport C/N compris entre 9,3 et 11,5 au début et entre 6,2 et 8,2 à la fin de l'étude, la vitesse de décomposition de la MO est dite normale. En conséquence, aucun traitement étudié n'a connu le problème de faim d'azote.

4.2. Variation de la teneur du sol en phosphore (P) assimilable en fonction des options de fertilisation

La tendance générale des teneurs en P assimilable des traitements étudiés est à la baisse. Cependant, celles-ci restent très élevées [19] car elles sont comprises entre 31,5 et 46,8 mg kg⁻¹ P. Le seuil de carence en P n'étant atteint que lorsque la teneur du P assimilable est inférieure à 30 mg kg⁻¹ [29]. Malgré ces teneurs élevées, il est probable qu'une partie du P des sols étudiés soit encore restée sous formes de P capital (qui ne le sera effectivement que 10 ans plus tard) et de phosphore inerte [20]. Aussi, il a été souligné que plus de la moitié du P organique des sols tropicaux est du P inerte. Le P stimule la production de la biomasse microbienne, qui contribue pour 2 à 3% à la matière organique totale des sols [8]. Or, l'étude a montré que l'évolution des teneurs en MOS a été régressive pendant les trois années de mise en culture des terres. Puisque l'activité biologique a comme support énergétique la MOS, les faibles teneurs observées auraient considérablement limité le développement des micro-organismes [10].

4.3. Variation du complexe absorbant

Les caractéristiques des sols montrent un appauvrissement des sols en bases échangeables dans certains traitements. Une baisse relativement importante est observée surtout lorsque l'engrais minéral est appliqué de manière continue dans les traitements sans apport de fumier. Sedogo (1993) a déjà observé au Burkina Faso, un certain appauvrissement en bases en fonction des doses d'azote apportées [31]. Pour Hien (1990), les engrais azotés accentuent les pertes en calcium et magnésium du complexe absorbant [16].

Même si les teneurs en bases échangeables entre le début et la fin de l'étude sont en baisse, on a noté qu'elles sont moins importantes dans les traitements avec fumier (Fom et Fo). Ces résultats confirment l'importance du rôle de la matière organique qu'ont déjà souligné plusieurs auteurs [31, 23].

4.4. Variation du rendement du mil à Bébédjia

En 2008, les fumures appliquées ont amélioré significativement les rendements grains du mil.

Avec les traitements Fo, Fmc, Fm et Fumure organique-minérale (Fom) ayant bénéficié des apports organiques et/ou minéraux, des augmentations respectives de +27 ; +20 ; +40 et +46% sont obtenues par rapport au témoin non amendé (882 kg ha⁻¹). La Fom améliore plus le rendement mil que les fumures minérales ou organiques qui ne sont pas associées. Le plus faible taux d'amélioration du rendement observé est celui du traitement Fmc (NPK) qui appliqué sur un sol pauvre en matière organique et en azote n'a pas permis d'améliorer considérablement le rendement du mil. En effet, lorsque qu'un sol est pauvre en matière organique, la capacité d'échange cationique baisse, entraînant aussi une dégradation des potentialités nutritives du complexe absorbant sur lequel doivent se fixer les hydroxydes, les cations bivalents ou trivalents (Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺) [2].

Les augmentations considérables des rendements du mil obtenues avec les fumures Fm et Fom peuvent s'expliquer par le fait qu'elles contiennent plus d'engrais azotés, qui ont contribué à l'amélioration du rendement du mil. Saar (1993) a montré que l'apport d'engrais composé avec un complément d'urée accroît très significativement les rendements du mil

[31]. La Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement [11] indique également que la contribution de l'azote détermine jusqu'à 35% de la productivité totale de toutes les cultures. De plus, le fumier du traitement Fom a permis de mieux valoriser les engrais minéraux qui lui ont été associés. L'apport combiné des engrais minéraux et organique permet de mieux valoriser la fumure minérale et de rendre plus durable la productivité des sols [0]. Selon Ouattara (1994), l'effet positif des fumures organo-minérales résulte aussi de l'amélioration du statut organo-minéral, du sol et de son interaction probable sur les propriétés physiques du sol dont la densité apparente, la porosité et l'état hydrique [26]. Pour expliquer l'effet du fumier sur le rendement du mil, nous émettons l'hypothèse d'un double effet : l'effet sur la germination et la vigueur au démarrage en début de cycle, donc sur l'enracinement [28] d'une part, et l'effet sur la fourniture de N à la céréale [1] d'autre part. Plusieurs auteurs ont aussi montré que l'application du fumier améliore la teneur des sols en C [21], en N [1], en K, Mg et Ca [12] et la CEC des sols [28, 12]. Ce qui a induit une augmentation du rendement du grain du mil jusqu'à 439 % par rapport à un témoin sans apport. L'azote apporté via la Fmo a probablement satisfait les besoins des plantules et des bactéries, qui pourraient alors minéraliser la matière organique stable (*priming effect*) et libérer de l'azote minéral pour les plantes. Il s'en est suivi alors, ses meilleurs rendements.

Koulibaly et al., (2010) ont également montré qu'à défaut de maintenir le potentiel de production, l'enfouissement au sol des résidus et leur recyclage en fumure organique, combinés à la fumure minérale, réduisent la baisse des rendements liée à l'exploitation continue des terres [18].

4.5. Variation du rendement du mil à Tala1, Nguetté1, Ndaba et Bébédjia

Les analyses statistiques ont montré que les performances agronomiques des fumures organo-minérales (Fom) et minérales (Fm) sur le mil ont été significativement différentes à Bébédjia. Cependant, les rendements du mil obtenu avec ces technologies à Ndaba sont relativement élevés. La comparaison entre les sites l'effet d'une même technologie sur les rendements du mil, montre que les meilleurs rendements du mil sont obtenus à Ndaba et Bébédjia (population à faible densité), suivi de Nguetté1 (population à densité moyenne) et enfin Tala1 (population à forte densité). Les rendements du mil ont évolué en fonction de la fertilité des sols des sites d'étude. En effet, les teneurs en carbone des sols de Ndaba, Bébédjia, Nguetté1 et Tala1 sont respectivement de 6,3; 5,2 ; 4,2 et 3,2 g C kg⁻¹ de sol avec des pH de 6,29 ; 6,51 ; 6,17 et 5,80. L'expression de la performance des technologies à travers les rendements du mil est donc étroitement liée à l'état de la fertilité des sols, notamment leur teneur en C et le pH des sols. En effet, le mil ne peut exprimer son potentiel de production que si le sol a un seuil acceptable de teneur en carbone (C). Les travaux de Hien (2004) menés à Saria (Burkina Faso) ont aussi montré qu'en dessous de 0,6 g C kg⁻¹ de sol dans l'horizon 0-20 cm, les rendements des cultures baissent [15]. Le meilleur rendement en grains obtenu à Ndaba dans le traitement Fm confirme cette thèse.

Ces résultats suggèrent que l'amélioration de la productivité du mil au Tchad passe absolument par celle de la fertilité des sols, notamment le relèvement des teneurs des sols en carbone (entre 6,3 et 5,2 g C kg⁻¹ de sol), et des sols qui doivent être faiblement à moyennement acide, voire à pH neutre

5. CONCLUSION

Cette étude a été conduite sur la Station de Bébédjia et en milieu paysan au Tchad, pour évaluer l'évolution des caractéristiques chimiques des sols et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum*) en fonction des modes de gestion de la fertilité dans les savanes tchadiennes.

L'amélioration de la productivité des terres cultivables pour une production agricole soutenue et durable, est un défi majeur au Tchad. L'étude a montré que les sols cultivés sont relativement pauvres en nutriments et en carbone. Leur mise en culture entraîne une baisse relative de C, de P et d'N. La baisse des teneurs en C des sols entraîne corrélativement celle des bases échangeables. Cependant, la baisse des teneurs de ces paramètres sont modérées lorsque le fumier et les engrais minéraux (Fom = 50 kg ha⁻¹ NPK+50 kg ha⁻¹ urée + 5 t ha⁻¹ /2 ans fumier) sont appliqués conjointement aux cultures. Cette formule permet également d'obtenir le meilleur rendement du mil. Ces résultats soulignent l'importance de la MO dans les systèmes de production intégrant le mil dans les savanes tchadiennes. L'amélioration de la productivité du mil au Tchad passe donc absolument par le relèvement des teneurs des sols en carbone, et des sols qui doivent être faiblement à moyennement acide, et à neutre.

Reconnaissance : Les auteurs remercient Feu IBET Outhman Issa et DJONDANG Koye anciens Directeurs Généraux de l'ITRAD pour toutes les formes de soutien dont ils ont bénéficié de leur part. Ils témoignent également leur gratitude aux responsables de laboratoire Eau-sol-plante de Kamboinsé qui ont facilité les analyses ainsi que leur interprétation. Merci à l'Ambassade de France au Tchad qui à travers le projet d'Appui à la Recherche Scientifique et Techniques au Tchad (ARS2T) a financé cette étude.

6. REFERENCES

- [1] Agbenin J.O., Goladi J.T. Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. *Agric. Ecosyst. Environ.* 1997; 63: 17-24.
- [2] Bationo A., Nandwa S.M., Kimetu J.M., Kinyangi J.M., Bado B.V., Lompo F., Kimani S., Kihanda F., Koala S. Sustainable intensification of crop-livestock systems through manure management in eastern and western Africa: Lessons learned and emerging research opportunities. *Sustainable crop-livestock production in West Africa* 2004; 173-198.
- [3] Berger C. M., Bélem C., Dakouo C. D., Hien V. Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture élevage. *Coton et fibres tropicales*. 1987; 42(3): 201-210.
- [4] Berger M. La gestion des résidus organiques à la ferme. In *Savanes d'Afrique, Terres fertiles ? Actes des Rencontres Internationales*, Montpellier (France), 10-14 décembre 1990; pp 293-313, ISBN : 2-11-086731-0.
- [5] Berger M. L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano - sahélienne. 8 fiches techniques. Numéro hors -série. *Agriculture et Développement*, Montpellier, 2006, 58 p.
- [6] Bray R.H., et Kurtz L.T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 1945; 59: 39-45.
- [7] Bremner J.M. Total nitrogen. In : C.A. Black(ed.) *Methods of soil analysis*, part 2. *American Society of Agronomy*. 1965; 9: 1149-1178.
- [8] Broudiscou L.P., Papon Y., Broudiscou A.F. Effects of minerals on feed degradation and protein synthesis of rumen micro-organisms in a dual effluent fermented. *Reprod. Nutr. Dev.* 1999; 39: 255-268.
- [9] BUNASOLS (Bureau National d'Analyses des Sols). Normes d'interprétation pour l'appréciation de quelques caractéristiques chimiques des sols du Burkina Faso sur les 40 premiers cm, 1990. Fiche technique.
- [10] Chaussod R. Qualité biologique des sols : évaluation et implication. *Etudes et gestion des sols*. 1996 ; 3 (4): 261-277.
- [11] CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement. Rapport sur la technologie et l'innovation. Renforcer la sécurité alimentaire en Afrique grâce à la science, à la technologie et à l'innovation 2010, 134 p.
- [12] De Ridder N., Van Keulen H. Some Aspects of the Role of Organic Matter in Sustainable Intensified Arable Farming Systems in the West -African Semi-Arid Tropics. *Fertil. Res.* 1990; 26: 299-310.
- [13] Deen W., Kataki P.K. Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. *Soil & Tillage Research*. 2003; 74: 143-150.
- [14] DSA (Division de la Statistique Agricole). Fiches des données statistiques sur les productions agricoles du Tchad, 2013 ; 5 p.
- [15] Hien E. Dynamique du carbone dans un Acrisol ferrugineux du Centre Ouest Burkina: Influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Ecole Doctorale Biologie Intégrative, 2004.
- [16] Hien V. Pratiques culturales et évolution de la teneur en N organique utilisable par les cultures dans les sols ferrallitiques du Burkina Faso. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy-France, 1990.
- [17] IFDC (International Fertilizer Development Centre). *Africa Fertilizer Situation*, 2008 ; 91 p.
- [18] Koulibaly B., Oualla T., Déhou D., Prosper N. Z., Bondé D. Effets de la valorisation des résidus de récolte sur la nutrition minérale du cotonnier et les rendements d'une rotation coton-maïs-sorgho dans l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2010; 4(6): 2120-2132.
- [19] Lavigne-Delville. Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel. *Diagnostic et Conseil aux paysans*, 1996 ; 397 p (chap 4).
- [20] Lompo F. Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso. Thèse d'Etat, mention Sciences de la Terre et des Ressources Minières Sciences naturelles, option Agro-pédologie /Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 2009 ; 251 p.
- [21] Mando A., Ouattara B., Sedogo M.P., Stroosnijder I., Ouattara K., Brussaard I. et Vanlauwe B. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. *Soil Tillage Res.* 2005.
- [22] Mbétid-Bessane E., Havard M., Djondang K. Évolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale. *Cahiers Agricultures*. 2006 ; 6(15): 555-561.
- [23] N'dayegamiye A., Coté D. Effets d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porc et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. *Agrosol*. 1996; 1(9): 31-35.
- [24] Naitormbaide M. Effets des pratiques paysannes actuelles de gestion de la fertilité sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité des sols de savanes du Tchad: cas de Nguetté I et Gang. Mémoire de DEA, Sciences du sol, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 2007.
- [25] Naitormbaide M., Lompo F., Gnankambary Z., Ouandaogo N., Sedogo M. P. Les pratiques culturales traditionnelles appauvrissent les sols en zone des savanes du Tchad. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2010; 4(4):871-881.
- [26] Ouattara B. Contribution à l'étude de l'évolution des propriétés physiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture: Pratiques culturales et états structuraux du sol. Thèse Docteur ingénieur, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 1994.
- [27] Ouattara B. Analyse-diagnostic du statut de la matière organique et de l'état structural des sols dans les agro systèmes cotonniers de l'Ouest du Burkina (Terroir de Bondoukou). Thèse d'Etat, spécialité systèmes de production végétale, option Sciences du sol, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 2009.
- [28] Pichot J., Sedogo M. P., Poulin J. F., Arrivets J. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux sous l'influence des fumures minérales et fumures organiques. *Agronomie Tropicale*. 1981; 2 (33):122 – 133.
- [29] Piéri C. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara, 1989; 444 p (Partie IV, Section B, Chap 2).
- [30] Saar P. L. Fertilisation minérale et organique du mil au Sénégal, 1981 ; 13 p.
- [31] Sedogo P. M. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat, mention Sciences naturelles (Agronomie-écologie-pédologie), Université de Côte d'Ivoire. 1993.
- [32] Walkley A., Black I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 1934; 37:29-38.



Cite this article: Michel Naitormbaide, Hassane Bismarck Nacro, François Lompo, et Papaoba Michel Sedogo. LE RENDEMENT DU MIL (*Pennisetum glaucum* var.) VARIE EN FONCTION DES MODES DE GESTION DES FUMURES ET DES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS DANS LES SAVANES TCHADIENNES. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2019; 8(6): 282-289.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>