

ÉVALUATION DE L'EFFET DE L'APPORT DE FUMIER DE BOVINS ET DE PETITS RUMINANTS ET DU PHOSPHATE NATUREL DE TILEMSI SUR LA PRODUCTIVITÉ DES SOLS ET DES CULTURES DANS LE SAHEL : CAS DE LA RÉGION DE MOPTI

MOHAMED SIDDA MAIGA² BOUREIMA TRAORÉ¹,
ROKIA MAGUIRAGA³, MOUSSA KEITA¹

¹Institut d'Economie Rurale, BP. 258, Rue Mohamed V, Bamako, Mali, boureimatraore@gmail.com - Tél. : +223 66 76 22 89

²Faculté des Sciences et Techniques, Université de Bamako : pamaiga@yahoo.fr

³Ministère de l'Élevage et de la Pêche, maguiragarokia@yahoo.fr

*Auteur de correspondance dresse contact : Dr Boureima Traoré, Institut d'Economie Rurale, BP. 258, Rue Mohamed V, Bamako, Mali, boureimatraore@gmail.com - Tél. : +223 66 76 22 89

Résumé

La présente étude a pour objectif de contribuer à la lutte contre la baisse de la fertilité des sols et les bas rendements du mil dans la région de Mopti par l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. Un bloc de Fisher a été utilisé dans les trois zones agro écologique de 2005 à 2007. Les résultats ont montré qu'avec l'application de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT on obtient une augmentation de production en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec, l'application de 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet l'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT, par rapport au témoin. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet un accroissement du rendement grain de 0 à 16%. Les analyses de sol ont montré en deuxième année, une augmentation de la valeur du pH et de la concentration du sol en matière organique et leur baisse en troisième année.

Mots clés : Petits ruminants, bovins, production, sol.

Abstract

The present study aims to contribute to the fight against the decline of soil fertility and low millet yields in the Mopti region through the application of cattle manure, and small ruminants at different doses and 300kg. ha⁻¹ 3 years⁻¹ from PNT. A Fisher block was used in the three agro-ecological zones from 2005 to 2007. The results showed that with the application of 2t.ha⁻¹an⁻¹ of cattle manure and 300kg. ha⁻¹ 3 years⁻¹ of PNT obtained an increase in production of millet grain compared with the control of 57.59%, and 52.8% with the application of 5t.ha⁻¹3years⁻¹ of cattle manure and 300kg. ha⁻¹3 years⁻¹. The contribution of 2t.ha⁻¹an⁻¹ manure of small ruminants and 300kg. ha⁻¹ 3 years⁻¹ of PNT allows the increase of grain yield of 60,11% and 63,8% with 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ manure of small ruminants and 300kg. ha⁻¹ 3 years⁻¹ of PNT, compared to the control. Finally, the application of 300kg. ha⁻¹ 3 years⁻¹ of PNT allows an increase in grain yield of 0 to 16%. In the second year, soil analyzes showed an increase in the pH value and soil concentration of organic matter and a decrease in the third year.

Key words: Small ruminants, cattle, production, soil

1. Introduction

Dans les pays du Sahel, en Afrique de l'Ouest, en particulier dans la région de Mopti, le mil est une culture vivrière importante pour la sécurité alimentaire des populations. Sa production représente souvent plus de 30 % de la production céréalière totale. Le mil est consommé sous forme de bouillie et de galettes. La teneur en protéines des différents mils, et leur qualité, se comparent à celles du blé ou du maïs. C'est un aliment énergétique et nutritif. Cependant, dans la région de Mopti, les rendements de cette culture sont très bas, et se situent entre 200 et 500 kg par hectare. En effet, il s'agit généralement d'une culture extensive, pratiquée sans irrigation, ni engrais. L'utilisation des engrais minéraux et de la fumure organique constitue un moyen efficace pour contribuer à restaurer la fertilité des sols et à accroître les rendements des plantes cultivées (Bationo et al. 1998 ; Piéri, 1989). Les engrais minéraux sont utilisés pour apporter les éléments nutritifs essentiels tels que l'azote et le phosphore. L'évolution des systèmes de culture a amené des changements dans les quantités apportées (N'Diaye et al., 1994).

Selon Kieft et al., 1994, les engrais minéraux au Mali sont principalement utilisés en zone cotonnière (± 75 %) et en zone de riziculture irriguée (± 10 %) avec une dose moyenne et effective d'environ 80 kg de nutriments par hectare fertilisé et qui va au maximum jusqu'à 300 kg par hectare. Il est clair que l'introduction des engrais minéraux a augmenté la production, mais les mesures culturales à prendre, surtout pour garantir la même productivité dans l'avenir, seront de plus en plus nécessaires. Au Mali, les zones de culture de céréale qui n'utilisent pas ou peu d'engrais minéraux sont importantes.

Pieri (1989) note que si l'utilisation des engrais pour les cultures de cotonnier ne cesse de croître, il faut bien reconnaître que l'application de la fertilisation pour les céréales de culture sèche ne connaît pas le même essor. Il s'agit là, surtout des cultures du mil et du sorgho. En effet, cette situation s'explique par le rapport de prix extrêmement défavorable qui existe au Mali entre les engrais minéraux et les produits agricoles. Ceci pèse lourdement sur le coût des produits importés dont dépend la production. Or, à part le Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT), le Mali dépend de l'extérieur pour son approvisionnement en engrais chimiques, et cela requiert des devises importantes dont le pays ne dispose pas en raison de sa situation économique (balance des paiements défavorable) (Gerner., 1993).

Des études menées par Bationo, 1998 ont démontré que le PNT pouvait être appliqué directement et que son efficacité dépend de sa composition chimique et minéralogique, des facteurs du sol, et des cultures pratiquées. Selon Kamara et al., 1994, la recherche sur le PNT a abouti à des résultats agronomiques assez satisfaisants au Mali. Selon Veldkamp, 1991, l'expérience agronomique a montré un effet mesurable du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) dès la première année de son application sur la parcelle. Le PNT contient selon Bationo (1998) 12,5% de P_2O_5 , (Oxyde de phosphore) 1,84% de Citrate-soluble P, 14,4% de CaO (Oxyde de calcium), 3,1% de Fluor (F), 2,1% d'oxyde d'aluminium ou alumine (Al_2O_3), 6,1% de Fe_2O_3 , MgO (Oxyde de fer et de magnésium), 0,37% de Na_2O (Oxyde de sodium), 0,1% de K_2O (dioxyde de potassium), 0,007% de SiO_2 (Oxyde de silicium), et 9,4% de dioxyde de carbone (CO_2). La solubilité du PNT est faible comparativement aux engrais phosphatés, Diammonium phosphate (DAP) et le Phosphate Super Simple (SSP), mais c'est un phosphate naturel tendre, ce qui lui confère une meilleure solubilité, comparé aux autres phosphates naturels. La dose de fond de $300kg\cdot ha^{-1}$ peut assurer l'alimentation phosphatée des cultures pendant environ trois ans. Le pouvoir neutralisant du phosphate naturel de Tilemsi est faible, il a été évalué au laboratoire à 20% par rapport au carbonate de calcium ($CaCO_3$).

Cette action du PNT est très intéressante surtout pour les cultures sensibles à la toxicité aluminique. Un autre aspect important du PNT est que le taux élevé de calcium, particulièrement sur sol acide est surtout bénéfique pour les légumineuses comme l'arachide. Le PNT s'avère le plus efficace dans les zones humides. Son effet est mitigé en zones sèches (Pichot et *al.*, 1981). Le phosphate naturel de Tilemsi sera plus efficace si on l'utilise avec la fumure organique des parcs, il y aura un meilleur effet du PNT dans une rotation sur les légumineuses lorsqu'il est appliqué avant le labour. Une dose de fond serait de 300kg de PNT/ha tous les 3ans ou 500kg.ha⁻¹ tous les 5ans (Veldkamp et *al.*, 1991). De façon générale, le PNT doit être considéré comme une importante source locale de phosphore pour l'amélioration de la productivité des sols du Mali.

Morel et *al.*,1990, trouvent que l'application d'engrais phosphatés augmente l'utilisation du phosphore par les plantes dans les sols pauvres en phosphates disponibles, mais diminue l'utilisation du phosphate dans les sols avec un taux élevé de phosphore disponible. Le phosphore contenu dans le Diammonium phosphate (DAP) et le Phosphate Super Simple (SSP) est soluble. L'efficacité de tels types d'engrais est évaluée entre 10 et 15 %. Elle est fonction de la texture et l'acidité du sol, plus le sol est acide, plus élevés seront les besoins d'apports d'engrais phosphatés. En fonction de l'existence d'une érosion plus ou moins intense, un apport annuel pourrait être plus efficace qu'un apport massif de phosphore en une seule fois et pour plusieurs années.

Une évolution dans les recommandations de base accessibles aux petits producteurs va dans le sens d'une diminution des doses d'engrais chimique (et des coûts). L'application de phosphore au poquet permet dans une certaine mesure de limiter ce problème en minimisant les doses de phosphore à appliquer tout en ayant un gain de rendement acceptable par rapport à l'investissement. L'augmentation de la paille et des rendements en grains de mil peut atteindre 70%. Pour une pluviométrie normale et régulière les risques sont négligeables. Par ailleurs, le phosphore appliqué mais non utilisé par les cultures suite à une mauvaise saison reste en grande partie disponible pour la saison suivante.

La présente étude avait pour objectif d'évaluer de l'Effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du Phosphate Naturel de Tilemsi sur la productivité des sols et des cultures dans la région de Mopti en zone sahélienne du Mali.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

L'étude a été menée dans la région de Mopti. Les sites retenus ont été le village de Koporo-pen dans la Commune de Koporo-pen, dans la zone agro écologique du Séno, le village de Tougoumé, dans la Commune rurale de Docoumbo sur le Plateau Dogon, et dans le village de Madiama, à la Commune de Madiama, dans la zone du Delta au niveau des champs de brousse. Ces trois sites ont été choisis parce qu'ils sont à la fois représentatifs des trois zones agro écologiques de la région de Mopti et qu'ils sont accessibles. Le Séno correspond à un fossé d'effondrement entre le Plateau Mossi et le Plateau Dogon. Les plaines sont constituées de sable et de grès argileux coiffés d'une dalle cuirassée. Le Séno est dominé au sud par des bancs de collines et au nord par des cordons de dunes. L'ensemble du Séno est assez contrasté du point de vue type de sol ; on y distingue essentiellement trois types de sols : les sols légers sableux (50 %), les sols lourds argilo-limoneux (35 %) et les sols limoneux sableux (15 %) (DRSPR, 1992).

Comme le reste du Plateau Dogon, la Commune Rurale de Docoumbo est caractérisée par un relief très accidenté, composé d'un massif de 600 m d'altitude entouré de zones basses. Il s'agit de grés siliceux, caractérisés par une grande hétérogénéité. On observe çà et là des collines et des étendues rocailleuses constituées d'un empilement de bancs gréseux. La situation géomorphologique de la commune justifie la rareté des sols de culture, qui ne représentent que 22 % de la superficie totale du cercle, le reste étant occupé par des affleurements rocheux. Les terres sont dégradées à cause de l'insuffisance de couvert végétal et à cause des eaux de ruissellement (DRSPR, 1992).

La commune de Madiama est située dans le Delta Central du Fleuve Niger dans le bassin sédimentaire du moyen Bani, qui a été comblé par les alluvions du quaternaire. Les oscillations du niveau marin et les variations climatiques pendant le quaternaire ont provoqué plusieurs phases de creusement fluvial et d'alluvionnement qui ont donné des dépôts très variés par leur granulométrie et leur position topographique. Selon les travaux de Badini, 2001, la série texturale des types de sol des unités morpho-pédologiques répertoriées comprend : sable, sable limoneux, limon gravillonnaire, limon-sableux, limon, limon-argileux et argile.

Le climat de la région est de type sahélien, il présente une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre. La pluviométrie a été en moyenne de 468 mm de 1977 à 2005, avec un minimum de 273 mm reçu en 2002 et un maximum de 643 mm en 1999 (Traoré et al., 2002). Il est caractérisé par une température moyenne annuelle de 29,1°C avec un maximum aux mois d'avril et de mai et un minimum au mois de janvier ; par une humidité relative annuelle moyenne de 44 % dont le maximum se situe aux mois d'août, septembre, octobre et le minimum aux mois de janvier, mars, avril ; par un ensoleillement minimal de six heures par jour en juillet, qui augmente pour atteindre son maximum en février avec 8 heures par jour et par saison pluvieuse (Traoré et al., 2002).

2.2. Méthodes

L'étude a été menée dans la région de Mopti. Les trois sites retenus pour l'expérimentation ont été la sous station de recherche agronomique de Koporo-pen (commune de Koporo-pen) dans la zone agro-écologique du Séno, le village de Tougoumé dans la Commune rurale de Docoumbo sur le Plateau Dogon et le village de Madiama dans la zone du Delta au niveau des champs de brousse. Ces trois sites ont été choisis parce qu'ils sont à la fois représentatifs des trois zones agro-écologiques de la région de Mopti et accessibles. Selon le Centre Régional de Recherche Agronomique de Mopti, les paysans y sont volontaires et ils manifestent leur intérêt pour les innovations technologiques. Les sites présentent les caractéristiques suivantes :

La commune rurale de Koporo-pen est localisée dans le Séno qui, dans son ensemble, correspond à un fossé d'effondrement entre le plateau Mossi et le Plateau Dogon. Les plaines sont constituées de matériaux du continental terminal (sable et grés argileux) coiffés d'une dalle cuirassée. Le Séno est dominé au sud par des bancs de collines et au nord par des cordons de dunes. La zone d'étude se situe dans cette zone dunaire. L'ensemble du Séno est assez contrasté du point de vue type de sol ; en effet, on y distingue essentiellement trois types de sols : les sols légers sableux (50 %), les sols lourds argilo-limoneux (35 %) et les sols limoneux sableux (15 %) (DRSPR, 1992). Le climat, de type sahélien comprend une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une saison pluvieuse de juin à septembre. La pluviométrie est en moyenne de 468 mm (de 1977 à 2005), avec un minimum de 273 mm reçu en 2002 et un maximum de 643 mm (Traore *et al.*, 2005).

Comme le reste du plateau Dogon, la commune rurale de Docoumbo est caractérisée par un relief très accidenté, composé d'un massif de 600 m d'altitude entouré de zones basses. Il s'agit de grés siliceux, caractérisés par une grande hétérogénéité. On dénote çà et là des collines et des étendues rocailleuses constituées d'un empilement de bancs gréseux. La situation géomorphologique de la commune justifie la rareté des sols de culture, qui ne représentent de façon estimative, que 22 % de la superficie totale du cercle, le reste étant occupé par des affleurements rocheux. A l'état actuel, les terres sont dégradées à cause de l'insuffisance de couvert végétal et des eaux de ruissellement (DRSPR, 1992). Le climat est caractérisé par une saison humide de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Il est caractérisé par une température moyenne annuelle de 29,1°C avec un maximum aux mois d'avril et de mai et un minimum au mois de janvier ; par une humidité relative annuelle moyenne de 44 % dont le maximum se situe aux mois d'août, septembre, octobre et le minimum aux mois de janvier, mars, avril ; par un ensoleillement minimal de six heures par jour en juillet, qui augmente pour atteindre son maximum en février avec 8 heures par jour et par saison pluvieuse (Traore, 2005). La commune de Madiama est située dans le Delta Central du Fleuve Niger en particulier dans le bassin sédimentaire du moyen Bani qui a été comblé par les alluvions du quaternaire. Le relief relativement élevé en bordure a été façonné dans les grés infracambriens de Bandiagara. La vallée moyenne du Bani et du Niger a commencé sa formation au début du quaternaire avec l'entaille des grés infracambriens, coiffés d'une cuirasse ferrugineuse dont on retrouve les vestiges sur les bordures de la commune. Les oscillations du niveau marin et les variations climatiques pendant le quaternaire ont provoqué plusieurs phases de creusement fluvial et d'alluvionnement qui ont donné des dépôts très variés par leur granulométrie et leur position topographique. Selon les travaux de Badini (2001), la série texturale des types de sol des unités morpho-pédologiques répertoriées comprend : sable, sable limoneux, limon gravillonnaire, limon-sableux, limon, limon-argileux et argile.

Le choix des paysans collaborateurs a été le principe directeur dans la conduite des tests. Il a été fait en assemblée villageoise en juin 2005 en présence des agents du service d'encadrement technique local et de quelques membres de la Commission Régionale des Utilisateurs des Résultats de la Recherche (CRU). Les critères de ce choix ont été focalisés surtout sur la volonté, la disponibilité du producteur et l'accessibilité de la parcelle de test.

Le dispositif expérimental était le bloc de Fisher à 6 traitements en 4 répétitions dans chaque zone agro-écologique. La superficie de la parcelle élémentaire était de 150 m².

En première année, le traitement T₀ est une culture continue de mil sans aucun apport d'engrais. Le T₁ a reçu uniquement la dose de 300 kg.ha⁻¹ de PNT, par parcelle élémentaire pendant le labour. Le T₃ et le T₄ ont reçu respectivement : 2t.ha⁻¹an⁻¹ et 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins par parcelle élémentaire pendant le labour et la dose de 300kg.ha⁻¹ de PNT, par parcelle élémentaire. Les traitements T₅ et T₆ ont reçu respectivement une dose de 2t.ha⁻¹an⁻¹ et 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants, et la dose de 300kg.ha⁻¹ de PNT, par parcelle élémentaire pendant le labour. En deuxième et troisième années les traitements qui ont reçu 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier avec du PNT ont été reconduits sans aucun autre apport. Tandis que les traitements qui ont reçu 2t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de Bovin et de Petits Ruminants ont été reconduits sans PNT.

La variété locale du mil, *Pennisetum glaucum* (L.) bien adaptée à la zone, a été semée à plusieurs graines (minimum 8 grains) par poquet à l'écartement de 1 m entre les lignes et 1 m entre les poquets et démarrée à 2-3 plants par poquet 15 jours après la levée. Le semis a été fait quand les sols étaient suffisamment humectés après une pluie d'au moins 15 mm. Le premier sarclage a eu lieu 15 jours après la levée tandis que le deuxième sarclage a été effectué à 20 jours après le premier. Les autres sarclages ont été faits au besoin.

La détermination du Carbone organique du sol (Méthode Anne modifiée) a été réalisée à partir du principe suivant : le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. L'excès de $K_2Cr_2O_7$ éliminé par une solution contenant le Fe^{2+} (sous la forme de sel de Mohr ou de sulfate de fer). L'acide phosphorique est utilisé pour complexer l'ion Fe afin d'obtenir un point de virage plus distinct. La différence en meq. Fe utilisé pour l'échantillon et pour l'essai à blanc permet de calculer le contenu de carbone dans le sol. Des analyses élémentaires ont montré que 97 % du carbone dans le sol sont oxydés de cette façon. Le pourcentage de matière organique dans le sol peut être calculé sur la base du taux de carbone suivant la formule ci-dessous (Nelson et Sommers, 1982). $\% C = 0,24 \times (a-b) \times (13/V)/g$ Où $a =$ volume versé pour le blanc $b =$ volume versé pour l'échantillon. $V =$ volume versé pour le contrôle de la solution de Fe $G =$ poids de l'échantillon $\% MO = 1,72 \times \% C$ Précision 0,01 près. Le calcul des moyennes des taux d'éléments du sol, et les analyses de la variance pour les rendements ont été effectués pour déterminer la différence entre les effets des traitements et le test de Duncan a été utilisé pour séparer les moyennes des différents traitements.

3. Résultats

3.1. Effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du Phosphate Naturel de Tilemsi sur le sol.

- **Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le taux de N, P_2O_5 et K_2O du sol dans la commune de Koporo pen.**

Les résultats des analyses chimiques du sol après la première année de culture ont montré que le taux d'accroissement de l'azote du sol par rapport au T_0 a été de 66,6%, respectivement pour : le T_1 , T_3 , et le T_5 (Tableau 1). Ce taux d'augmentation a été de 44,4% avec T_2 et le T_4 . En deuxième année, le taux d'accroissement de l'azote a été de 9,52% avec le T_1 , de 14,29% pour le T_2 , et de 23,81% pour le T_3 . Le T_4 a généré un déficit d'azote de 4,76% par rapport au T_0 . Enfin le taux d'azote dans le sol n'a pas connu d'augmentation avec le T_5 . Les résultats des analyses chimiques du sol ont montré en troisième année, un taux d'amélioration de l'azote dans le sol de 20% avec le T_5 . Le T_1 a permis d'obtenir un taux d'accroissement de l'azote de 15% par rapport au T_0 , de même que le T_3 et le T_4 . Enfin le T_2 a permis d'obtenir un taux d'augmentation a été de 5%.

Le taux de P_2O_5 dans le sol en première année, a connu un regain avec le T_1 , de 126,70% (52,2ppm). Le taux d'amélioration a été de 18,20% (7,5ppm) aussi bien pour le T_2 , que pour le T_4 . Le taux de P_2O_5 dans le sol a été de 37,86% (15,6ppm) avec le T_3 et le T_5 . En deuxième année, le taux de P_2O_5 dans le sol a connu un taux d'amélioration de 7,12% (2,6ppm) aussi bien avec le T_1 , qu'avec le T_2 et le T_4 . Le taux de regain a été de 48%(16,9ppm), avec le T_3 et le T_5 . Le taux d'amélioration de P_2O_5 dans le sol a été de 7,79% (4,30ppm) avec le T_3 et le T_5 . Le taux de P_2O_5 dans le sol a connu également une progression de 7,61% (4,20ppm), avec le T_1 et le T_4 . Cependant le T_2 , n'a montré aucune amélioration du P_2O_5 du sol.

La progression du taux de K_2O dans le sol par rapport au T_0 a été de 107,2% (303,7ppm) avec le T_1 et T_4 en première année. Pour le T_5 , le regain de K_2O dans le sol a été de 89,16% (252,6ppm). Ce taux a été de 80,16% (227,1ppm) avec le T_3 . Enfin, pour le T_2 , le taux d'augmentation par rapport à T_0 a été de 53,16% (150,6ppm). Cependant en deuxième année, l'amélioration du taux K_2O dans le sol par rapport au T_0 a été de 40,26% (93ppm) avec le T_1 , de 27,2% (63ppm) pour le T_2 , et de 70,13% (162ppm) avec le T_3 . Le T_4 a permis d'obtenir un taux d'accroissement du K_2O

dans le sol de 48,92%(113ppm). Le taux de progression du K₂O dans le sol a été de 52,8% (122ppm) pour le T₅. En troisième, le taux de K₂O dans le sol a connu un déficit par rapport au T₀ de 18,75% (62ppm) avec le T₁, de 20,84% (68,9ppm) pour le T₂, de 4,17% (13,8ppm) avec le T₃ et de 10,41% (34,4ppm) pour le T₄. Mais avec le T₅, le taux de progression du K₂O du sol par rapport à celui de T₀ a été de 8,35% (27,6ppm).

Tableau 1. Variation du taux de l'azote et des quantités de phosphore et de potassium du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires techniques	Années	Mil	Mil et 300kg PNT	Mil+2t/ha/an Fumier Bovins et 300kgPNT	Mil+5t/ha/3ans Fumier Bovins et 300kgPNT	Mil+2t/ha/an Fumier petits ruminants et 300kgPNT	Mil+5t/ha/3ans Fumier petits ruminants et 300kgPNT
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
		0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
N total %	2005	0,009	0,015	0,013	0,015	0,013	0,015
	2006	0,021	0,023	0,024	0,026	0,020	0,021
	2007	0,020	0,023	0,021	0,023	0,023	0,024
P ₂ O ₅ total ppm	2005	41,2	93,4	48,7	56,8	48,7	48,7
	2006	39,3	42,1	42,1	56,2	42,1	56,3
	2007	55,2	59,4	55,2	50,9	59,4	50,9
K ₂ O total ppm	2005	283,3	587,0	433,9	510,4	510,4	535,9
	2006	231	324	294	393	344	353
	2007	330,6	268,6	261,7	316,8	296,2	358,2

(Source : analyse du sol : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le carbone total du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les résultats des analyses chimiques du sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol par rapport au T₀ de 19,8% pour le T₁, de 28,5% pour le T₂, de 39,6% pour le T₃, de 7,4% pour le T₄, et de 23,9% pour le T₅ (Figure 1).

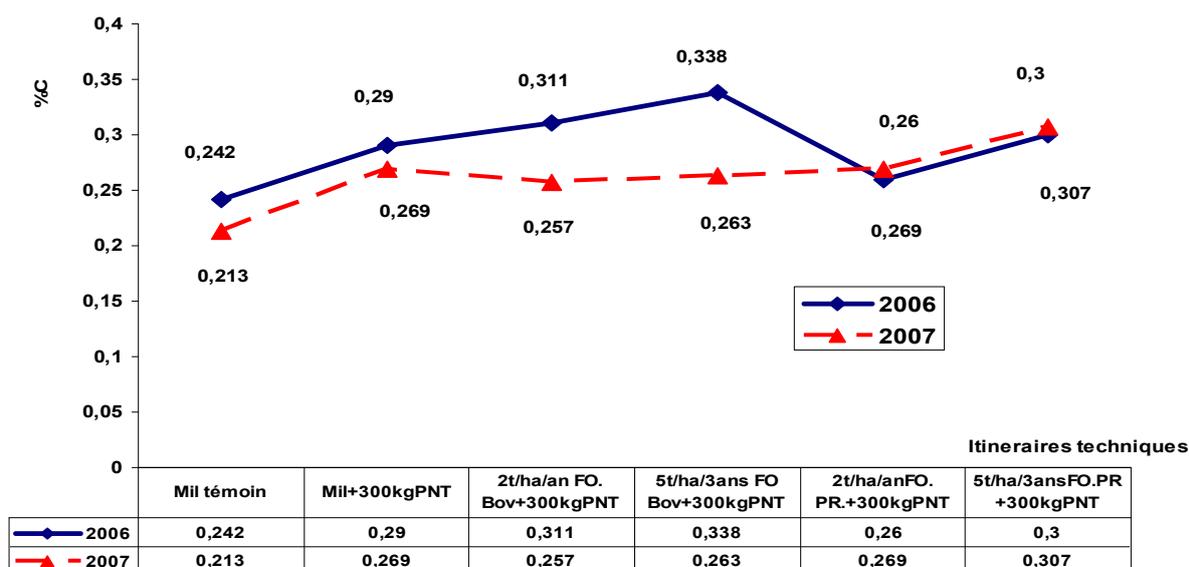


Figure 1. Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen

Après la troisième année de culture on observe une baisse du taux de carbone total dans tous les traitements comparativement à la deuxième année. Le taux de carbone dans le sol a connu un accroissement de 26,29% avec le T₁, de 26,6% avec le T₂, de 23,47% avec le T₃, de 26,29% avec le T₄, et de 44,13% avec le T₅. Le rapport C/N a été de 14 pour T₁ et de 12 pour le T₂. Un C/N de 13 a été obtenu pour le T₃.

- **Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le pH du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les résultats des analyses chimiques du sol après la deuxième année ont montré que le pH du sol a des valeurs comprises entre 5,0 et 6,5 donc restes acides, mais les variations des valeurs du pH vers 6 ont été observées dans tous les traitements qui ont reçu du PNT. Les valeurs de pH proches de 5 se trouvent dans les traitements qui chaque année reçoivent du fumier. (Figure 2). En troisième année, les valeurs du pH du sol ont baissé dans tous les traitements. Le pH a baissé dans les traitements, qui ont reçu du fumier de bovins.

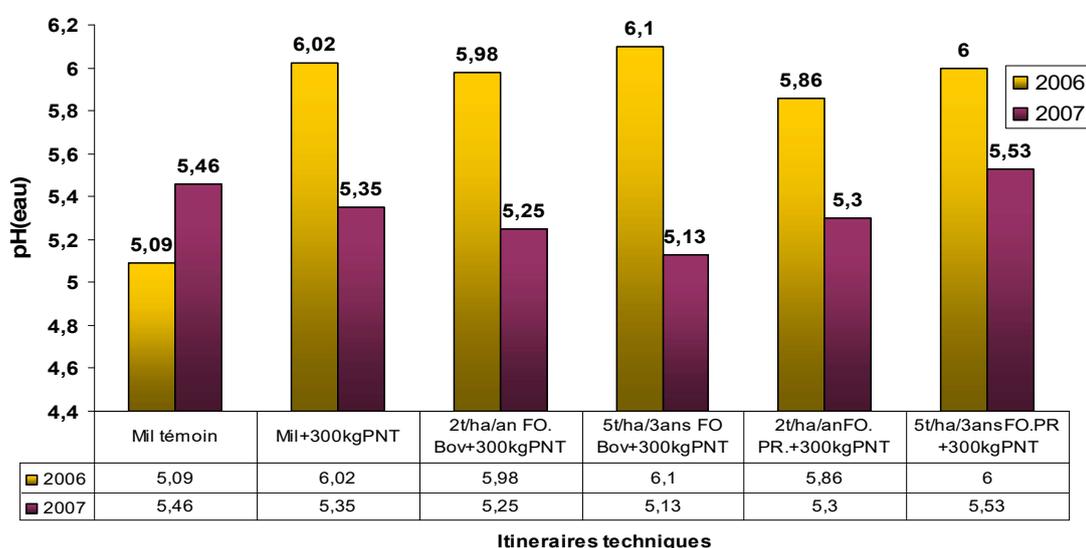


Figure 2. Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

3.2. Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées.

Des tests en milieu paysan ont montré que l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT dans la fertilisation du mil en trois ans permet d'obtenir des rendements (grains et paille) supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Ainsi, l'application de 2t.ha⁻¹.an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'augmenter la production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec l'application de 5t.ha⁻¹.3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹.an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹.3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT par rapport au témoin. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de 16%.

Tableau 2. Indicateurs de production de l'apport du fumier de parc et du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) dans les communes rurales étudiées.

Communes	Itinéraires techniques	Années	Mil Témoin T ₀		Mil + 300Kg PNT T ₁		Mil+2T/ha/an Fumier Bovins + 300 Kg PNT T ₂		Mil+5T/ha/3ans Fumier Bovins + 300Kg PNT T ₃		Mil+2T/ha/an Fumier PR + 300Kg PNT T ₄		Mil+5T/ha/3ans Fumier PR + 300 Kg PNT T ₅	
			Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
	Indicateurs		Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
Koporo pen	Rendement moyen (kg/ha)	2005	485	4350	595(ns)	4200(ns)	630(ns)	4600(ns)	780(ns)	5850(ns)	675(ns)	5500(ns)	1 055(ns)	7400(ns)
		2006	1440	4310	1255(ns)	3550*	1600(ns)	5850*	1730(ns)	5700*	1385(ns)	4600*	1840(ns)	6300*
		2007	506	2512	621**	2722(ns)	1 280**	3768(ns)	956**	3200(ns)	1240**	4608(ns)	1200**	3904(ns)
	Coût total de production	2005	24 075	-	70 505	-	116 985	-	189 635	-	133 555	-	235 095	-
		2006	36 005	-	35 240	-	92 965	-	42 855	-	106 110	-	44 045	-
		2007	23 863	-	26 985	-	88 805	-	32 793	-	104 225	-	35 725	-
	Bénéfices/Pertes	2005	43 825	-	12 795	-	-28 785	-	-80 435	-	-39 055	-	-87 395	-
		2006	151 195	-	127 910	-	115 035	-	182 045	-	73 940	-	195 155	-
		2007	41 917	-	53 615	-	77 595	-	91 487	-	56 975	-	120 275	-
Madiama	Rendement moyen (kg/ha)	2005	645	4680	850*	6300*	1 175*	6050*	1 030*	8795*	1 075*	8150*	1 000*	8200*
		2006	1560	14500	1810**	12400**	2450**	18100**	2300**	16300**	2250**	16800**	2850**	20800**
		2007	778	3385	1133**	4933**	1538**	6693**	1238**	5388**	1625**	7067**	1330**	5795**
	Coût total de production (Fcfa)	2005	26 315	-	70 575	-	124 615	-	193 135	-	139 155	-	234 325	-
		2006	39 125	-	44 265	-	106 465	-	52 565	-	119 605	-	60 025	-
		2007	28 170	-	34 780	-	93 690	-	37 690	-	110 855	-	38 745	-
	Bénéfices /Pertes	2005	63 985	-	48 425	-	39 885	-	-48 935	-	11 345	-	-94 325	-
		2006	179 275	-	209 135	-	236 535	-	269 435	-	195 895	-	338 975	-
		2007	80 680	-	123 770	-	121 560	-	135 560	-	116 785	-	147 455	-
Doucombo	Rendement moyen (kg/ha)	2005	870	5525	770(ns)	6025(ns)	600(ns)	5466(ns)	690(ns)	6825(ns)	500(ns)	4225(ns)	540(ns)	5600(ns)
		2006	960	3050	1 180**	3375**	1 333**	4200**	1 620**	4375**	1 430**	3925**	1 550**	4275**
		2007	865	2300	1 311**	3710*	1 493**	4127*	1 308**	4515*	1 533**	3700*	1 385**	4125*
	Coût total de production	2005	33 465	-	76 955	-	120 765	-	192 375	-	135 105	-	231 885	-
		2006	30 725	-	35 445	-	90 832	-	43 045	-	108 125	-	41 825	-
		2007	29 395	-	37 283	-	93 072	-	38 670	-	109 560	-	39 515	-
	Bénéfices /Pertes	2005	88 335	-	30 845	-	-36 765	-	-95 775	-	-65 105	-	-156 285	-
		2006	103 675	-	129 755	-	95 835	-	183 755	-	92 075	-	175 175	-
		2007	91 705	-	146 293	-	115 995	-	144 380	-	104 990	-	154 385	-

*. Significatif ; ** : très significatif ; ns : non significatif (PR = Petit Ruminant)

(Source : tests en milieu paysan)

3.3. Évaluation des techniques

Pour l'évaluation des différentes techniques le temps de travail, prix (FCFA), les quantité (kg/ha) des intrants et produits agricoles ont été calculés. Ainsi, le Tableau 10 indique le nombre d'hommes qui travaille par jour (homme/jour) pour les différents travaux. Il a été estimé à partir du nombre de travailleurs impliqués pour l'installation du test chez un paysan. Les valeurs obtenues ont été ramenées à l'hectare. Ainsi, de nombreuses investigations ont été faites sur le terrain auprès des techniciens et des paysans pour aboutir à des données supposées raisonnables d'homme/jours par tâche. Quant au travail concernant la récolte, il a été évalué à 10% de la valeur de la production.

Tableau 3. Nombre d'hommes par jours et par hectare

Activités	Mil	Niébé
Labour (tous les ans)	2	2
Semis (tous les ans)	1	1
Sarclage 1 (tous les ans)	3,75	4
Sarclage 2 (tous les ans)	2,25	1
Epannage 2T de fumure organique (tous les ans)	2	-
Epannage 5T de fumure organique (1 ^{ère} année)	3	-
Epannage 300kg de PNT (1 ^{ère} année)	1,5	1,5
Epannage 600kg de PNT (1 ^{ère} année)	-	2

(Source : enquête exploitations 2005)

Les prix de vente du mil, du niébé au producteur varient d'une année à l'autre et dans la même année les prix varient d'une période à l'autre. Ils sont les plus bas, juste après les récoltes et montent progressivement pour atteindre le maximum vers le début de la campagne agricole suivante. Les investigations sur les marchés des différents sites ont permis de retenir le prix moyen de vente du mil à 140FCFA.kg⁻¹ dans le Delta Central du Niger sur les trois ans et dans le Séno en première année, le prix moyen de 130FCFA.kg⁻¹ sur le Plateau Dogon durant les trois ans et les deux dernières années pour le Séno. Le prix moyen de vente de grains de niébé utilisé dans nos évaluations a été de 300FCFA et celui des fanes 125FCFA pour l'ensemble des sites. Les prix des engrais, les quantités recommandées et la valeur du fumier sont indiqués dans les Tableaux 3, 4 et 5.

Tableau 4. Prix (FCFA) du mil, du niébé, des intrants et quantité (Kg/ha) d'intrants.

Produits et intrants	Unité	Prix en FCFA	Quantité d'intrants par hectare
Mil (semence)	kg	225	5kg.ha ⁻¹
Fumier de bovins	kg	22,32	2 et 5 t.ha ⁻¹
Fumier de petits ruminants	kg	30,69	2 et 5 t.ha ⁻¹
Fumier recommandé	kg	26,50	10 à 15t.ha ⁻¹
PNT	kg	120	300-600 kg.ha ⁻¹
Labour	½ ha	4000	
Transport fumier	kg	250	
Autre main d'œuvre	h/jour	750	

(Source : enquête exploitations 2005)

Tableau 5. Valeur (FCFA) du fumier calculée à partir de son taux en éléments, du coefficient (Kg engrais / Kg élément), du taux d'engrais dans le fumier et du prix engrais (FCFA.kg⁻¹)

Engrais	% de l'élément dans le fumier	Coefficient (Kg engrais / Kg élément)	% engrais dans le fumier	Prix engrais (FCFA.kg ⁻¹)	Valeur du fumier (FCFA.kg ⁻¹)
Fumier bovin					
Kg. N	0,980	2,18	0,021	310	6,51
Kg. P ₂ O ₅	0,580	2,27	0,013	310	4,03
Kg. K ₂ O	1,680	2,27	0,038	310	11,78
					22,32
Fumier petit ruminant					
Kg. N	1,250	2,18	0,027	310	8,37
Kg. P ₂ O ₅	0,830	2,27	0,018	310	5,58
Kg. K ₂ O	2,400	2,27	0,054	310	16,74
					30,69

(Source : enquête exploitations 2005)

4. Discussions

Dans ce contexte, et face aux irrégularités des pluies et aux multiples risques associés à l'application des engrais, il convient de déterminer des doses, méthodes d'application des fumures organique et minérale afin de répondre aux besoins des cultures. En effet, l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT dans la fertilisation du mil permet d'obtenir des rendements (grains et paille) supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Elle améliore également les taux d'azote et de phosphore dans les grains et pailles. Ainsi, l'application de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'augmenter la production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec, l'application de 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de bovins et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT. L'apport de 2t.ha⁻¹an⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha⁻¹3ans⁻¹ de fumier de petits ruminants et 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT, par rapport au T₀. Enfin, l'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de 0 à 16%. Cette amélioration de la production a été démontrée à partir des études menées à Cinzana, sur l'amélioration de la qualité du fumier de parc, l'évaluation de la source et du mode d'épandage de la fumure organique. L'addition d'un complément minéral à base de phosphate d'ammoniac, de complexe céréale ou de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) permet d'améliorer la production céréalière de façon significative (Traore *et al.*, 2000). En dépit des surplus observés avec l'application du fumier et du PNT à différentes doses, les années de mauvaise pluviométrie ont été marquées par des déficits de production, avec brûlure des plants (dans les parcelles qui ont reçu les grandes quantités de fumier) et perte en valeur ajoutée par rapport au témoin. L'application de 300kg.ha⁻¹3ans⁻¹ de PNT a donné des rendements mitigés, peu différents de celui du témoin.

Les résultats des analyses chimiques du sol dans tous les traitements ont montré en deuxième année, une augmentation de la valeur du pH du sol, et de sa concentration en matière organique. Cette augmentation de la valeur du pH serait dû aux propriétés améliorantes du PNT permettant de récupérer des sols dégradés, d'accroître le pouvoir tampon des sols acides, dans certains cas assurer le rôle de chaulage grâce à sa forte concentration en calcium (Doumbia, 1993). En troisième année,

on observe une baisse de la valeur du pH accompagnée d'une diminution de la concentration du sol en matière organique pour l'ensemble des traitements. Le bilan en K_2O a été positif pour les itinéraires utilisés, par contre il a été déficitaire pour N et P_2O_5 . Mais le déficit est plus faible avec l'apport des $5t.ha^{-1}3ans^{-1}$ de fumier de petits ruminants et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT, et celui des $5t.ha^{-1}3ans^{-1}$ de fumier de bovins et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT. Ce qui conduit à tirer une conclusion similaire à celle de Traore *et al.*, 2000 selon laquelle le niveau des réserves du sol en éléments nutritifs diminue suite aux effets d'exportation des cultures.

5. Conclusion

Au Mali, les céréales couvrent 80 à 90% des besoins alimentaires de la population. Dans cette zone sahélienne, la mauvaise gestion des terres agricoles et l'inadéquation entre le prix des intrants et celui des cultures vivrières constituent des éléments importants dans la dégradation continue des sols. La réduction, voire l'abandon de la jachère qui était la méthode traditionnelle de restauration de la fertilité du sol a entraîné un appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs et une baisse de la productivité des cultures. Dans la région de Mopti, le mil est l'une des cultures les plus importantes et représente 53% de la production agricole. Au cours de ces trois dernières décennies les rendements sont en baisse suite à la dégradation des sols et aux effets néfastes du climat sur le couvert végétal et les ressources en eau. Il en découle que la région connaît une insécurité alimentaire permanente.

Ainsi, une meilleure appréhension de la pratique de gestion des amendements organiques basés sur le transport de fumier aux champs, amélioré avec du Phosphate de Tilemsi : Des tests en milieu paysan ont montré que l'application du fumier de bovins, et de petits ruminants à différentes doses et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT dans la fertilisation du mil en trois ans permet d'obtenir des rendements (grains et paille) supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Ainsi, l'application de $2t.ha^{-1}.an^{-1}$ de fumier de bovins et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT permet d'augmenter la production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 57,59%, et de 52,8% avec l'application de $5t.ha^{-1}.3ans^{-1}$ de fumier de bovins et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT. L'apport de $2t.ha^{-1}.an^{-1}$ de fumier de petits ruminants et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le $5t.ha^{-1}.3ans^{-1}$ de fumier de petits ruminants et $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT par rapport au témoin. Enfin, l'application de $300kg.ha^{-1}3ans^{-1}$ de PNT permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de 16%. Les résultats des analyses chimiques du sol dans tous les traitements ont montré en deuxième année, une augmentation de la valeur du pH (qui reste toujours) du sol et une augmentation de la concentration du sol en matière organique. En troisième année, on observe une baisse de la valeur du pH accompagnée d'une diminution de la concentration du sol en matière organique pour l'ensemble des traitements. Le développement d'une agriculture durable dans la région de Mopti nécessite une utilisation des ressources locales (phosphate naturel, fumure organique) combinée à des bonnes techniques culturales comme une alternative à l'utilisation des engrais minéraux importés. Une fertilisation adéquate pour une production durable est possible en utilisant une fumure organo-minérale.

Références

Badini O., 2001. Agro-climatic assessment (description and analysis) of Madiama Commune in Mopti, Region, Mali (West Africa) (Draft) 102pages.

Badini O., 2001. Etude morpho-pédologique de la commune de Madiama, cercle de Djénné, Mali : 29 pages.

Bationo A., Seyni F., Buerkert A.C et Biolders, 1998. Rotation céréale – légumineuse.

Bationo, A., Koala, S., Ayuk, E., 1998. Fertilité des sols pour la production céréalière en zone sahélo-soudanienne et valorisation des phosphates naturels in Dossier : Fertilité des sols et environnement : quelques outils, indicateurs et approche récentes : Cahiers Agriculture 1998; 7pages.

Doumbia. M. D. 1993. Nutrient stress in acid sous of the cinzana station, Mali Desertification of Ph.D. Texas A. & M University.

DRSPR. 1992.. (Département de la Recherche sur les Systèmes de Production Rurale), Éléments de reconnaissance générale dans les zones du Séno et du Delta en 5ème région. 27pages.

Gerner H., Harris G., 1993. Utilisation et approvisionnement des engrais en Afrique Sub-saharienne. Le rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Sub-saharienne.

Kamara A., Joldersma R., Defoer T., Fomba B., 1994. L'utilisation du PNT. Une Analyse des problèmes et des possibilités d'adoption. Rapport de recherche. Document N°94/14.

Kieft H., Keita N., et van der Heide A., 1994. Engrais fertiles? Vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali.

Morel C. Fardeau J.C., 1990. Uptake of phosphate from soils and fertilizer as affected by soil P availability and solubility of phosphorus fertilizer. Plant and soil, 121- 217.

N'Diaye M.K., Guindo D., Dicko M.K. 1994. Gestion de la fertilité des sols rizicoles de l'O.N. IER Niono Mali.

Pichot J. Sogodogo M.P., Poulain. J.F, Arrivets J., 1981. Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques, Agronomie tropicale 26 13 pages.

Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes 444p

Traore B., Samake O., Badini O., 2002. Combinaison de l'expression régionale et de la gestion holistique pour la recherche des Alternatives d'amélioration de la fertilité du sol de la Commune de Madiama 18 Pages.

Traore S., Bagayoko M., Coulibaly B.S., Coulibaly A., 2000. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine que none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. 23 Pages.

Traore S., 2005. Fiche technique des techniques cultirales performantes pour de nouvelles variétés de mil 07 IER 6pages.

Veldkamp W.J, Traore A, N'Diaye K, Keita M.K, Keita B, Bagayoko M., 1991. Fertilités des sols du Mali ; Mali Sud/ Office du Niger : Interprétation des données analytiques des sols et plantes. Decembre1991.