

Ministère des Enseignements Secondaire  
Supérieur et de la Recherche Scientifique

\*\*\*\*\*

Université de Bamako

\*\*\*\*\*

Faculté des Sciences et Techniques

\*\*\*\*\*

D. E. R. de Biologie

\*\*\*\*\*

REPUBLIQUE DU MALI  
Un Peuple - Un But - Une Foi

\*\*\*\*\*

# *Thèse de Doctorat*

Présentée par

**Boureima TRAORE**

Pour obtenir le titre de docteur de l'Université de Bamako

**Option : Ecologie Appliquée**

**Effets des techniques de gestion de la fertilité sur le  
sol et sur les systèmes de culture à base de mil dans  
la région de Mopti au Mali.**

*Soutenue le 20 juin 2009*

Jury :

Président :

Pr. Fafré SAMAKE, Professeur à l'IPR/ISFRA de Katibougou

Membres :

Pr. Messaoud LAHBIB, Professeur ISFRA/l'Université de Bamako

Dr. Bino TEME, Directeur de Recherche, Institut d'Economie Rurale (IER)

Pr. Seydou ZIBBA MAIGA Professeur à la FAST, Université de Bamako

Dr. Oumar NIAGANDO, Directeur de Recherche, Fondation Syngenta

Pr. Mohamed SIDDA MAIGA Professeur à la FAST, Université de Bamako

# **INTRODUCTION**

## **INTRODUCTION**

L'Afrique au sud du Sahara se trouve en situation de déficit alimentaire permanente. Les populations ont de plus en plus des difficultés à satisfaire leurs besoins alimentaires. En 1950, selon l'Organisation de Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), un paysan était capable de nourrir 0,8 citadin ; en 1980, il fallait qu'il en nourrisse 2,5. Avec la croissance démographique dans ces pays, en 2010, il faudra qu'un paysan puisse nourrir sept personnes selon Poly., 1991. Depuis 1990, la valeur ajoutée du secteur agricole a enregistré une croissance de 1,4 % (2 % en 1980) alors que la croissance démographique est en moyenne de 3 % par an, contribuant fortement au déficit des balances commerciales. Si les tendances actuelles se maintiennent, le déficit céréalier en Afrique Subsaharienne estimé à 9 millions de tonnes par an, va tripler dans vingt cinq ans (Kébé., 1999).

La situation est encore plus critique au Sahel, qui a connu une grave crise alimentaire au début des années 70. De 1971 à 1973, la production céréalière totale chutait de 21% entraînant du coup une baisse des ressources totales en céréales. L'autosuffisance alimentaire demeure de toute évidence une préoccupation constante de la sous région sahélienne. Ce contexte tient essentiellement à deux raisons fondamentales : sur un premier plan, l'agriculture est d'une importance vitale pour l'ensemble des économies nationales au Sahel ; elle fournit pour la plupart 35 à 60% du Produit Intérieur Brut (PIB), occupe 80 à 90% de la population active et procure environ 60 à 98% des recettes d'exportations totales. Sur un deuxième plan, les céréales occupent la place dominante, aussi bien dans l'agriculture que dans les structures de consommation alimentaire (Dioné, et *al.*, 1994). Au Mali et plus particulièrement dans la région de Mopti, les céréales constituent l'aliment de base des populations.

La région de Mopti est constituée de trois grandes zones agro-écologiques: le Delta Intérieur du Niger, le Plateau Dogon, et le Séno. La région est à cheval sur la zone sahélienne (isohyètes 150 à 550) et la zone soudanienne Nord (isohyète 550 à 750). La quasi-totalité de la région appartient au bassin versant du fleuve Niger et dans une moindre proportion au bassin de la Volta noire. Située en grande partie en zone semi aride, la région est caractérisée par un climat tropical alternant deux saisons : une longue saison sèche et une courte saison pluvieuse, de fortes températures dont la moyenne est de 33°C, une longue période d'ensoleillement d'environ 3200heures, et des pluies aléatoires et irrégulières. Quant à l'évapotranspiration, elle varie entre 2300 et 2750mm (CNRA/IER., 1998).

La population est estimée à 1 565 000 habitants (environ 52% de femmes) (DNSI., 1998) pour une superficie de 17 503km<sup>2</sup>. Cette population est répartie entre sept grands groupes ethniques : les Dogon, les Bambara, les Marka et les Bobo qui sont des agriculteurs, des agro-pasteurs ou des artisans. Les Bozo et les Somono sont des pêcheurs ou des agro-pêcheurs ; les Songhaï, des agro-pasteurs ou commerçants et les peuhls des éleveurs ou agro-pasteurs. Essentiellement rurale (80%), la région connaît un accroissement naturel très élevé (3,7% en 1998) et l'exode saisonnier fait partie de la vie des populations surtout celles du Plateau (CNRA/IER., 1998).

Dans la région coulent le fleuve Niger et ses défluent, le Bani, le Sourou, les « Yamés » ou marigots alimentés par les eaux de pluie. Il existe aussi une multitude de mares et lacs qui se révèlent très importants pour leur exploitation agricole, piscicole et pastorale avec la maîtrise de l'eau qui se développe de plus en plus. Les ressources en eau souterraine ne sont pas non plus négligeables.

Les ressources en terre de la région sont caractérisées par une grande variabilité de la nature des sols et de leur fertilité. Selon des études menées par le Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT., 1983)), le potentiel cultivable représente 1 500 000hectares, soit 19% du total national. Les superficies actuellement cultivées font moins de 400 000hectares en culture sèche. Le potentiel des terres irrigables est estimé à 910 000hectares. Le niveau d'exploitation des terres cultivables est de 60 à 80% au niveau du Plateau Dogon contre 75 à 80% dans le Séno. (PIRT, 1983).

La région de Mopti dispose de riches pâturages naturels répartis entre plusieurs aires dont le Delta, le Gourma et le Séno qui en font une région très favorable à l'élevage. Les caractéristiques naturelles des zones de pâturage impliquent leur exploitation par transhumance, selon l'alternance des saisons en parcours inondés et exondés. L'essentiel des pâturages de la région est localisé dans le Delta Central du Niger avec une superficie de 680 850hectares. Les bourgoutières et pâturages d'hivernage des zones exondées sont d'environ 23 000 km<sup>2</sup>. Ainsi, le potentiel de l'élevage de la région de Mopti lui confère la première place avec 22,33% de bovins, 23,47% d'ovins et 24,3% de caprins. La contribution de l'élevage dans les recettes d'exportation s'élevait à plus de 3 milliards de FCFA en 1995. Le secteur souffre de l'insuffisance d'unités de transformation des productions animales et de la faible organisation des circuits de commercialisation (CNRA/IER., 1998).

Malgré les nombreuses potentialités existant dans la région, les actions de développement tendant à leur mise en valeur sont fortement entravées par les contraintes agro climatiques telles que l'insuffisance et l'irrégularité des pluies, les températures élevées provoquant une augmentation de l'évapotranspiration, la croissance démographique, la complexité et l'ampleur des mouvements migratoires, l'exode rural, le faible taux de scolarisation, la faiblesse des allocations budgétaires régionales au développement humain et surtout à la faiblesse des revenus des populations pour lesquels la région se classe en dernière position par rapport aux autres régions, 25 336FCFA contre 60 437FCFA pour le pays selon l'Enquête Malienne de Conjoncture Economique et Sociale (EMCES, 1994).

Depuis l'indépendance, plusieurs programmes et actions de développement ont été menés et certains sont en cours dans la région. Ce sont entre autres :

Les Opérations de Développement Rural (ODR), qui ont été créées après la sécheresse des années 1970. Leur rôle consistait à se spécialiser dans des filières agricoles précises suivant des zones agro écologiques. En plus de l'encadrement agricole et de la fourniture des intrants, les ODR s'occupaient de toutes les questions de développement économique et social des zones (santé, éducation etc.). La gestion de la fertilité des sols se faisait principalement à travers l'utilisation des engrais minéraux. Suite à la mauvaise gestion des ODR, l'Etat a entrepris une politique de désengagement à partir des années 1980 avec comme objectif le transfert progressif des compétences aux organisations paysannes (OP) ou aux paysans.

La Société de Crédit Agricole et d'Equipement Rural (SCAER), créée en 1964, a été la première institution du crédit agricole au Mali. Elle a été remplacée par la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA) en 1981, et d'autres organisations privées. Cette politique de crédit agricole a permis de soutenir la mécanisation, l'approvisionnement en intrants, et le développement des systèmes financiers décentralisés (micro-finance, épargne). Il faut noter que cette politique est inexistante dans la majeure partie de la région.

Le service des Eaux et Forêts, les projets de développement, et des ONG ont entrepris des actions de conservation des eaux et des sols. Ces actions comprennent : le reboisement à travers l'agroforesterie, les plantations de bosquets, la lutte anti-érosive par la confection de digues et diguettes, les cordons pierreux. Un accent particulier a été mis sur l'intégration agriculture élevage à travers l'utilisation de la fumure organique disponible. La gestion des ressources naturelles sous l'égide du Programme de Gestion des Ressources Naturelles (PGRN) devait permettre le développement durable et contribuer à la lutte contre la dégradation des écosystèmes.

La politique nationale de vulgarisation agricole a évolué d'une vulgarisation de masse sous la première république à une vulgarisation rapprochée assurée par les ODR. Suite au désengagement de l'Etat de certains secteurs de l'économie nationale en 1990 et au recentrage de ses missions, le Programme Test de Vulgarisation Agricole (PTVA) a abouti en 1994 à la mise en œuvre du Programme National de Vulgarisation Agricole (PNVA) avec l'appui de la Banque Mondiale. Le PNVA intervenait dans la diffusion des paquets techniques à travers des thèmes vulgarisés qui sont en relation avec la gestion de la fertilité des sols. Dans ce cadre, les producteurs et productrices ont été formés et assistés dans la mise en œuvre de plusieurs technologies. Ce programme a connu aussi ses limites car il ne comportait pas les moyens nécessaires à l'acquisition de matériels et intrants pouvant soutenir les actions techniques. Le Programme National pour les Infrastructures Rurales (PNIR) a été le plus récent, mais ne soutient pas directement les actions du PNVA.

Depuis 1960, le gouvernement malien assure le contrôle administratif de la recherche agricole avec la création de l'Institut d'Economie Rurale (IER). La politique de la recherche agricole a été redéfinie avec un accent particulier sur les cultures vivrières, l'élevage et la foresterie. Pour rendre les techniques mises en œuvre, plus participatives, afin de cibler davantage les préoccupations de toutes les catégories de paysans, un Département de Recherche Système de Production Rurale (DRSPR) a été créé en 1979. Plusieurs études et tests ont été conduits par la recherche dans le domaine de la fertilité des sols. Des formules de fertilisation ont été mises à la disposition des paysans afin de pouvoir mieux gérer la fertilité. Afin de rapprocher la recherche des utilisateurs, des Equipes Système de Production et de Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) ont été créées dans chaque région. La création des Equipes Système de Production et de Gestion des Ressources Naturelles a permis de mieux adapter les paquets techniques aux différentes catégories de paysans en fonction des zones agro écologiques (Sacko., 2008).

Le contexte actuel de la décentralisation au Mali offre un cadre dans lequel les populations seront fortement responsabilisées, notamment dans l'aménagement et la gestion de leur terroir et par conséquent dans la prise en charge de la gestion de la fertilité des sols. C'est dans ce cadre que la Comité Régional des Utilisateurs (CRU) a été créée afin d'identifier les contraintes du milieu paysan à la base, lesquelles sont remontées au niveau d'un Conseil Régional de la Recherche et de la Vulgarisation Agricole (CRRVA) servant de cadre de concertation.

Le présent travail de recherche intitulé « **Effets des techniques de gestion de la fertilité sur le sol et sur les systèmes de culture à base de mil dans la région de Mopti au Mali** » a été entrepris pour répondre aux besoins des paysans de la région de Mopti. En effet, il répond à l'une des contraintes prioritaires identifiées et retenues lors de la session du Conseil Régional de la Recherche et de la Vulgarisation Agricole (CRRVA) de la région de Mopti, qui est la baisse des rendements du mil liées à la pauvreté des sols de culture. Les contraintes majeures évoquées par les utilisateurs ont été prises en charge dans le cadre des activités de la composante Appui au Système National de Recherche Agricole (SNRA) du Programme d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations Paysannes (PASAOP).

Les travaux visent à la mise au point des technologies d'amélioration de la fertilité des sols et du rendement du mil (par application du fumier de parc à différentes doses, intégration de la production végétale et animale, application au poquet de microdose d'engrais minéraux) dans les trois zones agro-écologiques de la région de Mopti (Delta, Plateau Dogon, et Séno). Le choix du mil se justifie d'une part, par son importance dans les politiques de sécurité alimentaire du Mali et de lutte contre la pauvreté prônée par les autorités maliennes dans la Stratégie Nationale de Sécurité Alimentaire (SNSA) en 2000, ainsi, que dans le Cadre Stratégique de Lutte Contre la Pauvreté (CSLP) en 2002, d'autre part, par son coût et sa disponibilité au niveau local. Le mil est de loin la spéculature dominante qui constitue à elle seule 53% de la production agricole. Les zones potentielles de céréales sont le Séno pour le mil et le sorgho ; le Delta central pour le riz. Les superficies emblavées de la région couvrent 4 419km<sup>2</sup> pour 101 650 exploitants. Les rendements moyens du mil sont faibles, environ 500kg.ha<sup>-1</sup> (CNRA/IER., 1998). La production est limitée par la fertilité naturelle des sols, la faible capacité de rétention d'eau des sols, et les pratiques culturales (manque d'engrais, labour non optimal) et d'autres facteurs tels que la sécheresse, les ravageurs, les maladies, le *striga* et le faible potentiel génétique des variétés locales.

Dans le contexte actuel l'instabilité de la production agricole constitue la principale contrainte pour l'ensemble des populations de la zone d'étude. L'insuffisance des superficies cultivables a conduit à une exploitation continue des terres par l'agriculture sans apport conséquent de fumure. Cette situation a entraîné un appauvrissement des sols se manifestant par des rendements bas. A la pauvreté des sols, s'ajoute l'irrégularité des pluies ou leur mauvaise répartition rendant plus aléatoires les rendements des cultures. Les pratiques traditionnelles de fertilisation des sols basées sur la pratique de la jachère, et l'apport timide de la fumure organique dans les champs ne permettent pas d'obtenir un accroissement substantiel du rendement du mil et du sorgho. Aussi bien dans la commune rurale de Madiama que dans celle de Koporo et la plupart des communes rurales, le problème d'eau limite la pratique du compostage, les résidus de récolte sont utilisés pour des besoins domestiques et l'alimentation des animaux, la litière est absente, et le faible pouvoir d'achat des producteurs ne permet pas, pour la plupart, de leur procurer des engrais (ESPGRN/MOPTI-SANREM, 1999). Par conséquent, la restauration des éléments nutritifs du sol devient une nécessité. La mise au point de technologies améliorées et adaptées de gestion durable de la fertilité des sols pour un accroissement des rendements de mil et de sorgho permet aux paysans d'assurer l'autosuffisance alimentaire et l'accroissement des revenus. Le changement technologique doit jouer un rôle clé dans le développement de l'agriculture des pays en développement indique Ganesh., 1992. Cela parce qu'une augmentation de la production est souhaitée, aussi bien pour la consommation que pour l'exportation.

La région de Mopti est confrontée depuis quelques décennies à une dégradation des ressources naturelles (sol et végétation) due aux contraintes climatiques, et à la croissance démographique avec la complexité et l'ampleur des mouvements migratoires. La persistance de la sécheresse et la dégradation de l'environnement ont eu des conséquences néfastes sur tous les secteurs de développement de la région. Ces différents phénomènes ont mis à rude épreuve la presque totalité des projets et programmes locaux et régionaux de développement du monde rural.

L'agriculture qui en plus de l'ensablement des terres cultivables et l'enclavement des zones de production, est confrontée à des contraintes de plusieurs ordres dont :

- l'état d'appauvrissement des terres utiles, dû aux effets conjugués des facteurs climatiques, de la faible restitution au sol des prélèvements opérés par les cultures, de la réduction du temps de jachère ou sa disparition, et de la forte pression démographique ;
- le sous équipement des agriculteurs, qui est dû au faible niveau d'épargne et aux conditions d'accès difficiles aux crédits, aux circuits de commercialisation des intrants non organisés, et aux nombreux et fréquents conflits fonciers.

De nombreuses actions ont été menées en collaboration avec les populations en vue de développer des techniques appropriées de restauration et de conservation des ressources naturelles. Mais avec le désengagement de l'Etat, la redécouverte des dynamiques humaines locales, l'accélération de l'évolution des règles traditionnelles de la gestion d'espaces et de ressources de moins en moins aptes à satisfaire les besoins de la croissance démographique, sont autant de facteurs qui ont conduit les promoteurs de programmes de développement à accorder une importance particulière à l'approche « gestion de terroir villageois ou communal », en particulier sur le continent africain. La plupart des programmes de développement rural et tous les plans d'actions environnementaux doivent prendre désormais en compte l'échelle du terroir ou de la commune et de ses décideurs en vue d'aboutir à un véritable développement des ressources naturelles. De plus en plus, la gestion des ressources naturelles devient transversale pour toutes les activités de développement rural au Sahel. Elle est perçue comme la base indispensable pour atteindre la sécurité alimentaire. Les relations entre gestion des ressources naturelles et sécurité alimentaire constituent le socle du développement agricole durable. Pour garantir leur sécurité alimentaire, les paysans utilisent des techniques de production agricole visant à maximiser leur production. Cependant, si les exploitants agricoles n'utilisent pas des techniques de production adéquates et durables, ils vont contribuer à la dégradation des ressources naturelles, notamment les terres entraînant leur perte de qualité. Il est clair que la durabilité du système de production de la région repose sur: la couverture des sols par la végétation, la restitution régulière de matières organiques aux zones de cultures, et la restitution des éléments minéraux emportés par les récoltes.

D'où la question principale de recherche qui est la suivante : quelles interventions techniques faut-il mettre en œuvre pour atteindre une production agricole élevée, rentable et durable sous un climat semi-aride à forte fluctuation pluviométrique, dans un contexte socio-économique aux possibilités d'investissements limitées et faible niveau de formation des intervenants ?

Pour répondre à cette question principale, les questions spécifiques ci- dessous doivent trouver des solutions.

- Quel est le mode actuel de gestion de la fertilité du sol par les paysans ?
- Comment améliorer le potentiel de production des cultures continues de céréales au moyen d'intrants locaux ?
- Comment valoriser le potentiel des légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique pour améliorer la fertilité des sols ?
- Comment associer agriculture et élevage pour profiter de leurs avantages réciproques ?
- Quelle forme d'utilisation des engrais minéraux peut-on adopter pour résoudre le problème des coûts en réalisant un niveau technico-économique attractif pour les paysans ?
- Quel schéma de gestion durable des ressources de l'agriculture faut-il concevoir pour un terroir communal dans ces conditions agro écologiques et socio-économiques ?

Dans le cadre de ce travail, deux principales hypothèses seront vérifiées. Ces deux hypothèses sont :

- Le type de gestion de la fertilité des sols par les unités de production est déterminé par la taille de l'exploitation, la disponibilité de main d'œuvre, d'équipement et d'intrants ;
- Un système de production mixte associant agriculture et élevage et utilisant des Phosphates Naturels peut constituer une alternative durable à la culture continue de céréales qui entraîne la perte de la fertilité des sols.

Afin de répondre aux différentes questions de recherche, et vérifier les hypothèses ci-dessus le présent travail se fixe comme objectif général de mettre au point, de manière participative, des technologies adaptées d'amélioration de la fertilité des sols et des rendements des cultures de mil, et de niébé en vue de leur adoption en milieu paysan dans les trois zones agro-écologique (Delta, Plateau Dogon, et le Séno) de la région de Mopti.

Pour atteindre l'objectif général ci-dessus, le présent travail poursuit les objectifs spécifiques ci-dessous :

- Identifier les méthodes actuelles de gestion paysanne de fertilité des sols et établir une typologie des exploitations;
- Réaliser des tests de fertilisation en milieu paysan sur sols cultivés en mil, avec le PNT, la fumure organique et l'engrais minéral, soit en combinaison, soit seuls et à différentes doses ;
- Réaliser des tests de fertilisation en milieu paysan sur sols cultivés en mil en rotation avec le niébé et du PNT à différentes doses en tête de rotation ;
- Proposer un schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal sahélien voué à la fois à l'agriculture et à l'élevage.

L'accent est mis sur la fertilité du sol car une meilleure fertilité améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau, maintient une production relativement satisfaisante durant une mauvaise année pluviométrique et permet à la terre lorsque la pluviosité est élevée de fournir, dans des conditions techniques données, tout son potentiel. L'approche semi intensive va reposer sur :

- la valorisation des ressources locales ;
- des pratiques traditionnelles de gestion de la fertilité du sol ;
- des techniques modernes à coût modéré.

La stratégie est participative, et facilite le transfert des résultats en milieu paysan. Les agriculteurs reconnaîtront eux-mêmes la pertinence des itinéraires techniques proposés. En effet, la gestion de la fertilité du sol est un élément clé de l'utilisation judicieuse des ressources de la production agricole. Ainsi la mise au point de technologies pouvant permettre de convaincre les paysans, sur la base de démonstrations faites au champ, de la nécessité d'une bonne gestion de la fertilité du sol comme base agronomique de la culture continue s'impose dans le contexte actuel marqué par la faible productivité résultant de la baisse de la fertilité des sols.



**ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR LES  
TECHNIQUES DE GESTION DE LA FERTILITE  
DU SOL**

## **1. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR LES TECHNIQUES DE GESTION DE LA FERTILITE DU SOL.**

A l'état actuel des connaissances les techniques de gestion de la fertilité constituent une composante essentielle dans le management des systèmes de productions agricoles. C'est ainsi que la question de la fertilité des sols constitue un enjeu majeur pour la recherche agronomique. Qu'est ce que la fertilité d'un sol ? Selon Mathieu., 1990 la fertilité d'un sol représente, dans un climat donné, son aptitude à assurer de façon régulière et répétée la croissance des cultures et l'obtention de récoltes. Elle est la résultante de diverses composantes qui amènent à distinguer: la fertilité chimique, la fertilité physique, la fertilité biologique. Gérer la fertilité d'un sol, selon le même auteur, c'est lui appliquer les techniques qui lui permettront de produire abondamment, mais aussi de reproduire ou d'améliorer sa fertilité à long terme, donc d'une manière durable. Certains systèmes de culture ont, à moyen terme, un effet négatif sur la fertilité du sol, même s'ils permettent une forte production les premières années.

En effet la gestion de la fertilité du sol est un élément clé de l'utilisation judicieuse des ressources de la production agricole. Ainsi la mise au point de technologies pouvant permettre de convaincre les paysans, sur la base de démonstrations faites au champ, de la nécessité d'une bonne gestion de la fertilité du sol comme base agronomique de la culture continue s'impose dans le contexte actuel marqué par des bas rendements résultant de la baisse de la fertilité des sols. Le rendement observé à la récolte étant selon Crozat. Y et Levrault F., 2002, la résultante du programme morphogénétique et des relations puits-sources. Ces interactions peuvent être révélées par un enchaînement de structure de peuplement. Ces structures peuvent être décrites par l'âge, le nombre et la biomasse des organes végétatifs et reproducteurs concourant à la constitution du rendement : nombre d'individus par unité de surface, nombre d'organes de capture ou de stockage par individus.

A travers la littérature, nous avons pu identifier un grand nombre de technologies utilisées pour la gestion de la fertilité et de la conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel et au Mali parmi lesquelles nous avons distingué entre autres: les techniques culturales (type de labour), la technologie de l'agroforesterie basée sur le rôle que jouent les arbres au niveau des champs, les systèmes de culture tels que la rotation et l'association, l'utilisation de la fumure organique et de la fumure minérale.

Selon leur nature et leur mode d'exécution, les façons culturales peuvent, par leurs effets mécaniques, physiques ou indirectement biologiques, contribuer à détériorer ou à améliorer la structure du sol. Ainsi avant toute décision à leur égard, se pose donc le problème qui consiste à concilier les exigences de la culture et celles de la conservation du sol d'une manière appropriée aux conditions de terrain, de relief et de climat. Ces techniques culturales visent, en l'absence de toute végétation, à diminuer la vulnérabilité du sol vis-à-vis de la dégradation, à améliorer l'infiltration des premières pluies, et à réduire la vitesse de l'eau qui ruisselle. Elles ont également pour objectif de favoriser une installation correcte et rapide de la culture, de diminuer l'effet destructeur des pluies sahéniennes. Il existe plusieurs façons culturales dont le billonnage, le labour à plat, le buttage, le zaï. Les plus fréquentes dans la zone d'étude sont le billonnage, le labour à plat, et le zaï.

### **1.1. Techniques agro- forestières**

En plus des façons culturales, la présence ou non d'un parc agro- forestier dans les champs constitue un facteur influençant les technologies de gestion de la fertilité. En effet, la

présence d'arbres dans l'exploitation se justifie essentiellement par son rôle dans la diversification de la production, du maintien de la fertilité des sols, et de protection des contre l'érosion. Kellmann en 1979 a trouvé que la fertilité du sol peut être plus élevée sous arbre que hors arbre. Toutefois, le rôle de l'arbre dans l'amélioration du microclimat (effet, ombrage, etc.) n'est point à négliger. Selon Nair, 1984 et Young, 1989, un des avantages de l'arbre dans l'exploitation est la production de matière organique et le maintien des taux de matière organique à partir des feuilles, des rameaux qui tombent et des racines qui meurent. Cela s'explique selon Kessler et *al.*, 1991 par les mécanismes de la redistribution des éléments nutritifs, la réduction des pertes, et l'enrichissement. Des résultats d'analyse du sol avaient montré que les taux de matière organique et d'azote sont plus élevés sous arbres que hors arbre. Du point de vue de la durabilité et de la protection de l'environnement, on peut affirmer que les plantes ligneuses accroissent la stabilité de l'écosystème, réduisent les pertes en eau et en éléments nutritifs résultant de la dégradation des terres, maintiennent la capacité de régénération du milieu et la diversité des espèces animales et végétales. (Kessler et *al.*, 1990). Cissé, 1995 indique que les « parcs » agroforestiers au Mali constituent le paysage majeur des zones sahélienne soudanienne et guinéenne nord. Ces zones agro-écologiques couvrent 39% du terroir national. Les parcs agroforestiers occupent les zones de cultures sèches et dont la superficie a été évaluée à 51.609km<sup>2</sup>, soit environ 90% des superficies des terres agricoles (PIRL, 1988).

## **1.2. Rotation des cultures**

Le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols exigent l'utilisation des engrais organiques et minéraux. Cependant les moyens économiques des paysans ne permettent pas des interventions reposant sur des investissements importants. Il devient alors nécessaire de mettre en oeuvre des moyens naturels de gestion de la fertilité des sols, comme la fixation biologique de l'azote atmosphérique par les légumineuses dans un système de **rotation des cultures**. Le niébé est une espèce généralement efficace dans la fixation de l'azote grâce aux rhizobiums associés à ses racines. Il peut être introduit dans le système de rotation des cultures à base de mil pour améliorer la fertilité des sols et accroître les rendements. En effet, « l'alternance d'espèces différentes sur une même parcelle cultivée, suivant des successions simples et sans recherche de schémas de rotations pluriannuelles trop complexes et irréalistes, doit être considérée comme une priorité dans l'optique d'un maintien de la fertilité des terres » (Pieri, 1989).

Des essais en station ont montré les avantages qu'il y a à adopter la rotation annuelle de culture pure de céréales et de culture pure de niébé ou d'arachide (Bationo et *al.*, 1998). Klajj et *al.*, 1995, Bationo et *al.*, 1997 ont démontré que dans certaines conditions les rendements des céréales peuvent quasiment doubler dans le système de culture en rotation par rapport à la monoculture continue de mil. Même si elle n'est conçue qu'au seul égard de la fertilité, une rotation culturale entretien des mécanismes autant profitable à la conservation des sols qu'au maintien de leur fertilité, dans la mesure où ces mécanismes influent favorablement sur la teneur en humus et la stabilité des agrégats. Son rôle anti-érosif sera cependant bien plus important si, en plus, on établit la meilleure couverture du sol dans le temps et dans l'espace.

La rotation mil-niébé fournit des rendements similaires à l'utilisation de 30kgN ha<sup>-1</sup> (Bationo et *al.*, 1998). La culture continue de mil donne des rendements bas à toutes les doses de N par rapport au mil cultivé en rotation avec le niébé ou l'arachide (Bationo., 1994). L'amélioration de la production dans la rotation peut être renforcée avec les engrais phosphatés (Shetty, 1998). L'application du phosphore (P) sur le niébé lui permet de mieux fixer l'azote (N) pour produire plus de biomasse. La fraction de P non absorbée reste disponible pour la culture suivante qui disposera aussi de plus de N (fixation).

Il ressort de ces différents travaux et études que les avantages de la rotation des cultures se résument à :

- mieux exploiter les éléments nutritifs du sol par des systèmes racinaires de morphologies différentes (céréale à racines localisées dans les couches superficielles du sol, et niébé dans les couches plus profondes) et par des besoins différents des espèces en ces éléments ;
- enrichir le sol en azote par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique ;
- améliorer le taux de matière organique du sol, le pH, la porosité et la rétention de l'eau ;
- éliminer ou réduire des espèces parasites comme le *striga* ;
- améliorer la fertilité du sol par une source moins coûteuse, constituant de ce fait une alternative efficace.

Il n'est pas nécessaire d'enfouir les fanes du niébé pour bénéficier des effets positifs de la rotation. Les fanes et les gousses peuvent être exportées chaque année (Bationo., 1994). Les biomasses racinaires localisées dans le sol constituent l'apport essentiel en ce qui concerne la régénération ou l'accroissement de la fertilité. Le niébé est considéré comme relativement résistant à la sécheresse (Cissé *et al.*, 1990), mais il doit être cultivé à plus de 350 mm (Bationo *et al.*, 1998). La zone d'étude, compte tenu des irrégularités pluviométriques, notamment l'existence d'années sèches très déficitaires, est pratiquement à la limite écologique d'utilisation de ce système de culture; mais ceci renforce son intérêt comme technique alternative.

### **1.3. Pratique de l'association des cultures**

La pratique de **l'association des cultures** est ancienne. On connaît notamment celle du mil et du niébé, celle du sorgho et du niébé ou celle du sorgho et du mil, dans la région Soudano-sahélienne. Dans la culture associée, deux ou plusieurs espèces végétales sont cultivées sur la même parcelle, en même temps, mais sont semées et récoltées séparément. Le recouvrement des cultures est : soit total, soit partiel durant les cycles de croissance. La disposition spatiale des espèces associées est très variable. On y distingue les cultures intercalaires (les espèces sont disposées en lignes alternées, il s'agit parfois de bandes) et les cultures mélangées (les espèces sont semées en mélange, de dispositions très diverses, ordonnées ou non ordonnées).

Le système des cultures mixtes recherche une meilleure exploitation du temps (économie de main d'oeuvre) et du milieu (éléments nutritifs, lumière, eau) conduisant à des rendements plus élevés résultant de l'association même et non d'investissements coûteux. Les avantages des cultures associées sont multiples. Plusieurs de ces avantages visent à éliminer les inconvénients des monocultures. En ce qui concerne les monocultures, les associations permettent :

- un rendement global plus élevé ;
- une meilleure utilisation des ressources du sol : éléments minéraux et eau ;
- une lutte plus efficace contre l'érosion hydrique ;
- la conservation de l'eau ;
- diminuer les risques d'une mauvaise récolte en année de faible pluviométrie (sécheresse) ;
- la réduction des quantités d'engrais et de produits phytosanitaires utilisés.

Les associations de cultures sont pratiquées au Mali sous des pluviométries supérieures à 900mm. L'association arachide/sorgho est pratiquée dans la zone arachidière à l'ouest du Mali, mais aussi au sud et au centre avec les différentes variétés adaptées aux conditions locales.

L'association mil/niébé constitue un type traditionnel rencontré en zone centre-nord avec des pluviométries moyennes comprises entre 400 et 600mm, et plusieurs autres associations telles que mil/maïs, mil/sorgho, sorgho/pois d'Angôle, sésame/arachide, pour ne citer que celles-ci. Cette technique permet une meilleure occupation de l'espace. Lorsqu'une plante cultivée couvre mal le sol, que ce soit momentanément au début de son développement ou en permanence parce que la plante exige de grands écartements, l'emploi d'associations de cultures permet de couvrir et de protéger un maximum de surface pendant un maximum de temps. Malgré les avantages, les cultures associées ne sont pas toujours adoptées par les paysans en raison de quelques inconvénients importants.

- les rendements décroissent par rapport aux monocultures ;
- l'association gêne les travaux lorsque la mécanisation est possible ;
- l'association peut accroître l'incidence des maladies et des pertes ;
- les agriculteurs cherchent davantage à maximiser la production céréalière, aliment de base, accordant ainsi moins d'intérêt à la légumineuse associée.

Les cultures associées reposent sur une bonne utilisation de l'espace et du temps, facteurs fondamentaux : disposition variable dans l'espace et superposition partielle ou totale des cycles de croissance dans le temps. Compte tenu de la durée courte de la saison des pluies au Sahel, les cycles sont juxtaposés. Les rendements sont améliorés ou stabilisés par l'association parce que les ressources du milieu, sont mieux exploitées. Cette meilleure exploitation des ressources est obtenue par plusieurs voies :

- les espèces associées prélèvent les éléments nutritifs dans différents horizons du sol. La légumineuse à racines pivotantes explore les couches profondes, alors que la graminée à racines fasciculées prélève ces éléments dans les horizons superficiels. La compétition interspécifique est ainsi réduite. La compétition est beaucoup plus forte dans une culture mono spécifique ou dans une association de cultures semblables comme céréale/ céréale ;
- les espèces associées peuvent avoir des besoins quantitatifs et qualitatifs différents en éléments nutritifs ;
- une des cultures crée un microclimat qui favorise la croissance de l'autre culture : une espèce haute à photosynthèse de type C<sub>4</sub> améliore les conditions de croissance pour espèce basse de type C<sub>3</sub> : au voisinage du sol la température est réduite, l'humidité de l'air plus élevée et l'éclairement atténué ;
- si la légumineuse associée développe des nodules, elle excrète de l'azote qui est utilisé par la céréale. Les exsudats racinaires peuvent également stimuler l'activité des microorganismes du sol, qui minéralisant davantage la matière organique du sol, favorisent la croissance de la plante associée en facilitant l'absorption des éléments nutritifs ;
- en zone semi-aride, l'association utilise plus efficacement l'eau, facteur limitant ;
- la densité optimale est plus élevée en association qu'en culture pure (Spitters., 1983) ;
- Les rendements des cultures associées sont également liés aux conditions du milieu comme la date de début des pluies permettant les semis et la régularité des précipitations, les cycles de croissance des espèces affectées ou non par la photopériode, l'arrangement spatial et les génotypes.

#### **1.4. Utilisation des engrais minéraux**

L'utilisation des **engrais minéraux** connaît des contraintes économiques et agronomiques. L'application des engrais minéraux est principalement déterminée par le rapport entre le prix des engrais et de la récolte et ensuite par la prise de conscience des paysans en matière de gestion des ressources naturelles. La nature, la quantité d'engrais utilisée, sont fonction du système de culture mis en place. 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 ( $\pm 75$  %) et en zone de riziculture irriguée ( $\pm 10$  %) 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.*, 1982). Le phosphate naturel de Tilemsi sera plus efficace si on l'utilise avec la fumure organique des parcelles, 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<sup>-1</sup> 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.

### **1.5. Utilisation de la fumure organique**

L'utilisation de la fumure organique (fumier, poudrette de parc) est une pratique traditionnelle dans les pays du Sahel. Avec la disparition des friches, le rôle de la fumure organique dans la restitution des aptitudes productives devient de plus en plus important (Ganry, 1985; Kleene, 1989 ; Kébé, 1989 ; Landais., 1990 ; Angé, 1990). La gestion des troupeaux des exploitations et des résidus de récolte permet une production de fumier au niveau exploitation ou des parc communs. Des tas de fumiers sont souvent déposés dans les champs avant l'hivernage par les exploitants (Figure 1).

Selon Dinechin, 1969 cité par Kébé, (1989), la production annuelle d'un bœuf zébu est de l'ordre de 5 tonnes de fumier de ferme en station et stabulations entravées, mais cette production baisse à 2 tonnes par tête en conditions de stabulation libre. Dans le même ordre d'idée, Landais, 1990 indique que les quantités de matière sèche et de matière organique excrétées dans les fèces dépendent des quantités ingérées et de la digestibilité des aliments, ces quantités excrétées peuvent varier très largement au cours du temps et la norme souvent utilisée de 1 kg de matière sèche (MS) fécale par 100kg de poids vif et par jour n'en représente qu'une approximation assez grossière.

La principale conclusion tirée des expériences sur les effets du fumier, a été que, au moins sur les terres sablonneuses, il peut y avoir un lessivage considérable des éléments nutritifs si bien que l'application de 10 t/ha de fumier de bovins, n'est pas nécessaire chaque année à cause des pertes élevées en éléments nutritifs. Pour réduire les pertes dues au lessivage, il serait plus efficace d'appliquer de petites quantités de fumier plus fréquemment, plutôt que de grandes quantités pour une longue durée. Cette quantité plus petite et appropriée dépend de chaque terrain individuellement pris (Brouwer et Powell 1995, 1996).

Les animaux peuvent déposer les fèces et les urines directement au champ. Selon Brouwer et Powell 1995, l'effet du fumier et de l'urine de mouton semble être indépendant de la position topographique de la parcelle. Sur les pentes concaves et convexes, 2,8 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> de fumier et d'urine, déposés par des moutons parqués sur le site pendant une nuit ont donné une excellente production de mil (800kg.ha<sup>-1</sup>). Ainsi, dans la régénération de la fertilité des sols la fertilisation organique est d'une importance capitale. En zone semi-aride du Mali, les paysans ont conscience de cet état de fait et par conséquent établissent des contrats de fumure avec les conducteurs ou bergers des troupeaux transhumants pour la fertilisation des champs de cultures.



**Figure 1.** Dépôts de fumier dans les champs de mil à Madiama

Comme l'indique Poulain (1980) (cité par Bationo et *al.*, 1991 et Camara., 1996), le recyclage des résidus de récolte dans les pays en développement est important du fait que les quantités de nutriments qu'ils contiennent sont sept à huit fois plus élevées que celles apportées par l'application des engrais. En plus, les résidus de récolte contiennent des éléments nutritifs absents dans les traditionnelles formules d'engrais NPK (Pichot., 1981). Dans certaines communes comme celle de Madiama, il y a peu d'espace pour la production fourragère à cause de la pression sur la terre en vue de la production alimentaire. Les résidus de récolte devront alors jouer un grand rôle dans l'alimentation du cheptel. Ainsi une intensification de la production agricole permet de produire des résidus de récolte et sous-produits de bonne qualité pour l'amélioration de l'élevage et la lutte contre la dégradation de l'environnement (Bremen., 1987).

### **1.6. Typologie des exploitations agricoles**

Selon Bergeret P., et Dufumier M., 2002 : il convient de ne pas considérer les Agriculteurs comme un ensemble homogène à qui on pourrait proposer des solutions passe partout. La réalité est beaucoup plus complexe : les agriculteurs d'une même région ne disposent pas tous des mêmes moyens et ne produisent pas nécessairement dans les mêmes conditions économiques et sociales. Pour élever leur niveau de vie et reproduire au mieux leur conditions de production, les diverses catégories d'exploitants d'une même zone agro-écologique peuvent avoir intérêt à mettre en œuvre des systèmes de culture et d'élevage fort différents avec une très grande gamme



de techniques agricoles. Il importe donc de concevoir et mettre en œuvre des interventions appropriées aux moyens, conditions et intérêt de chacune des catégories d'exploitant. Selon les mêmes auteurs les typologies d'exploitations agricoles visent :

- à classer les diverses exploitations agricoles d'une même région en un nombre limité de catégories relativement homogène et contrastées ;
- à expliquer leurs différences, de façon à ce que les interventions destinées aux exploitants d'un même type puissent être similaires entre elles et différentes de celles conçues pour les autres types.

Deux grandes familles de méthodes d'élaboration des typologies d'exploitations agricoles peuvent être distinguées :

- celles qui sont basées sur un recueil d'informations factuelles sur les exploitations. Les informations recueillies sont traitées pour mettre en évidence des relations entre variables ;
- celles qui sont basées sur la recherche directe de relation entre variables.

Notre démarche portera sur le premier groupe.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur la typologie des exploitations agricoles parmi lesquels ceux effectués dans la commune rurale de Madiama par Kaboré, 2000 et Kébé, 2003. La typologie des exploitations de la commune rurale de Madiama dans le cercle de Djenné au Mali effectuée par Kaboré, 2000 était basée sur les activités des populations. Elle indique trois types : agriculteurs, agro-pasteurs, pastoralistes sédentaires et pastoralistes transhumants. Bien après cette typologie Kébé, 2000 a classé la population de la commune en pauvres, moins pauvres et riches à partir de critères financiers. Ainsi une typologie des exploitations basée sur les pratiques de fertilisation des sols pour une meilleure connaissance du milieu est nécessaire. Toutes les typologies établies ont en commun la prise en compte des moyens matériels et financiers, qui constituent des facteurs déterminants dans la gestion de la fertilité des sols au niveau des exploitations. La particularité de cette typologie, c'est la prise en compte non seulement des moyens matériels et humains dont dispose l'exploitation mais surtout de leur degré de mise en œuvre dans la fertilisation des champs (quantité d'engrais organique et minéral mobilisée pour les champs). A la seule différence avec les autres, notre typologie a pris en compte non seulement les éléments de structure de l'exploitation comme la plupart des typologies, mais a surtout pris en compte les quantités de fertilisants apportés au champ et les capacités à produire du fumier. A partir des expériences de gestion de la fertilité du sol identifiées, des itinéraires techniques choisis ont été testés aux champs. L'aménagement des terroirs étant indissociable à l'utilisation des itinéraires techniques, une proposition a été faite dans ce sens.

Dans le contexte de notre étude, la culture du mil, est pratiquée dans des milieux physiques diversifiés. La multiplicité des conditions du milieu explique, pour une part, la grande variabilité de productivité de cette culture. Les techniques culturales mise œuvre au cours d'une saison de culture déterminent l'état de fertilité du sol permettant la réalisation d'objectifs de production. Leur efficacité dépend de l'état du milieu sur lequel elles sont appliquées et des conditions climatiques et hydropédologiques de la saison de culture. La fertilité des parcelles de culture exprime leur capacité à produire une denrée agricole à partir d'un matériel végétal particulier et sous un itinéraire technique donné, dans la situation pédoclimatique spécifique d'une année. Il s'agit d'une construction humaine conditionnée par les caractéristiques du milieu physique, par

les objectifs des agriculteurs, leur savoir-faire, et les moyens dont ils disposent pour atténuer ou lever les contraintes du milieu (facteurs de production).

## **2. LE MILIEU D'ETUDE**

## 2. PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

### 2.1. Région administrative de Mopti

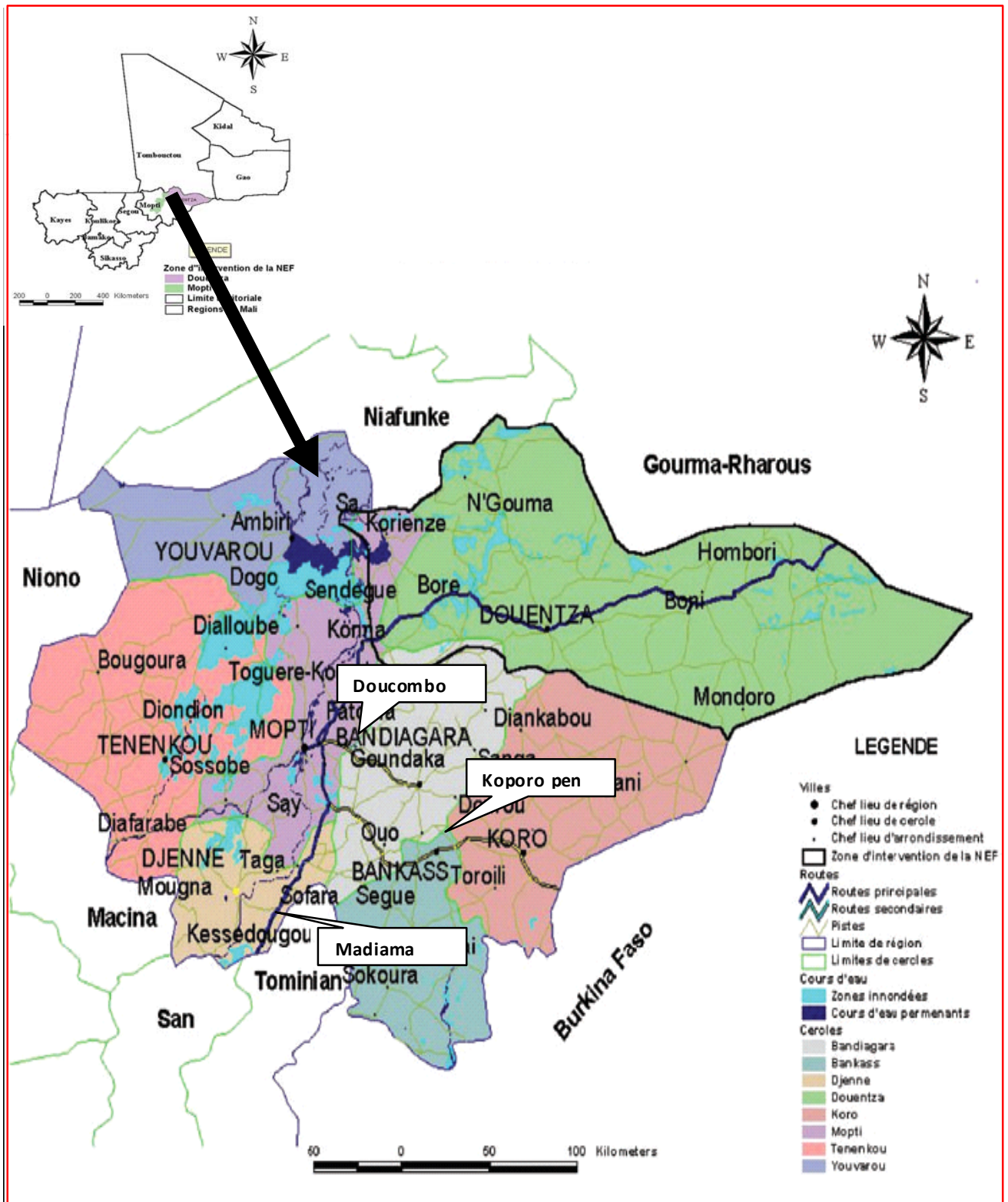
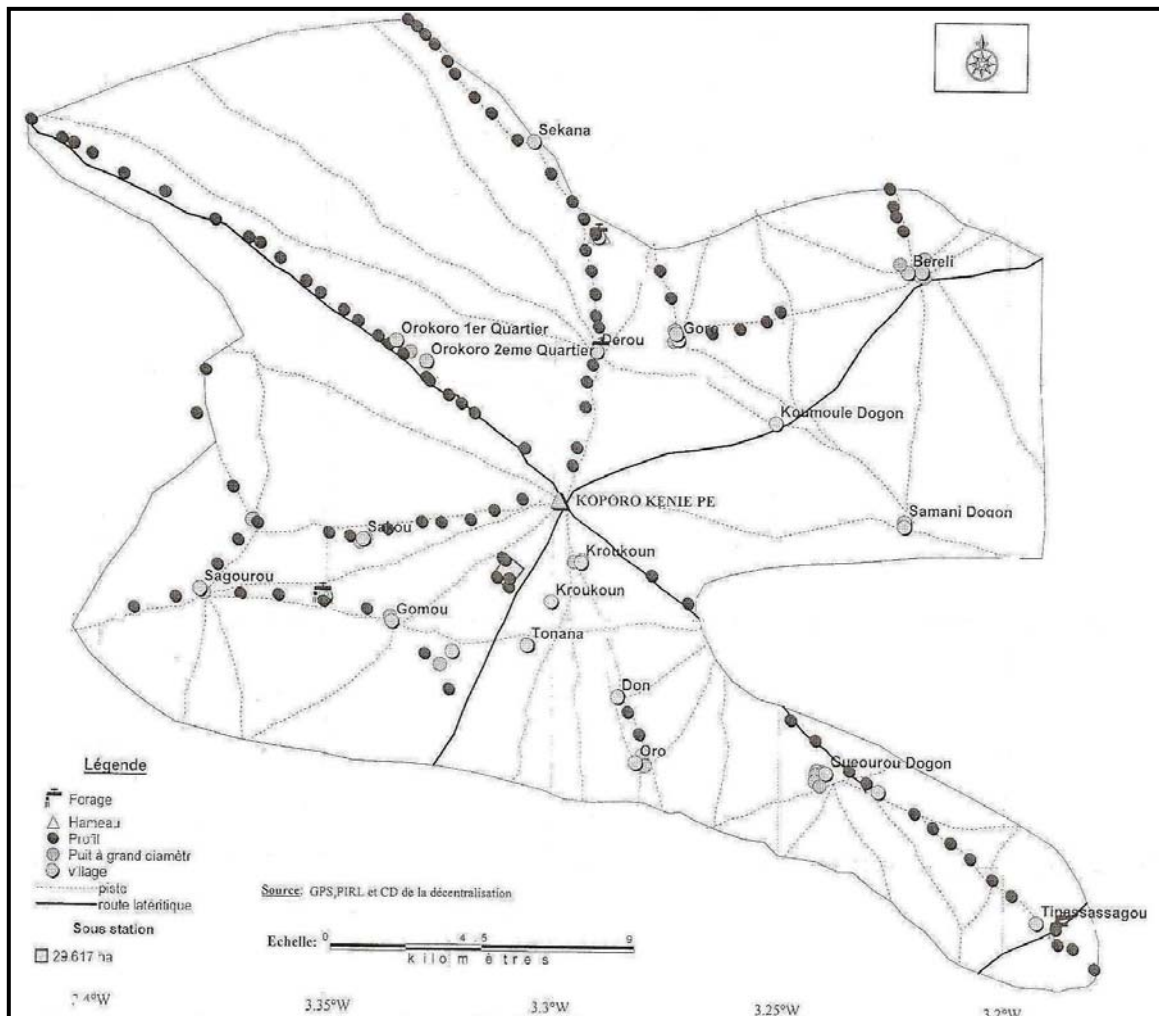


Figure 2. Carte de la région administrative de Mopti au Mali (source NEF., 2005)

## 2.2. Commune rurale de Koporo pen

Située au sud de Mopti, la commune rurale de Koporo-pen est composée de 16 villages tous issus du même ancien arrondissement de Koporo-Nâ. Elle fait partie du cercle de Koro à 700km au nord-est de Bamako. Koporo-pen est le chef lieu de la commune. La commune de Koporo-pen est limitée au nord par les communes rurales de Dourou et Sangha, au sud par les communes de Pel Maoude et Koro, à l'est par la commune de Youdiou et à l'ouest par la commune de Koporo-Nâ (Figure 3).



(Source : PDSEC 2005-2009)

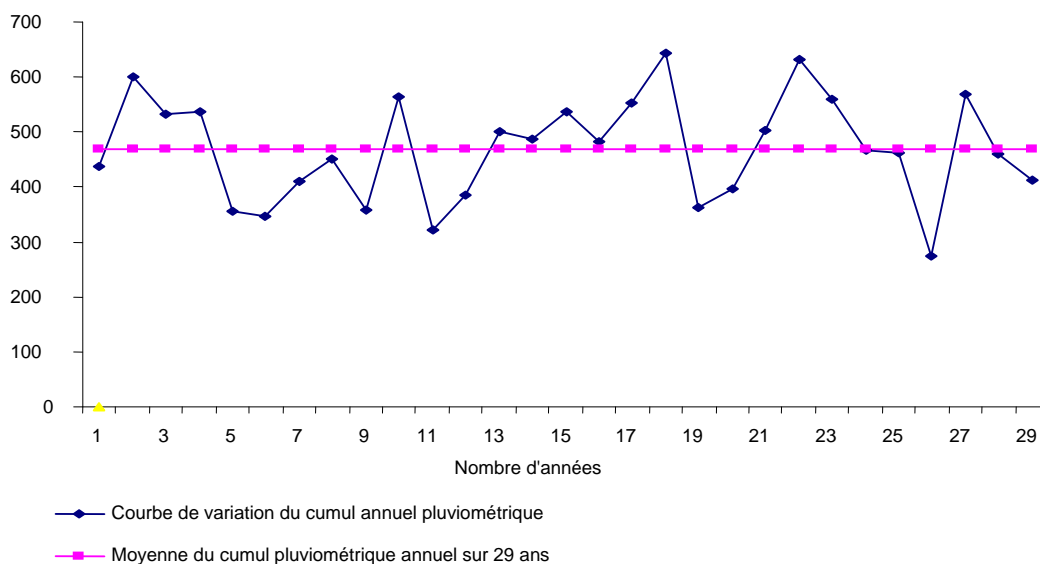
**Figure 3.** Carte physique de la commune rurale de Koporo pen

### 2.2.1. Milieu physique

Le Séno 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 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. 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%).

Le climat est de type sahélien et 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 468mm (de 1977 à 2005), avec un minimum de 273mm reçu en 2002 et un maximum de 643mm.. L'analyse de la figure 4, montre que de 1978 à 1980 le cumul pluviométrique annuel a été au dessus de la moyenne. A partir de 1981 les valeurs ont été en dessous de la moyenne, et marque une période de sécheresse jusqu'en 1985. La valeur de la moyenne pluviométrique atteint un pic en 1986 et rechute en 1987. Il prend des valeurs supérieures à la moyenne jusqu'en 1994, cette période étant marquée par des années de bonne pluviométrie. La moyenne pluviométrique décroît et prend des valeurs inférieures à la moyenne pendant deux ans de suite 1995 et 1996. Les années 1997, 1998, et 1999 ont été des années de bonne pluviométrie. Les dernières années, qui suivent ont été marquées par une évolution de la valeur de la pluviométrie en dent de scie autour de la moyenne.



**Figure 4.** Variation du cumul pluviométrique annuel dans la région de Mopti

La formation végétale est constituée de :

- des cultures végétales récentes ;
- d'une savane arborée sur sol affecté par une hydromorphie de profondeur ou de surface. Les principales espèces ligneuses sont : le *combretum*, l'*Anogeissus leiocarpus*, *acacia seyal*, *Mitragina inermis*, *Ziziphus mauritiana*, *Accacia spp.* Les unités morphopédologiques sont des dunes fixes et des dépôts sableux anciens à formes diverses émoussées. La topographie est celle d'une plaine horizontale sans réseau de drainage, localement voilée ou des dépôts éoliens plus ou moins importants, avec des matériaux profonds ( $\geq$  à 1m). La texture est sableuse pour les recouvrements éoliens et sablo – argilo – limoneuse sur le reste du profil.
- D'une savane arbustive avec les principales espèces ligneuses : le *Combretum glutinosum*, le *Prosopis africana*, et le *Sterculia setigera*. Les unités morphologiques sont

constituées de dunes fixes et de dépôts sableux anciens disposés en cordons à texture sableuse.

En ce qui concerne la faune, elle était riche par le passé, mais de nos jours on ne rencontre que : des lièvres, des singes, des hérissons, des serpents, des écureuils, des outardes, des varans.

### **2.2.2. Milieu humain**

La population de la commune d'environ 15324 habitants, est jeune et en nette progression. Les activités principales sont : l'agriculture, l'élevage et le petit commerce. Le Tableau 1 présente le nombre d'exploitations et de ménages de la commune rurale de Koporo pen. Après les travaux champêtres, les jeunes migrent vers les centres urbains à partir du mois de septembre. Il s'agit des villes de Bamako, Mopti, Ségou. La population est composée de Dogon, qui représentent 98% de la population et de peulhs. Les principales religions pratiquées sont l'islam, le christianisme et l'animisme. Dans la commune, il existe 8 Associations villageoises et 3 tons villageois. Des organisations traditionnelles des femmes et des jeunes existent dans les villages. Les ressources en eau de la commune sont, les puits à grand diamètre. Néanmoins, la commune souffre d'insuffisance d'eau potable même avec l'existence de quelques pompes à motricité humaine. Elle dispose de deux premiers cycles, d'un second cycle, et d'un Centre de Santé Communautaire (CSCOM) fonctionnel.

**Tableau 1.** Nombre d'exploitations et de ménages de la commune rurale de Koporo pen

<b>Villages</b>	<b>Population</b>	<b>Ménages</b>	<b>Concession</b>
Berely	1871	253	150
Derou	1352	211	83
Don	324	45	20
Gomou	508	90	47
Goro	501	68	20
Gueourou Dogon	1062	160	87
Gueourou peulh	312	68	18
Kombogourou dogon	649	131	81
Kombogourou peulh	550	115	49
Koporo pen	3946	637	364
Korolou	1048	170	91
Oro	573	91	44
Sagourou	587	100	53
Samani dogon	1304	223	126
Samani peulh	132	31	29
Sassogou	583	95	54

Source : PDSEC 2005-2009

L'économie est essentiellement basée sur l'agriculture, l'élevage et le petit commerce. Le commerce est une activité importante dans la zone. Les femmes pratiquent le petit commerce, l'embouche de petits ruminants. La commune compte plusieurs marchés mais les plus importants sont ceux de Koporo-pen et de Berely. L'artisanat est un secteur important de la commune, il concerne la fabrication des produits tels que les chaussures, la teinture, la boucherie, la boulangerie traditionnelle, la fabrication des produits alimentaires traditionnels, la maçonnerie, la sculpture de bois, la fabrication de matériels agricoles (charrue, houe, etc.), la couture des habits,

la fabrication de savon traditionnel, la peinture sur tissu (bogolan), la fabrication d'instruments de musique traditionnelle, etc.

L'agriculture est la principale activité de la commune, elle représente 90% des activités de la population. Elle est basée sur la culture du mil, sorgho et fonio avec comme culture secondaire l'arachide, le niébé, le sésame, l'oseille et le voandzou. L'association des cultures y est pratiquée (mil/niébé, arachide/dah, voandzou etc.). L'agriculture est actuellement confrontée à la baisse de productivité des terres. Les rendements sont bas (Tableau 2).

**Tableau 2.** Superficies et rendements des cultures de la commune rurale de Koporo pen

Spécifications	Superficie mise en valeur (ha)	Rendement kg.ha <sup>-1</sup>
Mil	810	750
Arachide	450	600
Woandzou	450	490
Niébé	300	500
Fonio	60	500

(Source : PDSEC 2005-2009)

La superficie cultivable s'élève à 19 364ha pour une superficie cultivée de 2070ha, soit un taux de 10,69%. Les cultures essentiellement pluviales représentent 15% de la superficie sur les limons sableux de faible capacité agricole. Les jachères durent 3 ans.

**Tableau 3.** Effectifs des animaux de trait et équipements de la commune rurale de Koporo pen

Village	Nombre de Charrues	Nombre de Charrettes	Effectif des Boeufs de trait	Effectif des Asins	Effectif des Equins
Koporo pen	280	280	130	301	04
Derou	68	58	15	63	00
Sassougou	39	26	10	32	00
Koumbogourou Dogon	36	36	08	40	00
Berely	163	169	40	178	02
Goro	29	32	10	28	00
Sagourou	42	23	07	27	00
Samani-Dogon	134	120	20	128	00
Don	13	18	12	18	00
Korolou	35	35	10	32	00
Samani-Peulh	00	00	00	00	01
Oro	22	22	10	23	00
Koumbogourou Peulh	03	22	00	01	00
Guéourou-Peulh	03	01	10	02	01
Gomou	59	39	15	53	00
Guéourou-Dogon	104	61	10	75	02

(Source : PDSEC 2005-2009)

Le nombre d'unités de production est de 1786 et suivant le niveau d'équipement, 179 sont équipés, 714 sous équipés et 893 non équipés (Tableau 3). Le mode d'acquisition du matériel se fait par achat sur le marché local et le mode d'accès à la terre par héritage et prêt. Les intrants sont à un coût élevé et la source d'approvisionnement est le marché local. Les maladies phytosanitaires les plus fréquentes des cultures sont le *striga* et le mildiou. La commune de



Koporo pen est une zone de pâturage pluvial à 85% et de faible capacité. L'élevage connaît de sérieux problèmes durant ces deux dernières années dus au manque de l'aliment bétail. Cependant on y pratique l'élevage des bovins, ovins/caprins, asins, camelins et volailles. L'élevage souffre d'insuffisance de parc de vaccinations, et l'alimentation est dominée par les sous produits agricoles, les abreuvements se font aux puits. Le Tableau 4 montre les effectifs des animaux d'élevage dans la commune de Koporo pen.

**Tableau 4.** Effectifs des animaux d'élevage dans la commune rurale de Koporo pen

<b>Bovins</b>	<b>Ovins</b>	<b>Caprins</b>	<b>Equins</b>	<b>Asins</b>	<b>Volailles</b>	<b>Porcins</b>	<b>Camelins</b>
3569	10371	18808	190	809	26961	1038	43

(Source : PDSEC 2005-2009)

Il n'y a pas de cours d'eau, donc pas de ressources halieutiques.

### 2.3. Commune rurale de Madiama

Madiama est une commune rurale du cercle de Djenné en cinquième région au Mali. Elle est située dans le delta du fleuve Niger en zone Sahélienne, entre le 13°45N, à 13° 52N et 4°22W à 4°30W. La commune rurale de Madiama couvre une superficie d'environ 16970hectares, elle regroupe dix villages dont : Madiama, Nérékoro, Siragourou, Torocoro, Promani, Tombonkan, Tatia-Nouna, Toumadiama, Bangassi, et Tégougné-dougourani. Madiama est chef lieu de commune situé à environ 25km de la ville de Djenné (chef lieu de cercle) et environ 120km de Mopti, la capitale de la 5<sup>ème</sup> région du Mali (figure 5).

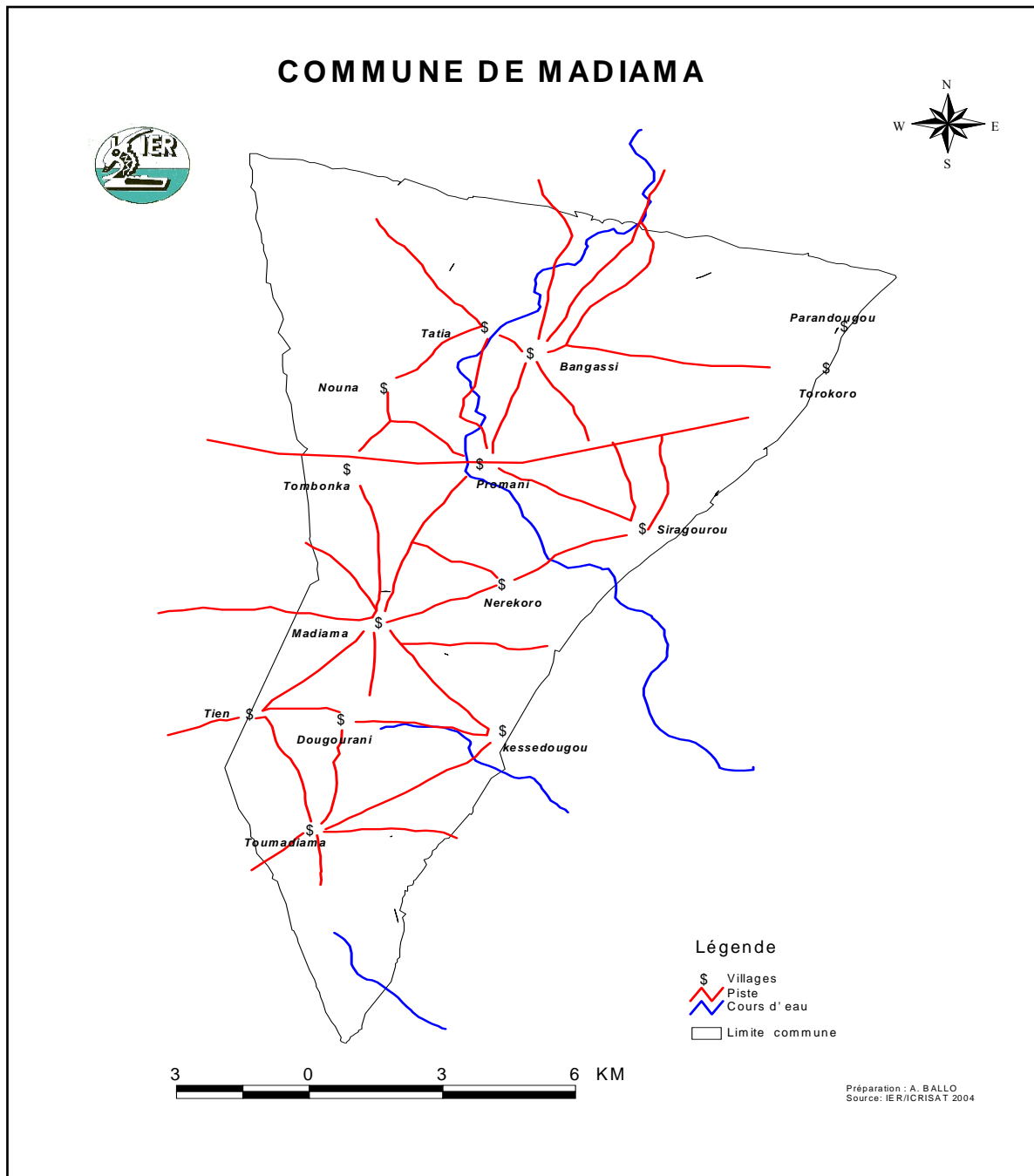


Figure 5. Carte physique de la commune rurale de Madiama (SANREM/IER, 2004)

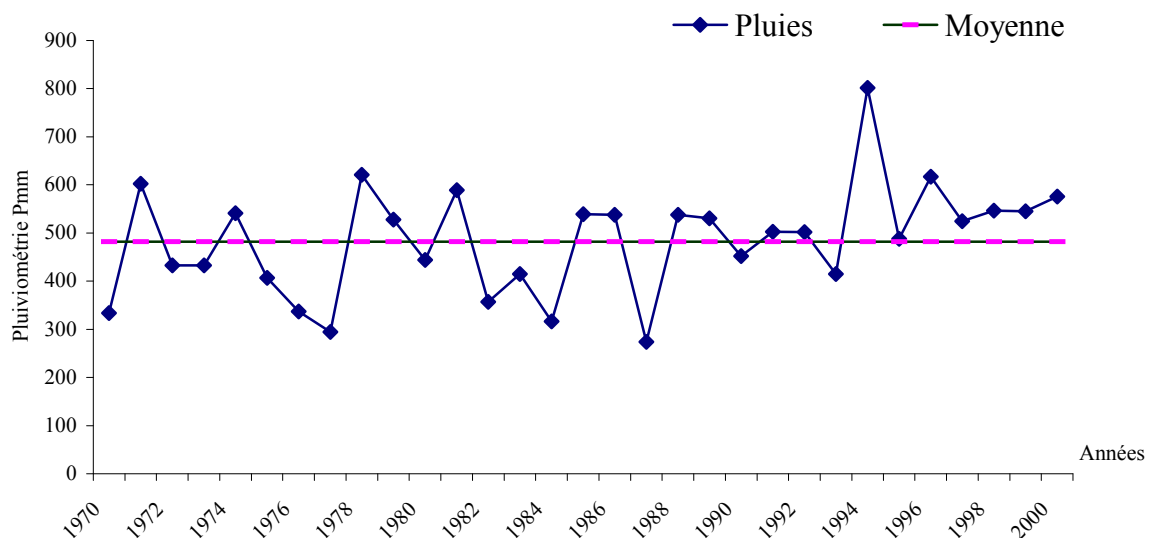
### **2.3.1 Milieu physique**

La zone de Madiama est située 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 grès infracambriens de Bandiagara. La vallée moyenne du Bani et du Niger a commencé sa formation au début du quaternaire avec l'entaille des grès 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 morphopédologiques répertoriées comprend : sable, sable limoneux, limon gravillonnaire, limon-sableux, limon, limon-argileux et argile. En 2002, les surfaces en exploitation (jachères et terres en cultures) occupent 56,67 % du territoire contre 2,5 % pour les pâturages tandis qu'en 1952 elles représentaient respectivement 17,01 % et 31,71 %. On peut remarquer ainsi une diminution d'environ 29,4 % des formations végétales au profit d'une agriculture devenue plus extensive malgré l'amélioration des moyens de production, la culture mécanisée notamment. Pour l'élevage les parcours naturels représentent 2,67% des superficies totales. Les surfaces dénudées ont augmenté de 4%, les parcs agroforestiers ont également augmenté de 10%, la brousse tigrée qui représentait 31,71% du terroir en 1952 est réduite à 5% en 2002.

La température moyenne annuelle des minima est supérieure à 20°C et celle des maxima supérieure à 30°C. Dans la commune de Madiama la moyenne inter annuelle des températures moyennes est de 26,9°C avec un écart type de 0,73°C et un coefficient de variation de 2,7%. La variation interannuelle (inférieure à 3%) des températures moyennes est très faible. Les températures les plus faibles sont enregistrées aux mois de décembre, janvier et février, tandis que les plus élevées sont observées aux mois de mars, avril et mai.

Les vents sont constamment présents bien que de faible vitesse, en moyenne de 2 à 3 ms<sup>-1</sup>. Ils peuvent quelquefois être très violents en début ou en fin d'hivernage. Ces vents sont à l'origine des pluies orageuses, caractérisées par leurs effets désastreux pour les cultures et sont de véritables agents d'érosions des terres nues et labourées. Une autre action du vent est son influence sur l'évapotranspiration qu'il augmente fortement, entraînant par la même occasion un épuisement des réserves hydriques du sol. L'évapotranspiration (ETP) annuelle est très élevée (2151mm). Sa comparaison avec la pluviométrie moyenne (544mm) laisse entrevoir un bilan hydrique très déficitaire.

La pluviométrie moyenne pendant ces 30 dernières années était environ de 482mm. Dans environ 70 % des 50 dernières années, la pluviométrie annuelle était au-dessous de la moyenne 544mm avec une diminution en moyen de 50 % dans quelques cas comme par exemple en 1987. La perte moyenne entre les deux périodes est de 154mm (figure 6). Une tendance à la baisse de la moyenne pluviométrique pendant les trois dernières décennies est donc évidente. La disponibilité en eau est une des contraintes principales à la production aussi bien dans la commune de Madiama que dans toute la région. L'analyse des moyennes pluviométriques annuelles montre un grand écart-type et un haut coefficient de variation. Pendant les 30 dernières années, la moyenne pluviométrique annuelle est de 482mm avec un écart-type de 140mm et un coefficient de variation de 29%.



**Figure 6.** Variations interannuelles des précipitations de 1970 - 2000 à Madiama

Le couvert végétal est dominé par des grands arbres champêtres assez clairsemés; ce sont principalement: *Vitellaria paradoxa*, *Adansonia digitata*, *Acacia albida*, *Guiera senegalensis*, *Ziziphus mauritiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Sclerocaria birrea*, *Acacia nilotica*, *Acacia seyal*, *Boscia angustifolia*. Dans les dépressions et aux abords des mares on rencontre des herbacées telles que: *Vetivera nigritana*, *Oryza longitaminata*, *Schoenofeldia gracilis*. Il n'existe pas de forêts en dehors des arbres au niveau des champs tels que *Acacia albida*, *Parkia biglobosa*. Une brousse tigrée fournit la population en bois de chauffe et de construction. Actuellement, cette réserve est presque épuisée. Les paysans de Madiama sont obligés de se ravitailler principalement dans les terroirs voisins en l'occurrence Kessédougou et Dari. D'autres espèces comme le néré (*Parkia biglobosa*) et le karité (*Vitellaria paradoxa*) sont aussi protégées pour leur valeur économique et pour l'ombre qu'elles procurent.

### 2.3.2. Milieu humain

La population de la commune a été estimée à 7000 habitants en 1999, avec une densité d'environ 41 habitants au km<sup>2</sup>. Les principales ethnies rencontrées sont les Bambara, les Marka, les Peuhls, les Bozo, les Dogon et les Sonrhaï (Tableau 5). La population de la commune est essentiellement composée de Marka 50,6% et de Peuhl 42,1%. On y trouve d'autres ethnies comme les Bambara 3,6%, les Bozo 2,4% et quelques Dogon et Sonrhaï représentant respectivement 0,8 et 0,4%. Les 50,8% ont un âge compris entre 18 et 40 ans contre 49,2% qui ont 41 ans et plus. Plus de 72 % des femmes ont moins de 41 ans et plus de 71 % des hommes ont plus de 41 ans (Kodio, 2000). L'émigration saisonnière est considérable dans le cercle de Djenné ; près de 80 % des jeunes hommes de certains villages quittent le pays ; par contre, les jeunes filles migrent très peu.

L'économie de la commune est dominée par l'agriculture. Les principales cultures pratiquées sont le mil, le sorgho et le riz. Les cultures secondaires sont le niébé, l'arachide, la pastèque, le gombo, le dah, le fonio. L'élevage occupe la seconde place dans l'économie de la commune. Le cheptel est essentiellement composé de bovins, ovins et caprins (SANREM/IER, 1999). Les types d'associations de cultures les plus pratiquées sont: mil/sorgho, mil/niébé, sorgho/niébé. Le

mil est cultivé sur les sols sablonneux, le sorgho, le gombo sur les sols argileux, l'association mil/sorgho sur les sols limono sableux, le riz dans les bas-fonds. La pratique de la monoculture du mil et du sorgho est très fréquente. Cet état de fait a entraîné dans la plupart des cas une baisse de la fertilité des sols et par conséquent celle du rendement.

**Tableau 5.** Nombre d'exploitations et de ménages de la commune de Madiama

<b>Villages</b>	<b>Population</b>	<b>Ménages</b>	<b>Exploitations</b>
Bangassi	1732	280	120
Madiama	2457	532	354
Nérékoro	319	54	34
Promani	905	152	60
Siragourou	295	74	63
Tatia nouna	838	169	127
Téguenié Dougourani	334	104	83
Tonbonka	419	95	86
Torocoro	584	126	99
Toumadiama	774	182	108

(Source : PDSEC 2005-2009)

Pour améliorer les rendements, les paysans utilisent la fumure organique. Cette pratique est très ancienne et elle est plus fréquente sur les parcelles de mil. Les doses répandues ne sont pas généralement connues, l'application se fait dans les endroits pauvres et dans des dépressions. Les engrais sont relativement peu utilisés (moins de 2 % des paysans) et quand ils le sont, c'est à doses assez faibles (20kg DAP/ha pour les pastèques) et le riz (50kg d'urée/ha). Les herbicides sont rarement utilisés comme produits phytosanitaires. Leur utilisation se fait à des doses très faibles sur les pastèques.

La pratique de la jachère est rare, ou inexistante dans certains terroirs villageois de la commune à cause de la croissance démographique combinée à l'extension des superficies cultivées rendue possible par la culture attelée. Des pratiques de fertilisation telles que le séjour (parcage) des animaux des transhumants dans les champs existent dans certains terroirs villageois ainsi que l'épandage des ordures ménagères et des fumiers d'animaux en stabulation. La fertilisation à partir du compost n'existe pas en raison du manque d'eau.

La culture attelée utilise comme animaux de trait les bœufs, ensuite les ânes et les chevaux. Le labour à la houe est assez rare. Le labour à plat est généralement utilisé pour les cultures de pastèque, arachide, riz. Le sarclage se fait à la charrue et à la main. Le semis se fait au poquet pour les céréales sèches et à la volée pour le riz.

Le cheptel est essentiellement composé de bovins, ovins, caprins, asins, équins et volaille. Il existe deux types d'élevage dans la commune : sédentaire et transhumant. L'élevage sédentaire est constitué essentiellement de petits ruminants (ovins, caprins) et des animaux de trait. Nérékoro est le village de la commune de Madiama où le nombre moyen de bovins par ménage est le plus élevé (31,48). Il est suivi par les villages de Nouna, Promani et Bangassi avec 14,29 ; 3,47 et 3,25 % respectivement. Ceci s'explique par le fait que dans les villages de Nérékoro, Nouna et Promani, la population est essentiellement de l'ethnie peulh avec comme activité principale l'élevage. Les vaches laitières sont les plus représentées dans les effectifs bovins, des villages de Nérékoro, Promani et Nouna, parce que l'activité économique est essentiellement orientée vers la production de lait.

Dès la fin des récoltes de mil et de sorgho (novembre), les paysans constituent des stocks de résidus de mil/sorgho et de bourgou (extrait des bourgoutières de Nouna) avant le passage des animaux transhumants. Ces stocks sont surtout destinés aux animaux de traits. En saison sèche, les animaux sont parqués dans des enclos pendant la nuit le plus souvent pour permettre de rassembler le fumier. En hivernage, les animaux pâturent les ressources fourragères des rares espaces pastoraux et jachères dans certains terroirs et les abords des champs dans d'autres. Ces animaux sont pour la plupart les bœufs de labour maintenus jusqu'à la fin des travaux d'entretien des champs (août). Après, ils sont conduits en dehors des terroirs et rejoignent le reste des animaux sur les pâturages d'hivernage des terroirs voisins ou mêmes lointains pour certains troupeaux. Le nombre de bovins et les ratios par ménage sont indiqués dans le Tableau 6.

Comme les bovins, les petits ruminants s'abreuvent aux puits dans tous les villages sauf à Nouna où l'abreuvement s'effectue au fleuve. La fréquence est d'une à deux fois par jour. Les petits ruminants sont laissés à eux-mêmes (divagation). Cependant, le soir, ils sont récupérés et conduits au village. Les enfants (garçons et filles) sont chargés de cette activité. Les petits ruminants sont dans les concessions des propriétaires, soit parqués dans des enclos faits en épineux, soit attachés à des piquets aussi bien en saison sèche qu'en hivernage.

**Tableau 6.** Nombre de bovins, d'ovins et caprins et ratio par ménage en commune rurale de Madiama

Villages	Effectifs			Ratio par ménage		
	bovins	Ovins	Caprins	bovin	Ovins	Caprins
Torokoro	100	250	200	1,35	3,38	2,7
Nérékoro	1700	300	400	31,48	5,56	7,41
Bangassi	630	200	250	3,25	1,03	1,29
Promani	520	250	150	3,47	1,67	1,00
Tatia-Nouna	500	200	300	14,29	5,71	8,57
Téguégné	165	100	160	2,84	1,72	2,76
Siragourou	410	250	100	1,83	3,05	1,22,
Tombonka	200	400	200	2,63	5,26	2,63
Toumadiama	100	200	100	0,67	1,00	1,33
Madiama	750	400	200	2,05	1,09	0,55
<b>Total</b>	5075	2.550	2.060			

(Source : PDSEC 2005-2009)

La commune rurale de Madiama constitue un couloir de passage des troupeaux (Tableau 7) à destination des zones de transhumance à bourgou. Chaque année la date de traversée est fixée par l'administration et les techniciens en collaboration avec les autorités locales des différentes zones concernées. Cette date est communiquée et diffusée par les radios de proximité et les crieurs publics. Les petits ruminants autochtones n'effectuent pas la transhumance. En attendant la fin des récoltes des troupeaux peuvent être en attente tout au tour des champs et peuvent être à l'origine de conflits entre éleveurs et agriculteurs. La transhumance concerne beaucoup de troupeaux qui font le va-et-vient entre la zone inondée et la zone exondée. Les troupeaux viennent surtout des communes voisines (Konio, Sofara, Timissa), de certains cercles de la région (Bangassi, Bandiagara, Koro) et même d'un pays frontalier (Burkina-Faso). Ils séjournent sur les pâturages d'hivernage (secs) de juillet à mi-octobre et amorcent la descente sur les champs de mil et sorgho pour les résidus où ils restent de mi-octobre jusqu'en décembre (2 mois et demi) suivant un calendrier annuel établi en tenant compte des activités agricoles. Les animaux passent en moyenne un mois d'attente avant la traversée (Figure 7).



**Figure 7.** Troupeau en attente pour la transhumance

Avant la fin des récoltes, les animaux pâturent aux alentours des champs de mil et de riz, dans les jachères. La durée du séjour moyen des troupeaux de bovins et d'ovins dans la commune est de 17 jours, cette durée est inférieure à celle des caprins (27 jours). Cette position de zone de transit expose les ressources alimentaires à une exploitation intense. En effet, plus de 30 000UBT y séjournent 20jours en moyenne. Rien qu'en considérant une ingestion journalière de  $2\text{kg MS.UBT}^{-1}$ , ceci correspond à un prélèvement de 1.200 tonnes de MS de ressources alimentaires. Seulement une faible partie de ces matières prélevées est restituée au sol à travers les fumiers déposés principalement dans les champs de culture. Pendant leur séjour, les bouviers et les bergers concluent des contrats par lesquels les animaux sont parqués dans les champs (Figure 8).



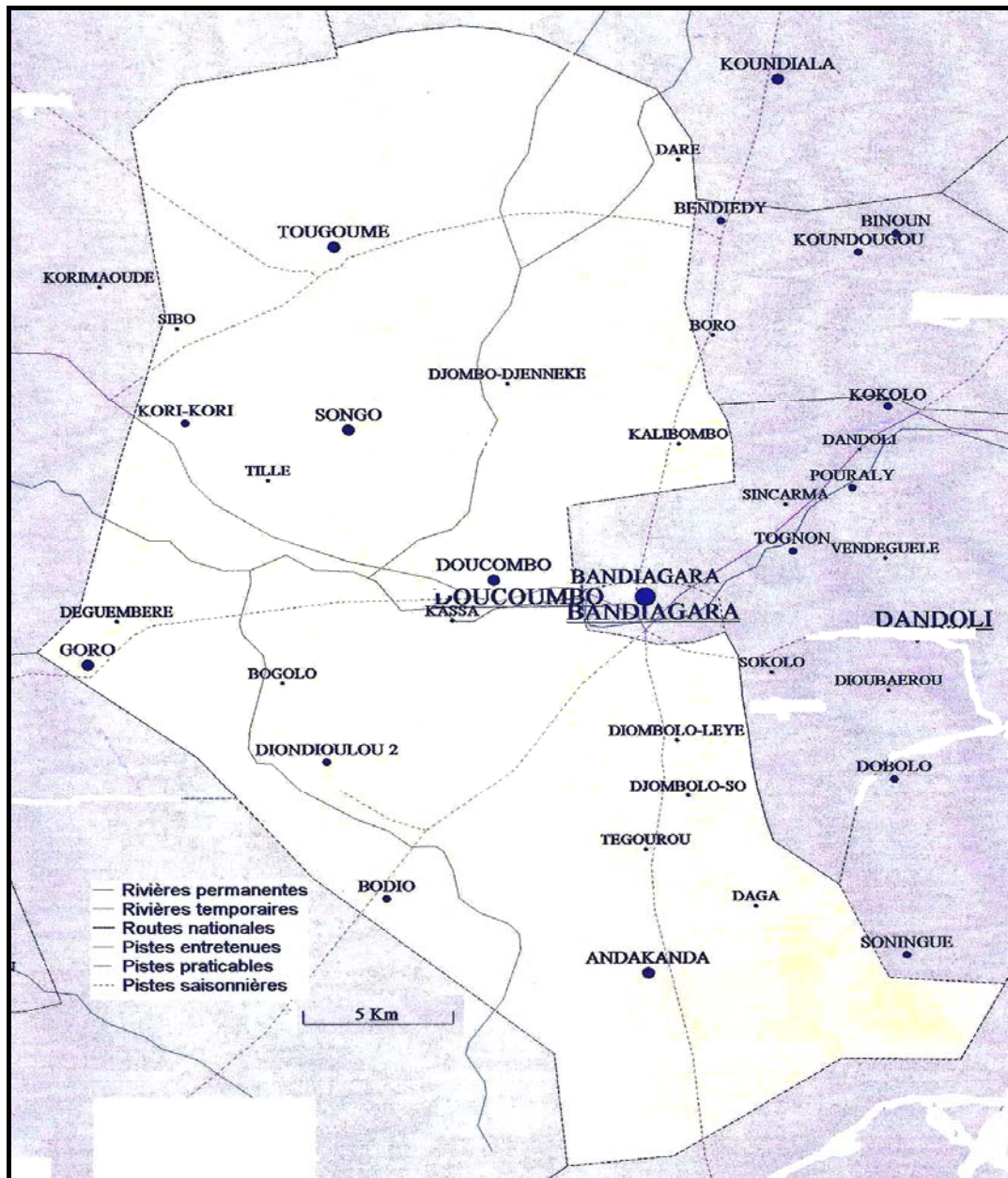
**Figure 8.** Séjour des bovins dans les champs

La commune de Madiama ne possède pas de cours d'eau permanents. L'activité de pêche est très limitée. Les habitants exploitent les mares temporaires de leur terroir et les mares plus ou moins permanentes des terroirs voisins (Nouna, Kera, Bankassi). Quelques rares individus vont par moment pêcher sur le fleuve Bani. La période active de pêche va du mois d'avril à octobre. Bien que n'étant pas des pêcheurs professionnels, les villageois possèdent tous les engins de pêche. Pour l'alimentation de la famille, il arrive qu'un membre de la famille soit désigné pour ravitailler la famille en allant pêcher dans le Yamé. Une partie de cette récolte peut être commercialisée au sein du village.



## 2.4. Commune rurale de Doucombo

La commune de Doucombo relève de l'ancien arrondissement central de Bandiagara. Le chef lieu de la commune est situé à Doucombo à 4km de la ville de Bandiagara. La commune est composée de 24 villages. La commune de Doucombo est située en plein cœur du cercle de Bandiagara. Elle est limitée au nord par les communes de Kendié et Pignari Bana, au sud par la commune de Kani Bonzon et de Dimbal, toutes de Bankass, à l'ouest par les communes de Pignari Bana, de Pignari et de Bara Sara, à l'est par les communes rurales de Soroly, Dandoli, Dourou et par la commune urbaine de Bandiagara. (Figure 9).



Source : PDSEC 2005-2009

**Figure 9.** Carte physique de la commune rurale de Doucombo

### **2.4.1. Milieu physique**

Comme le reste du plateau Dogon, la commune rurale de Doucombo est caractérisée par un relief très accidenté, composé d'un massif élevé jusqu'à 600 m d'altitude entouré de zones basses. Il s'agit de grès siliceux, caractérisés par une grande hétérogénéité. On dénote ça et là des collines et étendues rocailleuses constituées d'un empilement de bancs gréseux.

La situation géomorphologique de la commune de Doucombo comme celle de l'ensemble du cercle de Bandiagara 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, d'où la nécessité d'effectuer des diguettes de lutttes anti-érosives dont les populations ont une maîtrise des techniques.

Le climat de la commune de Doucombo comme celui de l'ensemble du plateau Dogon est caractérisé par une saison humide de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Le climat résulte de la transition entre le climat de type sahélien et le climat soudanien. Il est caractérisé par une température moyenne annuelle de 29,1°C avec un maximum aux mois d'avril, mai et un minimum au mois de janvier ; 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 ; un ensoleillement minimal de 6heures par jour en juillet, qui augmente pour atteindre son maximum en février avec 8heures par jour et par saison pluvieuse. La saison pluvieuse avec une précipitation moyenne interannuelle (1956 – 1985) de 512 mm en 36 jours. La période de 1966 à 1990 est caractérisée par une baisse de 20% des précipitations annuelles sur l'ensemble du plateau Dogon.

La végétation de la commune de Doucombo comme celle du plateau Dogon se reflète dans la transition entre les deux types de climat. Ainsi, on y trouve aussi bien des essences forestières du climat sahélien telles que *Acacia albida* et des graminées comme le *Panicum lactum* et des espèces ligneuses caractéristiques du climat soudanien comme *Tamarindus indica*. On peut citer d'autres espèces comme : *Adansonia digitata*, *Prunus serasifera*. La faune est en voie de disparition avec la sécheresse et l'exploitation incontrôlée de ces essences.

### **2.4.2. Milieu humain**

La population totale de la commune s'élève à 15 240 habitants. Celle-ci est composée de Dogon et peulh formant ainsi les deux dialectes parlés dans la commune. Le Tableau 7 indique le nombre d'exploitations et de ménages de la commune rurale de Doucombo. Sur le plan sanitaire il existe 2 CSCOM, 2 dispensaires et 1 maternité. Malgré cet effectif, le besoin existe à cause de l'enclavement de certains villages. Un seul axe goudronné (Sévaré – Doucombo – Bandiagara) avec quelques pistes (Bandiagara – Kalibomo, Bandiagara – Bodio, Bandiagara – Tegourou – Djombolo – Djiguibombo). Le reste du réseau est constitué de pistes difficilement praticables. Les moyens de transport les plus fréquents dans la commune sont : les charrettes et les vélos. Ils servent aussi bien au transport des personnes que des marchandises, et les produits des champs. La commune est dotée de 26 forages équipés de pompes, 24 puits et 14 barrages. 10 premiers cycles et 3 centres d'alphabétisation.

**Tableau 7.** Nombre d'exploitations et de ménages de la commune rurale de Doucombo

<b>Villages</b>	<b>Population</b>	<b>Ménages</b>	<b>Exploitations</b>
Andakandan	1069	179	153
Bodio	556	118	56
Bogolo	583	103	78
Daga	376	376	39
Dare	186	31	23
Deguembre	264	49	41
Diombolo Ieye	689	135	52
Diombolo do	289	53	23
Diombolov 2	558	102	59
Djiguibombo	1219	255	221
Djombo Djenneke	440	68	46
Djombopeulh	357	75	49
Doucoubou	1526	247	167
Goro	466	135	114
Kalibombo	527	117	51
Kassa	317	47	43
Kori Kori	668	81	79
Ogossaou	458	85	85
Pelkanda	204	37	26
Sibo	498	152	87
Songo	1791	398	174
Tegourou	405	87	50
Tille	469	112	104
Tougoumé	1070	158	102

(Source : PDSEC 2005-2009)

L'économie de la commune repose principalement sur l'agriculture, l'élevage, le commerce et l'artisanat. Le commerce est assez développé, la commune a trois marchés hebdomadaires inter villageois. Le commerce est beaucoup centré sur les céréales, surtout le mil et les autres produits de l'agriculture, les produits de cueillette et les produits maraîchers, surtout l'oignon.

L'agriculture est de loin la principale activité, elle se pratique sur les terres sèches et dans les zones longeant les cours d'eau. Les principales spéculations pour cette zone sont le mil, le sorgho, l'arachide, le wandzou, le niébé, le sésame, l'oseille ou dah rouge et le riz pluvial par endroits. Le maraîchage pratiqué pendant la saison sèche dans les champs irrigués est assez développé, et les principaux produits sont les tomates, l'oignon, l'échalote, le piment, les laitues et les Calebasses. Ces produits sont destinés principalement à la commercialisation. Le mil comme culture d'hivernage est semé à partir des premières pluies en mai et récolté en novembre.

L'élevage est aussi important dans la commune, et occupe la seconde place dans le tissu économique. Les animaux élevés sont les bovins, les ovins et les caprins et la volaille. L'élevage est de type sédentaire et il concerne les boeufs de labour et les petits ruminants. Ces animaux vivent non loin des villages et se nourrissent dans les pâturages villageois ou complétés avec du tourteau, mais surtout à partir des sous produits agricoles (tiges de mil, sorgho, fane d'arachide et de niébé). Les animaux sont gardés souvent dans des enclos et peuvent roder dans les alentours des villages. L'embouche de case est surtout pratiquée par les femmes.

Il n'y a pas de cours d'eau donc pas de ressources halieutiques.

### **3. MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### 3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

#### 3.1. MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel utilisé se compose de semence de mil, et de la semence de niébé.

- **Mil : *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br**

Le mil, également dénommé mil à chandelles ou petit mil est une céréale largement répandue à travers les régions tropicales semi-arides de l'Afrique et de l'Asie. La variété utilisée est le Toroniou originaire du Mali. Avec un cycle de 100 à 110 jours, la variété est adaptée à des zones de 400-800 mm de pluie. Le mil a reçu par le passé une série de noms d'espèces tels que *Pennisetum typhoides* (Burm.), *Pennisetum glaucum* L. et *Pennisetum americanum* (L.). Aujourd'hui, le terme latin reconnu pour le mil est *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. Le genre *Pennisetum* appartient à la famille des Poaceae et à la tribu des Paniceae. Le mil *Pennisetum glaucum* ( $2n = 14$ ) est une plante annuelle érigée, avec une tige unique pouvant atteindre 1 à 4m de haut. La plus grande partie du mil cultivé se répartit en deux catégories : les variétés précoces dont la maturation survient entre 75 à 100jours, et les variétés tardives qui atteignent leur maturation après 100 à 150 jours. Le mil est cultivé dans des zones où les précipitations oscillent entre 200 à 800mm sur une période de trois à six mois, mais il tolère la sécheresse. Le mil supporte des sols peu fertiles et acides ainsi que des températures élevées. Il ne supporte pas des sols inondés. (Renard et *al.*, 2001). Le mil est cultivé pour son grain dont la totalité est utilisée pour la consommation humaine. La paille est utilisée comme matériaux de construction et pour nourrir le bétail durant la saison sèche. L'amidon est son principal constituant, sa teneur en protéines est de 11%, renferme 4 à 8% de matières grasses, 1,5 à 2,7% de cendre, 270 à 390ppm de phosphore, des vitamines sont relativement bien représentées. Parmi les variétés locales, la *Souna* (précoce de 70 à 90 jours) et la *Sanio* (tardive, 120 à 180 jours) sont les plus répandues (Renard et *al.*, 2001).

- **Niébé : *Vigna unguiculata* (L.) Walpers.**

Le Niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, est originaire d'Afrique où il a été domestiqué au Néolithique. La variété utilisée est le Gorom-Gorom (Suvita 2) originaire du Burkina-Faso (Gorom Gorom). Il s'agit d'une variété épurée à grains marron, et de grosseur moyenne. Le cycle est de 70-75 jours. La variété est adaptée à des zones de 300-800 mm de pluie. Le niébé est une plante herbacée annuelle appartenant à la sous – tribu des Phaseolinae, tribu des *Phaseoleae*, famille des *Papilionaceae* (ou Fabaceae), ordre des Leguminosales (ou Fabales). Le nombre de chromosome est de  $2n = 22$ . *Vigna unguiculata* appartient à la section *Catiang* du sous genre *Vigna* lequel constitue un vaste groupe à l'intérieur du genre *Vigna*. Les formes cultivées sont regroupées dans la sous – espèce *unguiculata*. Le niébé est bien adapté aux zones semi – arides (moins de 600mm de précipitations) et subhumides (1 000 à 1 500mm) et certaines variétés montrent une résistance considérable à la sécheresse. En Afrique, le niébé est traditionnellement cultivé en association avec d'autres plantes telles que le mil ou le sorgho. En plus de la complémentarité que la légumineuse et la céréale jouent dans la diète alimentaire, l'association des deux cultures produit des avantages au niveau du contrôle des mauvaises herbes, de la couverture du sol, de la protection du sol contre l'érosion et de la dispersion des insectes. Le niébé constitue une source relativement économique de protéines et apporte un complément adéquat à une alimentation céréalière, il est consommé généralement à l'état de grains secs ou de jeunes gousses. Le niébé est utilisé également comme plante de couverture et plante fourragère. (Vanderborgh et *al.*, 2001)

Le niébé comme les autres légumineuses joue un rôle important dans la fertilisation des sols grâce à la symbiose avec des souches de rhizobium qui permettent la fixation de l'azote atmosphérique. Cette fixation a lieu dans des nodules ou nodosités formés sous l'effet de l'infection des racines par les Rhizobium (Touré., 1974). Si les conditions édaphiques sont satisfaisantes (température, pH, éléments nutritifs), le taux de fixation peut atteindre 150kg de N/ha et couvrir ainsi 80 à 90% des besoins en N du niébé.

### **3.2. ANIMAUX, FUMURES ORGANIQUES ET MINERALES**

Pour les tests de parcage nous disposons de bovins et de petits ruminants dont le nombre varie d'un site à l'autre suivant la disponibilité du paysan collaborateur :

- 25 bovins et 30 Petits ruminants à Koporo pen ;
- 20 bovins et 30 Petits ruminants à Madiama ;
- 20 bovins et 70 Petits ruminants à Doucombo.

Les fumures organiques étant d'origine diverses, les analyses au laboratoire ont permis de déterminer leur teneur en azote (N), phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et en potassium (K<sub>2</sub>O) (Tableau 8)

**Tableau 8.** Teneurs en NPK des différents types de fumures et les doses apportées au champ pour les tests en milieu paysan dans les communes étudiées.

<b>Types de fumures</b>	<b>Quantités par hectare</b>	<b>%N</b>	<b>% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>%K<sub>2</sub>O</b>
Fumier de bovins	2 et 5t	0,98	0,58	1,68
Fumier de Petits ruminants	2 et 5t	1,25	0,83	2,40
DAP	20kg	18	46	0
Urée	10kg	46	0	0

(Source : enquête exploitations 2005)

### **3.3. METHODES D'ETUDE**

La démarche méthodologique suivie se présente en quatre phases essentielles

- Caractériser les exploitations des communes rurales de Koporo pen, Madiama et Doucombo, à partir d'enquête, afin d'établir une typologie des exploitations à partir des méthodes actuelles de gestion paysanne de la fertilité du sol identifiées;
- Réaliser des tests agronomiques en milieu paysan sur les systèmes de cultures, les techniques culturales et de fertilisation du sol et leur évaluation économique dans le village de Koporo pen (commune localisée dans le Séno), les villages de Madiama, Dougourani, Torokoro, Tatia-Nouna (commune du Delta Central du Fleuve Niger) et dans le village de Tougoumé (commune du Plateau Dogon) ;
- Calculer les besoins nutritifs par application d'un modèle ;
- Proposer un schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal sahélien.

### **3.3.1. Détermination des caractéristiques des exploitations (typologie des exploitations)**

#### **3.3.1.1. Choix des exploitations et des paysans collaborateurs**

L'objectif principal est d'identifier l'échantillon pour l'enquête exploitation et les paysans collaborateurs disponibles pour l'implantation des tests aux champs. Le choix des villages est basé sur l'accessibilité, la réceptivité et la disponibilité des paysans à collaborer avec les services de recherche. Cette activité a commencé par le choix des exploitations à enquêter au niveau des villages. Un tirage au sort a été effectué sur la base du cahier de recensement de la mairie. Pour ce qui concerne la taille de l'échantillon, un taux de 20% a été retenu comme base de sondage des exploitations au niveau de chaque village sur la base des expériences antérieures. Les informations portent sur le nombre des membres de l'exploitation ainsi, que sur le nombre de têtes d'animaux et sur les moyens de production. Le Tableau 9 indique les communes choisies, les nombres de villages, de ménages, d'exploitations obtenus à partir des registres de la mairie des différentes communes. Ces différentes listes ont permis d'établir des exploitations qui seront enquêtées.

**Tableau 9.** Villages d'enquêtes et taille des échantillons correspondants dans les communes étudiées.

<b>Communes</b>	<b>Nombre de Villages</b>	<b>Nombre total de ménages</b>	<b>Nombre total d'exploitations</b>	<b>Nombre d'exploitations enquêtées</b>
Commune rurale de Koporo pen	16	2488	1316	50
Commune rurale de Madiama	10	1835	1135	77
Commune rurale de Doucombo	24	2034	946	50
Total	50	6357	3397	177

(Source : enquête exploitations 2005)

#### **3.3.1.2. Enquête exploitation**

Les enquêtes sont basées sur l'interview des chefs d'exploitation à partir de fiches d'enquête (voir annexes). Ces enquêtes ont pour but d'identifier les techniques actuelles de gestion paysanne de la fertilité des sols afin d'établir une typologie des exploitations basée sur la gestion de la fertilité dans les différents villages. A cet effet, un questionnaire a été élaboré, testé et affiné. Les exploitations ont été choisies, lors des visites dans les différents villages. C'est après ces différentes phases que les enquêtes proprement dites ont commencé. Les questions ont porté sur les ressources en terre, la main d'œuvre, les biens d'équipements, les intrants (quantités de fumier et autres engrais), les proportions de résidus de récolte utilisées. La méthodologie d'enquête employée a été l'interview sur la base d'un questionnaire. Les questions ont été adressées au chef d'exploitation ou à son représentant chargé de diriger les opérations au champ. D'autres membres de l'exploitation ont participé à l'interview afin d'apporter des compléments d'information.

### **3.3.1.3. Données collectées des enquêtes**

L'enquête a permis de collecter des informations sur les :

- **Ressources de l'exploitation**

Les ressources de l'exploitation constituent l'ensemble de l'appareil de production. Ces ressources déterminent la situation de l'agriculteur et peuvent justifier les prises de décisions de ce dernier, ce sont : le nombre d'actifs participant aux travaux agricoles, la taille de l'exploitation, l'existence de charrette, les superficies cultivées et les types de culture pratiqués (seuls les champs collectifs ont été pris en compte), les superficies en jachère appartenant à l'exploitation et la durée de la jachère, les rendements des produits principaux récoltés.

- **Modes d'utilisation des résidus de récolte (ou de culture)**

Il faut entendre par résidus de récolte, l'ensemble de la biomasse aérienne des différentes cultures de l'exploitation, moins les produits principaux. Ainsi, sont prises en considération les proportions et les options d'utilisation des résidus de récolte. Il s'agit des options d'utilisation des résidus transportés à la concession (le fourrage, la litière, le combustible, la vente, la construction ou autres utilisations) et des résidus laissés aux champs (l'enfouissement, le brûlage ou d'autres usages). Les périodes de l'année où se déroulent les différentes activités.

La proportion de paille a été déterminée à partir des données sur la production de grains et des rapports pailles/grains obtenus dans la bibliographie. Les valeurs utilisées pour les céréales et les légumineuses sont celles de Duivenbooden, 1992. Pour le riz, les données proviennent des rapports de l'ADRAO. Elles sont les suivantes pour les différentes cultures: 3 pour les fanes de niébé et d'arachide, 4 pour le mil et le riz et 3 pour le sorgho. Ces chiffres permettent de calculer la production en résidus de récolte dans les exploitations enquêtées, sachant la production en produit principal de chacune des cultures pratiquées. Ces variables nous renseignent sur ce que les paysans font de leurs produits secondaires (paille).

- **Mode d'utilisation de la fumure organique.**

Pour la production de la fumure organique, il est capital de connaître, la taille du troupeau et les catégories concernées sont les bovins, les ovins et les caprins car elles sont numériquement les plus importantes, le lieu de pâture des animaux selon la saison. En fonction de la saison qui prévaut, les animaux peuvent être conduits dans les champs récoltés, les pâturages naturels ou les deux à la fois. Il se peut aussi qu'ils soient en stabulation semi permanente ou permanente.

La transhumance constitue également un mode de conduite des animaux. Aussi, des questions ayant trait à sa pratique, sa durée, la période, ainsi que les types d'animaux concernés ont été posées. Les parcs et d'une façon générale les aires de stabulation nocturnes des animaux constituent généralement les lieux de collecte du fumier. Un certain nombre de variables ont été définies afin de cerner cet aspect. Ce sont : le lieu de gardiennage des animaux (étable, parc, mise au piquet), l'emplacement de l'aire de stabulation (au champ ou au village) la durée quotidienne de stabulation des animaux, les types d'animaux parqués, la période de l'année à laquelle la stabulation a lieu. Cette variable permet de voir si le parcage nocturne des animaux se fait pendant toute l'année ou uniquement à certaines périodes (saison sèche, hivernage). Le volume de fumier disponible au niveau d'une exploitation varie selon le nombre de têtes mais



également des lieux de collecte des fèces des animaux. Ceci nous a conduit à prendre cet aspect en compte. La question a été posée de savoir si les fèces sont collectées au parc, au pâturage, sur les lieux d'abreuvement, dans la concession.

L'utilisation de la litière est reconnue comme un moyen permettant d'augmenter la fumure organique. Les questions se rapportant à l'utilisation de la litière sont, outre les quantités prévues, la fréquence et l'époque d'introduction. Les enquêtes ont porté sur les quantités de fumure organique transportées pour la campagne et leur provenance. Les types de fumure organique concernés sont le fumier obtenu des bovins et des ovins/caprins, les ordures ménagères. Tout comme dans le cas des résidus de récolte, des questions relatives aux temps de transport du fumier au champ et autres comme le nombre de personnes ayant effectué le transport, et la durée en jours, les moyens de transport utilisés.

Par ailleurs, le questionnaire contient des variables relatives à la période de transport et l'implication de ce choix sur les autres activités, les proportions de fumure organique utilisées dans les champs ressortent dans le questionnaire, de même que les cultures et les superficies fumées, ainsi que les avantages de l'utilisation de la fumure organique. Des questions relatives aux quantités d'engrais inorganique utilisées ont été également adressées aux paysans enquêtés.

#### **3.3.1.4. Critères de typologie des exploitations**

Le choix des critères retenus pour bâtir cette typologie a été fait de façon raisonnée. Les critères retenus sont ceux qui semblent les plus pertinents et déterminants, dans la région pour expliquer les choix de production des agriculteurs et leurs résultats économiques. Les variables retenues comme critères de typologie étaient les suivantes : la force productive (actifs), l'équipement (charrue, animaux de trait, charrette), le cheptel, et les superficies cultivées en céréales. A ces critères seront combinés les décisions prises par les paysans face à des contraintes comme la pauvreté des sols. Ce sont : l'utilisation des résidus de récolte et l'utilisation de la fumure organique.

#### **3.3.1.5. Analyse des données d'enquête**

Les données collectées ont été codifiées puis saisies sur le logiciel Excel. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS. Conformément aux objectifs de l'étude, l'analyse des données a été faite en plusieurs étapes. Dans une première phase, les analyses de moyenne, et de variance relatives des différentes variables ont été faites. Il s'agit des mesures de tendance centrale et des mesures de dispersion. En plus de cela, des analyses de fréquences ont été réalisées. Des analyses de régression multiples pour rechercher la liaison éventuelle entre l'utilisation des résidus de récolte et la production du fumier ont été faites. En plus des proportions qui donnent l'importance relative des différentes formes d'utilisation des résidus de récolte, des analyses de régression ont été faites en vue de rechercher des relations de corrélation entre ces formes d'utilisation et certaines variables de l'exploitation.

Dans l'interprétation des résultats de ces analyses, il n'est retenu dans le modèle explicatif que les variables ayant un seuil de signification inférieur ou égal à 0,05. Dans les analyses de régression, sont considérées comme variables dépendantes (ou expliquées), les formes d'utilisation des résidus de récolte. Elles sont exprimées en quantités relatives, c'est-à-dire qu'elles sont obtenues en divisant la quantité de chacune des formes d'utilisation par la superficie totale disponible au niveau de l'exploitation. Quant aux variables explicatives, ce sont les actifs, le cheptel,

l'équipement. L'importance des facteurs ressources découle du fait qu'ils guident toutes les décisions du paysan face à une situation donnée.

La superficie totale allouée à chaque culture ainsi qu'à la jachère indique son importance au sein de l'exploitation et par conséquent le volume des travaux à y accomplir.

Le rendement total obtenu au sein de l'exploitation indique le niveau de production. Il est supposé être déterminant dans toutes les actions du paysan. Le niveau d'autosuffisance alimentaire et le revenu agricole de l'exploitation en dépendent.

### **3.3.2. Tests d'itinéraires techniques de gestion de la fertilité du sol en milieu paysan**

Les itinéraires techniques de gestion de la fertilité du sol proposés ont été expliqués en assemblée générale avec la participation de la Commission Régional des Utilisateurs des résultats de la recherche, la Direction Régionale de l'Agriculture, la mairie et les différents représentants des communautés. Le choix des paysans collaborateurs a été volontaire pour la conduite des tests. Trois types de tests ont été menés. Il s'agit de tests basés sur la rotation des cultures niébé – mil, l'utilisation de la fumure organique (poudrette de parc et parcage au champ) et du Phosphate Naturel de Tilemsi à différentes doses, des tests de la fumure minérale (fertilisation localisée au poquet) sur la variété locale de mil et le parcage de bovins et de petits ruminants au champ. Les travaux des différents tests ont été exécutés par les paysans au champ sous la direction de l'équipe de chercheurs, sous la responsabilité du chercheur principal et de trois observateurs (soit un par zone agro écologique) chargés du suivi permanent. Les dispositifs expérimentaux utilisés sont fonction des tests.

#### **3.3.2.1. Effet de la rotation niébé - mil avec apport de phosphate naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du mil**

Le dispositif expérimental était constitué par des blocs randomisés avec trois traitements en quatre répétitions sur des parcelles élémentaires de 150m<sup>2</sup> chacune, matérialisées par des repères. En première année : le témoin T<sub>0</sub> était une culture continue de mil, le T<sub>1</sub> était une culture pure de niébé, le T<sub>2</sub> était une culture de niébé avec apport de 300kg.ha<sup>-1</sup> de PNT et le T<sub>3</sub> était une culture de niébé avec apport de 600kg.ha<sup>-1</sup> de PNT. Le test a duré trois ans. Le mil a été semé à 1 m entre les lignes et 1m entre les poquets. Le semis était à 8 grains par poquet. Le niébé a été semé à trois grains par poquet et démarré à deux plants 15 jours après la levée avec une densité de semis de 0,75m x 0,30m. Les semis ont été effectués après un labour à billons. En deuxième et troisième années le mil a été semé à la place du niébé pour évaluer les arrières effets du niébé et du PNT sur le même dispositif. Les 3 traitements étaient les suivants :

T<sub>0</sub> = mil (témoin)

T<sub>1</sub> = niébé

T<sub>2</sub> = niébé + 300kg.ha<sup>-1</sup> de PNT

T<sub>3</sub> = niébé + 600kg.ha<sup>-1</sup> de PNT

#### **3.3.2.2. Effet de l'apport du fumier de bovin et de petits ruminants sur l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du mil**

Le dispositif expérimental utilisé était constitué de blocs randomisés avec 5 traitements en 4 répétitions. En première année, les traitements T<sub>1</sub> et T<sub>3</sub> ont reçu respectivement une dose de

2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> fumier de bovins et de fumier de petits ruminants, soit 30kg par parcelle élémentaire de 150m<sup>2</sup> pendant le labour pour chaque année. Les traitements T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub> ont reçu également et respectivement une dose de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de bovins et de fumier de petits ruminants (ovins et caprins), soit 75kg par parcelle élémentaire de 150m<sup>2</sup> pendant le labour pour 3ans. Le mil local a été semé à 1m entre les lignes et 1m entre les poquets et à plusieurs grains par poquets (minimum 8grains) sur billons. Toutes les cultures ont été démarrées à 3plants par poquets dix à quinze jours après le semis au premier sarclage et en condition d'humidité du sol. Les sarclages ont été faits à la charrue : le 1er sarclage à 15 jours après la levée, le 2<sup>ème</sup> sarclage à 20jours après le premier. En deuxième et troisième années les traitements de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier ont été reconduits sans aucun autre apport. Les traitements étaient les suivants :

$$\begin{aligned} T_0 &= \text{mil (témoin)} \\ T_1 &= \text{mil} + 2\text{t.ha}^{-1}\text{an}^{-1} \text{ fumier de bovins} \\ T_2 &= \text{mil} + 5\text{t.ha}^{-1}3\text{ans}^{-1} \text{ de bovins} \\ T_3 &= \text{mil} + 2\text{t.ha}^{-1}\text{an}^{-1} \text{ de fumier de petit ruminant} \\ T_4 &= \text{mil} + 5\text{t.ha}^{-1}3\text{ans}^{-1} \text{ de fumier de petit ruminant} \end{aligned}$$

### **3.3.2.3. Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du mil.**

Le dispositif expérimental était constitué de blocs randomisés avec 6 traitements en 4 répétitions. En première année, le traitement T<sub>1</sub> a reçu 300kg.ha<sup>-1</sup> de PNT soit 4,5kg par parcelle élémentaire de 150m<sup>2</sup> pendant le labour. T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub> ont reçu respectivement une dose de 2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier de bovins et de fumier de petits ruminants, soit 30kg et 300kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, soit 4,5Kg par parcelle élémentaire de 150m<sup>2</sup> pendant le labour par an. Les parcelles T<sub>3</sub> et T<sub>5</sub> ont reçu respectivement une dose de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup>, soit 75kg fumier de bovins et de petits ruminants et 300kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, soit 4,5kg par parcelle élémentaire de 150m<sup>2</sup> pendant le labour pour 3ans. En deuxième et troisième années les traitements de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier et de 300kg.ha<sup>-1</sup> de PNT ont été reconduits sans aucun autre apport. Le mil local a été semé à 1m entre les lignes et 1m entre les poquets et à plusieurs graines par poquets (minimum 8grains) sur billons. Toutes les cultures ont été démarrées à 3plants par poquets dix à quinze jours après le semis au premier sarclage, et en condition d'humidité suffisante du sol. Les sarclages ont été faits à la charrue : le 1er sarclage à 15jours après la levée, le 2<sup>ème</sup> sarclage à 20jours après le premier. Les traitements étaient les suivants :

$$\begin{aligned} T_0 &= \text{mil (témoin)} \\ T_1 &= \text{mil} + 300\text{kg.ha}^{-1} \text{ de PNT} \\ T_2 &= \text{mil} + 2\text{t.ha}^{-1}\text{an}^{-1} \text{ de fumier bovins} + 300\text{kg.ha}^{-1} \text{ de PNT} \\ T_3 &= \text{mil} + 5\text{t.ha}^{-1}3\text{ans}^{-1} \text{ de fumier de bovins} + 300\text{kg.ha}^{-1} \text{ de PNT} \\ T_4 &= \text{mil} + 2\text{t.ha}^{-1}\text{an}^{-1} \text{ de fumier de petits ruminants} + 300\text{kg.ha}^{-1} \text{ de PNT} \\ T_5 &= \text{mil} + 5\text{t.ha}^{-1}3\text{ans}^{-1} \text{ de fumier de petits ruminants} + 300\text{kg.ha}^{-1} \text{ de PNT} \end{aligned}$$

### **3.3.2.4 Effet du parcage de bovins au champ sur l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du mil.**

Le dispositif expérimental (Figure 10) était constitué de 4 parcelles élémentaires de 150m<sup>2</sup> sans répétition. Ces parcelles ont été entourées de grillage lors du parcage en première année. La durée du parcage a été de deux, cinq et dix nuits. Le nombre de bovins était le même par parcelle élémentaire pour les 3 traitements comparés au témoin sans parcage. Le nombre de têtes

varie d'un site à l'autre suivant la disponibilité au niveau du paysan collaborateur, ainsi, qu'il suit :

- 25 bovins pour Kopro pen ;
- 20 bovins pour Madiama ;
- 20 bovins pour Doucombo.

*Les 4 traitements ont été les suivants:*

TN<sub>0</sub> = mil (Témoin)

TN<sub>1</sub> = mil + 2nuits de parcage de bovins

TN<sub>2</sub> = mil + 5nuits de parcage de bovins

TN<sub>3</sub> = mil + 10nuits de parcage de bovins

La variété locale de mil a été utilisée, elle a été semée à 1 m entre les lignes et 1 m entre les poquets et à plusieurs graines par poquet (minimum 8 grains). Toutes les cultures ont été démarquées à trois plants par poquet à quinze jours après le semis au premier sarclage. Le 1<sup>er</sup> sarclage à 15 jours après la levée, le 2<sup>ème</sup> sarclage à 20 jours après le premier. En deuxième et troisième années, les traitements ont été reconduits sur les mêmes parcelles sans aucun autre apport afin d'évaluer les arrières effets des différents traitements.



**Figure 10.** Dispositif expérimental pour la détermination de l'effet du parcage des bovins sur la fertilité du sol et le rendement du mil.

### **3.3.2.5. Effet du parcage de petits ruminants au champ sur l'amélioration de la fertilité du sol et du rendement du mil.**

Le dispositif expérimental de parcage (Figure 11) de petits ruminants était le même que celui des bovins. Il était également constitué de 4 parcelles élémentaires de 150m<sup>2</sup> sans répétition. Ces parcelles ont été entourées de grillage lors du parcage. La durée du parcage a été de deux, cinq et dix nuits. Le nombre de petits ruminants étant le même par parcelle élémentaire pour les 3 traitements comparés au témoin sans parcage. Le nombre de têtes varie d'un site à l'autre suivant la disponibilité au niveau du paysan choisi, ainsi, qu'il suit :

- 35 petits ruminants pour Koporo pen ;
- 30 petits ruminants pour Madiama ;
- 70 petits ruminants pour Doucombo ;

*Les 4 traitements étaient les suivants :*

TN<sub>0</sub> = mil (Témoin)

TN<sub>1</sub> = mil + 2 nuits de parcage de petits ruminants

TN<sub>2</sub> = mil + 5 nuits de parcage de petits ruminants

TN<sub>3</sub> = mil + 10 nuits de parcage de petits ruminants

La variété locale de mil a été utilisée, elle a été semée à 1m entre les lignes et 1m entre les poquets et à plusieurs graines par poquets (minimum 8 grains). Toutes les cultures ont été démarquées à trois plants par poquet à quinze jours après le semis au premier sarclage. Le 1<sup>er</sup> sarclage à 15 jours après la levée, le 2<sup>eme</sup> sarclage à 20 jours après le premier. En deuxième et troisième années les traitements ont été reconduits sur les mêmes parcelles sans aucun autre apport afin d'évaluer les arrières effets des différents traitements.



**Figure 11.** Dispositif expérimental pour la détermination de l'effet du parcage des petits ruminants sur la fertilité du sol et le rendement du mil.

### **3.3.2..6. Effet de la microdose de DAP et d'urée sur le rendement du mil.**

Le dispositif expérimental était constitué de blocs randomisés avec 3 traitements. Les parcelles ont été matérialisées par des repères. Le test a duré un an . Le mil local a été semé a 1m entre les lignes et 1m entre les poquets et à plusieurs grains par poquets (minimum 8 grains) sur billons. Toutes les cultures ont été démarquées à 3 plants par poquets dix à quinze jours après le semis au premier sarclage. Les sarclages ont été faits à la charrue : le 1<sup>er</sup> sarclage à 15 jours après la levée, le 2<sup>eme</sup> sarclage à 20 jours après le premier. Les trois traitements étaient :

T<sub>0</sub> = mil (témoin)

T<sub>1</sub> = mil + DAP18-46-0 (2 g par poquet au semis)

T<sub>2</sub> = mil + DAP18-46-0 (2g par poquet au semis) + Urée (1g par poquet 2 à 3 semaines après semis)

### **3.3.2.7. Données collectées à partir des tests.**

Les données collectées sont :

- ***Rendement grain, paille ou fane, et biomasse racinaire***

Les rendements grains et paille ou fane ont été calculés à partir des carrés de rendement placés par parcelle élémentaire. Dans le cas du niébé, la biomasse racinaire a été déterminée à partir de carré de rendement de 1m x 1m placé au niveau de chaque traitement pour permettre de collecter la totalité des racines de niébé par horizon. Les rendements grains et paille ont été calculés à la récolte.

- ***Prélèvements d'échantillons de sol et de plantes pour analyse au laboratoire***

Les échantillons de sol ont été prélevés dans l'horizon 0 – 40. Les prélèvements ont été effectués au niveau des quatre répétitions de chaque traitement, mélangés, et un échantillon moyen a été tiré de ce mélange. Ainsi on obtient un échantillon par horizon, par répétition pour chaque traitement. Le premier prélèvement a été fait avant l'application des intrants et le semis à la première année. Les autres prélèvements ont été faits à la fin de chaque récolte.

Les échantillons de plantes concernent la paille et les grains. Les échantillons ont été prélevés au niveau des quatre répétitions de chaque traitement, mélangés, et un échantillon moyen a été tiré de ce mélange. Les analyses de laboratoire ont porté sur l'azote total, le phosphore total, le potassium total, le carbone (matière organique), et le pH du sol. Pour les échantillons de plante les analyses ont porté sur l'azote total, le phosphore total, et le potassium total des grains et de la paille.

Les taux d'azote, de phosphore et du potassium total dans les sols et les plantes ont été déterminés après la minéralisation des échantillons de sol ou de plantes avec l'acide sulfurique-sélénium-Salicylique en chauffant progressivement (100 à 340°C) jusqu'à minéralisation totale (Méthode Dr. V Houba). L'azote total a été déterminé dans le minérat à l'aide d'auto analyseur (SKALAR) en utilisant le réactif de Nessler comme indicateur. Pour la détermination du phosphore total, le molybdate d'ammonium a été utilisé en présence d'acide ascorbique. La même méthode a été utilisée pour la détermination du potassium en utilisant un photomètre à flamme (CORNING 400). Les résultats des analyses de sol et de plante figurent en annexes.

- ***Temps de travail, prix (FCFA) et quantité (kg/ha) des intrants et produits agricoles.***

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 10.** 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
Epandage 2T de fumure organique (tous les ans)	2	-
Epandage 5T de fumure organique (1 <sup>ère</sup> année)	3	-
Epandage 300kg de PNT (1 <sup>ère</sup> année)	1,5	1,5
Epandage 600kg de PNT (1 <sup>ère</sup> année)	-	2
Traitement phytosanitaires (tous les ans)	-	1
Gardiennage de parc 2 nuits (1 <sup>ère</sup> année)	2	-
Gardiennage parc 5 nuits (1 <sup>ère</sup> année)	5	-
Gardiennage parc 10 nuits (1 <sup>ère</sup> année)	10	-
Epandage au poquet de DAP (tous les ans)	1	-
Epandage au poquet d'urée (tous les ans)	1	-

(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<sup>-1</sup> dans le Delta Central du Niger sur les trois ans et dans le Séno en première année, le prix moyen de 130FCFA.kg<sup>-1</sup> 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 11 et 12.

**Tableau 11.** 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 <sup>-1</sup>
Niébé (semence)	kg	450	20kg.ha <sup>-1</sup>
Fumier de bovins	kg	22,32	2 et 5 t.ha <sup>-1</sup>
Fumier de petits ruminants	kg	30,69	2 et 5 t.ha <sup>-1</sup>
Fumier recommandé	kg	26,50	10 à 15t.ha <sup>-1</sup>
PNT	kg	120	300-600 kg.ha <sup>-1</sup>
DAP	kg	310	20(2g/poquet x 10000 poquets/ha)
DAP, recommandé	kg	310	100kg.ha <sup>-1</sup>
Urée	kg	310	10 (1g/poquet x 10000 poquets/ha)
Urée, recommandé	kg	310	100kg.ha <sup>-1</sup>
Traitements phytosanitaires	ha	12000	
Labour	½ ha	4000	
Transport fumier	kg	250	
Autre main d'œuvre	h/jour	750	

(Source : enquête exploitations 2005)

**Tableau 12.** 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<sup>-1</sup>)

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

(Source : enquête exploitations 2005)

Pour estimer les animaux parqués en Unité Bétail Tropicale (UBT) nous avons d'abord procédé à la conversion suivante : 1 bovin pour 0,8UBT, 1Ovin pour 0,1UBT et 1caprin pour 0,1UBT. La production moyenne de matière fécale par jour d'une unité de bétail tropical (UBT) est estimée à 2,5kg de matière sèche pour un temps de séjour au parc de 17heures au niveau d'une exploitation pratiquant un élevage semi-intensif (Landais, 1990). Sur cette base, on peut ainsi estimer à 1,7kg.UBT<sup>-1</sup>jour<sup>-1</sup> la quantité moyenne de fumier produite pour un temps de séjour de 12heures. Dans nos expériences 1,3kg.UBT<sup>-1</sup>jour<sup>-1</sup> sera plus proche de la réalité sahélienne selon Breman (communication personnelle). Le Tableau 13 indique la production de fumier par durée de parcage calculée à partir du nombre d'UBT.ha<sup>-1</sup> par site. Le Tableau 14 indique le nombre d'UBT utilisé sur la parcelle élémentaire d'expérimentation et le nombre d'UBT correspondant sur un hectare au champ et leur durée de parcage (la durée de parcage sur un hectare allant de novembre à mai soit, 210 nuits environ).

**Tableau 13.** Production de fumier en kg en fonction de la durée en nuits de parcage au champ

Site	2 nuits		5nuits		10 nuits	
	Fumier bovins	Fumier petits ruminants	Fumier bovins	Fumier petits ruminants	Fumier bovins	Fumier petits ruminants
Koporo	3 467	520	8 666	1 300	17 333	2 600
Madiama	2 773	520	6 933	1 300	13 866	2 600
Tougoumé	2 773	1 213	6 933	3 033	13 866	6 066

(Source : enquête exploitations 2005)



**Tableau 14.** Nombre d'UBT utilisé sur la parcelle d'expérimentation et le nombre d'UBT correspondant sur un hectare au champ et leur durée en nuits de parcage (la durée de parcage sur un hectare allant de novembre à mai soit : 210 nuits environ).

Sites	Parcage bovins				Parcage petits ruminants			
	Parcelle élémentaire		Au champ		Parcelle élémentaire		Au champ	
	UBT/150m <sup>2</sup>	Durée (nuits)	UBT/ha	Durée de parcage (nuits)	UBT/150m <sup>2</sup>	Durée (nuits)	UBT/ha	Durée de parcage (nuits)
Koporo	20	10	<b>63</b>	210	3	10	<b>10</b>	210
Madiama	16	10	<b>51</b>	210	3	10	<b>10</b>	210
Doucombo	16	10	<b>51</b>	210	7	10	<b>22</b>	210
<b>Moyenne</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>57</b>	<b>210</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>210</b>
Koporo	20	5	<b>32</b>	210	3	5	<b>5</b>	210
Madiama	16	5	<b>25</b>	210	3	5	<b>5</b>	210
Doucombo	16	5	<b>25</b>	210	7	5	<b>11</b>	210
<b>Moyenne</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>29</b>	<b>210</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>210</b>
Koporo	20	2	<b>13</b>	210	3	2	<b>2</b>	210
Madiama	16	2	<b>10</b>	210	3	2	<b>2</b>	210
Doucombo	16	2	<b>10</b>	210	7	2	<b>4</b>	210
<b>Moyenne</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>210</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>210</b>

(Source : enquête exploitations 2005)

### 3.3.2.8. Calcul du bilan théorique des éléments nutritifs

Le bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol a été établi seulement dans le cas de Koporo en compte tenu du coût des analyses de sol et de plante.

- **Les entrées dans le système sol - plante sont constituées par :**

- les apports organiques : fumier, résidus des cultures ;
- les engrais minéraux ;
- les apports naturels par les eaux de pluies, les poussières atmosphériques ;
- la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par les légumineuses.

Les quantités d'éléments minéraux atmosphériques dépendent de l'époque de la prise d'échantillons. Elles sont très variables et généralement très faibles pour P et K ; celles de N peuvent être plus ou moins importantes mais très fluctuantes. La quantité d'azote dans l'eau des pluies au Sahel a été estimée à 0,0065kg.ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Krul et al. 1982). Dans la zone d'étude, cela correspond environ à 2 à 4kg.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup>. Les apports atmosphériques de P et K sont faibles en valeurs absolues pour constituer des intrants ayant un impact notable. La fixation symbiotique de l'azote sera estimée dans le cas du niébé en rotation et en association pour apprécier sa contribution à l'enrichissement du sol en azote (et son effet sur les rendements). Les bilans établis dans cette étude prendront seulement en considération les apports résultant du fumier, des résidus des cultures, des engrais chimiques et de la fixation symbiotique de l'azote. Les apports naturels très faibles, sont déposés sur toutes les parcelles, les témoins comme les parcelles traitées ; ils ne seront donc pas une source de différences dans la production des cultures.

• **Les pertes du système sol/plante**

Les pertes du système sol/plante sont constituées par :

- les exportations des cultures ;
- la lixiviation (éléments entraînés hors de la zone d'extraction des racines) ;
- les pertes de terre par l'érosion ;
- les pertes d'éléments minéraux par les eaux de ruissellement ;
- la volatilisation ammoniacale et la dénitrification dans le cas de l'azote.

Les pertes peuvent être importantes à la surface du sol par érosion et ruissellement. Il faut de ce fait un contrôle strict de l'érosion. Dans le cas présent, le billonnage est effectué pour réduire l'impact négatif de l'érosion et amoindrir le ruissellement. Le drainage sera considéré comme faible pour le phosphore et le potassium, mais élevé pour N. Pour ce dernier, une vérification sera faite lorsqu'une quantité élevée de fumier aura été appliquée. Bien que tous ou plusieurs de ces processus puissent se manifester au cours des tests, les calculs seront basés sur les exportations des cultures (grains et paille) pour l'établissement des bilans minéraux. Les résultats de ces bilans (positifs, équilibrés ou négatifs) permettront de se prononcer sur le caractère durable ou non du système testé. Pour l'établissement du bilan, il a été retenu les valeurs de la distribution de l'azote, du phosphore et du potassium entre les différents processus, pour les divers types de sol de la 5<sup>ème</sup> Région du Mali suivant leur application pour des cultures sous pluie (Cissé et al, 1990). Pour cette étude, le sol de type B1 (Sable) rencontré à Kopro pen a été retenu et la distribution de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O est indiquée dans le Tableau 15.

**Tableau 15.** Distribution de l'azote, du phosphore et du potassium entre les différents processus, pour le type de sol B1 en 5<sup>ème</sup> région.

Processus de distribution de l'Azote	Sol B1	Processus de distribution du Phosphore	Sol B1	Processus de distribution du Potassium	Sol B1
Incorporation	0,30	Incorporation	0,30	Incorporation	0,15
Volatilisation	0,05	Fixation	0,30	Fixation	0,15
Dénitrification	0,10	Résidu	0,20	Absorption végétale	0,50
Absorption végétale	0,40	Absorption végétale	0,20	Autres	0,20
Autres	0,15				

(Source : Duivenbooden 1996)

**3.3.3. Calcul des besoins nutritifs du mil par application du modèle**

La procédure de calcul des besoins en éléments nutritifs (Duivenbooden 1996) permet de calculer les besoins annuels en fertilisant et en fumier de manière ciblée, c'est-à-dire, sur la base de rendements cibles déterminés de façon exogène. Dans la mesure où dans certains systèmes de productions aucun de ces intrants n'est appliqué, la pratique de la jachère est utilisée pour maintenir la fertilité du sol.

Les calculs sont basés sur la dynamique des éléments nutritifs dans le cadre du système de production (Figure 12). En partant de la droite, cette figure représente les intrants possibles d'éléments nutritifs pour le sol. Ces substances nutritives proviennent de fumier de concession (6), de fertilisant inorganique (5) et de diverses sources naturelles : pluie, poussière, écoulement, inondation fluviale, eau d'irrigation et micro-organismes (4). De surcroît, les éléments nutritifs deviennent disponibles par le biais de la minéralisation de la matière organique du sol (10). A l'intérieur du sol, ces éléments sont soumis à des processus divers, à savoir : absorption par la

culture (1), perte par érosion et ruissellement pluvial (2) ou autres pertes, volatilisation et fixation irréversible ou intégration à la matière organique ancienne du sol (3). Au niveau des cultures de légumineuses, la fixation d'azote (9) contribue à approvisionner la culture. Au sein de cette dernière, les éléments nutritifs sont répartis entre le produit commercialisable (en conséquence : exporté en totalité à partir du champ), les racines et le chaume ainsi que les résidus de culture. Les éléments nutritifs issus de résidus de culture peuvent retourner à partir du champ par le biais des animaux (6). L'incorporation de la biomasse à l'intérieur du sol (7) et le brûlage (8) sont donc les deux dernières sources d'éléments nutritifs.

La définition de la durabilité exprimée en termes d'éléments nutritifs, implique que la totalité des éléments nutritifs absorbés par les cultures et perdus à partir du système par le ruissellement pluvial superficiel, l'érosion et d'autres processus, doit être assurée en totalité par les intrants issus de sources naturelles et de sources extérieures. La procédure se limite à l'azote (N), au phosphore (P) et au potassium (K). Sauf indication contraire, les rendements et les concentrations se font sur la base du poids sec. Trois systèmes de culture ont été déterminés : (i) extensif, (ii) semi intensif et (iii) intensif. L'extensif fait référence aux techniques de production sans aucun fertilisant inorganique extérieur. L'intensif fait référence aux techniques intégrant des niveaux élevés d'intrants, et la semi intensif renvoie aux niveaux intermédiaires. De surcroît, les systèmes intensifs intègrent un degré élevé de pratiques novatrices. L'application du fumier de ferme est considérée comme extensif parce qu'elle fait référence à un transfert de fertilité sur une surface donnée. La mise en jachère peut être interprétée comme un transfert de terres cultivables environnant les pâturages, et l'application du fumier comme un transfert de la fertilité des terres arables, en faisant exploiter les pâturages environnants par des animaux comprennent les étapes suivantes :

- les types de sols correspondants sont caractérisés et l'on définit la durabilité exprimée en termes d'éléments nutritifs ;
- le rendement cible et la distribution de biomasse parmi les différents organes de la plante, ceci par rapport au type de sol.

La multiplication des composantes de la biomasse avec leurs concentrations respectives d'éléments nutritifs donne le taux requis : c'est-à-dire l'absorption totale des éléments nutritifs. On quantifie ensuite les diverses sources de substances nutritives, et on calcule enfin la quantité requise de fumier de ferme et/ou de fertilisant inorganique, ou la durée de la période de jachère suivant le programme du modèle en annexes.

### **3.3.4. Elaboration de schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal sahélien.**

Dans le contexte actuel de la décentralisation au Mali, les programmes de développement accordent une importance particulière à l'approche « gestion de terroir villageois ou communal ». Les Programmes de Développement Social et Economique de la commune et tous les plans d'actions environnementaux doivent prendre désormais en compte l'échelle du terroir communal et de ses décideurs, l'élaboration d'un schéma de gestion durable des ressources naturelles en vue d'aboutir à un véritable développement. La démarche est expliquée dans le processus qui aboutit au schéma.

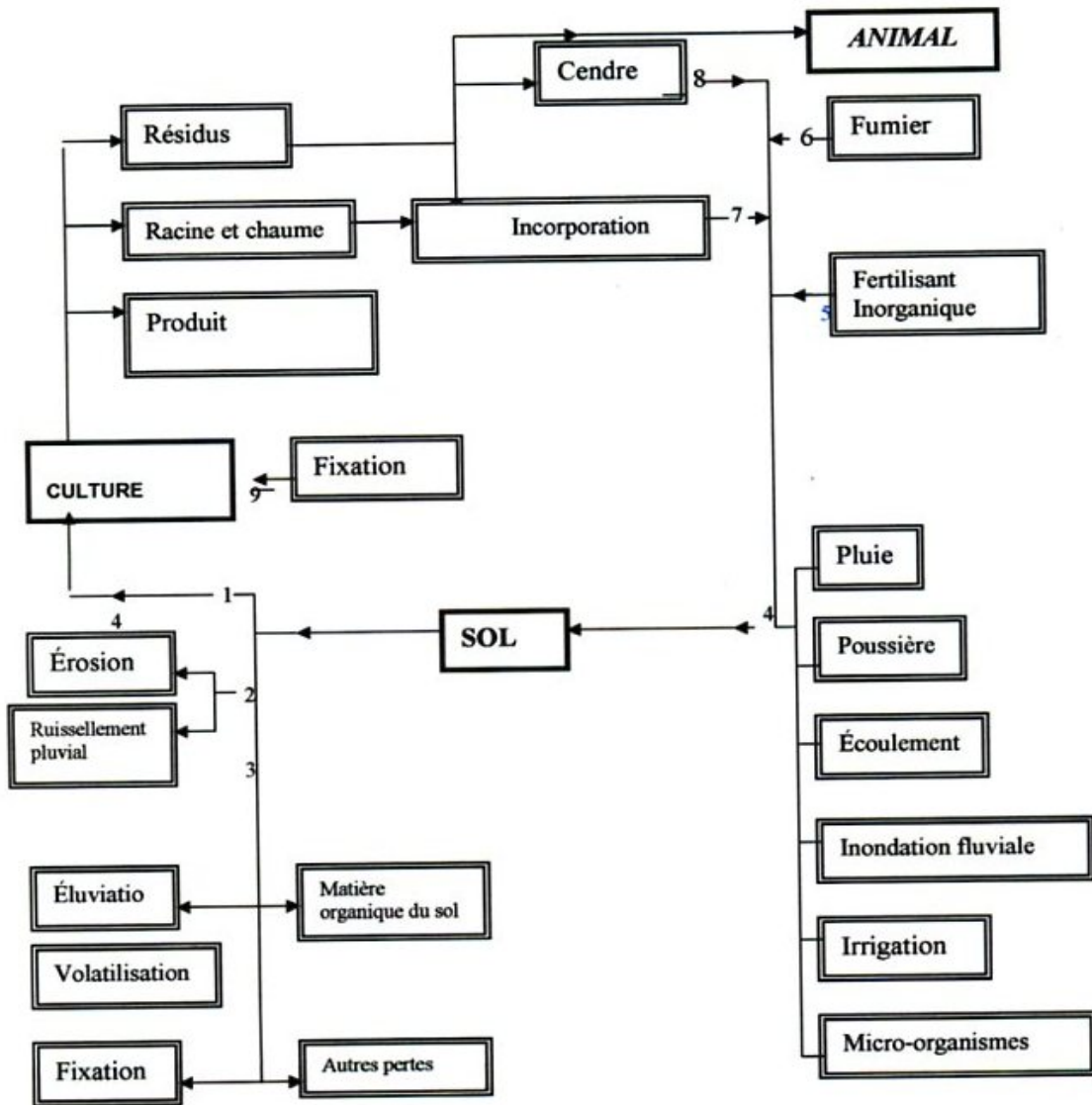


Figure 12. Schéma de la dynamique des macro éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium) au sein du système de production (Duivenbooden., 1996)

## **4. RESULTATS ET DISCUSSION**

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1. Typologie des exploitations de trois communes rurales de la région de Mopti

#### 4.1.1 Caractéristiques des ressources et typologie des exploitations des communes étudiées

Dans les communes étudiées les caractéristiques essentielles concernent les disponibilités en main d'œuvre, en terre, en cheptel, en équipement, les productions des principales cultures telles que le mil, le sorgho, le niébé et l'arachide. L'analyse du mode de distribution de chacune des variables liées aux ressources au sein de la population, a donné les résultats suivants :

##### 4.1.1.1 Ressources humaines au niveau des exploitations

Les ressources humaines dont il est question dans cette étude se rapportent au nombre d'actifs hommes et femmes ainsi qu'aux membres non actifs. La commune de Doucombo présente l'effectif le plus élevé, suivie de la commune de Koporo pen (Tableau 16). Le nombre moyen d'actifs en hommes est presque le même que celui des femmes dans les communes de Koporo pen et de Madiama ce qui traduit une participation accrue des femmes aux activités de production agricole. Le nombre de consommateurs à la charge d'un actif ou taux d'activité au niveau de l'exploitation ou ratio de consommateurs/producteurs est en moyenne de 2 personnes à Koporo pen, de 1,94 personnes à Doucombo et de 1,73 personnes à Madiama.

**Tableau 16.** Ressources humaines des exploitations enquêtées des communes rurales étudiées

Communes	Koporo pen		Madiama		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Actif homme	6	3,50	4	2,3	10	7,53
Actif femme	5	3,69	4	2,3	8	5,58
Actif total	11	6,71	8	4,2	18	13,11
Taille	22	13,25	12	7,5	35	22,47

(Source : enquête exploitations 2005)

Dans les trois communes, il existe au niveau de l'exploitation deux types de mains d'œuvre pour les activités : la main d'œuvre familiale et la main d'œuvre extérieure. Cette main d'œuvre extérieure peut être temporaire, semi permanente ou permanente. Deux cas de figure peuvent se présenter. Le recours peut être fait à la main d'œuvre salariée en général ou à une association de travail dans le cadre de l'entraide mutuelle. Dans la commune, le salariat existe sous deux formes : la forme temporaire et la forme permanente. La main d'œuvre temporaire est sollicitée pour un travail précis et le nombre de personnes varie selon les besoins de l'exploitation pendant les périodes de pointe et ses capacités de financement. Sa rémunération varie selon que l'on est en période de forte ou de faible demande. Par contre, une exploitation disposant de moyens suffisants peut procéder à un recrutement pour une période plus ou moins longue. Il ressort des résultats d'enquête, que le salariat semi permanent existe dans la zone depuis un certain nombre d'années. Il dure de 1 à 10 mois selon un accord mutuellement consenti entre les deux parties. Le paiement fait en espèces ou en nature. Le paiement en espèces est estimé de 750 à 1000FCFA par jour et le paiement en nature qui varie surtout à Madiama selon la surface à cultiver, d'un bœuf pour 7mois d'activités, à une génisse pour 10 mois. En plus de cette rémunération payée à la fin du contrat, l'employé est pris en charge du point de vue logement et alimentation par son employeur. Les tâches varient selon les exploitations. Elles vont des travaux d'élevage (conduite

et entretien du troupeau) à la participation aux activités de culture et aux travaux domestiques (corvées d'eau, de bois).

#### **4.1.1.2. Disponibilités en terre**

Le mil occupe la plus grande superficie de l'exploitation dans l'échantillon d'enquête comme indiqué dans le Tableau 17. Il couvre en moyenne 58,05 % de la superficie totale cultivée dans la commune de Kopro pen, 46,45% dans la commune de Madiama, et 43,12% dans celle de Doucombo. Le mil est suivi des légumineuses avec 23,6% à Kopro pen et 37,75% à Doucombo. Par contre, dans la commune de Madiama les légumineuses occupent seulement 7,08% des terres cultivées et c'est plutôt le sorgho qui occupe la deuxième place après le mil avec 23,22%. La culture des légumineuses est plus pratiquée dans le Séno et le plateau Dogon que dans le Delta Central du Niger. Quant au riz, il est exclusivement cultivé dans le Delta et occupe 23,22% des terres cultivées. Dans la commune de Kopro, le mil est la culture la plus fréquente où il est présent dans 100% des exploitations, avec seulement 6% pour le sorgho. Les légumineuses occupent d'une façon générale 23,62% (avec 98% pour le niébé et 48% pour l'arachide). La superficie moyenne de la jachère est de 4,55ha et 36% des unités de production enquêtées pratiquent la jachère avec une durée moyenne de 3 ans. Dans la commune de Madiama le mil et le riz sont les cultures les plus fréquentes. La superficie moyenne de la jachère est d'environ 1,3ha et 63% des unités de production enquêtées n'ont pas de jachère. La durée moyenne de la jachère est d'environ 2ans. Cela démontre que cette pratique est en régression dans cette commune. Dans la commune rurale de Doucombo c'est le mil, qui est la culture la plus fréquente, il est présent dans 100% des exploitations. La superficie moyenne de la jachère est d'environ 2,6ha et 50% des exploitations enquêtées n'ont pas de jachère. La durée moyenne de la jachère est d'environ 6 ans.

**Tableau 17.** Disponibilités et utilisation des terres (en hectares) par unité de production des communes étudiées

Communes	Kopro pen		Madiama		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Superficies en ha						
Mil	5,80	4,33	4	2,3	4,45	2,00
Sorgho	1,83	0,76	2	1,6	2,18	1,05
Riz	-	-	2	1,7	-	-
Niébé	1,40	0,84	0,31	0,5	1,29	0,98
Arachide	0,96	0,72	0,30	0,5	2,40	1,60
Jachère	4,55	4,22	1,31	1,9	2,66	1,99

(Source : enquête exploitations 2005)

#### **4.1.1.3. Cheptel**

Les effectifs du cheptel sont plus élevés dans la commune rurale de Kopro, suivie de la commune rurale de Doucombo et celle de Madiama (Tableau 18). Les bovins représentent 90,03% du cheptel en UBT, de la commune rurale de Kopro pen, et 91,51% de celle de Doucombo. Tandis que dans la commune de Madiama, il est de 80%. Dans toutes les communes, plus de la moitié des exploitations possèdent des petits ruminants, avec un effectif moyen de 4, les 15% des exploitations ne possèdent pas de bœufs et 3% n'ont aucun animal.

**Tableau 18.** Effectifs du cheptel par exploitation des communes étudiées

Communes	Koporo pen		Madiama		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Ressources animales						
Bœufs	5,48	7,08	3	2,1	3,68	2,26
Vaches	15,5	15,7	1	3	14,78	9,93
Veaux	6,75	7,64	0	0	7,33	5,5
Ovins	11,16	9,89	4	5,3	9,11	6,55
Caprin	13,41	11,62	4	5,5	10,03	6,51

(Source : enquête exploitations 2005)

Dans toutes les communes les parcs sont généralement fixes et individuels et situés dans les concessions. Il existe également des parcs mobiles qui regroupent les animaux de quartier, de quelques grandes familles. Les bovins qui en constituent l'essentiel sont confiés à un berger peuhl. Les petits ruminants sont parqués dans les exploitations ou attachés au piquet. Pour les parcs mobiles les animaux séjournent dans les champs des propriétaires à proximité du village. La production de fumier revient généralement au propriétaire du parc.

#### 4.1.1.4. Equipement

Le Tableau 19 indique la disponibilité en équipements par exploitation des communes rurales étudiées. Les charrettes constituent le moyen de transport le plus courant. On distingue les charrettes asines et les charrettes équinées, le type dominant était la charrette asine à deux roues. Dans la commune rurale de Koporo pen, 92% des exploitations possèdent au moins une charrette, et 38% n'en possèdent qu'une seule. 32% en possèdent deux et 22% plus de deux. En ce qui concerne la charrue, 4% des exploitations enquêtées n'en possèdent pas, 20% n'en possèdent qu'une seule et 76% possèdent au moins deux charrues. 8% des exploitations enquêtées ne possèdent pas d'animaux de trait, 20% n'en possèdent qu'un seul, 28% en possèdent deux. Dans la commune rurale de Madiama, 8,5% des exploitations ne possèdent pas de charrette, 91,5% possèdent au moins une charrette. Dans la commune de Doucombo, 8% des exploitations ne possèdent pas de charrettes, et 46% n'en possèdent qu'une seule, 30% possèdent deux charrettes et 16% plus de deux. En ce qui concerne la charrue, 22% des exploitations enquêtées n'en possèdent pas, 32% n'en possèdent qu'une seule et 46% possèdent au moins deux charrues. 26% des exploitations enquêtées ne possèdent pas d'animaux de trait, 16% n'en possèdent qu'un seul, 18% en possèdent deux.

**Tableau 19.** Disponibilités en équipements par exploitation des communes étudiées.

Communes	Koporo pen		Madiama.		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Equipements						
Charrue	2,22	1,09	1	0,6	1,58	1,37
Charrette	1,76	1,08	1	0,6	1,68	1,22
Animaux de trait	2,68	1,87	3	2,2	2,60	2,52
Ratio Equipement/Actifs	0,36	0,24	0,16	0,11	0,11	0,06
Ratio Equipement/Superficie	0,36	0,24	0,13	0,07	0,31	0,20

(Source : enquête exploitations 2005)



#### 4.1.1.5. Rendement des cultures

Les récoltes de mil et de sorgho se situent au mois de novembre, celles du niébé et de l'arachide en octobre dans l'ensemble des communes étudiées de la région de Mopti. En 2005, dans la commune rurale de Koporo pen le rendement moyen du mil a été de 592,68kg.ha<sup>-1</sup>, celui du sorgho de 583,33kg.ha<sup>-1</sup> (Tableau 20). Le niébé et l'arachide ont respectivement un rendement moyen de 245,27kg.ha<sup>-1</sup> et de 295,13kg.ha<sup>-1</sup>. Ces bas rendements résultent d'une pluviométrie déficitaire de l'année où les enquêtes ont été effectuées. La production moyenne en mil par exploitation étant 3505,36kg. Dans la commune rurale de Madiama le rendement moyen de mil est de 663kg.ha<sup>-1</sup>, celui du sorgho est de 491kg.ha<sup>-1</sup>. Le riz présente un rendement moyen de 482kg.ha<sup>-1</sup>. Les légumineuses donnent des rendements moyens inférieurs à ceux de la commune rurale de Koporo pen soit 94kg.ha<sup>-1</sup> pour le niébé, et 128kg.ha<sup>-1</sup> pour l'arachide. Dans la commune rurale de Doucombo le rendement moyen de mil est de 457,35kg.ha<sup>-1</sup>, et 313,16kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho. Le niébé a un rendement moyen de 146,40kg.ha<sup>-1</sup>, quant à l'arachide le rendement moyen est de 223,42kg.ha<sup>-1</sup>. La production moyenne en céréales (mil, sorgho) par exploitation étant de 2276kg, la quantité moyenne par personne revient à 79,31kg.

**Tableau 20.** Rendements moyens (en kg.ha<sup>-1</sup>) des cultures dans les communes étudiées.

Communes \ Rendement	Koporo pen		Madiama		Doucombo.	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Mil	592,68	142,62	663	379,7	457,35	263,31
Sorgho	583,33	425,25	491	413,0	313,16	310,99
Riz	-	-	482	356,8		
Niébé	245,26	151,81	94	156,1	146,40	112,61
Arachide	295,12	161,48	128	239,0	223,42	222,84

(Source : enquête exploitations 2005)

#### 4.1.1.6. Production de paille

Le Tableau 21 montre que le mil fournit la plus grande quantité de paille, cela est lié non seulement à leur rapport paille/grains élevé mais aussi à l'importance des superficies occupées dans le système de culture. En effet, la paille de mil à Koporo pen représente 76,35% de la quantité totale de résidus de récolte, 81% à Madiama et 84,76% à Doucombo.

**Tableau 21.** Productions en résidus de récolte par exploitation (en kg) des communes étudiées.

Communes \ Paille ou fane	Koporo pen		Madiama		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Mil	14268,16	11036,46	9812	7410,9	7750,00	6869,16
Sorgho	2800,00	1808,31	3135	3316,9	2033,64	1818,92
Riz paddy	-	-	5508	4550,5	-	-
Niébé	836,32	527,94	153	239,6	530,00	633,22
Arachide	781,25	930,00	206	306,9	1228,27	914,70

(Source : enquête exploitations 2005)

#### 4.1.1.7. Distance

Les champs de mil, de sorgho, de niébé et d'arachide sont situés en moyenne dans un rayon de 2 à 3km des villages, tandis les champs de sorgho et de riz même moins nombreux sont les plus éloignés. L'éloignement des champs du village (Tableau 22) peut contribuer à l'explication du comportement des exploitants en ce qui concerne, la conduite des animaux pour pâturer au champ, et le transport des résidus et du fumier au niveau de l'exploitation.

**Tableau 22.** Distances moyennes des champs de culture (en km) aux villages des communes étudiées.

Communes	Koporo pen		Madiama		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart type
Mil	2,41	1,54	2,3	1,9	3,82	2,51
Sorgho	5,33	2,88	2,4	1,9	3,39	2,07
Riz	-	-	5,2	3,4		
Niébé	2,43	1,49	1,6	1,10	1,79	1,43
Arachide	2,00	1,38	2,3	2,05	2,19	1,71

(Source : enquête exploitations 2005)

#### 4.1.1.8. Utilisation des résidus de récolte

Dans l'ensemble des communes étudiées les résidus de culture ont deux destinées : une partie est transportée du champ à l'exploitation et la seconde est laissée au champ. La grande partie des résidus transportée au niveau de l'exploitation est utilisée comme fourrage pour la saison sèche, période de manque de pâturage. Les résidus sont également utilisés dans la construction et comme combustible (Tableau 23). Après les récoltes, les champs constituent un pâturage potentiel compte tenu de l'importance de la quantité de résidus. Les pailles de mil sont transportées à l'enclos, pour servir de fourrage.

Dans la commune rurale de Koporo pen les résidus de culture transportés du champ à la concession représentent 25,81% pour le mil, 100% pour le sorgho, le niébé et l'arachide. La partie laissée au champ était constituée essentiellement de pailles de mil. Pour les pâtures de ces résidus au champ, rien n'est donné aux paysans en retour par les bergers, qui y passent. Les animaux qui pâturent, selon 86,48% des exploitations appartiennent aux propriétaires des champs et à d'autres personnes venant des autres villages. Le brûlage et l'enfouissement des résidus au champ concernent respectivement 1,75% et 3,56% des exploitations enquêtées et se font en mai et juin. 62% des exploitations enquêtées affirment avoir reçu des formations par les agents des ONG et des services techniques sur l'utilisation des résidus de récolte, et les techniques de conservation des résidus. 80% de ce taux affirment mettre en application leur connaissance. Par contre, le manque d'eau et de moyen matériel sont les raisons de la non application de ces techniques pour 20% des exploitations. Dans 24% des exploitations, on signale la vente de résidus de mil, arachide, et de niébé dans les localités comme Koporo, Guéourou, Berely aux prix de 400FCFA le tas, 2000FCFA la botte et 250FCFA la charretée et ces prix varient selon le type de résidu et la période. 14% des exploitations affirment acheter des résidus hors de la commune.

De même dans la commune rurale de Madiama une partie de cette production est transportée au niveau de la concession et elle est utilisée d'une part comme fourrage (63%) pour animaux à la

ferme, soit 23%, à la réparation des toits des hangars 8%, à la combustion 2% pour la cuisine et la préparation de la potasse, d'autre part, le reste des résidus laissé au champs est, soit pâturé (53%), soit brûlé (8%) ou enfouis au champ (6%). Au niveau des exploitations enquêtées 70% n'utilisent pas le mil comme fourrage à la ferme et 11% utilisent une quantité inférieure à une tonne. Seulement 4% utilisent les résidus de mil pour la combustion, 20% pour la construction. Quant aux résidus de mil laissés au champ 85% les laissent pâturer en début de saison pluvieuse, 33% des exploitations enfouissent les résidus, et 37% les brûlent.

Dans la commune rurale de Doucombo 65,2% de résidus de mil, 78% de résidus de sorgho et la totalité des fanes de niébé et d'arachide sont transportés du champ à la concession pour servir d'une part comme fourrage pour animaux soit 60,3%, et à la réparation des toits des hangars (1,72%), à la combustion et les 3,19% pour la cuisine. D'autre part les restes des résidus laissés au champ sont soit pâturés 26,77%, soit brûlés 2,5% ou enfouis 5,52% au champ. Au niveau des exploitations enquêtées, 98% utilisent la paille de mil comme fourrage à la concession. La partie des résidus qui reste au champ est pâturée selon 86,48% des exploitations par des animaux qui appartiennent aux propriétaires des champs et à d'autres personnes venant des autres villages. 2,5% des exploitations pratiquent le brûlage et 5,52% l'enfouissement des résidus au champ en mai et juin. 88% des exploitations enquêtées affirment avoir reçu des formations par les agents des dits services concernant l'utilisation des résidus de récolte comme litière, les techniques de conservation des résidus, et les techniques de compostage.

**Tableau 23.** Différentes formes d'utilisation des résidus de récolte en pourcentage des communes étudiées.

Communes	Koporo pen		Madiama			Doucombo	
	Mil	Sorgho	Mil	Sorgho	Riz	Mil	Sorgho
fourrage à la ferme	20,88	100	25	60	17	60,3	71,77
Combustible à la ferme	4,40	0	2	0	0	3,19	0,68
Construction à la ferme	3,73	0	8	23	0	1,72	7,55
Paille pâturée au champ	61,01	0	53	13	66	26,77	18,77
Paille enfouie au champ	3,56	0	6	2	7	5,52	0,20
Paille brûlée au champ	1,75	0	8	2	10	2,5	1,13

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Utilisation de la paille de mil**

Dans la commune rurale de Koporo pen la production moyenne de paille de mil par exploitation a été estimée à 14268,16kg. 96% des exploitations enquêtées utilisent la paille de mil comme fourrage à la concession. Une analyse de régression a montré, que seules les superficies influent positivement sur l'exportation des résidus de mil à la ferme (Tableau 24). Le modèle est très significatif au seuil de 5% pour les superficies. Dans la commune rurale de Madiama, la quantité moyenne de paille de mil produite par exploitation a été estimée à 9812kg. L'analyse de régression montre que la disponibilité en actifs et en superficie cultivée de l'exploitation influent positivement sur l'exportation des résidus de mil à la concession. Le modèle est significatif au seuil de 1%. Dans la commune rurale de Doucombo la production moyenne de paille de mil par exploitation a été estimée à 7750kg. L'analyse de régression montre que seules les superficies influent positivement sur l'exportation des résidus de mil à la concession. Le modèle est significatif au seuil de 1% pour les superficies.

\* <sup>1</sup> L'équation de la courbe de régression est de la forme  $Y=B+TX$  et (**B** = constante et **T** = le coefficient de la variable X).

**Tableau 24.** Analyse de régression : ressources et structure et le stockage de résidus de mil à la ferme dans les communes étudiées.

<b>Communes</b>	<b>Variables</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>Signification</b>
<b>Koporo pen</b>	(constante)	807,212	1,052	0,299
	Actif total	- 46,923	- 0,653	0,517
	Superficie mil	570,687	5,332	0,000
<b>Madiama</b>	(constante)	-1186,649	-2,568	0,012
	Actif total	156,341	3,539	0,001
	Superficie mil	226,728	2,871	0,005
<b>Doucombo</b>	(constante)	-2548,037	-1,002	0,322
	Actif total	25,466	0,316	0,754
	Superficie mil	1727,863	3,494	0,001

(Source : enquête exploitations 2005)

Les analyses ont montré (Tableau 25) en ce qui concerne les ressources en actif de l'exploitation et l'enfouissement des résidus de mil qu'ils n'ont pas d'influence significative sur l'enfouissement des résidus de mil au champ, le modèle dans les deux cas est non significatif au seuil de 5% et indique que l'enfouissement des résidus au champ n'est pas une pratique importante dans les communes rurales de Koporo pen et de Doucombo. Par contre dans la commune rurale de Madiama, le modèle est significatif au seuil de 5%. Il indique que la disponibilité en actif de l'exploitation influe positivement sur l'enfouissement des résidus de mil au champ.

**Tableau 25.** Analyse de régression : actif et l'enfouissement des résidus de mil au champ dans les communes rurales étudiées

<b>Communes</b>	<b>Variables</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>Signification</b>
<b>Koporo pen</b>	(constante)	159,250	0,133	0,906
	Actif total	82,250	1,235	0,342
<b>Madiama</b>	(constante)	-395,938	-2,021	0,047
	Actif total	86,607	3,909	0,000
<b>Doucombo</b>	(constante)	930,366	4,615	0,000
	Actif total	-7,102	-0,842	0,407

(Source : enquête exploitations 2005)

Le Tableau 26 indique que dans les communes rurales de Koporo pen et de Doucombo, la disponibilité en charrettes et la distance des champs au village n'ont aucune influence significative sur la pâture des résidus de mil au champ. Par contre, dans la commune rurale de Madiama l'équipement en charrettes, la superficie, et la distance des champs au village ont une influence significative sur la pâture des résidus de mil au champ. Le modèle est significatif au seuil de 1%. Cependant, dans la commune de Doucombo, la superficie des champs de mil n'a aucune influence significative sur la pâture des résidus de mil au champ. Le modèle est significatif au seuil de 5%.

**Tableau 26.** Analyse de régression : ressources et structure et la pâture des résidus de mil au champ dans les communes étudiées.

<b>Communes</b>	<b>Variables</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>Signification</b>
<b>Koporo pen</b>	(constante)	591,846	0,506	0,616
	Charrette	-331,161	-0,654	0,517
	Distance champ de mil	-0,222	-0,695	0,491
	Superficie mil	1 986,348	15,987	0,000
<b>Madiama</b>	(constante)	-2104,26	-3,711	0,000
	Charrette	993,23	3,990	0,000
	Distance champ de mil	420,50	3,158	0,002
	Superficie mil	154,42	2,542	0,013
<b>Doucombo</b>	(constante)	3404,942	1,268	0,231
	Charrette	569,283	-0,496	0,630
	Distance champ de mil	0,109	0,300	0,770
	Superficie mil	258,734	-0,565	0,583

(Source : enquête exploitations 2005)

Le Tableau 27 indique que la disponibilité en cheptel, en superficie, et la distance des champs au village, dans la commune rurale de Doucombo n'ont aucune influence significative sur la pâture des résidus de mil au champ.

**Tableau 27.** Analyse de régression : ressources et structure et la pâture des résidus de mil au champ dans les communes étudiées.

<b>Communes</b>	<b>Variables</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>Signification</b>
<b>Koporo pen</b>	(constante)	311,180	0,316	0,753
	Superficie mil	1948,419	17,131	0,000
	Cheptel total	-206,286	-0,794	0,432
	Distance des champs	-0,166	-0,510	0,613
<b>Madiama</b>	(constante)	4659,2	3,242	0,002
	Superficie mil	795,1	3,272	0,002
	Cheptel total	173,6	3,312	0,001
	Distance des champs	-439,5	-3,082	0,003
<b>Doucombo</b>	(constante)	612,285	2,055	0,054
	Superficie mil	43,265	0,744	0,466
	Cheptel total	-12,114	-1,117	0,278
	Distance des champs	1,02	-0,575	0,572

(Source : enquête exploitations 2005)

Dans la commune de Koporo pen seules, les superficies cultivées de l'exploitation ont une influence sur la pâture des résidus aux champs, le modèle est très significatif au seuil de 5%. Par contre dans la commune rurale de Madiama la disponibilité en cheptel, les superficies cultivées, et la distance des champs de riz au village influent positivement sur la pâture des résidus de mil au champ. Le modèle est significatif au seuil de 5%.

- **Utilisation de la paille de Sorgho**

Dans les trois communes la paille de sorgho constitue une source fourragère pour les animaux. La paille de sorgho participe pour 14,98% dans la production totale de la commune de Koporo pen, 74,56% de la production totale de la commune de Madiama et 71,77% de la production totale à Doucombo. L'analyse de régression (Tableau 28) indique que le modèle est significatif au seuil de 5%, et que la disponibilité en superficie de l'exploitation influe positivement sur le stockage de résidus de sorgho à la ferme, par contre il est non significatif au seuil de 5% pour la disponibilité en équipement. En effet la disponibilité en équipement ne justifie pas la variation observée entre les exploitations pour ce qui concerne le stockage de résidus à la concession.

**Tableau 28.** Analyse de régression ressources et structure : charrette et superficie de sorgho et le stockage des résidus de sorgho à la concession dans les communes étudiées

Communes	Variables	B	T	Signification
Koporo pen	(constante)	-1039,05	-2,86	0,068
	Superficie du sorgho	2077,31	9,21	0,000
	Charrette	2104,53	2,67	0,211
Madiama	(constante)	-1039,05	-1,85	0,068
	Superficie du sorgho	1067,31	7,24	0,000
	Charrette	1103,33	2,55	0,013
Doucombo	(constante)	- 497,794	- 0,565	0,579
	Superficie du sorgho	904,470	2,507	0,022
	Charrette	210,464	0,712	0,426

(Source : enquête exploitations 2005)

Le transport des pailles de sorgho en vue de combler le déficit ultérieur des pâturages en fourrage, est très courant. Le Tableau 29 indique que la structure (superficie du sorgho) n'explique pas la variation observée entre les exploitations pour ce qui concerne la pâture des résidus de sorgho au champ avec un modèle non significatif au seuil de 5% pour les communes rurales de Koporo pen et de Doucombo. En revanche le modèle est très significatif au seuil de 5% pour la commune de Madiama

**Tableau 29.** Analyse de régression structure : superficie sorgho et la pâture des résidus de sorgho au champ dans les communes étudiées.

Variables	B	T	Signification
(constante)	-318,162	-2,013	0,278
Superficie de sorgho	321,056	4,713	0,123
(constante)	-418,572	-1,004	0,319
Superficie de sorgho	321,056	3,827	0,000
(constante)	355,939	0,591	0,569
Superficie de sorgho	280,210	1,210	0,257

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Utilisation de la paille de riz**

La riziculture est une activité rencontrée uniquement dans la commune rurale de Madiama. Dans cette commune, tout comme les pailles de mil et de sorgho, celle du riz a également un usage assez diversifié. Elle constitue d'abord une source fourragère pour les animaux. Ensuite, elle est recyclée par brûlage ou enfouissement au champ. Selon les résultats de l'enquête, la quantité

moyenne de paille produite est de 10309,68kg dont 77,89% sont pâturées au champ et 16,73% transportés comme fourrage à la concession. La partie enfouie est de 22,11 %. Les champs de riz situés dans la plaine inondable constituent les pâturages essentiels des animaux en saison sèche. Il est estimé qu'en moyenne 94,62% de la production en paille est consommée dans les champs. Selon nos résultats d'enquête, 97% des exploitations, laissent brouter la totalité ou une partie des pailles de riz au champ. Une partie importante de paille de riz laissée au champ joue un rôle non négligeable dans la survie du cheptel car elle sert à l'alimentation du cheptel de la commune en saison sèche. L'analyse de régression superficielle et le stockage de résidus de riz à la concession (Tableau 30) indique que la disponibilité en superficie de l'exploitation influe positivement sur le stockage de résidus de riz à la concession (le modèle est significatif au seuil de 5%).

**Tableau 30.** Analyse de régression structure et le stockage de résidus de riz aux concessions dans la commune rurale de Madiama

<b>Variabes</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>Signification</b>
(constante)	-249,813	-0,527	0,599
Superficie riz	389,370	2,664	0,009
Superficie sorgho	330,805	2,175	0,033

(Source : enquête exploitations 2005)

La disponibilité en superficie au niveau de l'exploitation influe positivement sur la pâture des résidus de riz au champ (le modèle est significatif au seuil de 5%) (Tableau 31).

**Tableau 31.** Analyse de régression structure et la pâture des résidus de riz au champ de la commune rurale de Madiama

<b>Variabes</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>Signification</b>
(constante)	-712,629	-0,440	0,661
Superficie riz	1432,846	6,170	0,000
Superficie mil	-556,439	-3,306	0,001
Superficie Arachide	2768,393	3,367	0,001
Distance champ mil	849,132	2,235	0,029

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Utilisation des fanes de niébé**

Les fanes de niébé servent exclusivement à l'alimentation du cheptel. Les enquêtes ont révélé qu'elles sont distribuées entre les animaux au niveau de la concession. Dans des conditions exceptionnelles (déficit de pluie), elles sont consommées aux champs et dans ce cas-ci, elles ne sont pas au préalable arrachées du sol. La vente a été rarement notifiée, que ce soit à l'intérieur du même village ou entre villages. La vente occupe la dernière position dans la stratégie d'utilisation du paysan. par le fait que presque toutes les unités de production sont à la fois des agriculteurs et des éleveurs. La production est même insuffisante pour couvrir les besoins des animaux des exploitations ont affirmée certains paysans. 100% de la production de fanes de niébé sont transportés à la concession pour une distribution ultérieure. Une analyse de régression indique que la superficie cultivée en niébé de l'exploitation a une influence sur le stockage des fanes de niébé à la ferme dans les communes de Koporo pen et de Madiama. Le modèle est très significatif au seuil de 5% (Tableau 32). Mais dans la commune de Doucombo le modèle n'est pas significatif et indique que la superficie cultivée en niébé de l'exploitation n'a aucune influence sur le stockage des fanes de niébé à la concession. Il a été constaté que les superficies cultivées en arachide n'ont également aucune influence sur le stockage de fane de niébé à la concession.

**Tableau 32.** Analyse de régression structure et le stockage de fanes de niébé à la concession dans les communes étudiées.

Communes	Variabiles	B	T	Signification
<b>Koporo pen</b>	(constante)	219,732	2,034	0,055
	Superficie Niébé	447,162	4,657	0,000
	Superficie Arachide	63,877	0,561	0,581
<b>Madiama.</b>	(constante)	20,865	0,729	0,468
	Superficie Niébé	253,800	5,441	0,000
	Superficie Arachide	111,496	2,400	0,019
<b>Doucombo</b>	(constante)	37,376	0,100	0,924
	Superficie Niébé	508,244	2,126	0,078
	Superficie Arachide	- 12,667	- 0,114	0,913

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Utilisation des fanes d'arachide**

Les exploitations des trois communes transportent la totalité des fanes d'arachide au niveau de la concession. Le Tableau 33 indique que le modèle est très significatif au seuil de 5% pour toutes les communes, c'est-à-dire que les superficies cultivées en arachide de l'exploitation influent positivement sur le stockage des fanes d'arachides à la ferme. De l'avis des paysans enquêtés, laisser pâturer les fanes et leur enfouissement au champ interviennent surtout lorsqu'un déficit hydrique survient au sol au cours de la campagne, et que le champ d'arachide en est fortement affecté, la production en grains aussi bien qu'en fanes est souvent si faible qu'elle ne justifie pas un transport des fanes. Par conséquent, le paysan ne se donne pas la peine de collecter les fanes qui sont ainsi abandonnées au champ, à la pâture libre des animaux.

**Tableau 33.** Analyse de régression structure et le stockage de fanes d'arachide à la ferme dans les communes étudiées.

Communes	Variabiles	B	T	Signification
<b>Koporo pen</b>	(constante)	-146,387	-0,661	0,088
	Superficie Arachide	957,561	5,177	0,000
<b>Madiama.</b>	(constante)	70,481	2,330	0,022
	Superficie Arachide	391,778	7,146	0,000
<b>Doucombo</b>	(constante)	509,37	1,779	0,088
	Superficie Arachide	299,062	2,995	0,006

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Contraintes à l'utilisation des résidus de récolte**

En ce qui concerne les contraintes dans l'utilisation des résidus à Koporo pen, il ressort de l'enquête que les contraintes les plus importantes sont l'équipement, 54% des exploitations, la distance 14%, le stockage 12% et enfin la main d'œuvre et le moyen financier 6% des exploitations. En plus de l'équipement signalé comme principale contrainte à Madiama, les autres contraintes sont : la main d'œuvre, la distance, le financement. La contrainte de main d'œuvre a été notifiée par 7% des exploitations. La distance ressort comme contrainte au transport dans 20% des cas en particulier pour les résidus de riz. Le manque d'animaux a été également évoqué dans 2% des cas. Les exploitations n'ayant pas de troupeau ne voient pas



l'utilité de transporter leurs résidus de culture. A Doucombo également il ressort comme contrainte la plus importante, l'équipement pour 44% des exploitations, cela s'explique par le fait que le transport utilise beaucoup plus les animaux que les charrettes à cause du relief de la zone. Les autres contraintes signalées sont la main d'œuvre dans 20% des exploitations, les difficultés de stockage 14%, La distance ressort comme contrainte au transport des résidus dans 12% des cas, les moyens financiers 8%, le manque d'animaux a été également évoqué dans 6 % des cas.

#### **4.1.1.9. Utilisation de la fumure**

Dans la commune rurale de Koporo pen les paysans utilisent la fumure organique provenant des animaux de leurs exploitations (Tableau 34). Le fumier est collecté pour 30% des exploitations à partir des concessions, 26% des lieux d'abreuvement, et 44% à partir des parcs. Le fumier est utilisé en totalité dans les champs de mil. En ce qui concerne la production du fumier, 40% des exploitations s'en occupent durant toute l'année, 32% pendant la saison froide, 22% pendant la saison sèche et 6% à des périodes indéterminées. 8% des exploitations affirment acheter du fumier à raison de 250FCFA la charretée. Le transport de fumier se fait pendant la saison sèche jusqu'à l'approche de la saison pluvieuse. Des pertes en proportions négligeables d'environ 4% ont été constatées lors du transport. Cette activité de transport entre en concurrence avec les activités de crépissage des maisons et greniers, des travaux de forge et autres. Le transport du fumier s'effectue par les charrettes et 8% des exploitations affirment louer des charrettes pour cette activité. Le fumier est déposé en tas peu distants les uns des autres de façon à couvrir tout le champ. L'épandage du fumier est effectué à l'approche de l'hivernage au moment des premières pluies au rythme des labours. Le fumier est apporté surtout aux champs communs, sur les sols pauvres appelés « *Sonson-no* » ou « *édié son-son* » ou « *Nion yandié* » chaque année pour 64% des exploitations et tous les deux (2) ans pour 36% des exploitations. Dans la commune rurale de Koporo pen, le parcage des animaux au champ pendant la nuit se fait toute l'année pour 42% des exploitations, pour 26% pendant la saison froide, pour 12% pendant la saison chaude et pour 10% pendant l'hivernage. La durée moyenne de parcage de nuit est de 14heures. Le fumier transporté est généralement un mélange produit à partir des bovins et des petits ruminants et même des ânes et des chevaux. La quantité de fumier varie d'une exploitation à une autre. La quantité moyenne de fumier disponible par hectare est de 4145kg. .

Dans la commune rurale de Madiama, les bovins sont mis en stabulation chaque soir, lorsqu'ils ne sont pas en transhumance pour éviter les vols. La durée de stabulation varie de 12 à 14heures. En raison de cette pratique, les animaux dépendent essentiellement des parcours naturels pour leur alimentation. De plus, une certaine quantité de son est distribuée aux animaux le matin et certains reçoivent une supplémentation composée de bourgou, de paille de mil ou de sorgho et d'aliments bétail pendant les périodes critiques de l'année. La quantité moyenne de fumier disponible est de 8326,03kg pour une superficie totale fumée de 13,12ha. Les pertes au cours du transport sont insignifiantes. Il est déposé en tas peu distants les uns des autres de façon à couvrir tout le champ. L'épandage est effectué au rythme des labours, ceci permettant d'enfourer directement le fumier. Lors du transport, 28% des exploitations enquêtées ont constaté des pertes négligeables, environ 1%. Le transport de fumier n'entre en concurrence avec aucune activité, il s'effectue par les charrettes, et la main d'œuvre utilisée est constituée en grande partie par les enfants.

Dans la commune rurale de Doucombo, les bovins sont mis également en stabulation chaque soir dans les champs proches du village pendant toute l'année pour 42% des exploitations, 30% pendant l'hivernage et 28% pendant la saison chaude. La durée de parcage de nuit est de 14heures. Les exploitations du village regroupent les animaux en un troupeau autour de ceux du chef de village pour la conduite au pâturage par un berger recruté pour cette tâche.

82% des exploitations de la commune apportent du fumier dans leur champ. La quantité de fumure organique varie d'une exploitation à une autre, elle est en moyenne de 961,25kg.ha<sup>-1</sup>. Le maximum disponible est de 3250kg. Le fumier transporté est déposé en tas dans les champs et son épandage est effectué à l'approche de l'hivernage.

Pour l'utilisation du fumier, les contraintes identifiées dans l'ensemble des communes sont le manque d'équipement pour le transport, la distance, la main d'œuvre et l'eau. La majorité des exploitations enquêtées (88%) pensent pouvoir accroître leur production de fumier si elles disposent d'équipements tels que charrettes, brouettes pour le transport des résidus des cultures et les herbes, et de petits matériels pour creuser des fosses pour compost. (La charretée de fumier est estimée à 250kg).

**Tableau 34.** Quantité moyenne de fumier en charretées apportées et superficie moyenne fumée par exploitation dans les communes étudiées

Communes	Koporo pen		Madiama.		Doucombo	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Quantité de fumier						
Quantité totale de fumier	49,66	31,806	23,84	28,12	20,42	17,429
Superficie totale fume	3,27	2,117	5,5	5,01	7,41	4,654
Quantité de fumier /ha Mil	16,58	7,378	9,24	9,59	3,876	3,2877
Quantité fumier /ha Sorgho	-	-	8,72	10,45	3,286	3,9857
Quantité de fumier /ha	-	-	8,96	9,19	3,845	3,300

(Source : enquête exploitations 2005)

Une analyse de régression montre que le modèle est significatif au seuil de 5%. Le Tableau 35 montre que les ressources humaines ont une influence positive sur le stockage de fumier au champ aussi bien à Koporo pen qu'à Madiama, mais dans la commune de Doucombo les actifs et les superficies cultivées de l'exploitation n'ont aucune influence sur le stockage de fumier au champ.

**Tableau 35.** Résultat d'analyse de régression actifs et superficie cultivée de l'exploitation et le stockage de fumier au champ des communes étudiées.

Communes	Variables	B	T	Signification
Koporo pen	(constante)	43,440	2,055	0,047
	Superficie totale	0,904	0,341	0,735
	Actif total	4,291	2,338	0,025
Madiama.	(constante)	8,537	1,384	0,171
	Superficie totale	1,889	3,120	0,003
	Actif total	-1,061	-2,159	0,034
Doucombo	(constante)	7,537	1,384	0,171
	Superficie totale	1,689	3,120	0,067
	Actif total	-1,061	-2,159	0,078

(Source : enquête exploitations 2005)

#### 4.1.2. Typologie des exploitations agricoles des communes étudiées

##### 4.1.2.1. Les types d'exploitations agricoles des communes étudiées

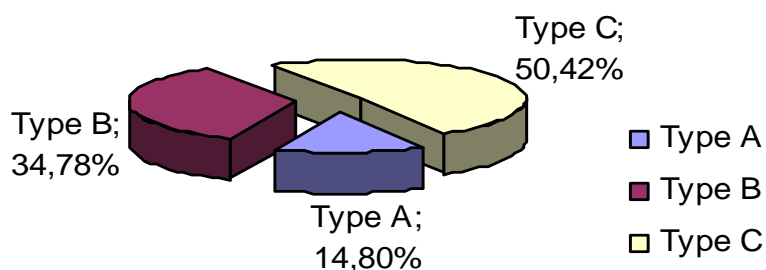
Trois types d'exploitations agricoles ont été dégagés à partir des critères suivants : Actif, charrette, animaux de trait, superficie cultivée, cheptel total (UBT). Les classes ont été dénommées Type A (14,80%), Type B (34,78%), et Type C (50,42%) (Figure 13). Les caractéristiques structurelles des différents types sont consignées dans le Tableau 36.

**Tableau 36.** Caractéristiques des exploitations par type d'exploitation des communes étudiées.

Exploitations	Communes	Nombre d'UBT	Animaux de trait	Charrette	Actif total	Superficie totale	UBT/ Superficie
Type A	Koporo	<b>43,48</b>	3,88	2,38	16,50	9,38	<b>5,18</b>
	Madiama	10,5	4	2	11	11	0,87
	Docoumbo	7,06	2,8	1,7	<b>20,39</b>	14,2	0,49
	<b>Moyenne</b>	<b>20,34</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>16</b>	<b>11,52</b>	<b>2,18</b>
Type B	Koporo	<b>16,31</b>	3,43	1,71	11,71	11,36	1,37
	Madiama	5	4	1	10	9	0,5
	Docoumbo	4,7	4	1	<b>17</b>	12,15	0,38
	<b>Moyenne</b>	<b>8,67</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>10,83</b>	<b>0,75</b>
Type C	Koporo	2,78	2,30	1,63	10,85	6,90	0,46
	Madiama	1,7	2	1	5	8	0,21
	Docoumbo	1,4	1	0,6	15	6,7	0,20
	<b>Moyenne</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>7,2</b>	<b>0,29</b>

(Source : enquête exploitations 2005)

Il ressort du Tableau 36 que les exploitations de type A se caractérisent en moyenne par des nombres d'UBT, d'actifs, et de surfaces cultivées plus élevés que les deux autres types. Les types A disposent également d'un nombre de charrette plus élevé que les types B et C. Les exploitations de type B se caractérisent par des nombres d'UBT, d'actifs, et de surfaces cultivées plus élevés que les types. C.



**Figure 13.** Répartition des exploitations en trois types

#### **4.1.2.2. Analyse comparative des types d'exploitations par commune**

- ***Application de la fumure organique***

Dans la commune rurale de Koporo pen les exploitations de type A utilisent une dose moyenne de 4692,5kg.ha<sup>-1</sup> de fumier sur le mil, pour un rendement moyen de 823kg (Tableau 37). 12,5% des ces exploitations de type A n'apportent pas du fumier à leurs champs. Les exploitations de type B utilisent une dose moyenne de 4330 kg.ha<sup>-1</sup> de fumier pour le mil pour un rendement moyen de 623kg.ha<sup>-1</sup>. Enfin, les exploitations de type C utilisent quant à elles, une dose moyenne de fumure organique de 3250kg.ha<sup>-1</sup> sur le mil pour un rendement moyen de 622kg.ha<sup>-1</sup>. La dose de fumier utilisée par le type A est supérieure aux différentes doses utilisées par les deux autres types. La fumure organique est appliquée uniquement sur le mil. Les quantités de fumier produites ne permettent pas de fumer toutes les parcelles de mil. Le tableau 35 donne la moyenne des surfaces fumées. 62,5% des exploitations de type A pratiquent la jachère avec une surface moyenne de 4,80ha de mil pour une durée moyenne de 2ans. 42,8% des exploitations de type B pratiquent la jachère avec une surface moyenne de 4,14ha pour une durée moyenne de 4ans. Enfin 26% seulement des exploitations de type C pratiquent la jachère avec une surface moyenne de 4,14ha, pour une durée moyenne de 4ans.

Dans la commune rurale de Madiama les exploitations de type A ont utilisé en moyenne 3 750 kg.ha<sup>-1</sup> de fumier sur le mil, 1 500kg.ha<sup>-1</sup> sur le sorgho pour des rendements moyens respectifs de 838kg.ha<sup>-1</sup> et de 372kg (Tableau 38). 37% des exploitations de type A n'apportent pas du fumier à leurs champs et 12,5% n'apportent le fumier que sur un 1ha. Pour les exploitations de type B, la quantité de fumier utilisée est en moyenne de 2 750kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil et 1250kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho pour un rendement moyen de 604kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil, et 653 kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho. Enfin, pour les exploitations de type C, la dose de fumure organique utilisée a été d'environ 3000kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil, et 1 250kg pour le sorgho pour un rendement moyen de 670kg pour le mil, 404kg pour le sorgho. La dose de fumier utilisée par le type A est supérieure aux différentes doses utilisées par les deux autres classes. L'essentiel de cette fumure organique est appliquée sur le mil et le sorgho. Les quantités de fumier produites ne permettent pas de fumer toutes les parcelles de mil et de sorgho. 62,5% des exploitations de type A ne pratiquent pas la culture des légumineuses (niébé et arachide) et les 37,5% autres utilisent au moins 0,5 à 2hectares pour la culture du niébé et 0,3 à 1ha pour l'arachide. Seulement 25% de ces exploitations pratiquent la technique de la jachère avec en moyenne 2hectares. Il ressort de l'analyse des résultats que les exploitations des types A, B et C ne peuvent fertiliser l'ensemble de leurs parcelles avec des doses variant de 3 750kg.ha<sup>-1</sup> à 1 250kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil et 1 500kg.ha<sup>-1</sup> à 1250kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho que tous les 2 ans.

Dans la commune de Doucombo, les résultats ont montré que la dose de fumier utilisée par les exploitations de type A, a été d'environ 1.475kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil, et 3000kg pour le sorgho pour un rendement de 875kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil, et 795kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho (Tableau 38). Les exploitations de type B ont utilisé en moyenne 550kg.ha<sup>-1</sup> de fumier sur le mil, 467,5kg.ha<sup>-1</sup> sur le sorgho pour un rendement moyen de 444,88kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil et 283,61kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho. Enfin, pour les exploitations de type C, la dose moyenne de fumier utilisée est de 400kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil et 375kg pour le sorgho pour un rendement moyen de 442kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil et 233kg.ha<sup>-1</sup> pour le sorgho. L'essentiel de cette fumure organique est appliqué sur le sorgho. La dose de fumier utilisée par le type A est nettement supérieure aux différentes doses utilisées par les deux autres classes. Les quantités de fumier produites ne permettent pas de fumer toutes les parcelles de mil et de sorgho. L'utilisation de la fumure organique sur les

légumineuses n'a pas été évoquée. Il ressort de l'analyse des résultats qu'au niveau des types A, B, et C respectivement 84,5%, 56%, 79,10%, des surfaces cultivées ont reçu de la fumure organique. Ce qui revient à dire que les exploitations de type A, peuvent fertiliser le maximum de leurs parcelles avec des doses variant de 1475 à 3000kg tous les ans. Pour le type B la parcelle ne peut être fumée qu'environ une fois tous les 2 ans à la dose variant entre 467kg à 550kg et le type C une dose très faible tous les ans variant de 375kg à 400kg.

**Tableau 37.** Surface moyenne fumée et % de rapport à la surface totale dans les communes étudiées.

Superficie	Communes	Type A			Type B			Type C		
		ha	%	Quantité de fumier en Kg.ha <sup>-1</sup>	ha	%	Quantité fumier en Kg.ha <sup>-1</sup>	ha	%	Quantité fumier en Kg.ha <sup>-1</sup>
Superficie cultivée en céréale	Koporo pen	9,38			11,36			6,90		
	Madiama	11			8			8		
	Docoumbo	14,2			12,5			6,75		
Superficie fumée	Koporo pen	3,50	37,31	4692,5	5,57	49,03	4330	2,68	38,84	3250
	Madiama	5	45,45	2625	3	37,5	2000	4	50	2125
	Docoumbo	12	84,5	2282,5	7	56	508,75	5,3	79,10	387,5

(Source : enquête exploitations 2005)

Il ressort du Tableau 38 que dans la commune de Koporo pen que les exploitations de types A, B et C ne peuvent fertiliser l'ensemble de leurs parcelles qu'avec des doses variant de 4692kg.ha<sup>-1</sup> à 3250kg.ha<sup>-1</sup> pour le mil tous les 2ans pour le type B et tous les 3 ans pour le type A et C. Dans les communes de Madiama et de Doucombo, le mil et le sorgho reçoivent la fumure organique et les surfaces moyennes fumées par culture sont consignées dans le tableau 40. Les exploitations de type A et C apportent du fumier sur la totalité des parcelles cultivées en sorgho. Dans la commune de Doucombo le mil et le sorgho reçoivent la fumure organique et les surfaces moyennes fumées par culture sont consignées dans le tableau 38. La pratique de brûlis des résidus concerne 10% des exploitations de type A, 0% de type B, et 3% de type C. Quant à l'enfouissement des résidus aux champs, il concerne 12% de type A, 0% du type B et 3% du type C. Seules les exploitations de type A pratiquent la jachère avec une durée moyenne de 6ans. Les deux autres types ne pratiquent pas la jachère.

**Tableau 38.** Surfaces moyennes fumées et % par rapport à la superficie totale par culture dans les communes étudiées.

Types	Cultures	Mil		Sorgho	
	Communes	ha	%	Ha	%
Type A	Koporo pen	3,50	49,57	-	-
	Madiama	4	57,14	1	100
	Docoumbo	6,75	100	3,3	2,05
Type B	Koporo	5,57	62,86	-	-
	Madiama	2	66,66	1	50
	Docoumbo	9	63,38	3	21,12
Type C	Koporo	2,68	54,03	-	-
	Madiama	2	50	2	100
	Docoumbo	6,3	51,85	1	8,23

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Application des engrais minéraux**

L'application des engrais minéraux n'a pas été retenue par les paysans comme critère de distinction des exploitations, leur application sur le mil, le sorgho et les légumineuses citées n'ont pas été signalées au cours des enquêtes. Les faibles prix aux producteurs n'encouragent pas les paysans à investir dans le maintien de la fertilité des sols. Aucune exploitation n'a utilisé de l'engrais chimique comme complément minéral. Le mil est autoconsommé et procure plus de revenus à l'exploitation agricole. Cependant dans la commune rurale de Madiama où la riziculture est pratiquée les résultats montrent que deux types d'engrais minéraux sont utilisés par les paysans, il s'agit de l'urée, et du DAP (Diammonium Phosphate), et que le niveau d'utilisation est faible. Seules les exploitations de type B utilisent l'urée à la dose de 50kg.ha<sup>-1</sup> et le DAP à la dose de 100kg.ha<sup>-1</sup>. Les exploitations de type C n'utilisent que de l'urée à la dose de 50kg.ha<sup>-1</sup>, tandis que les exploitations de type A n'utilisent pas les engrais chimiques. Seul le riz reçoit des engrais chimiques. Le Tableau 39 donne les doses d'engrais chimiques appliquées par les différents types.

**Tableau 39.** Doses d'engrais utilisées par culture, par hectare et par type d'exploitation dans la commune rurale de Madiama

Type d'exploitation	Cultures	Superficies cultivées (ha)	Types d'engrais	
			Urée (kg.ha <sup>-1</sup> )	DAP (kg.ha <sup>-1</sup> )
A	Mil	4	-	-
	Sorgho	2	-	-
	Riz	2	-	-
B	Mil	3	-	-
	Sorgho	2	-	-
	Riz	2	100	200
C	Mil	4	-	-
	Sorgho	2	-	-
	Riz	2	100	-

(Source : enquête exploitations 2005)

- **Utilisation des résidus de récolte**

Une partie des résidus de récolte est transportée au niveau des concessions par les paysans pour servir de fourrage, elle comprend : les tiges de mil, et de sorgho et les fanes de niébé et d'arachide (Tableau 39). La partie laissée au champ est pâturée sur l'ensemble des parcelles cultivées. Les tiges de mil sont souvent transportées par les trois types d'exploitation en quantité égale. Les quantités de résidus stockées sont plus élevées au niveau du plateau en raison du manque de pâturages. La quantité de résidus de mil transportée à la ferme représente 67,6% de la quantité totale pour les exploitations de type A, 20,5% pour le sorgho, 6% pour l'arachide, 4% pour le niébé, et 2,9% pour le riz. Les résidus de riz sont stockés uniquement par les types A de Madiama. Les résidus de mil sont stockés en grande quantité par les types A de Doucombo sur le Plateau dogon, cela s'explique par le manque de pâturages.

Dans la commune de Koporo pen les exploitations de type B ne pratiquent pas le brûlage. Les exploitations de type C brûlent au champ 4,25% des résidus de mil. L'enfouissement des résidus de récolte est une pratique courante au niveau de tous les types d'exploitations et concerne 6% des exploitations de type A, 2% des types B et 4,25% des types C. 78,75% de la production en résidus de mil des exploitations de type A, ont été pâturés par les animaux directement sur les parcelles, 64,71% pour le type B et les 77,46% pour le type C. Le nombre de charretées de résidus de mil transportées représentent au moins 43% de l'ensemble des quantités de résidu

transportées à la concession pour le type d'exploitation A, 75,79% pour les types B et 87,10% pour les types C.

Dans la commune rurale de Madiama, la partie laissée au champ est pâturée sur l'ensemble des superficies cultivées. Le brûlage des résidus de récolte est une pratique courante au niveau de tous les types d'exploitations : 3,9% de résidus de mil, pour le type A (sur 18315kg de résidu), le résidu de sorgho n'est pas concerné. Pour les exploitations de type B le brûlage concerne 9,2% (sur 8770kg de résidus), et 1,18% des résidus de sorgho (sur 3635kg). Les exploitations de type C brûlent au champ 5,9% des résidus de mil (sur 8863kg), 2,28% des résidus de sorgho (sur 2974kg) et 0,39% de paille de riz (sur 5117kg). La pratique de l'enfouissement des résidus de récolte également est courante au niveau de tous les types d'exploitations surtout en début de saison de pluies. Les 79,64% des résidus de mil, ont été pâturés par les animaux directement sur les parcelles des exploitations de type A, 60,42% pour le type B et 71,81 % pour le type E<sub>3</sub>. Les quantités de résidus de petit mil transportées représentent moins de 50% pour l'ensemble des types d'exploitation.

Dans la commune de Doucombo le brûlis des résidus de récolte est une pratique courante au niveau des exploitations des types A et C, soit pour produire les cendres dans le but d'obtenir de la potasse ; ou tout simplement parce que l'exploitation n'arrive pas à les recycler. Le type A brûle 22,30% des résidus de mil produits (environ 8210kg), le type C brûle 0,9% (sur 18766kg). Les 24% des résidus de mil ont été broutés par les animaux directement sur les parcelles au niveau des exploitations de type A. 0% pour le type B et 20 % pour le type C respectivement. Les quantités de résidus de petit mil transportées représentent une bonne partie pour le type A, B et C. Pour les exploitations de type B, la presque totalité des résidus de mil a été transportée à la ferme pour utilisation.

**Tableau 40.** Stockage des résidus de récolte en charretées dans les communes étudiées.

UPA	Résidus	mil	sorgho	Riz	niébé	arachide
	Communes					
Type A	Koporo pen	13	11	-	3,27	3,18
	Madiama	5,4	3,44	1	0,5	1
	Docoumbo	50	6	-	0,34	1,6
	<b>Moyenne</b>	<b>23</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1,37</b>	<b>2</b>
Type B	Koporo	22,55	0	-	4,8	2,4
	Madiama	2,6	8,13	4,8	0,5	0,6
	Docoumbo	26	6	-	3,8	10,14
	<b>Moyenne</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>4,8</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Type C	Koporo	48,87	0	-	3	4,2
	Madiama	1,7	5,23	2,06	0,35	0,5
	Docoumbo	14	5	-	2	3
	<b>Moyenne</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

(Source : enquête exploitations 2005)

Toutes les fanes de niébé et d'arachide récoltées sont transportées et stockées chez l'ensemble des types d'exploitation (Figure 14). Les exploitations de type B stockent beaucoup plus de résidus de mil que les deux autres types. Toutes les fanes de niébé et d'arachide récoltées sont transportées et stockées par les exploitations de type A, B, et C. Les exploitations de type B stockent beaucoup plus les fanes d'arachide et niébé. Les exploitations de type A transportent le double voir le triple des quantités transportées respectivement par le type B et le type C en tiges de mil. Toutes les exploitations transportent les résidus de récolte et les quantités transportées sont fonction non seulement de la disponibilité en charrettes, mais aussi en actifs.



**Figure 14.** Résidus de mil stockés pour servir de fourrage aux animaux à Madiama

Les résultats montrent que la quantité de résidus de récolte produite est importante dans cette zone. Ces résidus servent principalement à l'alimentation des animaux au champ ou à la concession. Les fanes d'arachide et de niébé sont transportées et stockées dans les concessions en vue d'assurer l'alimentation des animaux pendant les périodes critiques de l'année. L'analyse des résultats d'enquête a montré d'une part que la disponibilité en équipement, en superficies, et en actifs de l'exploitation influent positivement sur le stockage des résidus de récolte dans les concessions et d'autre part, que la disponibilité en actifs, en charrette, et en superficie de l'exploitation influent positivement sur le dépôt de fumier au champ.

La première mesure adoptée par les paysans dans les trois communes pour pallier la baisse de fertilité des sols est l'application du fumier. L'essentiel du fumier est obtenu par le parcage des animaux. La charrette et le cheptel sont des préalables pour l'utilisation du fumier. La plus grande proportion de fumier est utilisée sur les champs communs et plus précisément sur le mil. Aucune exploitation n'a utilisé l'engrais chimique comme complément minéral sur le mil. L'enfouissement et le brûlage des résidus au champ ne sont pas des pratiques importantes. Tout le transport de matériel et de personnes se font avec la charrette. Les analyses des données ont montré que la disponibilité en actifs, en équipement, en superficies, et la distance des champs au village influent positivement (permet de réaliser cette activité) sur le brûlage et l'enfouissement des résidus de mil au champ.

Des critères tels que le nombre d'actifs, de charrettes, d'animaux de trait, de superficie cultivée, de cheptel total (UBT) ont permis de distinguer trois types d'exploitation : A, B, et C. Cette typologie a été utilisée par Dembélé *et al.*, 1998 dans le cadre des travaux sur la gestion paysanne de fertilité des sols au Sud du Sahara. Cette typologie est très proche de celle effectuée par la DRSPR.,1980 dans la zone Mali sud basée sur l'équipement agricole et la présence d'un troupeau de bovins, à la différence que dans la présente typologie les quantités d'intrants (fumure) ont été prises en compte. Dans cette typologie, les limites entre les types d'exploitation ne sont pas très nettes et le passage d'un type à l'autre peut se faire par achat ou perte de bœufs, de charrues, ou de charrettes. Ainsi, en fonction des quantités de fumier stockées dans la concession les exploitations A, B et C des communes de Kopro pen et Madiama sont capables



d'apporter au moins 2tonnes de fumier à l'hectare au champ chaque année. Seules les exploitations A peuvent apporter 2tonnes de fumier à l'hectare chaque année au champ, dans la commune de Doucombo.

Suivant les effectifs du cheptel (UBT), la pratique du parcage au champ serait possible pour 49% des exploitations (A, B). En effet, seules les exploitations de type A, de la commune de Koporo pen peuvent réaliser d'une manière pratique au champ le parcage de 43,48 UBT à l'hectare pendant une durée de 10mois (correspondant au parcage de 10nuits des nos tests au champ), de 8mois de parcage pour les 5nuits, et 2 mois de parcage pour les 2nuits. Les exploitations de type A des communes rurales de Koporo pen, de Madiama, et de Doucombo pourront respectivement parquer au champ : 43,48UBT, 10,5UBT et 7,06UBT pendant 2, 7 à 10mois (correspondant au parcage des 2nuits des tests au champ). Les exploitations de type B, de la commune de Koporo pen pourront réaliser le parcage au champ de 16,31UBT à l'hectare pendant une durée de 5mois (correspondant au parcage de 2nuits des nos tests au champ). Les exploitations de type C des communes ne peuvent pas réaliser le parcage d'une manière pratique au champ à cause du nombre d'UBT de l'exploitation.

Pour ces exploitations, l'apport au poquet de 2g (soit, 20kg/ha) de DAP peut être proposé pour améliorer la production du mil. Selon Dugué., 2001 l'agriculture africaine, tant en zone soudano-sahélienne qu'en zone forestière, les sociologues et agroéconomistes ont montré que la notion d'exploitation agricole telle que définie pour les pays du Nord n'était pas transposable au contexte africain. L'unité de production (ou exploitation agricole) est généralement un système complexe débouchant sur une production collective gérée par le chef d'exploitation et des productions individuelles revenant à l'épouse (aux épouses), aux dépendants. Pour ces différentes raisons et compte tenu du poids économique et démographique des exploitations, tout appui aux producteurs pour moderniser et améliorer leur productivité doit se référer à une typologie de ces exploitations.

## **4.2. Effets des itinéraires techniques sur la fertilité du sol et le rendement du mil en milieu paysan.**

Les données ici présentées concernent les communes de Koporo pen, Madiama, et Doucombo pour les rendements de mil et de niébé obtenus avec l'introduction des itinéraires techniques. Par contre les indicateurs relatifs au sol et aux plantes ne concernent que la commune rurale de Koporo pen (voir les résultats d'analyses de sol et de plantes en annexe).

### **4.2.1. Caractéristique de la pluviométrie du milieu pendant la période de l'étude dans les trois sites.**

Le Tableau 41 montre la variation de la moyenne pluviométrique décadaire des trois communes. Dans la commune rurale de Koporo pen la moyenne pluviométrique a été de 468mm. Pour l'année 2005, première année d'étude, le cumul annuel de pluie a été de 412,2mm en 43 jours. Elle a été légèrement déficitaire en début de campagne, et à la troisième décade de juillet, et à la fin du mois de septembre. En deuxième année (2006) le cumul annuel de pluie a été de 495,8mm en 39 jours, légèrement excédentaire. Mais des déficits en début de campagne, et dans la troisième décade de septembre ont été constatés. La troisième année (2007) a été la plus arrosée avec un cumul de 503mm en 32 jours. Elle a été excédentaire mais mal répartie, avec des déficits en juin et juillet entraînant des semis tardifs.

Dans la commune rurale de Madiama la moyenne pluviométrique a été de 544mm. Pour la première année (2005), le cumul annuel de pluie a été de 472,5mm en 21 jours, donc déficitaire. L'installation de la campagne a été tardive jusqu'à la deuxième décade de juillet, ce qui a conduit à des semis tardifs. La première décade d'août a été caractérisée par un déficit de pluie cumulé de 12,5mm. Le mois de septembre a été marqué également par un déficit les deux dernières décades. Contrairement à la première année, le cumul pluviométrique annuel de la deuxième année (2006) a été de 717mm en 44 jours dont 5mm au mois d'avril, supérieur à la moyenne donc excédentaire. Cependant, il a présenté des périodes de déficit, situées d'abord à la première décade de juillet, en suite à la deuxième décade d'août, et à la deuxième décade de septembre. Ces périodes de déficit ont eu certainement des impacts négatifs sur le rendement. Quant à la troisième année (2007), le cumul annuel de pluie reçu a été de 618mm en 46 jours donc excédentaire. Mais il a présenté des périodes de déficit, situées surtout à la première et deuxième décade de juin, et les deux dernières décades de septembre.

Dans la commune rurale de Doucombo, la moyenne pluviométrique a été de 538mm. Pour l'année 2005, le cumul annuel de pluie a été de 358mm en 32 jours. Dans l'ensemble, la pluviométrie a été déficitaire et surtout très mal répartie avec des poches de sécheresse dont les cumuls décadaires ne dépassent pas 10mm. Ces périodes de déficit se situaient surtout en période de floraison et de fructification en fin août début septembre particulièrement. La deuxième décade du mois de juin a été caractérisée par un déficit de pluies avec un cumul de 11mm. Le mois de septembre est marqué également par un déficit en première décade (9mm) et en deuxième décade (2mm). Quant à la deuxième année (année 2006), le cumul annuel de pluie a été de 487,1mm en 37 jours. La pluviométrie a été légèrement déficitaire, les périodes de déficit se situant surtout à la première décade de juin (8,5mm), et à la première décade de septembre (2,8mm). En revanche en troisième année (2007), la pluviométrie a été excédentaire et bien répartie avec un cumul 604,5mm en 36 jours. Les semis ont été accomplis très tôt par rapport

aux autres années. Le mois de septembre a été marqué également par une bonne pluviosité qui a continué jusqu'en octobre.

**Tableau 41.** Variation décadaire de la pluviométrie moyenne annuelle en mm des communes étudiées en 2005, 2006, et 2007.

Années	Sites	Décades	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
2005	Koporo pen	1	0	0	4,1	12,4	36,8	51,6	23,6	0
		2	3,3	0	12,6	17	52	53,7	31,6	1,3
		3	0	0	2,2	35,9	18,2	46,7	9,2	1,3
	Madiama	1	0	0	0	12,5	83	0	0	1
		2	0	0	85	73	29	0	0	2
		3	0	0	43	116	31	0	0	3
	Doucombo	1	0	0	0	32	37	22	9	4
		2	0	0	0	11	73	23	2	0
		3	0	0	5	28	29	52	20	0
2006	Koporo pen	1	0	0	0	9,8	29,5	53,7	29,1	11,4
		2	0	0	1,5	34,8	32,5	22,4	23,6	0
		3	0	0	0	72,6	98,7	76,2	0	0
	Madiama	1	0	28	6	91	87	21	0	1
		2	1	36	38	15	9	18	0	2
		3	27	73	80	119	57	12	0	3
	Doucombo	1	0	0	0	8,5	28,1	29,8	2,8	10
		2	0	0	0	19,6	43,5	35,6	58	0
		3	0	0	0	69,7	59,7	78,5	33	0
2007	Koporo pen	1	0	0	0	0	17,5	79,6	86,2	5,7
		2	0	0	0	6,4	58	42,4	25,2	0
		3	0	0	11	0	102,4	68,6	0	0
	Madiama	1	0	1	63	90	83	4	0	1
		2	0	17	36	82	13	0	0	2
		3	17	74	85	40	4	4	0	3
	Doucombo	1	0	0	0	0	66	102	39,5	0
		2	0	0	0	21	43	21,1	38	33
		3	0	0	8	50,7	63	108,2	11	0

(Source : station Doucombo, Madiama, Koporo pen)

#### **4.2.2. Effet de la rotation niébé - mil avec apport de phosphate naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes étudiées.**

- **Effet de la rotation niébé - mil avec apport de phosphate naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration du rendement dans les communes étudiées.**

##### **- Commune rurale de Koporo pen**

L'analyse des résultats obtenus en première année a montré que les rendements (grain et fanes) du niébé en tête de rotation avec, différentes doses de PNT ( $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT et  $600\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT) ne présentent aucune différence significative, avec le T<sub>1</sub> (Niébé en culture pure) malgré la différence de poids constatée (Tableau 42). L'accroissement du rendement grain par rapport au T<sub>1</sub> était de 10% ( $115\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pour le T<sub>2</sub> (avec la dose de  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT), et de 7% ( $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pour le T<sub>3</sub> (avec la dose de  $600\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT). Quant au rendement fane, l'accroissement par rapport au T<sub>1</sub> était de 8% ( $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pour le T<sub>2</sub>, et de 5% ( $75\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pour le T<sub>3</sub>. Cette campagne a été caractérisée par un déficit pluviométrique au cours de la première et deuxième décade du mois de juin et de la dernière décade de septembre. L'évaluation économique de ces itinéraires a montré qu'en première année la pratique de la rotation avec le niébé en tête a été plus rentable que la culture continue de mil. Le traitement T<sub>3</sub> a engendré une perte en valeur ajoutée par rapport au T<sub>1</sub> de 13% ( $56\,265\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). De même que pour le T<sub>2</sub>, la perte a été de 8% ( $34\,150\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) par rapport au T<sub>1</sub>. La valeur ajoutée obtenue avec le T<sub>1</sub> a généré une augmentation de la valeur ajoutée par rapport à T<sub>0</sub> de 846% ( $383\,760\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Les bénéfices réalisés avec la culture du Niébé avec ou sans PNT en tête de rotation sont nettement supérieurs à celui de la culture continue de mil.

En deuxième année, l'analyse des rendements du mil après la culture du niébé a montré une différence significative entre les rendements moyens (grains et paille) du mil avec le témoin. Les rendements mil obtenus après la culture de niébé et niébé et PNT étaient supérieurs au rendement de mil en culture continue. Le rendement grains de mil du T<sub>3</sub> a connu l'accroissement le plus élevé par rapport au T<sub>0</sub> soit de 45,3% ( $585\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et de 81% ( $3000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pour la paille. Le rendement du T<sub>2</sub> a donné un taux d'accroissement par rapport au T<sub>0</sub> en grain de 29,4% (soit  $380\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et de 73% ( $2700\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en paille. Le rendement du mil du T<sub>1</sub> a connu également une augmentation en rendement grains par rapport au T<sub>0</sub> de 5,4% ( $70\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et de 32,4% ( $1200\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en paille. Les analyses économiques ont montré que les traitements après niébé, et niébé avec apport de PNT à différentes doses ont permis de réaliser des valeurs ajoutées nettement supérieures à celle du mil en culture continue. Le bénéfice réalisé est plus élevé pour le traitement T<sub>3</sub> avec une augmentation en valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 52% ( $68\,445\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), ensuite celui du T<sub>2</sub> avec un accroissement de la valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 34% ( $44\,460\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), et enfin avec le T<sub>1</sub> pour une valeur ajoutée par rapport à la culture continue de mil de 6,2% ( $8\,190\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

En troisième année, il existe une différence très significative entre les rendements grains, cette différence est significative pour les rendements paille du mil avec le témoin. Les rendements du mil obtenus après la culture de niébé seul, et niébé et du PNT était restés supérieurs au rendement du mil du T<sub>0</sub> comme en deuxième année. Le gain relatif en rendement grain par rapport au T<sub>0</sub> pour le T<sub>3</sub> a été de 178% ( $819\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et de 52% ( $856\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pour la paille. Le rendement du mil avec le T<sub>2</sub>, a connu un accroissement par rapport au T<sub>0</sub> en grain de 97% (soit  $445\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) et de 76% ( $1263\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en paille. Le rendement du mil du T<sub>1</sub> a connu une

augmentation en grain par rapport au T<sub>0</sub> de 52%(239kg.ha<sup>-1</sup>) et de 13%(213kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Les gains relatifs en rendement grain et paille du T<sub>3</sub> étaient les plus élevés. Les analyses économiques des résultats de la troisième année ont montré comme en deuxième année que le bénéfice réalisé était plus élevé pour le T<sub>3</sub> avec un accroissement de la valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 279%(95 824FCFA.ha<sup>-1</sup>), ensuite vient le T<sub>2</sub> avec 151%(52 065FCFA.ha<sup>-1</sup>), et enfin le T<sub>1</sub> avec une augmentation de la valeur ajoutée par rapport à la culture continue de mil de 81%(27 963FCFA.ha<sup>-1</sup>).

**- Commune rurale de Madiama**

L'analyse des résultats de rotation niébé-mil en première année, a montré un surplus de production en grains par rapport à la culture de niébé sans PNT avec une différence significative pour les rendements grains (Tableau 43). Mais pour ce qui concerne les fanes de niébé, la différence a été non significative malgré le surplus de production. Le gain relatif par rapport au T<sub>1</sub> (culture pure de Niébé) en grain était de 88%(soit 467kg.ha<sup>-1</sup>) et de 14%( 220kg.ha<sup>-1</sup>) en fane pour le T<sub>3</sub> et de 65%(347kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 10,1%(1413 kg.ha<sup>-1</sup>) pour les fanes le T<sub>2</sub>. Les analyses économiques des résultats ont montré que la pratique de la rotation avec le niébé en tête a été plus rentable que la culture continue de mil. Elle a permis de réaliser des bénéfices nets supérieurs à ceux du mil en culture continue. Le T<sub>3</sub> a permis de réaliser une valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub>, après vente des grains et fane de 20,5% (63 380FCFA.ha<sup>-1</sup>), l'accroissement de la valeur ajoutée avec le T<sub>2</sub> était de 19,7% (61 060FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>1</sub>. L'accroissement de la valeur ajoutée obtenue avec le T<sub>1</sub> par rapport à T<sub>0</sub> était de 375,5%( 243 652FCFA.ha<sup>-1</sup>).

Les rendements mil obtenus après la culture du niébé en deuxième année ont montré des différences significatives entre les rendements moyens (grain et paille) du mil avec le T<sub>0</sub> (témoin). Les rendements du mil obtenus après la culture de niébé et niébé et du PNT sont restés nettement supérieurs au rendement du mil en culture continue. Le gain relatif en rendement grains par rapport au T<sub>0</sub> était de 103,8%(706kg.ha<sup>-1</sup>) et de 117%(5447kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Ce gain relatif a été de 68%(466 kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain, et 51,4% (2400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille pour le T<sub>2</sub>. Enfin il a été de 47%(320kg.ha<sup>-1</sup>) pour les grains et de 100%(4667kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille avec le traitement T<sub>1</sub> par rapport au T<sub>0</sub>. Les analyses économiques des résultats ont montré, que les rendements grains de mil obtenus permettent de réaliser des valeurs ajoutées supérieures à celles de la culture continue de mil. La valeur ajoutée la plus élevée a été réalisée avec le traitement T<sub>3</sub> avec une augmentation de valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 134,6%( 89 040FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>2</sub> avec de 88,9%(58 800FCFA.ha<sup>-1</sup>), et enfin le T<sub>1</sub> avec 60,9%( 40 320FCFA.ha<sup>-1</sup>).

En troisième année les rendements moyens de mil obtenus après la culture de niébé et niébé et PNT sont restés nettement supérieurs au rendement moyen de mil en culture continue comme en deuxième. Le gain relatif en rendement grain par rapport au témoin a été de 135,6 %( 787kg.ha<sup>-1</sup>) et de 79,7%(4 200kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Pour le T<sub>2</sub>, le gain relatif par rapport au T<sub>0</sub> a été de 97%(563kg.ha<sup>-1</sup>) en grains et de 100 %(5933kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Quant au gain relatif obtenu avec le T<sub>1</sub>, il été de 116%(673kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 77,2%(4067kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. L'analyse économique des résultats a montré que la valeur ajoutée réalisée avec le traitement T<sub>3</sub> était le plus élevé avec un taux de croit par rapport à T<sub>0</sub> de 185,2%(99 120 FCFA.ha<sup>-1</sup>), ensuite vient le T<sub>1</sub> avec 158,5%(84 840FCFA.ha<sup>-1</sup>), et enfin le T<sub>2</sub> avec augmentation de la valeur ajoutée par rapport à T<sub>0</sub> de 132,6%(70 980FCFA.ha<sup>-1</sup>). Comme en deuxième année, les traitements après niébé et niébé avec apport de PNT ont permis de réaliser des valeurs ajoutées supérieures à celles du mil en culture continue.

- **Commune rurale de Doucombo**

L'analyse des résultats de la campagne 2005, a montré que les rendements grains et paille du niébé en tête de rotation et du mil en culture pure. En première année, il existe une différence significative entre les rendements moyens (grains et paille) de niébé (Tableau 43). Les rendements ont connu l'accroissement le plus élevé avec le T<sub>3</sub>, avec 71% (480kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 99% (836kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au T<sub>1</sub>. Quant avec le T<sub>2</sub>, les taux d'augmentation étaient de l'ordre de 68%(460kg.ha<sup>-1</sup>) en grains et 84%(711kg.ha<sup>-1</sup>) en fane par rapport au T<sub>1</sub>. La culture du niébé en tête de rotation en première année permet de réaliser beaucoup plus de valeur ajoutée que le mil en culture pure. La production par hectare connaît une progression et permet de réaliser beaucoup plus de bénéfice aussi bien avec le niébé seul, qu'avec le niébé et le PNT. Avec, l'application du PNT à différentes doses (300kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> et 600kg.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de PNT) sur le niébé, les taux d'accroissement de la valeur ajoutée par rapport au T<sub>1</sub> (culture pure de niébé) étaient les suivants : 57,87%(134 580FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>3</sub> et de 65,04%(151 255FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>2</sub>. La culture du niébé seul permet de réaliser beaucoup plus de valeur ajoutée que la culture du mil, cette valeur ajoutée chez le niébé connaît une augmentation avec l'apport de PNT.

En deuxième année, le mil a été semé à la place du niébé. L'analyse des résultats de la campagne a montré qu'il y a une différence significative entre les rendements (grains et paille) et le T<sub>0</sub>. Tous les rendements de mil obtenus restent supérieurs au rendement mil du T<sub>0</sub>. Les rendements (grains et paille) ont connu des améliorations par rapport au T<sub>0</sub> de 28,57%(200kg.ha<sup>-1</sup>) en grain, et 33,3%(650kg.ha<sup>-1</sup>) en paille avec le T<sub>1</sub>, de 76,42%(535kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 69,23%(1350kg.ha<sup>-1</sup>) en paille avec le T<sub>2</sub>, et pour le T<sub>3</sub> les taux d'accroissement des rendements obtenus étaient de 138%(970kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 98,71%(1925kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Les analyses économiques ont montré que les rendements grains de mil obtenus permettent de réaliser des valeurs ajoutées par rapport au bénéfice réalisé par la culture continue de mil. La valeur ajoutée la plus élevée a été réalisée avec le T<sub>3</sub> soit de 178%(190 855FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>2</sub> avec 98,21%(136 040FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le T<sub>1</sub> avec 36,71%(93 000FCFA.ha<sup>-1</sup>).

En troisième année, il existe une différence très significative entre les rendements grain, cette différence est significative pour les rendements paille par rapport au témoin. Tous les rendements de mil obtenus sont restés supérieurs au rendement mil en culture continue. La production grains et paille de mil à l'hectare a connu une amélioration après la culture de niébé seul, et de niébé et du PNT à différentes doses. Le T<sub>3</sub> a permis d'obtenir un taux d'augmentation par rapport au T<sub>0</sub> de 115%(885kg.ha<sup>-1</sup>) en grains et 47,4%(2073kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Les taux de regain par rapport au T<sub>0</sub> étaient de 75,8%(580kg.ha<sup>-1</sup>) en grain, et 51%(2225kg.ha<sup>-1</sup>) en paille avec l'application du T<sub>2</sub>, et de 20,9%(160kg.ha<sup>-1</sup>) en grains, et un déficit de 1,2%(53kg.ha<sup>-1</sup>) en paille pour le T<sub>1</sub>. Les analyses économiques ont montré également que les rendements grain de mil obtenus permettent de réaliser respectivement des valeurs ajoutées de 145,1%(soit 111 510 FCFA.ha<sup>-1</sup>) avec le T<sub>3</sub>, 95,1%(73 080FCFA.ha<sup>-1</sup>) avec le T<sub>2</sub> et enfin de 26,2%(20 160FCFA.ha<sup>-1</sup>) avec le T<sub>1</sub> par rapport au bénéfice réalisé par le T<sub>0</sub>. Cet accroissement de la valeur ajoutée obtenu est une conséquence des arrières effets du Niébé d'une part et d'autre part du Niébé et le PNT.

**Tableau 42.** Indicateurs de production de la rotation niébé-mil et phosphate naturel de Tilemsi dans les communes rurales étudiées.

Communes	Indicateurs	Années	Mil Mil T <sub>0</sub>		Niébé Mil T <sub>1</sub>		Niébé + 300kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT Mil T <sub>2</sub>		Niébé + 300kg.ha <sup>-1</sup> 3ans <sup>-1</sup> de PNT Mil T <sub>3</sub>	
			Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille
Koporo pen	Rendements en (Kg/ha)	2005	555	4 300	1 105(ns)	1 360(ns)	1 110(ns)	1 480(ns)	1 185(ns)	1 435(ns)
		2006	1 290	3 700	1 360*	4 900*	1 670*	6 400*	1 875*	6 700*
		2007	461	1 662	700**	1 875*	906**	2 925*	1 280**	2 518*
	Coût de production Moyen	2005	26 780	-	61 490	10 880	111 180	11 840	150 530	11 480
		2006	36 335	-	37 245	-	41 275	-	43 940	-
		2007	25 558	-	28 666	-	31 343	-	36 206	-
	Bénéfice Pertes moyennes	2005	45 370	-	270 010	159 120	221 820	173 160	204 970	167 895
		2006	131 365	-	139 555	-	175 825	-	199 810	-
		2007	34 372	-	62 335	-	86 437	-	130 196	-
Madiama	Rendements en (Kg/ha)	2005	667	6000	533	1 573	880*	1 733(ns)	1 000*	1 793(ns)
		2006	680	4666	1000*	9333*	1146*	7066*	1386*	10 133*
		2007	580	5267	1253*	9334 (ns)	1143*	11200(ns)	1367*	9467(ns)
	Coût de Production	2005	28 458	-	38 700	9 440	100 680	10 400	141 500	10 760
		2006	29 085	-	33 565	-	35 618	-	38 978	-
		2007	27 685	-	37 112	-	35 572	-	38 698	-
	Bénéfice /Pertes unitaire	2005	64 875	-	121 300	187 227	163 320	206 267	158 500	213 407
		2006	66 115	-	106 435	-	124 915	-	155 155	-
		2007	53 515	-	138 355	-	124 495	-	152 635	-
Doucombo	Rendements en (Kg/ha)	2005	835	5 700	670*	838*	1 130*	1 549*	1 150*	1 674*
		2006	700	1 600	900*	2 000*	1 235*	2 600*	1 670*	2 800*
		2007	765	4 362,5	925**	4312,5*	1345**	6587,5*	1650**	6437,5*
	Coût de production	2005	32 215	-	43 600	29 600	110 020	38 800	148 160	38 960
		2006	29 365	-	32 165	-	36 855	-	42 945	-
		2007	30 275	-	32 515	-	38 395	-	42 665	-
	Bénéfices/Pertes (Fcfa)	2005	84 685	-	157 400	75 150	228 980	154 825	196 840	170 290
		2006	68 635	-	93 835	-	136 045	-	190 855	-
		2007	76 825	-	96 985	-	149 905	-	188 335	-

\* : Significatif ; \*\* : très significatif ; ns : non significatif

(Source : tests en milieu paysan)

- **Effet de la rotation niébé - mil avec apport de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur la concentration en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du niébé et du mil dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les analyses de grain et de paille en première année ont montré que les taux en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et paille du niébé en azote et en phosphore sont plus élevés que ceux du mil (Tableau 43). Les taux d'azote et de phosphore sont faibles dans les grains et pailles de mil.

L'azote a été plus mobilisé vers les grains avec le T<sub>2</sub> et le T<sub>3</sub>, que dans le cas du T<sub>1</sub>, pour lequel le taux d'azote se trouve plus élevé dans les pailles et racines que dans les deux autres traitements. L'accroissement du taux d'azote dans les grains par rapport au T<sub>0</sub> a été de 106% avec le T<sub>1</sub>, de 112% respectivement pour le T<sub>2</sub> et le T<sub>3</sub>. Pour ce qui concerne la paille, l'accroissement a varié de 99,4% à 150%. En deuxième année, l'accroissement du taux d'azote dans les grains par rapport à T<sub>0</sub> a été de 20% avec le T<sub>1</sub>, 25% pour le T<sub>2</sub> et de 29% pour le T<sub>3</sub>. Pour ce qui concerne la paille l'accroissement du taux d'azote a varié entre 14,6% et 28%. En troisième année, l'accroissement du taux d'azote dans les grains par rapport au T<sub>0</sub> a été de 3,8% avec le T<sub>1</sub>, de 3,8% pour le T<sub>2</sub> et de 15,36% pour le T<sub>3</sub>. En ce qui concerne la paille, l'accroissement a varié entre 57,28% et 77,28%.

En première année le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement variant de 21% à 44% dans les grains par rapport au T<sub>0</sub> et de 50% à 493% pour la paille. En deuxième année, Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> connaît un accroissement variant de 14% à 21,8% dans les grains par rapport au T<sub>0</sub> et de 16% à 41% pour la paille. En troisième année, le taux d'accroissement du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a varié de 6,2% à 19,8% dans les grains par rapport au témoin et de 25,8% à 37% pour la paille.

Le taux de K<sub>2</sub>O a été plus élevé dans la paille que dans les grains en première année. Ce taux reste toujours plus élevé dans la paille que dans les grains et ne présente pas un accroissement significatif aussi bien en deuxième qu'en troisième année.

**Tableau 43.** Variation du taux en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains, pailles/fanes et racines du mil et du niébé suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires techniques	Années	Mil Mil T <sub>0</sub>		Niébé Mil T <sub>1</sub>			Niébé +300kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT T <sub>2</sub>			Niébé +600kg.ha <sup>-1</sup> .3ans <sup>-1</sup> de PNT T <sub>3</sub>		
		grains	paille	grains	paille	Racine	grains	paille	Racine	grains	paille	Racine
		Indicateurs										
N total %	2005	1,595	0,776	3,285	1,941	0,810	3,378	1,548	0,683	3,378	1,664	0,704
	2006	1,20	0,75	1,44	0,86	-	1,50	0,86	-	1,55	0,96	-
	2007	2,030	0,405	2,108	0,637	-	2,108	0,718	-	2,342	0,718	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	2005	0,66	0,16	0,88	0,24	0,20	0,80	1,75	0,17	0,95	1,97	0,20
	2006	0,55	0,12	0,63	0,17	-	0,67	0,15	-	0,63	0,14	-
	2007	0,595	0,178	0,632	0,224	-	0,671	0,236	-	0,708	0,244	-
K <sub>2</sub> O total %	2005	0,42	1,74	1,44	1,21	0,81	1,22	0,84	0,82	1,44	0,87	0,82
	2006	0,46	1,84	0,51	1,91	-	0,48	1,33	-	0,49	1,30	-
	2007	0,470	1,840	0,560	1,540	-	0,560	1,910	-	0,540	1,470	-

(Source : analyse des plantes : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet de la rotation niébé - mil avec apport de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur la concentration en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les sols sont caractérisés par un taux très bas en azote (Tableau 44). Les taux d'azote sont peu différents dans l'ensemble des traitements, après la première année. En deuxième



année, l'accroissement du taux d'azote par rapport à T<sub>0</sub> a été de 10% avec l'application de T<sub>1</sub>, de 15% avec le T<sub>2</sub> et de 20% avec le T<sub>3</sub>. En troisième année, l'accroissement du taux d'azote par rapport au T<sub>0</sub> a varié de 14,2% avec le T<sub>1</sub>, et de 38% avec le T<sub>3</sub>.

Le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement dans les traitements de niébé avec fertilisant par rapport au niébé sans fertilisant en première année. En deuxième année cet accroissement a été de 7%(2,8ppm) avec le T<sub>1</sub>, 14,2%(5,6ppm) avec le T<sub>2</sub> et de 36,6%(14ppm) avec le T<sub>3</sub>. Mais en troisième année, la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a montré un déficit de 28% (16,9ppm) avec le T<sub>2</sub> et de 21%(12,7ppm) avec le T<sub>3</sub>. Les quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> avec le T<sub>0</sub> et le T<sub>1</sub> sont restées voisines.

En première année, La quantité de K<sub>2</sub>O dans l'ensemble des traitements du niébé a connu une augmentation par rapport au niébé sans fertilisant. De même en deuxième année, la quantité de K<sub>2</sub>O a connu un accroissement de : 6,17%(20ppm) avec le T<sub>1</sub>, 8,95%(29ppm) avec le T<sub>2</sub>, et de 10,49%(34ppm) avec le T<sub>3</sub>. Mais en troisième année, la quantité de K<sub>2</sub>O comme le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ont connu une diminution par rapport au T<sub>0</sub> avec le T<sub>1</sub>, et le T<sub>2</sub>, tandis que ce taux a augmenté de 1,2%(0,07ppm) avec le T<sub>3</sub>.

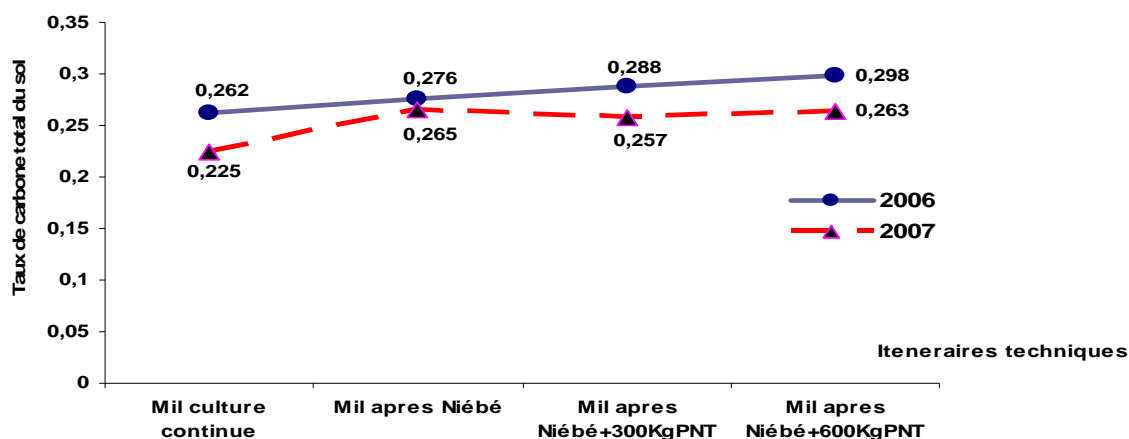
**Tableau 44.** Concentration du sol en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires techniques Eléments Fertilisants	Année	Mil (témoin) T <sub>0</sub>	Niébé T <sub>1</sub>	Niébé+300kg.ha <sup>-1</sup> . 3ans <sup>-1</sup> de PNT T <sub>2</sub>	Niébé+300kg.ha <sup>-1</sup> . .3ans <sup>-1</sup> de PNT T <sub>3</sub>
		0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
N total %	2005	0,016	0,015	0,020	0,015
	2006	0,020	0,022	0,023	0,024
	2007	0,021	0,024	0,023	0,029
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total ppm	2005	40,6	40,6	48,7	44,7
	2006	39,3	42,1	44,9	53,3
	2007	59,4	59,4	42,5	46,7
K <sub>2</sub> O total ppm	2005	587,0	523,2	561,5	689,1
	2006	324	344	353	358
	2007	5,49	5,23	5,18	5,56

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

- **Effet de la rotation niébé - mil avec apport de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le concentration en carbone total du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

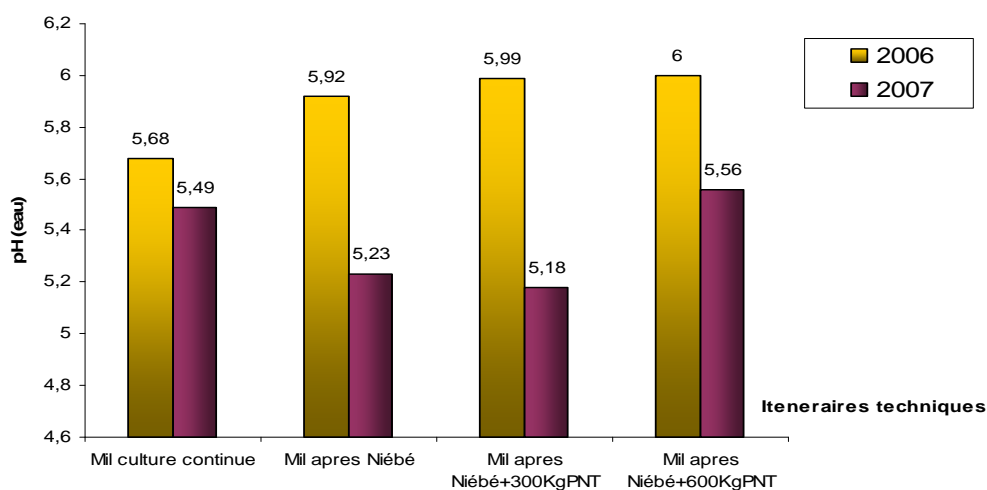
Les analyses de sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol (Figure 15) par rapport au T<sub>0</sub>, de 5,34% avec le T<sub>1</sub>, de 8% avec le T<sub>2</sub> et de 11% avec le T<sub>3</sub>. Le rapport C/N a été de 13 pour le T<sub>0</sub> et le T<sub>1</sub>, ce rapport baisse et prend la valeur 12 pour les traitements T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub>, dans ces deux derniers traitements la minéralisation a été plus rapide. En troisième année, les analyses de sol ont montré une diminution du taux de carbone dans l'ensemble des traitements par rapport à la deuxième année. Les taux de carbone du sol des différents traitements ont connu respectivement comme l'année précédente un accroissement par rapport au T<sub>0</sub> de 17,7% avec le T<sub>1</sub>, de 14,2% avec le T<sub>2</sub> et de 16,8% avec le T<sub>3</sub>. La minéralisation a été très forte avec un rapport C/N égal à 11 pour le T<sub>0</sub> et le T<sub>2</sub> et de 12 pour le traitement T<sub>1</sub> et de 14 pour le T<sub>3</sub>.



**Figure 15.** Variation du taux de carbone total du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.

- **Effet de la rotation niébé - mil avec apport de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le pH du sol dans la commune rurale de Kopro pen.**

Après la deuxième année, les analyses de sol ont révélé un pH acide pour l'ensemble des traitements. La valeur du pH a augmenté de 4,2% pour le T<sub>1</sub>, 5,4% pour le T<sub>2</sub> et de 5,6% pour le T<sub>3</sub> par rapport au pH du sol de T<sub>0</sub>. L'augmentation progressive de la valeur du pH traduit une diminution de l'acidité du sol avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport du PNT (Figure 16). Les analyses de sol ont montré que la valeur du pH baisse après la troisième année, ce qui indique que l'acidité des sols augmente dans l'ensemble des traitements, et elle a été plus élevée dans les traitements T<sub>1</sub> avec un taux d'accroissement de 4,7% et T<sub>2</sub> avec 5,9% par rapport au pH du sol de T<sub>0</sub>. Cette diminution de la valeur du pH traduit une augmentation de l'acidité du milieu qui serait due à la minéralisation de la matière organique (baisse du taux de carbone du sol).



**Figure 16.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques pendant les deux dernières années 2006 et 2007 dans la commune de Kopro pen.

- **Effet de la rotation niébé - mil avec apport de Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Le Tableau 45 montre la quantité d'azote apportée au niveau des traitements avec le niébé. La quantité d'azote apportée et celle contenue dans les racines constituent la quantité totale d'azote fixée par symbiose. Cette quantité d'azote a augmenté avec un apport du PNT de 2,78% pour le T<sub>2</sub> et de 2,92% pour le T<sub>3</sub> par rapport au T<sub>1</sub> (niébé seul). Cependant, la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a varié de 118,6% pour le T<sub>2</sub> à 94,14% pour le T<sub>3</sub> par rapport au T<sub>1</sub>. Quant au K<sub>2</sub>O, la quantité a été presque la même pour les trois traitements. Le modèle indique pour l'ensemble des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O, un bilan déficitaire aussi bien en première qu'en deuxième et troisième année où les déficits deviennent de plus en plus forts.

**Tableau 45.** Bilan de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol après culture de mil et du Niébé en tête de rotation dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs	Itinéraires techniques	Années	Mil (témoin)	Niébé	Niébé+	Niébé+
			T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	300kgPNT	600kg PNT
			T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>		
Azote (N en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-105,55	-157,96	-162,35	-162,59
		2006	-213,63	-312,27	-362,58	-396,05
		2007	-253,85	-379,02	-462,83	-516,19
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-52,72	-65,54	-95,32	-31,24
		2006	-110,4	-150,03	-199,27	-137,2
		2007	-138,91	-193,13	-264,18	-213,23
Potassium (K <sub>2</sub> O en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-154,30	-65,71	-56,24	-61,00
		2006	-302,33	-266,76	-242,51	-253,58
		2007	-367,83	-332,35	-364,39	-341,43

(Source : tests en milieu paysan à Koporo pen)

Les analyses agronomiques et économiques des résultats ont montré que la pratique de la rotation avec le niébé en tête a été plus rentable que la culture continue de mil. Elle a permis de réaliser des bénéfices nets supérieurs à ceux du mil en culture continue. L'application du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) à différentes doses sur le niébé en tête de rotation donne avec l'application de 600Kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, un taux d'accroissement du rendement grain variant de 7 à 80%. Avec, l'apport de 300Kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, le taux d'augmentation du rendement grain a varié de 10 à 68% par rapport rendement grain du niébé seul. L'augmentation du taux d'azote dans les grains par rapport au témoin a varié de 106% à 112%. En ce qui concerne la paille, le taux d'azote varie de 99,4% à 150%. Ces accroissements du rendement grain confirment les résultats de Veldkamp *et al.*, 1991 selon lesquels l'expérience agronomique a montré un effet mesurable du Phosphate Naturel de Tilemsi dès la première année de son application sur la parcelle. Cet itinéraire technique peut être confronté à des difficultés, telles que le manque d'entretien des plans contre les insectes, le coût et le risque d'utilisation des insecticides. Cette dernière difficulté peut avoir sa solution avec l'introduction des extraits de grain de neem pour le traitement phytosanitaire. Le mil pourrait bénéficier d'effets résiduels de N fixé par la légumineuse. Les gousses et fanes étant exportées du champ, ces effets proviendraient du système racinaire. Certains auteurs attribuent l'effet bénéfique des rotations aux exsudats

racinaires de certaines légumineuses à solubiliser le P (Gardener *et al.*, 1981 cités par Bationo et Ntare, 2000). En effet, les arrières effets sur la culture du mil en deuxième année de 600Kg.ha<sup>-1</sup> de PNT appliqué au niébé permettent d'accroître le rendement grains de mil de 45 à plus de 100%. Avec l'arrière effet de l'application de 300Kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, et du niébé, l'accroissement du rendement grains varie de 29 à 70%. Quant à l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant, le rendement grain du mil accroît de 5 à 47%. En troisième année, les arrières effets de 600Kg.ha<sup>-1</sup> de PNT appliqué au niébé permettent d'accroître le rendement grains à plus de 100%. Avec, l'application de 300Kg.ha<sup>-1</sup> de PNT, et du niébé, le regain en rendement grain peut varier de 75 à plus de 100%. Quant à l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant, le rendement grain peut atteindre 20 à plus de 100%. Cette augmentation progressive du rendement en fonction de la quantité de PNT confirme les conclusions obtenues par Traoré *et al.*, 2000, selon lesquelles après une légumineuse (arachide ou niébé) fertilisée avec un engrais phosphaté, le mil bénéficie d'un arrière effet d'autant plus important que la fertilisation phosphatée de la légumineuse est plus élevée. Les bilans des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O ont été déficitaires. L'application du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) à différentes doses sur le niébé en tête de rotation permet d'obtenir une augmentation progressive de la valeur du pH, qui traduit une diminution de l'acidité du sol (très acide à acide) avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport du PNT en deuxième année. Mais en troisième année, l'acidité des sols augmente (acide à très acide) dans l'ensemble des traitements, ce qui se traduit par la baisse des valeurs du pH. Ainsi l'effet de la rotation légumineuse céréale couplé avec l'arrière effet du PNT apporté sur le niébé en tête de rotation constitue une technologie relativement simple et performante qui pourrait être utilisée par la plupart des paysans et contribuer à une amélioration significative de la productivité du mil et des systèmes de culture à base de mil dans les zones sahéliennes du Mali. Ces résultats satisfaisants obtenus par les effets résiduels de la rotation et de l'apport de PNT sont très importants au regard de la faiblesse des investissements requis. Nous pensons qu'utilisées à grande échelle, ces technologies contribueront d'une manière significative à l'autosuffisance et la sécurité alimentaire des populations dans les zones sahéliennes du Mali.

#### **4.2.3. Effet de l'apport du fumier de bovins et de petits ruminants sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.**

- **Effet de l'apport du fumier de bovins et de petits ruminants sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées**

##### **- Commune rurale de Kopro pen**

L'analyse des résultats de la campagne de première année a montré qu'il n'existe aucune différence significative entre les rendements mil (grains et paille) (Tableau 46). Les surplus de production ont été constatés avec le T<sub>2</sub> pour un taux d'accroissement de 14%(115kg.ha<sup>-1</sup>) et 12%(700kg.ha<sup>-1</sup>) en paille, le T<sub>3</sub>, pour 0,6%(5kg.ha<sup>-1</sup>) et un déficit en paille de 8%(soit 500kg.ha<sup>-1</sup>), et le T<sub>4</sub>, pour un taux d'accroissement du rendement grains par rapport au T<sub>0</sub> de 13%(105kg.ha<sup>-1</sup>), et de 17%(1000kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Les rendements avec le T<sub>1</sub>, présente un déficit de 0,6% (5kg.ha<sup>-1</sup>) en grains, et 7%(400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Les rendements (grain et paille) obtenus après application de 2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier étaient supérieurs aux rendements (grains et paille) après application de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier à cause du déficit pluviométrique constaté. L'évaluation économique des résultats en première année indique, que l'application du fumier à différentes doses a généré des pertes à cause de l'insuffisance et de l'irrégularité de la pluie. Le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub> ont permis de générer respectivement des pertes de l'ordre de 172% (151 230 FCFA.ha<sup>-1</sup>) et 127%(111 920 FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Pour le T<sub>2</sub>, les déficits ont été de l'ordre de 61%(53 510 FCFA.ha<sup>-1</sup>), et de 79%(69 310 FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>3</sub>. Les déficits dans le

cas des traitements avec  $2t.ha^{-1}an^{-1}$  de fumier ont été moins élevés que ceux obtenus avec l'application de  $5t.ha^{-1}3ans^{-1}$ .

En deuxième année, comme en première année, il n'existe aucune différence significative entre les rendements (grain et la paille) par rapport au témoin. Le  $T_1$  a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au  $T_0$  de 61,97% ( $440kg.ha^{-1}$ ) et 81% ( $1835kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Quant avec le  $T_3$ , l'accroissement du rendement grains a été de 72,53% ( $515kg.ha^{-1}$ ) et 85,43% ( $1935kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Le  $T_2$  permet d'obtenir un surplus de production par hectare en grains de mil par rapport au  $T_0$  de 35,91% ( $255kg.ha^{-1}$ ) et 30,24% ( $685kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Quant avec le  $T_4$ , l'amélioration du rendement grains a été de 25,35% ( $180kg.ha^{-1}$ ) et 28,03% ( $635kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Contrairement à la première année, l'évaluation économique des résultats a montré en deuxième année, qu'avec les apports de  $5t.ha^{-1}3ans^{-1}$  de fumier le coût de production a baissé (prise en charge du coût du fumier dès la première année) et les rendements ont permis de réaliser des bénéfices. Ainsi, les rendements grains obtenus avec le  $T_2$  et le  $T_4$  ont permis de réaliser respectivement un accroissement des valeurs ajoutées de 42,39% ( $28\ 315FCFA.ha^{-1}$ ) et de 27,34% ( $18\ 260FCFA.ha^{-1}$ ). Le  $T_1$  et le  $T_3$  ont permis également de réaliser des bénéfices, mais peu différents de celui du  $T_0$ .

Par contre en troisième année, il existe une différence significative entre les rendements (grains et paille) par rapport au  $T_0$ . Les rendements dans l'ensemble ont connu une baisse par rapport à la deuxième année. Le  $T_3$  a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grains de mil par rapport au  $T_0$  de 76% ( $427kg.ha^{-1}$ ) et 63% ( $1285kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Avec le  $T_1$ , l'accroissement du rendement grains a été de 53% (soit  $296kg.ha^{-1}$ ) et 55% ( $1126kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Le  $T_4$  a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grains de mil par rapport au témoin de 40% ( $225kg.ha^{-1}$ ) et 42% ( $851kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Avec, le  $T_2$ , l'accroissement du rendement grains a été de 27% ( $153kg.ha^{-1}$ ) et 38% ( $779kg.ha^{-1}$ ) pour la paille. Les rendements (grains et paille) obtenus Au cours des deux dernières années après application de  $5t.ha^{-1}3ans^{-1}$  de fumier étaient supérieurs aux rendements (grains et paille) après application de  $2t.ha^{-1}an^{-1}$  de fumier avec des années de bonne pluviométrie. L'évaluation économique a montré qu'avec le  $T_4$ , les rendements obtenus ont permis de réaliser un taux d'accroissement du bénéfice par rapport au  $T_0$  de 48% ( $23\ 525FCFA.ha^{-1}$ ), cette technique était suivie du  $T_2$  avec un taux d'accroissement par rapport au témoin de 33% ( $16\ 381FCFA.ha^{-1}$ ). Quant avec le  $T_3$  c'était une perte en valeur ajoutée de l'ordre de 40% ( $19\ 981FCFA.ha^{-1}$ ) et de 37% ( $18\ 248FCFA.ha^{-1}$ ) pour le  $T_1$  par rapport au  $T_0$ .

#### **- Commune rurale de Madiama**

L'analyse des résultats a montré que pour différents traitements au fumier, il n'existe aucune différence significative entre les rendements grains. Par contre la différence est hautement significative pour le rendement paille (Tableau 46). Ainsi le  $T_4$  a permis d'obtenir un gain relatif en rendement grain rapport au  $T_0$  de 67,3% ( $350kg.ha^{-1}$ ) et de 73% ( $3120kg.ha^{-1}$ ) en rendement paille, suivi du  $T_2$  avec un taux d'accroissement en rendement grains de 36,5% ( $190kg.ha^{-1}$ ) et de 16,6% ( $710kg.ha^{-1}$ ) en rendement paille. Quant au  $T_3$ , le rendement mil a connu une amélioration de 61,5% ( $320kg.ha^{-1}$ ) en grains et un déficit en rendement paille de 9,8% ( $420kg.ha^{-1}$ ) par rapport au  $T_0$ . Pour le  $T_1$ , la production mil par hectare a connu une augmentation en rendement grains de 53,8% ( $280kg.ha^{-1}$ ) et un déficit en paille de 10,5% ( $420kg.ha^{-1}$ ). Les analyses économiques des résultats ont montré que les apports des grandes quantités de fumier ont engendré des grandes pertes en valeur ajoutée par rapport au témoin (Tableau 48). Des pertes de l'ordre de 287,9% ( $141\ 780FCFA.ha^{-1}$ ) ont été générées par le  $T_2$  et de 164,6% ( $81\ 050FCFA.ha^{-1}$ )

<sup>1</sup>) pour le T<sub>4</sub> par rapport au T<sub>0</sub>. Quant aux T<sub>1</sub> et T<sub>3</sub>, le déficit en valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> a été de l'ordre de 35,7%(17 600FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>1</sub> et de 60,16%(29 620FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>3</sub>.

Contrairement à la première année, en deuxième année, les rendements grains et paille des différents traitements au fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses ont présenté une différence très significative avec le témoin. Les rendements grains et paille sont largement supérieurs à ceux de la première année à cause de la bonne pluviométrie. Les apports de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier figurent en tête : ainsi le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grains de mil par rapport au témoin de 198%(1310kg.ha<sup>-1</sup>) et 172,8%(5100kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du T<sub>4</sub> avec, 190%(1260kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 177,9% (5250kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Quant avec le T<sub>3</sub>, l'accroissement du rendement grains a été de 178%(1180kg.ha<sup>-1</sup>) et de 76,9%(2270kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Enfin, le T<sub>1</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grains de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 113%(750kg.ha<sup>-1</sup>) et 98,3%(2900kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Mais contrairement à la première année, les rendements grains de mil obtenus ont permis de réaliser des valeurs ajoutées nettement supérieures à celui du mil en culture continue. Les valeurs ajoutées étaient plus élevées avec le T<sub>2</sub>, pour un accroissement de la valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 244,5 %(163 540FCFA.ha<sup>-1</sup>), et de 233,2%(155 960FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>4</sub>. Le T<sub>3</sub> venait en troisième position avec un taux d'accroissement de la valeur ajoutée de l'ordre de 117%(78 740FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>1</sub> avec 62,2%( 41 620FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.

Comme en deuxième année, les rendements grains obtenus en troisième année, des différents traitements au fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses ont présenté une différence significative avec le témoin sans fertilisant, par contre les rendements paille n'ont présenté aucune différence significative avec le témoin. Les rendements grains et paille des différents traitements étaient supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Pour cette troisième année, le T<sub>3</sub>, a permis d'avoir un taux d'accroissement du rendement grain par rapport au T<sub>0</sub> de 97%(660kg.ha<sup>-1</sup>), et de 35,8%(1400kg.ha<sup>-1</sup>) en paille, suivi du T<sub>2</sub> avec un surplus de rendement grain par rapport au T<sub>0</sub> de 91,1%(620kg.ha<sup>-1</sup>), et de 20,5%(800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>4</sub>, se retrouve en troisième position avec un accroissement du rendement grain de 73,5%(500kg.ha<sup>-1</sup>) et de 5%(200kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille suivi du T<sub>1</sub> avec un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 70,5%(480kg.ha<sup>-1</sup>) et de 25,3%(990kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Comme la deuxième année, les rendements grains de mil obtenus ont permis de réaliser des valeurs ajoutées toujours supérieures à celles du mil en culture continue (T<sub>0</sub>), et que ces valeurs ajoutées étaient plus élevées pour le T<sub>2</sub> avec un accroissement par rapport au T<sub>0</sub> de 110 %(76 600FCFA.ha<sup>-1</sup>) et pour le T<sub>4</sub>, la valeur ajoutée par hectare de mil a augmenté de 86,7%(60 200FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Le T<sub>3</sub> vient toujours en troisième position avec taux d'accroissement de l'ordre de 19%(13 220 FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>1</sub> avec 10,9%(7 600 FCFA.ha<sup>-1</sup>).

#### **- Commune rurale de Doucombo**

En première année, les rendements (grains et paille) obtenus après apport de fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses étaient bas dans l'ensemble (Tableau 46), parmi les raisons on peut citer le déficit de pluie. Tout de même il existe une différence significative entre les rendements (grains et paille) par rapport au témoin. Les déficits de production de mil par rapport au témoin ont été marqués par les plants qui ont brûlé sous l'effet de la fumure à cause du déficit de pluie. Le T<sub>1</sub> a engendré une perte de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 29%(173kg.ha<sup>-1</sup>) et un gain de production de 14%(734kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>3</sub> le déficit du rendement grain a été de 33%(200kg.ha<sup>-1</sup>) et 13%(666kg.ha<sup>-1</sup>)

pour la paille. Les déficits les plus élevés ont été réalisés dans les traitements qui ont reçu les grandes quantités de fumier. Ainsi le T<sub>4</sub> a donné un déficit de rendement grain a été de 23%(148kg.ha<sup>-1</sup>) et 31,5% (1600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>2</sub> a provoqué un déficit de rendement grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 62%(375kg.ha<sup>-1</sup>) et 59%(3013kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'évaluation économique des résultats indique que l'application du fumier a généré des pertes en valeur ajoutée. Ainsi le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub> ont engendré respectivement des pertes de l'ordre de 383,6%(213 053FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 257,86%(143 90FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub> (Tableau 48). Pour le T<sub>1</sub>, et le T<sub>3</sub> les déficits sont respectivement de l'ordre de 136,2%(soit 75 680FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 171,9%(95 460FCFA.ha<sup>-1</sup>). Les déficits dans le cas des traitements avec 2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier ont été moins élevés que ceux obtenus avec l'application de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup>.

En deuxième année, il existe une différence très significative entre les rendements grain, de même que pour le rendement paille par rapport au témoin. Les rendements (grains et paille) obtenus après application de 2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier sont supérieurs aux rendements (grains et paille) après application de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier de bovins ou de petits ruminants. Le T<sub>1</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 70,9%(747kg.ha<sup>-1</sup>) et de 60,8%(1500kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, pour le T<sub>3</sub>, l'accroissement du rendement grain a été de 72,9%(soit 800kg.ha<sup>-1</sup>) et de 63,54%(1567kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 24,02%(253kg.ha<sup>-1</sup>) et de 32,21%(967kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>4</sub>, l'accroissement du rendement grains a été de 39,22%(413kg.ha<sup>-1</sup>) et de 41,9%(1034kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. En deuxième année, contrairement à la première année, les différents traitements ont permis de réaliser des bénéfices. Les rendements grains obtenus avec le T<sub>1</sub> et le T<sub>3</sub> ont permis de réaliser respectivement une augmentation des valeurs ajoutées de 35,38%(soit 41 200FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 26,50%(30 860FCFA.ha<sup>-1</sup>). Le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub> ont permis également de réaliser un accroissement de la valeur ajoutée, de l'ordre de 26%(30 350FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 42,28%(49 230FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.

Par contre, en troisième année, il existe une différence significative entre les rendements (grain et paille) par rapport au témoin. Mais, comme en deuxième année, les rendements (grain et paille) obtenus après application de 2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier ont été plus élevés que les rendements (grain et paille) après application de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier. Ainsi, le T<sub>3</sub> a permis d'obtenir un surplus de rendement par rapport au T<sub>0</sub> de 99,8%(786kg.ha<sup>-1</sup>) en grain, et de 123,6%(2433kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>1</sub> a permis une augmentation du rendement grain de 82%(646kg.ha<sup>-1</sup>), et de 91,5%(1800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Quant avec l'application du T<sub>4</sub>, le surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> obtenu a été de 55,9%(440kg.ha<sup>-1</sup>) et de 94,8%(1866kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec, le T<sub>2</sub>, l'amélioration du rendement grain a été de 48,2%(380kg.ha<sup>-1</sup>), et de 71,1%(1400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'évaluation économique a montré que le T<sub>4</sub> a réalisé un taux de regain en valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 63,5%(52 640FCFA.ha<sup>-1</sup>), cet itinéraire technique était suivi du T<sub>2</sub> avec un taux d'amélioration par rapport au T<sub>0</sub> de 55,9%(46 360FCFA.ha<sup>-1</sup>), de le T<sub>3</sub> avec un taux d'accroissement de 35,2%(29 180FCFA.ha<sup>-1</sup>), et du T<sub>1</sub> avec un regain de 34,7%(28 600FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.

**Tableau 46.** Indicateurs de production après apport du fumier de bovins et de petits ruminants dans les communes rurales étudiées

Communes	Indicateurs	Années	Mil (témoin) T <sub>0</sub>		Mil+2t.ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> Fumier Bovins T <sub>1</sub>		Mil+5t.ha <sup>-1</sup> 3ans <sup>-1</sup> Fumier Bovins T <sub>2</sub>		Mil+2t.ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> Fumier Petits ruminants T <sub>3</sub>		Mil+5t.ha <sup>-1</sup> 3ans <sup>-1</sup> Fumier Petits Ruminants T <sub>4</sub>	
			Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
Koporo pen	Rendement moyen (kg/ha)	2005	825	5950	820(ns)	5550(ns)	940(ns)	6650(ns)	830(ns)	5450(ns)	930(ns)	5950(ns)
		2006	710	2265	1150(ns)	4100(ns)	965(ns)	2950(ns)	1225(ns)	4200(ns)	890(ns)	2900(ns)
		2007	559	2043	855(ns)	3169(ns)	712(ns)	2822(ns)	986(ns)	3328(ns)	784(ns)	2894(ns)
	Coût total de Production	2005	27 835	-	80 645	-	195 165	-	97 845	-	154 455	-
		2006	25 515	-	84 115	-	30 350	-	102 150	-	30 655	-
		2007	23 552	-	80 280	-	27 061	-	99 043	-	29 277	-
	Bénéfices /Pertes	2005	87 665	-	34 155	-	-63 565	-	18 355	-	-24 255	-
		2006	66 785	-	65 385	-	95 100	-	57 100	-	85 045	-
		2007	49 118	-	30 870	-	65 499	-	29 137	-	72 643	-
Madiama	Rendement moyen kg/ha)	2005	520(ns)	4270**	800(ns)	3820**	710(ns)	4980**	840(ns)	3850**	870(ns)	7390**
		2006	660**	2950**	1 410**	5850**	1 970**	8050**	1 840**	5220**	1 920**	8200**
		2007	680*	3900(ns)	1160*	4890(ns)	1300*	4700(ns)	1340*	5300(ns)	1180*	4100(ns)
	Coût total de production	2005	23 565	-	80 365	-	191 945	-	97 985	-	153 615	-
		2006	25 525	-	88 905	-	45 385	-	111 985	-	45 965	-
		2007	25 805	-	85 405	-	36 005	-	104 985	-	35 605	-
	Bénéfices Pertes	2005	49 235	-	31 635	-	-92 545	-	19 615	-	-31 815	-
		2006	66 875	-	108 495	-	230 415	-	145 615	-	222 835	-
		2007	69 395	-	76 995	-	145 995	-	82 615	-	129 595	-
Doucombo	Rendement moyen (kg/ha)	2005	600	5 066	427*	5 800*	227*	2 053*	400*	4 400*	460*	3 466*
		2006	1 053	2 466	1 800**	3 966*	1 306**	3 433*	1 853**	4 033*	1 466**	3 500*
		2007	787	1967	1 433*	3 767*	1 167*	3 367*	1 573*	4 400*	1 227*	3 833*
	Coût total de production	2005	23 565	-	80 365	-	191 945	-	97 985	-	153 615	-
		2006	25 525	-	88 905	-	45 385	-	111 985	-	45 965	-
		2007	25 805	-	85 405	-	36 005	-	104 985	-	35 605	-
	Bénéfices Pertes	2005	49 235	-	31 635	-	-92 545	-	19 615	-	-31 815	-
		2006	66 875	-	108 495	-	230 415	-	145 615	-	222 835	-
		2007	69 395	-	76 995	-	145 995	-	82 615	-	129 595	-

\*: Significatif ; \*\* : très significatif ; ns : non significatif

(Source : tests en milieu paysan)



• **Effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O de mil dans la commune rurale de Koporo pen.**

En première année, le taux en azote des grains n'a pas montré de variations importantes pour l'ensemble des traitements (valeur comprise entre 1,2 et 1,6%). Mais en deuxième année, les analyses chimiques des grains et de paille de mil ont montré un accroissement du taux d'azote dans les grains par rapport au T<sub>0</sub> de 6% avec le T<sub>2</sub> et le T<sub>3</sub>. (Tableau 47). Pour la paille, l'accroissement du taux d'azote par rapport au T<sub>0</sub> a varié entre 6,6% et 21,3%. En troisième année, ce taux d'azote a été respectivement plus élevé par rapport à celui des grains de mil du T<sub>0</sub> de 7,6% avec le T<sub>1</sub>, 7,6% pour le T<sub>2</sub>, 15,3% avec le T<sub>3</sub> et enfin de 11,5% avec le T<sub>4</sub>. En ce qui concerne l'azote dans la paille, l'accroissement par rapport au T<sub>0</sub> a varié entre 75,8% et 117%.

Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a montré un accroissement avec des valeurs comprises entre 0,4 et 0,7%, dans les grains et de paille de mil, en première année. De même en deuxième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement variant de 0 à 29% dans les grains par rapport au T<sub>0</sub> et de 8,3% à 25% pour la paille. En troisième année également, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement variant de 0 à 11% dans les grains par rapport au T<sub>0</sub>, mais avec un déficit de 18 à 47,6% pour la paille.

Le taux de K<sub>2</sub>O dans les grains a varié entre 0,30 et 0,42% en première année. Ce taux a été plus élevé dans la paille que les grains et présente un accroissement variant de 6,9% à 18,6% pour les grains et un déficit de 21% à 13,5%. Le taux de K<sub>2</sub>O a été plus élevé dans le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub>. En troisième année, le taux de K<sub>2</sub>O a été plus élevé dans la paille que les grains et présente un taux d'accroissement par rapport au T<sub>0</sub> variant de -3,5 à 3,5% pour les grains et de 5,5 à 22,9%. Le taux de K<sub>2</sub>O a été plus élevé dans le T<sub>1</sub> et le T<sub>2</sub>. Les déficits en éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O dans la paille ou les grains par rapport au T<sub>0</sub> s'expliqueraient par le déficit en pluie en début ou en fin de croissance des plants. La mobilisation de ces éléments dans le sol est plus facile et plus rapide dans le sol sans engrais que dans les traitements avec engrais (organique ou minéral) à cause de leur concentration.

**Tableau 47.** Variation des taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et de la paille du mil suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires techniques	Années	Mil (témoin) T <sub>0</sub>		Mil+2t.ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> Fumier Bovins T <sub>1</sub>		Mil+5t.ha <sup>-1</sup> 3ans <sup>-1</sup> Fumier Bovins T <sub>2</sub>		Mil+2t.ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> Fumier Petits Ruminants T <sub>3</sub>		Mil+5t.ha <sup>-1</sup> 3ans <sup>-1</sup> Fumier Petits Ruminants T <sub>4</sub>	
		grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille
N total %	2005	1,50	0,31	1,40	<b>0,33</b>	<b>1,59</b>	0,29	1,59	0,28	1,22	0,30
	2006	1,18	0,75	1,28	<b>0,86</b>	1,39	0,91	1,28	0,86	1,28	0,80
	2007	2,03	0,18	2,18	0,32	2,18	0,24	<b>2,34</b>	<b>0,40</b>	2,26	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	2005	0,58	0,09	<b>0,58</b>	0,11	0,58	0,09	0,69	0,09	0,44	0,09
	2006	0,55	0,12	0,63	0,15	<b>0,71</b>	0,13	0,55	0,15	0,63	0,14
	2007	0,67	0,23	0,74	0,18	0,70	0,14	0,67	0,18	0,67	0,12
K <sub>2</sub> O total %	2005	0,40	1,10	0,41	0,99	0,40	0,92	0,42	0,92	0,30	1,17
	2006	0,43	1,81	0,51	1,84	0,48	1,95	0,48	1,45	0,46	2,09
	2007	0,56	1,61	0,58	1,98	0,58	1,95	0,54	1,81	0,54	1,70

(Source : analyse des plantes : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Le Tableau 48 montre la variation des taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol après récolte suivant les itinéraires techniques. Les analyses chimiques du sol en première année ont montré un taux d'azote très faible dans l'ensemble, qui a connu un accroissement par rapport au T<sub>0</sub> variant de 11% à 44%. En deuxième année, l'accroissement du taux d'azote des différents traitements par rapport au T<sub>0</sub> était compris entre 0 et 14,2%. Mais en troisième année, le taux d'azote dans le T<sub>1</sub> et le T<sub>2</sub> a baissé par rapport à celui du T<sub>0</sub>. Par contre, le taux d'azote a connu un accroissement de 5% par rapport au T<sub>0</sub> dans les traitements T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>.

La quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> n'a pas connu d'augmentation par rapport au T<sub>0</sub> dans le sol pour tous les traitements en première année. De même en deuxième année, la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> n'a pas connu d'augmentation par rapport au T<sub>0</sub> dans le sol avec le T<sub>1</sub> et le T<sub>3</sub>. Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu une légère augmentation par rapport au T<sub>0</sub> de 7%(2,8ppm) avec les traitements T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub>. Mais en troisième année, la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement de 8,4%(4,3ppm) avec le T<sub>1</sub>. Tandis que cette quantité n'a pas connu de variation importante dans le sol pour les autres traitements par rapport à celle du T<sub>0</sub>.

En première et deuxième année, la quantité de K<sub>2</sub>O total est importante dans l'ensemble des traitements. En troisième année, cette quantité dans le T<sub>1</sub> n'a montré aucune augmentation par rapport au T<sub>0</sub>.

**Tableau 48.** Variation des taux en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques après récolte dans la commune rurale de Koporo pen.

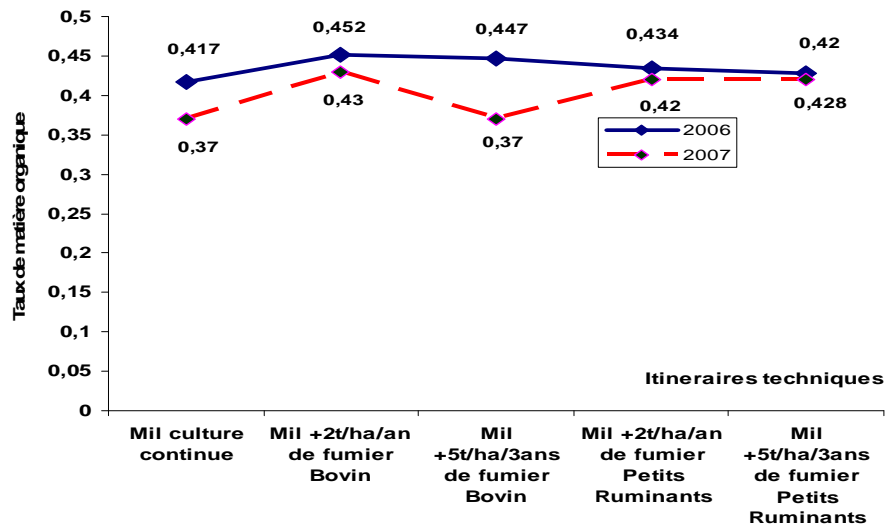
Itinéraires Techniques	Années	Mil+2t.ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>		Mil+5t.ha <sup>-1</sup> 3ans <sup>-1</sup>		
		Mil (témoin) T <sub>0</sub>	Fumier Bovins T <sub>1</sub>	Fumier Bovins T <sub>2</sub>	Fumier Petit Ruminant T <sub>3</sub>	Fumier Petit Ruminant T <sub>4</sub>
		0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
N total %	2005	0,009	0,010	0,012	0,013	0,013
	2006	0,021	0,020	0,022	0,024	0,021
	2007	0,020	0,019	0,019	0,021	0,021
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (P) ppm	2005	48,7	48,7	48,7	48,7	41,2
	2006	39,3	39,3	42,1	39,3	42,1
	2007	50,9	55,2	50,9	42,5	50,9
K <sub>2</sub> O total (K) ppm	2005	587,0	663,5	561,5	535,9	515,1
	2006	324	344	383	342	353
	2007	316,8	306,5	344,4	330,6	337,5

(Source : analyse des sols : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet de l'apport du fumier de bovins et de petits ruminants sur le taux de carbone total et de matière organique totale du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les analyses chimiques du sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol par rapport au T<sub>0</sub> de 8,26% avec le traitement T<sub>1</sub>, de 7% avec le T<sub>2</sub>, de 4,13% avec le T<sub>3</sub>, et de 2,4% avec le T<sub>4</sub> (Figure 17). Le rapport C/N est de 13 pour le traitement T<sub>1</sub>, ce rapport baisse et prend la valeur 12 pour les traitements T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub>. Il est le plus bas, soit 11 pour le T<sub>3</sub>. La matière organique connaît également une augmentation dans le sol comme le carbone. La matière organique totale est plus élevée dans les traitements à fumier de bovins. En troisième année, le taux de carbone du sol a connu une baisse pour l'ensemble des traitements par rapport à la deuxième année. Le traitement T<sub>2</sub> a montré le plus bas niveau en

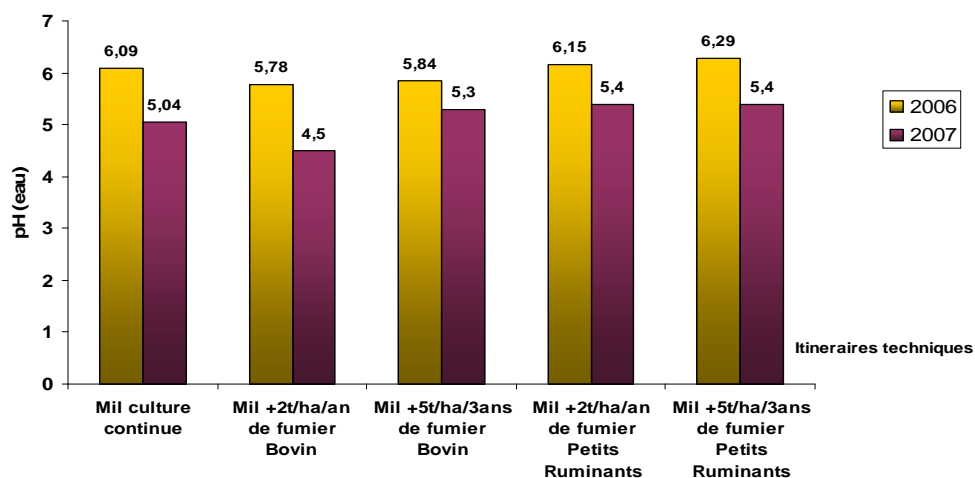
matière organique comparé au traitement T<sub>0</sub> (sans fertilisant). Le rapport C/N a été de 13 pour le traitement T<sub>1</sub>, 11 pour le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub>, ce qui pourrait s'expliquer par une forte minéralisation.



**Figure 17.** Variation du taux de matière organique du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

- **Effet de l'apport du fumier de bovins et de petits ruminants sur le pH du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les analyses chimiques des échantillons de sol après la deuxième année révèlent que le pH du sol n'a pas connu une variation importante pour l'ensemble des traitements pour lesquels il reste acide (Figure 18). Cependant les traitements avec le fumier de bovins ont été plus acides. La valeur du pH a augmenté de 5,09% avec le T<sub>1</sub>, et de 4,10% avec le T<sub>2</sub>. La valeur du pH a diminué de 0,9% avec le T<sub>3</sub> et de 3,28% avec le T<sub>4</sub>. Ces différences s'expliqueraient par une minéralisation plus rapide du fumier de bovins par rapport au fumier de petits ruminants. Après la troisième année, l'acidité du sol a augmenté dans l'ensemble des traitements, et elle a été plus élevée dans les traitements de fumier de bovins. Cette baisse de la valeur du pH (augmentation de l'acidité du milieu) serait due à la minéralisation de la matière organique (baisse du taux de carbone du sol).



**Figure 18.** Variation du pH eau du sol suivant les itinéraires techniques en 2006 et 2007 dans la commune rurale de Koporo pen.

- **Effet de l'apport du fumier de bovins et de petits ruminants sur le bilan de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Le modèle indique que les bilans de l'azote, et du phosphore, ont été déficitaires aussi bien pour le T<sub>0</sub>, que pour les autres traitements pour les trois années de test aux champs (Tableau 49). Les déficits en azote et en phosphore ont été plus élevés pour les traitements T<sub>1</sub> et T<sub>3</sub>. Pour le cas de l'azote le déficit pour le T<sub>1</sub> a été de 55,47kg en 2005, 160,82kg en 2006 et 213,17kg en 2007 et pour le T<sub>3</sub> le déficit a été de 47,06kg en 2005, 151,56kg en 2006 et 217,52kg en 2007). Le bilan du potassium total a été déficitaire dans le T<sub>0</sub> mais excédentaire dans tous les autres traitements pour les trois années consécutives.

**Tableau 49.** Bilan de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs	Itinéraires techniques	Année	Mil (témoin)	Mil+2t/ha/an FO Bov	Mil+5t/ha/3ansFOBov	Mil+2t/ha/an FO PR	Mil+5t/ha/3ansFOPR
			T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Azote (N en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-77,98	-55,47	-38,19	-47,06	-19,21
		2006	-142,57	-160,82	-138,84	-151,56	-105,69
		2007	-180,13	-213,17	-194,58	-217,52	-178,93
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-50,70	-42,71	-28,19	-36,56	-10,24
		2006	-84,92	-98,09	-81,62	-84,95	-58,87
		2007	-127,14	-146,65	-126,29	-131,33	-102,5
Potassium (K <sub>2</sub> O en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-137,50	275,39	2320,12	392,75	2956,79
		2006	-225,94	504,78	2195,81	759,19	2526,78
		2007	-297,99	761,39	2077,49	1128,07	2419,92

(Source : tests en milieu paysan à Koporo pen)

L'apport du fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses dans la fertilisation du mil sur trois ans de test aux champs a permis d'obtenir des rendements moyens grain et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Les applications du fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses permettent également d'améliorer la qualité des grains et paille en azote et en phosphore par rapport au témoin. Les résultats des itinéraires techniques testés au champ confirment ceux des études conduites dans les stations de recherche en Afrique, qui ont montré des effets bénéfiques du fumier sur les rendements des cultures et les propriétés physiques et chimiques du sol (Bationo, 1998). En effet, avec une bonne pluviométrie, l'application de 2t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> de fumier de bovins ou de petit ruminant permet d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 0,6 à 82%, avec une augmentation de la concentration du sol en matière organique de 8,3% et de une baisse de la valeur du pH de 5,09% du sol par rapport au témoin dès la deuxième année. Dans le cas de déficit pluviométrique, les déficits de production peuvent atteindre 30% par rapport au rendement du témoin. L'apport d'une dose unique de 5t.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de fumier de bovins ou de petit ruminant, permet d'obtenir un taux d'amélioration du rendement grain de mil par rapport au témoin variant de 13 à plus de 100%, avec une augmentation de la matière organique de 4,10%, et une hausse de la valeur du pH de 5,6% du sol par rapport au témoin dès la deuxième année pour une bonne pluviométrie. Avec un risque de perte de 62% en pluviométrie déficitaire

Compte tenu du caractère aléatoire des pluies, l'application de 2t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> de fumier conviendrait mieux que celle de 5t.ha<sup>-1</sup>.3ans<sup>-1</sup> de fumier à cause du risque, et des possibilités des

paysans à stocker le fumier. Cette conclusion est la même que celle tirée des résultats des expériences sur les effets du fumier sur les terres sablonneuses par Brouwer *et al.*, 1997 selon lesquels, l'application d'une très grande quantité de fumier de bovins, n'est pas nécessaire chaque année à cause des pertes élevées en éléments nutritifs. Pour réduire les pertes dues au lessivage, il conviendrait d'appliquer de petites quantités de fumier plus fréquemment, plutôt que de grandes quantités moins fréquemment. Face au constat alarmant de dégradation physique et organique des sols, un accroissement de la production de fumure animale apparaît comme l'une des réponses urgentes. « Contrairement à ce que l'on prêche généralement, pour arrêter la dégradation, il ne faut pas diminuer le nombre de têtes de bétail mais l'augmenter, tout en changeant radicalement le système de conduite » (Bosma *et al.*, 1993). Mais cette optimisation des effets de l'élevage sur le maintien des potentialités édaphiques et sur la régénération du couvert végétal nécessite une intégration par tous les agropasteurs des innovations en cours de vulgarisation sur la conduite des animaux, une augmentation et une meilleure répartition du cheptel entre les paysans (70% des bovins sont actuellement en la possession de moins de 20% des éleveurs). Cependant, l'accroissement de l'apport de fumure animale organique est indispensable mais sera insuffisant pour compenser l'important déficit phospho-potassique du bilan minéral. La fertilisation chimique en phosphore et potassium devrait être intensifiée pour conserver la fertilité des sols. Selon Breman, 1986 l'utilisation du fumier est recommandée chaque fois que cela est possible, et considère qu'à court terme, son emploi ne doit pas exclure celui de la fertilisation chimique.

#### **4.2.4. Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.**

- **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.**

##### **- Commune rurale de Kopro pen**

L'analyse des résultats de la première année, a montré qu'il n'existe aucune différence significative entre les rendements (grain et paille) (Tableau 50). Le T<sub>5</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 118% (570kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 74%(3050kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>3</sub>, la production de mil par hectare a connu également une amélioration par rapport au T<sub>0</sub> de 61%(295kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 34%(1500kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 39% (190kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 26%(1150kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>2</sub>, la production de mil par hectare croît par rapport au T<sub>0</sub> de 30%(145kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 6%(250kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Les rendements obtenus avec le T<sub>5</sub> sont supérieurs à ceux obtenus par le T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub>. qui ont été peu différents des rendements obtenus par l'application de T<sub>1</sub> soit, 22,6% en grain L'évaluation économique des résultats a indiqué que l'application de la fumure organique a généré des pertes par rapport à la culture sans engrais avec un taux de perte par hectare de 78,8%(31 030 FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>1</sub>, de 165,6%(72 610 FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>2</sub>, de 189,1%(82 880 FCFA.ha<sup>-1</sup>), pour le T<sub>4</sub>. Les pertes ont été plus élevées pour le T<sub>3</sub> avec 283,5% (124 260 FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin pour le T<sub>5</sub> avec une perte de 299,4%(131 220 FCFA.ha<sup>-1</sup>). Ces pertes étaient dues aux déficits et à l'irrégularité de la pluie. Le début de campagne a engendré des reprises au niveau des parcelles d'où une augmentation du coût de production. Le traitement sans fumure en particulier le T<sub>0</sub> (témoin) s'est mieux comporté en début de campagne ainsi que le T<sub>1</sub> en valeur ajoutée.

Les rendements (grain et paille) obtenus en deuxième année ont été largement supérieurs à ceux de la première année. L'analyse des résultats a montré qu'il n'existe aucune différence significative entre les rendements grains par rapport au témoin. Par contre, il existe une différence significative entre les rendements paille par rapport au témoin. Le T<sub>1</sub> et le T<sub>4</sub> ont donné des rendements grains inférieurs au T<sub>0</sub>. Le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un surplus de rendement grain par rapport au T<sub>0</sub> de 11,11%(160kg.ha<sup>-1</sup>), et 35,73%(1540kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> obtenu avec le T<sub>3</sub> a été de 20,13%(290kg.ha<sup>-1</sup>) et 32,25%(1390kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, celui du T<sub>5</sub> a été de 27,77%(400kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain, et 48,49%(1990kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Les rendements grain obtenus ont permis de réaliser des valeurs ajoutées contrairement à la première année. Ainsi, le T<sub>3</sub> et le T<sub>4</sub> ont permis d'obtenir respectivement des taux d'augmentation de 20,40%(30 850FCFA.ha<sup>-1</sup>), et 29,07%(43 960FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport T<sub>0</sub>. Les traitements T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> et T<sub>4</sub> ont présenté des pertes par rapport au T<sub>0</sub>.

Contrairement à la deuxième année, en troisième année, les rendements grains ont présenté une différence très significative par rapport au témoin. Par contre, la différence était non significative pour les rendements paille par rapport au témoin. Le rendement le plus élevé a été obtenu avec le T<sub>2</sub> pour un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 153%(774kg.ha<sup>-1</sup>) et 50%(1256kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du T<sub>4</sub> avec, 145%(734kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et 83%(2096kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>5</sub> a permis une amélioration du rendement grain de 137%(694kg.ha<sup>-1</sup>) et de 55%(1392kg.ha<sup>-1</sup>) pour, elle a été suivi du T<sub>3</sub> avec 89%(450kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et 27%(688kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ainsi le T<sub>1</sub> venait en dernière position avec 23%(115kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et 8%(210kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le surplus de production obtenu : le T<sub>5</sub> a permis d'obtenir un accroissement de la valeur ajoutée de 187%(78 350FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>, suivi du T<sub>3</sub> avec 118%(49 570FCFA.ha<sup>-1</sup>). Ces deux premiers itinéraires étaient suivis du T<sub>4</sub> avec 85%(35 678FCFA.ha<sup>-1</sup>), du T<sub>2</sub> avec 36%(15 058FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le T<sub>1</sub> avec 28%(11 698FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.

#### **- Commune rurale de Madiama**

Pour la première année, l'analyse des résultats a montré qu'il existe une différence significative entre les rendements mesurés (grains et paille) pour l'ensemble des parcelles qui ont reçu le fumier (2 et 5tonnes) et les 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de PNT indique le Tableau 50. Les gains relatifs de ces différents traitements par rapport au témoin étaient de 82,2%(530kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et de 29,3%(1370kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille en ce qui concerne le traitement T<sub>2</sub>, de 66,7 %(430kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et de 74,1 %(3470kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille avec le traitement T<sub>4</sub>. Le traitement T<sub>3</sub> a été à l'origine d'un gain relatif en grain de 59,7%(385kg.ha<sup>-1</sup>) et de 87,9%(4115kg.ha<sup>-1</sup>) en paille, enfin celui de T<sub>5</sub> a permis d'obtenir une augmentation du rendement grain de 55%(355kg.ha<sup>-1</sup>) et de 75,2%(3520kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille par rapport au T<sub>0</sub>. Le rendement obtenu avec le T<sub>1</sub> n'a présenté aucune différence significative avec le T<sub>0</sub> malgré la différence de poids constatée, avec un gain relatif de 31,8%(205kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 34%(1620kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Les analyses économiques des résultats ont montré que les apports du témoin sans fertilisant en terme de bénéfice ont été supérieurs à ceux des autres traitements. Les pertes relatives par rapport au T<sub>0</sub> ont été de 24,3%(15 560FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>1</sub>, de 37,6 %(24 100FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>2</sub>, de 82,2%(52 640FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>4</sub>. Le T<sub>3</sub> et le T<sub>5</sub> ont généré respectivement des pertes par rapport au témoin les plus élevées à cause du déficit de pluie. Ces pertes sont de l'ordre 176,4%(112 920FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le fumier de bovins et de 247,4%(158 310FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le fumier de petits ruminants par rapport au T<sub>0</sub>.

L'analyse des résultats de la deuxième année a montré comme en première année, qu'il existe une différence significative entre les rendements (grains et paille) des parcelles qui ont reçu le fumier et les 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de PNT et le témoin sans fertilisant. Mais les rendements obtenus sont relativement plus élevés que ceux de la première année pour l'ensemble des traitements ; cela s'expliquerait par la bonne pluviométrie. Le gain relatif par rapport au T<sub>0</sub> le plus élevé a été obtenu par le T<sub>5</sub> avec 82,6%(1290kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain, et de 43,4%(6300kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du T<sub>2</sub> avec, 57%(890kg/ha) pour le grain, et de 24,8 %(soit 3600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ces deux techniques ont été suivies du T<sub>3</sub> avec 47,4%(740kg.ha<sup>-1</sup>) et de 12,4%(1800kg.ha<sup>-1</sup>) en paille, du T<sub>4</sub> avec 44,23%(690kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain, et 15,8%(2300kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Enfin, le T<sub>1</sub>, avec 16%(250kg.ha<sup>-1</sup>) et un déficit de 14,4%(2100kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille par rapport au T<sub>0</sub>. Contrairement à la première année, les rendements grains de mil obtenus ont permis de réaliser des valeurs ajoutées supérieures à celles du T<sub>0</sub>. Le bénéfice par rapport au T<sub>0</sub> est plus élevé avec le T<sub>5</sub> avec 89,08 %(159 700FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>3</sub> avec 50,29%(90 160FCFA.ha<sup>-1</sup>). Le T<sub>2</sub>, vient en troisième position avec une augmentation de la valeur ajoutée de 31,9%(57 260FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>1</sub> avec, un accroissement de 16,6%(29 860FCFA.ha<sup>-1</sup>), et en dernière position le T<sub>4</sub> avec, 8,99%(16 120FCFA.ha<sup>-1</sup>).

De même, en troisième année, il existe une différence très significative entre les rendements (grains et paille) des différents traitements qui ont reçu le fumier (2 et 5tonnes de fumier) et les 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de PNT et le témoin sans fertilisant. Les rendements obtenus étaient relativement plus élevés, que ceux de la première année pour l'ensemble des traitements et moins élevés que ceux de la deuxième année. Les apports réguliers de fumier (2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup>) dans les bonnes conditions pluviométriques ont donné les meilleurs gains. Ainsi le gain relatif par rapport au T<sub>0</sub> le plus élevé a été obtenu par le T<sub>4</sub> avec un taux d'amélioration du rendement de 108,8%(847kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et de 106%(3683kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du T<sub>2</sub> avec 97,6%(760kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et de 97,7%(3308kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ainsi, le T<sub>5</sub> arrive en troisième position avec un gain relatif en grain a été de 70,9%(552kg.ha<sup>-1</sup>) et de 71,1%(2410kg.ha<sup>-1</sup>) en paille, suivi du T<sub>3</sub> avec 59%(460kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et de 59,1%(2003kg.ha<sup>-1</sup>), et enfin, le T<sub>1</sub> avec un gain relatif en grain de 45,6%(355kg.ha<sup>-1</sup>) et de 45,7(1548kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Comme en deuxième année, les rendements grains de mil obtenus en troisième année permettent de réaliser des valeurs ajoutées nettement supérieures à celles du T<sub>0</sub>. Le T<sub>5</sub> a réalisé le bénéfice le plus élevé par rapport au T<sub>0</sub> avec 82,7%(66 775FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du T<sub>3</sub> avec 68%(54 880FCFA.ha<sup>-1</sup>), et du T<sub>1</sub> avec 53,4%(43 090 FCFA.ha<sup>-1</sup>). Le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub> ont présentait respectivement des taux d'accroissement de la valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 50,6%(40 880FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 44,5%(35 965FCFA.ha<sup>-1</sup>).

#### **- Commune rurale de Doucombo**

En première année, l'analyse des résultats a montré qu'il n'existe aucune différence significative entre les rendements (grain et paille). Cependant, elle laisse voir un déficit important de la production de mil (grain) par rapport au témoin (T<sub>0</sub>) (Tableau 50). Le T<sub>5</sub> a généré un déficit de production par hectare de 37%(soit 330kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et une légère augmentation de 1%(75kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>3</sub>, la production de grain de mil par hectare a connu également un déficit de 20%(180kg.ha<sup>-1</sup>) et une augmentation de 23%(1300kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>4</sub> a généré des déficits de production par hectare de 42%(370kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 23%(3 700kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>2</sub>, la production de mil par hectare a diminué par rapport au T<sub>0</sub> de 24%(210kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 1%(59kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>1</sub>, un déficit de production de mil par rapport au témoin de 11%(100kg.ha<sup>-1</sup>) en grain a été constaté avec un léger regain de 9%(500kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'évaluation économique des résultats a indiqué que l'application du fumier et du PNT a généré des pertes. Ces pertes sont de l'ordre de

208%(95775FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>3</sub>, de 276%(156 285FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>5</sub>, de 141%(36 765FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>2</sub>, et de 173%(65 105FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le T<sub>4</sub>. Ces déficits étaient dus à l'insuffisance et à l'irrégularité de la pluie. Plus la quantité de fumier appliquée est grande, plus la perte est élevée.

En deuxième année, il existe une différence très significative entre les rendements (grain et paille) obtenus. Ces rendements sont largement supérieurs à ceux de la première année. Les taux d'amélioration les plus élevés ont été obtenus par l'application de 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier (bovins et petits ruminants). Le T<sub>3</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain par rapport au T<sub>0</sub> de 68,75%(660kg.ha<sup>-1</sup>) et 43,44%(1325kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>5</sub> l'accroissement a été de 61,45%(590kg.ha<sup>-1</sup>) et 40,16%(1225kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir 38,8% (373kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et 37,7%(1150kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, et le T<sub>4</sub> un surplus de 48,9%(470kg.ha<sup>-1</sup>) pour le grain et 28,68%(875kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>1</sub> a permis un regain en rendement grain de 22,9%(220kg.ha<sup>-1</sup>) et de 10,65%(325kg.ha<sup>-1</sup>) pour le rendement en paille. Contrairement à la première année l'évaluation économique des résultats a montré que l'application du fumier et du PNT permet de réaliser des valeurs ajoutées. Ainsi le T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, et le T<sub>5</sub> ont permis de réaliser respectivement une augmentation des valeurs ajoutées par rapport au T<sub>0</sub> de 25,15%(soit 26 080FCFA.ha<sup>-1</sup>), de 77,24 %(80 080FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 68,96% (71 500FCFA.ha<sup>-1</sup>). Le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub> quant à eux ont permis de réaliser des bénéfices peu différents voire inférieurs à ceux du T<sub>0</sub>.

En troisième année, comme en deuxième année, il existe une différence très significative entre les rendements (grain et paille) obtenus. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir le meilleur rendement avec un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 77,2%(668kg.ha<sup>-1</sup>) et 60,8%(1400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, ensuite le T<sub>2</sub> avec un surplus par rapport au T<sub>0</sub> de 72,6%(628kg.ha<sup>-1</sup>) et 79,4%(1827kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>5</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au T<sub>0</sub> de 60,1%(520kg.ha<sup>-1</sup>) et 79,3%(1825kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Quant à avec le T<sub>3</sub>, le surplus a été de 51,2%(443kg.ha<sup>-1</sup>) et 96,3%(2215kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Enfin le T<sub>1</sub> a permis une amélioration du rendement grain de 51,5%(446kg.ha<sup>-1</sup>) et de 61,3%(1410kg.ha<sup>-1</sup>) pour le rendement paille. Comme en deuxième année, l'application du fumier et du PNT a permis de réaliser des valeurs ajoutées. Le T<sub>5</sub> figure toujours en tête avec le taux d'augmentation de la valeur ajoutée le plus élevé de l'ordre 68,3%(62 680FCFA.ha<sup>-1</sup>), il a été suivi du T<sub>1</sub>, avec 59,5%(54 588FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Le T<sub>3</sub> avec 57,4%(52 675FCFA.ha<sup>-1</sup>). Le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub> ont permis de réaliser respectivement un taux d'accroissement des bénéfices de l'ordre de 26,4%(24 290FCFA.ha<sup>-1</sup>) et de 14,4%(13 285FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.



**Tableau 50.** 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 <sub>0</sub>		Mil + 300Kg PNT T <sub>1</sub>		Mil+2T/ha/an Fumier Bovins + 300 Kg PNT T <sub>2</sub>		Mil+5T/ha/3ans Fumier Bovins + 300Kg PNT T <sub>3</sub>		Mil+2T/ha/an Fumier PR + 300Kg PNT T <sub>4</sub>		Mil+5T/ha/3ans Fumier PR + 300 Kg PNT T <sub>5</sub>	
			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 (Fcf)	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 )

- **Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du mil dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les taux d'azote et les quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et pailles de mil par itinéraire technique présentent très peu de variation d'un itinéraire à un autre (Tableau 51). Les analyses chimiques des échantillons de grains et de paille de mil en première année ont montré un regain en azote par rapport à la culture continue de mil. Ainsi, avec le T<sub>1</sub>, le taux d'amélioration de l'azote a été de 2,8% dans les grains et de 73,9% pour la paille, pour le T<sub>2</sub>, ce taux a été de 2,8 pur les grains et de 48,5% pour la paille, ce taux a été de 11,6% pour les grains et 5,7% pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> et le T<sub>5</sub> ont permis d'obtenir une amélioration de 5,6% pour les grains et aucun regain pour la paille. En deuxième année, avec le T<sub>1</sub>, le taux d'azote a augmenté de 8,5% dans les grains et de 0% pour la paille, pour le T<sub>2</sub>, le taux d'augmentation a été de 8,5% pour les grains et de 17,2% pour la paille, ce taux a été de 17,8% pour les grains et 25% pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir une progression de 17,8% pour le grain et 17,2% pour la paille. Enfin le taux d'accroissement de l'azote dans les grains a été de 27,1% et de 9,4% pour la paille avec le T<sub>5</sub>. En troisième année, l'augmentation du taux pour le T<sub>1</sub> a été de 0% dans les grains et de 50% pour la paille, pour le T<sub>2</sub>, le taux de regain a été de 17,2% pour les grains et de 92% pour la paille, ce taux a été de 25% pour les grains et de 92% pour la paille avec le traitement T<sub>3</sub>. Le traitement T<sub>4</sub> a permis d'obtenir un taux de progression de 17,2% pour les grains et de 50% pour la paille. Enfin pour le T<sub>5</sub> a été de 9,4% et de 112,8 pour la paille.

Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les grains et paille de mil en première année a été plus bas que celui du T<sub>0</sub>. L'insuffisance de la pluie serait à l'origine d'une faible mobilisation des éléments nutritifs aussi bien dans les grains que dans la paille. En deuxième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un regain avec le T<sub>1</sub>, de 11,7% dans les grains et de 16,7% pour la paille. L'application du T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un taux d'accroissement de 25% pour les grains et de 0% pour la paille, ce taux a été de 5% pour les grains et 25% pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> n'a permis d'obtenir aucune augmentation. Enfin le taux d'amélioration de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les grains a été de 31,7% et de 8,3% pour la paille avec le T<sub>5</sub>. En troisième année, l'amélioration du taux P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par rapport au T<sub>0</sub> pour le T<sub>1</sub> a été de 14% dans les grains et de 20% pour la paille, pour le T<sub>2</sub> le taux d'accroissement a été de 14% pour les grains et de 6,4% pour la paille, ce taux a été de 28,5% pour les grains et de 28,9% pour la paille avec le traitement T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir un taux d'accroissement de 14% pour les grains et de 2,7% pour la paille. Enfin pour le T<sub>5</sub>, le regain en l'azote dans les grains a été de 28,5% et de 8% pour la paille.

En première année, le taux K<sub>2</sub>O par rapport au T<sub>0</sub> a été plus bas pour le T<sub>1</sub>, soit 2,86% dans les grains et de 0,31% pour la paille ; pour le T<sub>2</sub>, le taux d'accroissement a été de 14,29% pour les grains et un déficit de 0,11% pour la paille, ce taux a été de 51,4% pour les grains et de 0,29% de déficit pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir un taux d'accroissement de 17,1% pour les grains et un déficit de 0,07% pour la paille. Enfin pour le T<sub>5</sub>, le déficit par rapport au témoin du taux de K<sub>2</sub>O dans les grains a été de 11,4% et de 0,56% pour la paille. Nous pensons que ces déficits seraient dus à l'insuffisance d'eau de pluie dans le sol pour la mobilisation des éléments nutritifs. En deuxième année, l'amélioration du taux K<sub>2</sub>O par rapport au T<sub>0</sub>, pour le T<sub>1</sub> a été de 9,52 % dans les grains et de 35,76% pour la paille, pour le T<sub>2</sub>, le taux de progression a été de 2,38% pour les grains et de 31,13% pour la paille, ce taux a été de 9,52% pour les grains et de 31,13% pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir une augmentation de 4,76% pour les grains et de 14,57% pour la paille. Enfin pour le T<sub>5</sub>, le regain en K<sub>2</sub>O dans les grains a été de 7,14% et de 29,80% pour la paille. En troisième année, l'amélioration du taux K<sub>2</sub>O par rapport au T<sub>0</sub> a été a été de 0% dans les grains et de 24,1% pour la paille pour le T<sub>1</sub>. Pour le T<sub>2</sub>, le taux d'accroissement a été de 0% pour les grains et de 18,4% pour la paille, ce taux a été de 0% pour

les grains et un déficit de 4,1% pour la paille avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir un taux de progression de 14,8% pour les grains et de 6,67% pour la paille. Enfin pour le T<sub>5</sub>, le regain en azote dans les grains a été de 8,5% et de 14,8% pour la paille.

**Tableau 51.** Variation du taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et pailles de mil suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires techniques	Années	Mil (témoin) T <sub>0</sub>		Mil + 300kg PNT T <sub>1</sub>		Mil+2t/ha /anFumier Bovin+ 300kgPNT T <sub>2</sub>		Mil+5t/ha/3ans Fumier Bovin +300kgPNT T <sub>3</sub>		Mil+2t/ha/an Fumier petits Ruminants + 300kgPNT T <sub>4</sub>		Mil+5t/ha/3ans Fumier petits ruminants + 300kgPNT T <sub>5</sub>	
		grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille
		Indicateurs											
N total (%)	2005	1,68	0,29	1,64	0,52	1,73	0,44	1,88	0,31	1,78	0,29	1,59	0,29
	2006	1,18	0,64	1,28	0,64	1,28	0,75	1,39	0,80	1,39	0,75	1,50	0,70
	2007	2,03	0,37	2,10	0,56	2,10	0,71	2,26	0,71	2,10	0,56	2,18	0,79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)	2005	0,95	0,22	0,51	0,14	0,66	0,16	0,73	0,09	0,66	0,11	0,51	0,07
	2006	0,60	0,12	0,67	0,14	0,75	0,12	0,63	0,15	0,60	0,12	0,79	0,11
	2007	0,52	0,18	0,59	0,22	0,59	0,17	0,67	0,24	0,595	0,18	0,67	0,20
K <sub>2</sub> O total (%)	2005	0,35	2,06	0,34	1,42	0,40	1,83	0,53	1,47	0,41	1,92	0,31	0,91
	2006	0,42	1,51	0,46	2,05	0,43	1,98	0,46	1,98	0,44	1,73	0,45	1,96
	2007	0,47	1,95	0,47	2,42	0,47	2,31	0,47	1,87	0,54	2,08	0,51	2,24

(Source : analyse des plantes : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O 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<sub>0</sub> a été de 66,6%, respectivement pour : le T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, et le T<sub>5</sub> (Tableau 52). Ce taux d'augmentation a été de 44,4% avec T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub>. En deuxième année, le taux d'accroissement de l'azote a été de 9,52% avec le T<sub>1</sub>, de 14,29% pour le T<sub>2</sub>, et de 23,81% pour le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a généré un déficit d'azote de 4,76% par rapport au T<sub>0</sub>. Enfin le taux d'azote dans le sol n'a pas connu d'augmentation avec le T<sub>5</sub>. 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<sub>5</sub>. Le T<sub>1</sub> a permis d'obtenir un taux d'accroissement de l'azote de 15% par rapport au T<sub>0</sub>, de même que le T<sub>3</sub> et le T<sub>4</sub>. Enfin le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un taux d'augmentation a été de 5%.

Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol en première année, a connu un regain avec le T<sub>1</sub>, de 126,70%(52,2ppm). Le taux d'amélioration a été de 18,20%(7,5ppm) aussi bien pour le T<sub>2</sub>, que pour le T<sub>4</sub>. Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a été de 37,86%(15,6ppm) avec le T<sub>3</sub> et le T<sub>5</sub>. En deuxième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a connu un taux d'amélioration de 7,12%(2,6ppm) aussi bien avec le T<sub>1</sub>, qu'avec le T<sub>2</sub> et le T<sub>4</sub>. Le taux de regain a été de 48%(16,9ppm), avec le T<sub>3</sub> et le T<sub>5</sub>. Le taux d'amélioration de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a été de 7,79%(4,30ppm) avec le T<sub>3</sub> et le T<sub>5</sub>. Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a connu également une progression de 7,61%(4,20ppm), avec le T<sub>1</sub> et le T<sub>4</sub>. Cependant le T<sub>2</sub>, n'a montré aucune amélioration du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du sol.

La progression du taux de K<sub>2</sub>O dans le sol par rapport au T<sub>0</sub> a été de 107,2%(303,7ppm) avec le T<sub>1</sub> et T<sub>4</sub> en première année. Pour le T<sub>5</sub>, le regain de K<sub>2</sub>O dans le sol a été de 89,16%(252,6ppm). Ce taux a été de 80,16%(227,1ppm) avec le T<sub>3</sub>. Enfin, pour le T<sub>2</sub>, le taux d'augmentation par

rapport à T<sub>0</sub> a été de 53,16%(150,6ppm). Cependant en deuxième année, l'amélioration du taux K<sub>2</sub>O dans le sol par rapport au T<sub>0</sub> a été de 40,26%(93ppm) avec le T<sub>1</sub>, de 27,2%(63ppm) pour le T<sub>2</sub>, et de 70,13%(162ppm) avec le T<sub>3</sub>. Le T<sub>4</sub> a permis d'obtenir un taux d'accroissement du K<sub>2</sub>O dans le sol de 48,92%(113ppm). Le taux de progression du K<sub>2</sub>O dans le sol a été de 52,8%(122ppm) pour le T<sub>5</sub>. En troisième, le taux de K<sub>2</sub>O dans le sol a connu un déficit par rapport au T<sub>0</sub> de 18,75%(62ppm) avec le T<sub>1</sub>, de 20,84%(68,9ppm) pour le T<sub>2</sub>, de 4,17%(13,8ppm) avec le T<sub>3</sub> et de 10,41%(34,4ppm) pour le T<sub>4</sub>. Mais avec le T<sub>5</sub>, le taux de progression du K<sub>2</sub>O du sol par rapport à celui de T<sub>0</sub> a été de 8,35%(27,6ppm).

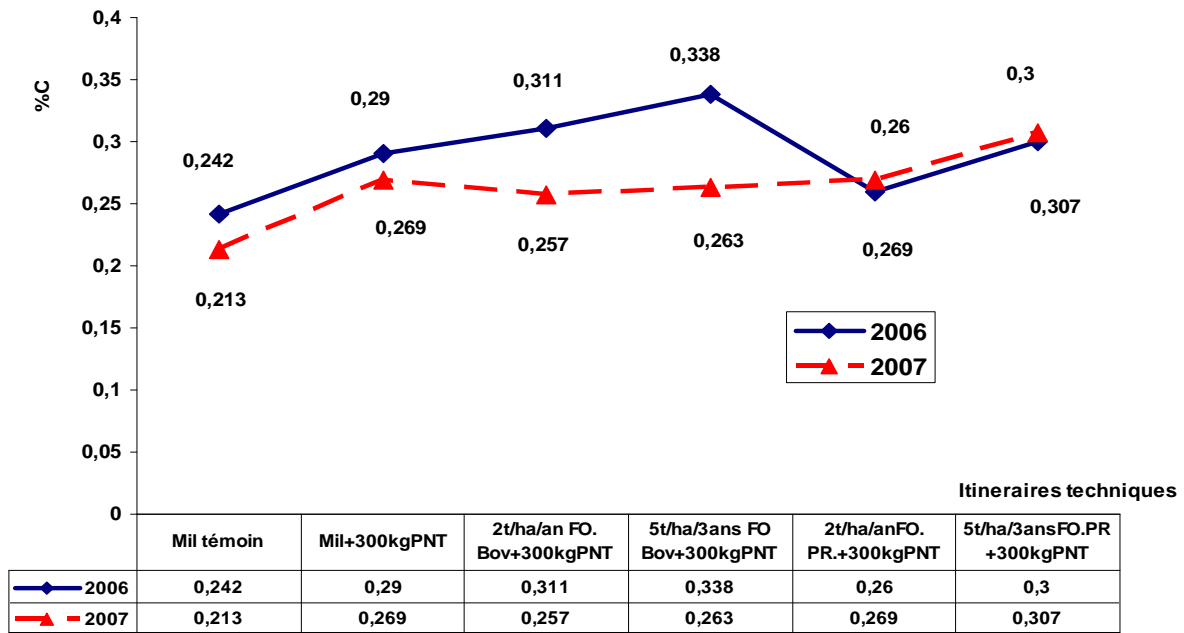
**Tableau 52.** Variation du taux de l'azote et des quantités de phosphore et de potassium du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Itinéraires techniques éléments fertilisants	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
		(témoin) T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
		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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 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 <sub>2</sub> 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.**

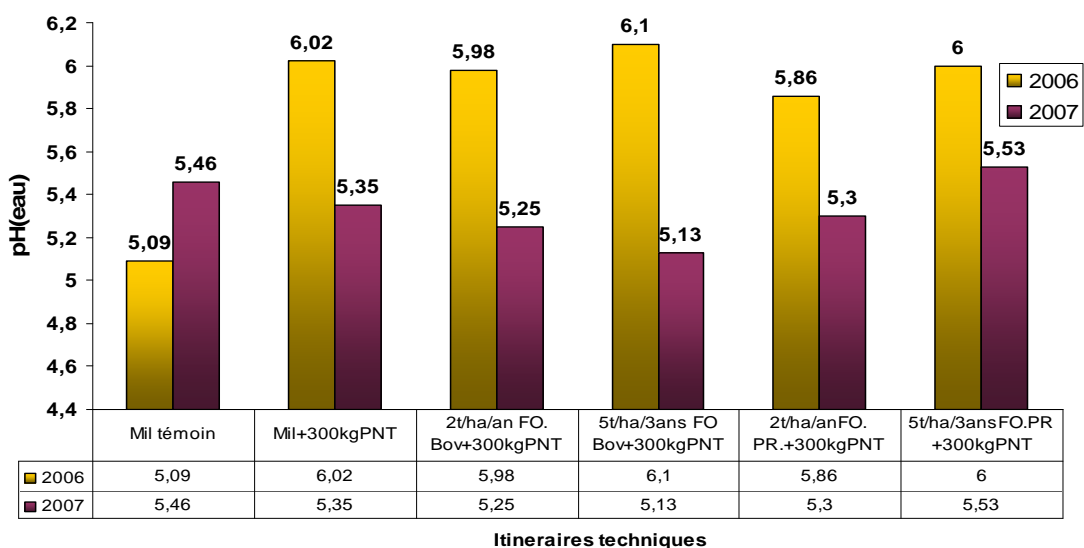
Les résultats des analyses chimiques du sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol par rapport au T<sub>0</sub> de 19,8% pour le T<sub>1</sub>, de 28,5% pour le T<sub>2</sub>, de 39,6% pour le T<sub>3</sub>, de 7,4% pour le T<sub>4</sub>, et de 23,9% pour le T<sub>5</sub> (Figure 19). 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 accroissement de 26,29% avec le T<sub>1</sub>, de 26,6% avec le T<sub>2</sub>, de 23,47% avec le T<sub>3</sub>, de 26,29% avec le T<sub>4</sub>, et de 44,13% avec le T<sub>5</sub>. Le rapport C/N a été de 14 pour T<sub>1</sub> et de 12 pour le T<sub>2</sub>. Un C/N de 13 a été obtenu pour le T<sub>3</sub>.



**Figure 19.** Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen

- **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 20). 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 20.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

- Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur le bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.

Le bilan établi a été déficitaire pour l'azote pour l'ensemble des traitements durant les trois années (Tableau 53). Le bilan du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été déficitaire pour le témoin, mais excédentaire pour les autres itinéraires techniques : il s'agit des T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> et T<sub>5</sub> pour la première année. Pour les deux dernières années le bilan du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été déficitaire pour tous les traitements. Le bilan du K<sub>2</sub>O a été déficitaire pour le T<sub>0</sub> et le traitement T<sub>1</sub>, mais excédentaire pour le T<sub>2</sub> et très excédentaire pour les autres traitements.

**Tableau 53.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs	Années	Itinéraires Techniques					
		Mil (témoin) T <sub>0</sub>	Mil+300kgPNT T <sub>1</sub>	Mil+2t/ha/an FOBov+300kgPNT T <sub>2</sub>	Mil+5t/ha/an FOBov+300kgPNT T <sub>3</sub>	Mil+2t/ha/an FOPR+300kgPNT T <sub>4</sub>	Mil+5t/ha/an FOPR+300kgPNT T <sub>5</sub>
Azote (N en kg.ha <sup>-1</sup> )	2005	-53,00	-79,02	-58,80	-33,97	-46,20	-34,88
	2006	-164,44	-175,98	-200,09	-208,09	-155,58	-214,13
	2007	-213,36	-246,69	-314,57	-318,9	-260,19	-356,63
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en kg.ha <sup>-1</sup> )	2005	-70,89	39,43	38,01	58,21	48,08	72,70
	2006	-139,95	-27,46	-45,49	-39,04	-4,47	-34,63
	2007	-175,71	-75,72	-103,68	-109,47	-66,23	-113,87
Potassium (K <sub>2</sub> O en kg.ha <sup>-1</sup> )	2005	-182,62	-122,97	218,96	2270,10	283,63	2984,14
	2006	-324,88	-280,07	365,54	2028,46	612,28	2720,62
	2007	-427,6	-417,65	571,43	1899,79	907,2	2533,48

(Source : tests en milieu paysan)

Dans les pratiques actuelles des paysans, le fumier seul ne peut pas maintenir la fertilité des sols en culture continue. 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<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier de bovins et 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier de bovins et 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de PNT. L'apport de 2t.ha<sup>-1</sup>an<sup>-1</sup> de fumier de petits ruminants et 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le 5t.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de fumier de petits ruminants et 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> de PNT, par rapport au T<sub>0</sub>. Enfin, l'application de 300kg.ha<sup>-1</sup>3ans<sup>-1</sup> 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  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  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  $\text{K}_2\text{O}$  a été positif pour les itinéraires utilisés, par contre il a été déficitaire pour N et  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Mais le déficit est plus faible avec l'apport des  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de petits ruminants et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT, et celui des  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de bovins et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  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.

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.

#### **4.2.5. Effet du parcage de bovins au champ sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.**

- **Effet du parcage de bovins aux champs sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées**

##### **- Commune rurale de Kopro pen**

La première année a été caractérisée par un retard dans la germination des plants dans tous les traitements et surtout dans le  $\text{TN}_{10}$ . Ce fait s'expliquerait par la présence d'une grande quantité de fumier. Le resemis a été fait partout où la levée n'était pas effective. Les plants au cours de leur cycle végétatif ont présenté un bon état phénologique. Les analyses des résultats de cette première année de parcage de bovins ont montré un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin quel que soit le temps de parcage (Tableau 54). Le  $\text{TN}_{10}$  a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de  $191\%(880\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})$  en grain et  $107\%(4280\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})$  pour la paille. Avec le  $\text{TN}_5$ , la production de mil par hectare a connu un accroissement par rapport au  $\text{TN}_0$  de  $200\%(920\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})$  en grain et de  $106\%(4240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})$  pour la paille. Avec le  $\text{TN}_2$ , le rendement a connu également un accroissement par rapport au  $\text{TN}_0$  de  $130\%(600\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})$  en grain et de  $100\%(4000\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})$  pour la paille. L'évaluation économique des résultats a indiqué, que le  $\text{TN}_{10}$  a permis d'obtenir une augmentation de la valeur ajoutée à partir de la production grain par hectare de  $207\%(93\ 560\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1})$  par rapport au  $\text{TN}_0$ . Le  $\text{TN}_5$  a permis d'obtenir un accroissement de la valeur ajoutée de  $134\%(6\ 000\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1})$ , et de  $154\%(65\ 480\text{FCFA}\cdot\text{ha}^{-1})$  pour le  $\text{TN}_2$  par rapport au  $\text{TN}_0$ , ces valeurs ajoutées évoluent en fonction de la durée de parcage malgré le déficit et l'irrégularité de la pluie en début de campagne qui a nécessité des reprises au niveau des parcelles d'où une augmentation du coût de production. Le  $\text{TN}_5$  a permis de réaliser le bénéfice le plus élevé.

La deuxième année, les rendements grain et paille obtenus sont tous supérieurs à ceux de la première année. Les analyses des résultats de cette deuxième année ont montré un surplus des

rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin pour tous les traitements. Le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 241%(1640kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 440%(8800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>5</sub> a connu également un accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 200%(1360kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 400%(8000kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>2</sub>, la production de mil par hectare a connu un accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 100%(680kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 280%(5600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Les rendements grain obtenus en deuxième année ont permis de réaliser des valeurs ajoutées supérieures au témoin. Le TN<sub>10</sub> a été le plus performant avec un taux d'accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 285%(208 400 FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>5</sub> avec un taux de 238%(174 400 FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>2</sub>, qui a permis d'obtenir un taux d'accroissement de 118%(86 800 FCFA.ha<sup>-1</sup>). Les bénéfices réalisés évoluent en fonction du nombre de nuits de parage des bovins.

Les rendements (grains et paille) de mil obtenus en troisième année ont été les plus bas des trois ans même s'ils sont restés supérieurs au témoin. Le TN<sub>10</sub> a été le meilleur itinéraire testé au champ, il a permis d'obtenir un surplus de production par hectare par rapport au TN<sub>0</sub> de 188%(1090kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 199%(3 835kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le TN<sub>5</sub> permis d'obtenir un accroissement de la production de mil par hectare par rapport au TN<sub>0</sub> de 68%(387kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 33%(635kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Enfin le TN<sub>2</sub>, dont la production de mil par hectare a connu un accroissement du rendement par rapport au TN<sub>0</sub> de 25%(145kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 16%(315kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. TN<sub>10</sub> venaient toujours en tête avec un taux d'accroissement de la valeur ajoutée le plus élevé soit de 228%(136 900FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>, suivi du TN<sub>5</sub>, avec un taux d'accroissement de 80%(47 910 FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>2</sub>, avec 29%(17 250 FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>. Les bénéfices réalisés ont évolué en fonction du nombre de nuits de parage comme en deuxième année.

#### **- Commune rurale de Madiama**

Les analyses des résultats de la première année de parage de bovins ont montré un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin quel que soit le temps de parage (Tableau 54). Le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare par rapport au témoin le plus élevé, avec un taux d'accroissement en rendement grain de 150%(soit 600kg.ha<sup>-1</sup>) et de 194%(9700kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Il est suivi du TN<sub>5</sub>, avec un accroissement en rendement grain par rapport au TN<sub>0</sub> de 75%(300kg.ha<sup>-1</sup>) et de 54%(2700kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, et du TN<sub>2</sub>, avec un accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 50%(200kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 22%(1100kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'évaluation économique des résultats a montré, que le TN<sub>10</sub> a réalisé la valeur ajoutée la plus élevée avec un taux d'accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 171,8%(64 400FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>5</sub>, avec 85,9%(32 200FCFA.ha<sup>-1</sup>), et du TN<sub>2</sub>, avec 68,8%(22 800FCFA.ha<sup>-1</sup>). Ces valeurs ajoutées ont évolué en fonction de la durée de parage malgré le déficit et l'irrégularité de la pluie.

En deuxième année les analyses des résultats ont montré plutôt que l'accroissement de la production par hectare le plus élevé par rapport au témoin a été obtenu avec le TN<sub>2</sub> avec un taux de 100%(600kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 47,3%(1800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du TN<sub>10</sub>, 66,6%(400kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 15,78%(600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille et enfin le TN<sub>5</sub>, avec 33%(200kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 5,2%(200kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Dans ces deux dernières parcelles l'eau a stagné pendant un moment ce qui serait à l'origine de ce constat. Avec ces conditions c'était plutôt le TN<sub>2</sub>, qui a permis d'obtenir la valeur ajoutée la plus élevée avec un taux d'accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 119,9%(82 400FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>10</sub>, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 74,5%(51200FCFA.ha<sup>-1</sup>), et du TN<sub>5</sub>, avec 37,27%(25 600FCFA.ha<sup>-1</sup>).



A la troisième année les rendements (grains et paille) de mil ont montré un surplus par rapport au témoin pour tous les traitements. Le TN<sub>10</sub> a donné le taux d'accroissement du rendement par rapport au TN<sub>0</sub> le plus élevé soit, 110%(840kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 88%(3 840kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du TN<sub>5</sub>, avec 64%(490kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 55,9%(2 440kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le TN<sub>2</sub> a donné le plus petit taux d'accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> avec 5,2%(40kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 46,7%(2 040kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. En terme de valeur ajoutée le TN<sub>10</sub> revient en tête des autres traitements avec 123%(112 800FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>, suivi du TN<sub>5</sub>, avec 72%(66 200FCFA.ha<sup>-1</sup>) et du TN<sub>2</sub>, avec seulement 4,3%( 4 000FCFA.ha<sup>-1</sup>).

**- Commune rurale de Doucombo**

Le Tableau 54 indique qu'en première année, le parage de bovins a fourni une grande quantité de fumier mais le temps écoulé entre la fin du parage et l'installation des cultures n'a pas permis une décomposition de ce fumier si bien que les petites quantités de pluie ont contribué plus tard à brûler les jeunes plants d'où une perte de rendement. Ainsi les plus grands déficits dans l'ordre ont été obtenus avec le TN<sub>10</sub>, avec des pertes en rendement grains de 53%(420kg.ha<sup>-1</sup>) et de 1,1% (100kg.ha<sup>-1</sup>) en paille par rapport au TN<sub>0</sub>, suivi du TN<sub>5</sub>, avec un déficit en rendement grain évalué à 23%(180kg.ha<sup>-1</sup>) et à 5%(500kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, enfin celui du TN<sub>2</sub> avec 48%(380kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 15%(1300kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Par contre la parcelle sans fumier le TN<sub>0</sub> s'était mieux comportée que les autres. L'évaluation économique de la production, a montré un déficit en valeur ajoutée pour tous les traitements de parage bovins par rapport au témoin. Ce déficit a été plus élevé avec le TN<sub>10</sub>, pour 85,7%(67 720FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>2</sub>, avec 65,2%(51 480FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>5</sub>, avec un déficit de 48,2% (38 080FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>.

En deuxième année les rendements grain et paille obtenus ont été tous supérieurs à ceux de la première année, les taux d'augmentation en rendement grain par rapport au TN<sub>0</sub> (témoin) ont été de 52,17% (480kg.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>5</sub>, de 34,7%( 320kg.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>10</sub> et de 30,4%(280kg.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>2</sub>. Contrairement au rendement paille, les gains relatifs étaient de 18,9%(soit 720kg.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>10</sub>, de 18,4%( 700kg.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>5</sub> et de 2,6%(100kg.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>2</sub>. Par contre en deuxième année c'était plutôt le TN<sub>5</sub> qui a réalisé le meilleur gain, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 57,1%(64 800FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>10</sub>, avec 35,2 %(40 000FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>2</sub>, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 33,13%(37 600FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport TN<sub>0</sub>. Les rendements paille obtenus en deuxième année ont été inférieurs à ceux obtenus en première année pour tous les traitements.

En troisième année les gains relatifs par rapport TN<sub>0</sub> ont été de 127%(1120kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 60%(3 834kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille pour le TN<sub>10</sub>, suivi du TN<sub>5</sub>, avec 118%(1 040kg.ha<sup>-1</sup>) et de 50%(3 195kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, et enfin le TN<sub>2</sub>, avec 63,6%(560kg.ha<sup>-1</sup>) pour le rendement grain et de 30%(1 917kg.ha<sup>-1</sup>) pour le rendement paille. Les rendements paille obtenus en troisième année étaient supérieurs à ceux obtenus en deuxième année pour tous les traitements. TN<sub>10</sub> a donné le meilleur bénéfice, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 140,9%(152 000FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>5</sub>, avec 132,7%(143 200FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>2</sub>, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 71%(76 800FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au témoin.

**Tableau 54.** Indicateurs de la production du parcentage de bovins dans les communes rurales étudiés.

Communes	Itinéraires techniques Indicateurs	Années	Mil (témoin) TN <sub>0</sub>		Mil+Parcage 2 nuits TN <sub>2</sub>		Mil+Parcage 5 nuits TN <sub>5</sub>		Mil+Parcage 10 nuits TN <sub>10</sub>	
			Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille
Koporo pen	Rendement moyen (kg/ha)	2005	460	4 000	1 060	8 000	1 380	8 240	1 340	8 280
		2006	680	2 000	1 360	7 600	2 040	10 000	2 320	10 800
		2007	580	1 925	725	2 240	967	2 560	1 670	5 760
	Coût total de production	2005	22 045	-	33 765	-	42 045	-	48 885	-
		2006	15 325	-	16 925	-	17 725	-	20 125	-
		2007	15 325	-	16 925	-	17 725	-	20 125	-
	Bénéfice/perte	2005	45 155	-	114 635	-	151 155	-	138 715	-
		2006	73 075	-	159 875	-	247 475	-	281 475	-
		2007	60 075	-	77 325	-	107 985	-	196 975	-
Madiama	Rendement moyen (kg/ha)	2005	400	5000	600	6100	700	7700	1 000	14700
		2006	600	3800	1200	5600	800	4000	1000	4400
		2007	760	4360	800	6400	1 250	6800	1 600	8200
	Coût total de production	2005	18 525	-	23 725	-	28 325	-	38 125	-
		2006	15 325	-	16 925	-	17 725	-	20 125	-
		2007	15 325	-	16 925	-	17 725	-	20 125	-
	Bénéfices/Pertes	2005	37 475	-	60 275	-	69 675	-	101 875	-
		2006	68 675	-	151 075	-	94 275	-	119 875	-
		2007	91 075	-	95 075	-	157 275	-	203 875	-
Doucombo	Rendement moyen (kg/ha)	2005	780	8500	400	7200	600	8000	360	8400
		2006	920	3800	1200	3900	1400	4500	1240	4520
		2007	880	6390	1440	8307	1920	9585	2000	10224
	Coût total de production	2005	30 245	-	28 525	-	35 125	-	39 165	-
		2006	15 325	-	16 925	-	17 725	-	20 125	-
		2007	13 325	-	16 925	-	17 725	-	20 125	-
	Bénéfices/Pertes	2005	78 955	-	27 475	-	48 875	-	11 235	-
		2006	113 475	-	151 075	-	178 275	-	153 475	-
		2007	107 875	-	184 675	-	251 075	-	259 875	-

(Source : tests en milieu paysan )

- **Effet du parcentage de bovins aux champs sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du mil dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les analyses chimiques des grains et de paille de mil en première année ont montré qu'avec le traitement TN<sub>2</sub> le taux d'azote croît de 24,97% dans les grains et baisse avec un déficit de 49,85% pour la paille par rapport au témoin TN<sub>0</sub>. Avec l'application du TN<sub>5</sub>, le taux a augmenté de 31,23% pour les grains et avec un déficit de 24,95% pour la paille (Tableau 55). Enfin, le taux de l'azote a été de 55,06% pour les grains et un déficit de 37,54% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. La mobilisation de l'azote a été plus forte dans les grains que dans la paille. En deuxième année, avec le traitement TN<sub>2</sub> le taux d'accroissement de l'azote a été de 0% dans les grains et 14,67% pour la paille, de 3,60% pour les grains et 14,67% pour la paille pour l'application de TN<sub>5</sub>, ce taux a été de 7,91% pour les grains et 30,67% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, le traitement TN<sub>2</sub> permet d'obtenir un d'accroissement de l'azote de 3,84% dans les grains et de 621,8% pour la paille, pour l'application du TN<sub>5</sub>, le taux a baissé de 24,98% pour les grains, mais a augmenté de 83,2% pour la paille, ce taux a diminué de 12,46% pour les grains et augmenté de 84,2% pour la paille avec le TN<sub>10</sub> par rapport au TN<sub>0</sub>.

Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les grains et paille de mil en première ont connu un accroissement de 70,21% dans les grains et un déficit de 30% pour la paille pour l'application de TN<sub>2</sub>, le taux d'accroissement a été de 70,21% pour les grains et de 30% pour la paille et avec l'application de TN<sub>5</sub>, et de 108,51% pour les grains, pour 30% seulement dans la paille avec l'application de TN<sub>10</sub>. En deuxième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a augmenté de 12,24% dans les grains et de 20% pour la paille avec l'application de TN<sub>2</sub>, de 28,57% pour les grains et de 20% pour la paille avec l'application de TN<sub>5</sub>, et enfin, le taux d'accroissement a été de 28,5% pour les grains et de 30% pour la paille avec l'application du TN<sub>10</sub>. En troisième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement de 14,09% dans les grains et de 41,94% pour la paille pour l'application de TN<sub>2</sub>, de 14,09% pour les grains et de 47,31% pour la paille avec l'application de TN<sub>5</sub>, et enfin, le taux d'accroissement a atteint 64,36% pour les grains, pour 48,92% pour la paille avec le traitement de TN<sub>10</sub>.

Le taux de K<sub>2</sub>O dans les grains et paille de mil en première ont connu une augmentation de 43,75% dans les grains et une baisse du taux de 5,88% pour la paille, pour le TN<sub>2</sub> par rapport au témoin, ce taux d'accroissement a été de 43,75% pour les grains et de 12,75% pour la paille et avec l'application de TN<sub>5</sub>, le taux a été de 75% pour les grains et de 36,27% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. En deuxième le taux de K<sub>2</sub>O dans les grains et paille de mil a baissé de 11,90% dans les grains et de 13,84% pour la paille, pour le TN<sub>2</sub>, de 7,14% pour les grains et de 24,53% pour la paille et avec l'application de TN<sub>5</sub>, de 9,52% pour les grains et de 0% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, le taux de K<sub>2</sub>O dans les grains et paille de mil a connu un accroissement de 4,26% dans les grains et une diminution de 33,03% pour la paille avec le TN<sub>2</sub>, de 25,53% pour les grains et un déficit de 38,91% pour la paille et avec le TN<sub>5</sub>. Enfin, le taux d'accroissement a été de 27,66% pour les grains et une baisse du taux de 30,32% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. Les déficits en éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O par rapport au témoin pourrait s'expliquer par l'irrégularité des pluies qui a affecter la campagne (le retard, les poches de sécheresse, les déficits de fin de campagne).

**Tableau 55.** Variation du taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O des grains et de la paille suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen

Indicateurs	Années	Mil+ Parcage Bovins 0 nuit TN <sub>0</sub>		Mil+ Parcage Bovins 2 nuits TN <sub>2</sub>		Mil+ Parcage Bovins 5 nuits TN <sub>5</sub>		Mil+ Parcage Bovins 10 nuits TN <sub>10</sub>	
		grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille
N total %	2005	1,50	0,34	1,87	0,17	1,97	0,25	2,32	0,21
	2006	1,39	0,75	1,39	0,86	1,44	0,86	1,50	0,98
	2007	2,03	0,09	2,10	0,69	1,52	0,89	1,77	0,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	2005	0,47	0,10	0,80	0,07	0,80	0,07	0,98	0,07
	2006	0,49	0,10	0,55	0,12	0,63	0,12	0,63	0,13
	2007	0,36	0,18	0,41	0,10	0,41	0,09	0,59	0,09
K <sub>2</sub> O total %	2005	0,32	1,02	0,46	0,96	0,46	1,15	0,56	1,39
	2006	0,42	1,59	0,37	1,81	0,45	1,98	0,46	1,59
	2007	0,47	2,21	0,49	1,48	0,59	1,35	0,60	1,54

(Source : analyse des plantes : BUNASOL 2005, 2006,2007)



**Figure 21.** Dépôt de fumier de bovins après un séjour des troupeaux de bovins aux champs dans la commune de Madiama

- **Effet du parcage de bovins aux champs sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune de Kopro pen.**

Les analyses chimiques du sol ont permis de déterminer les variations des taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol des différents traitements par rapport aux témoins sur les trois campagnes (Tableau 56). Ainsi, après la première année de culture, le taux de l'azote a augmenté de 36,3% pour le TN<sub>2</sub>, de 18,1 %, pour le TN<sub>5</sub>, et enfin, de 45,4% avec l'application de TN<sub>10</sub>. Après la deuxième année, l'application de TN<sub>2</sub> n'a montré aucune variation pour l'azote par rapport au TN<sub>0</sub> (témoin). Par contre, l'application de TN<sub>5</sub> a donné un taux d'accroissement de 15%, et de 40% avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, cependant, avec l'application de TN<sub>2</sub>, le taux d'azote n'a pas connu d'accroissement. Mais avec l'application de TN<sub>5</sub>, le taux d'accroissement a été de 21 %, et de 42,1% avec le traitement de TN<sub>10</sub>.

En première année le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a connu une augmentation avec l'application de TN<sub>2</sub> de 18% (7,5ppm), ce taux a été de 8,4% (3,5ppm) avec le TN<sub>5</sub> et de 18% (7,5ppm) avec l'application de TN<sub>10</sub> par rapport au témoin. En deuxième année le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a connu un accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> (témoin) avec l'application de TN<sub>2</sub> de 8,2% (3ppm), ce taux a été de 15% (5,6ppm) avec le TN<sub>5</sub> et de 34% (12,4ppm) avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, l'application de TN<sub>2</sub> permet d'obtenir un accroissement du taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 16,6% (8,5ppm), de 25% (12,8ppm) avec le TN<sub>5</sub>, et de 50% (25,5ppm) avec le TN<sub>10</sub> par rapport au TN<sub>0</sub> (témoin).

Le taux de K<sub>2</sub>O dans le sol a augmenté par rapport à la culture continue de mil, en première année, il a été de 55,8% (182,9ppm) avec le TN<sub>2</sub>, de 71% (234ppm), pour l'application de TN<sub>5</sub> et de 71% (234ppm) avec le traitement de TN<sub>10</sub>. En deuxième année ce taux a augmenté de 27% (69ppm) avec le TN<sub>2</sub>, de 31% (80ppm) pour le TN<sub>5</sub>, et de 38,8% (99ppm) avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, l'accroissement du taux K<sub>2</sub>O a été de 8% (17,2ppm) avec le TN<sub>2</sub>. Avec l'application de TN<sub>5</sub>, le taux d'accroissement a été de 45% (96,5ppm), ce taux a baissé de 3,2% (6,9ppm) avec le TN<sub>10</sub>.

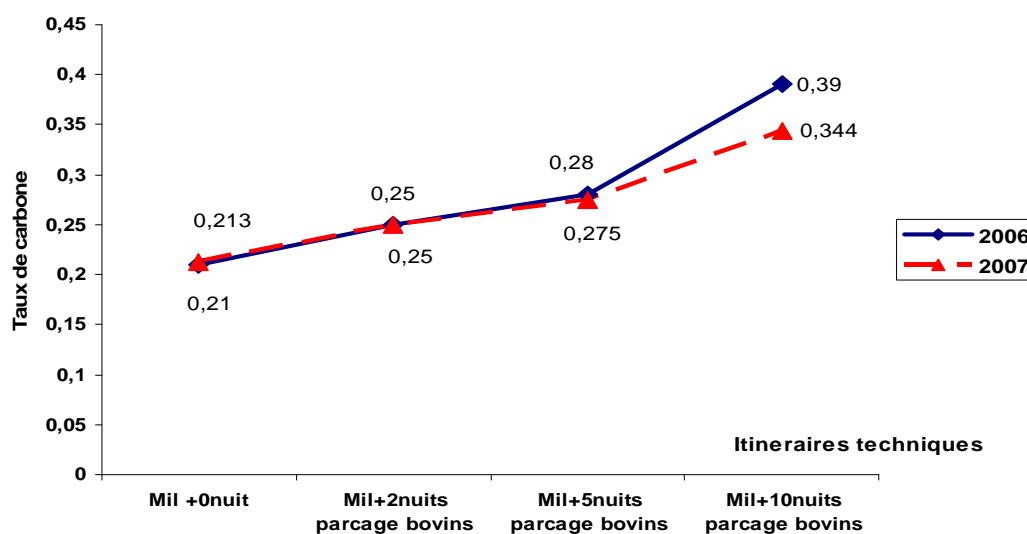
**Tableau 56.** Variation du taux de N, et des quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs Eléments fertilisants	Années	Mil+ Parcage Bovins 0 nuit TN <sub>0</sub>	Mil+ Parcage Bovins 2 nuits TN <sub>2</sub>	Mil+ Parcage Bovins 5 nuits TN <sub>5</sub>	Mil+ Parcage Bovins 10 nuits TN <sub>10</sub>
		0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
N total %	2005	0,011	0,015	0,013	0,016
	2006	0,020	0,020	0,023	0,028
	2007	0,019	0,019	0,023	0,027
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total ppm	2005	41,2	48,7	44,7	48,7
	2006	36,5	39,5	42,1	48,9
	2007	50,9	59,4	63,7	76,4
K <sub>2</sub> O total ppm	2005	327,5	510,4	561,5	561,5
	2006	255	324	335	354
	2007	213,5	230,7	310,0	206,6

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

• **Effet du parcage de bovins aux champs sur le carbone total et la matière organique totale du sol.**

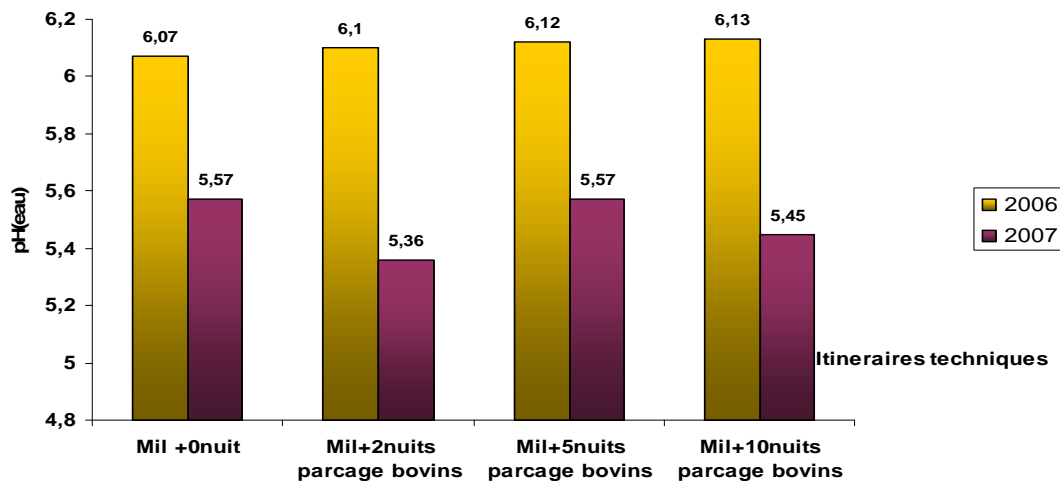
Les analyses de sol après la deuxième année de culture ont montré un accroissement du taux de carbone dans le sol par rapport à la culture continue de mil de 19% avec le traitement de TN<sub>2</sub>, 33% avec le traitement TN<sub>5</sub>, et de 85,7% avec l'application de TN<sub>10</sub> (Figure 22). Le rapport C/N a été de 13 respectivement pour : le TN<sub>2</sub>, 12 pour le TN<sub>5</sub>, et de 14 pour le TN<sub>10</sub> par rapport au TN<sub>0</sub>. Le taux de matière organique totale comme celui du carbone a également augmenté. L'accroissement du taux de carbone a varié de 19%, 33% et 85% par rapport au TN<sub>0</sub> (témoin). En troisième année, le taux de carbone dans le sol a augmenté par rapport au TN<sub>0</sub> (témoin) de : 19% avec le TN<sub>2</sub>, 28,5% avec le TN<sub>5</sub>, et de 62% avec l'application de TN<sub>10</sub>. Le rapport C/N a été respectivement de : 13 pour Le TN<sub>2</sub>, 12 pour le TN<sub>5</sub>, et de 13 pour le TN<sub>10</sub>. La matière organique totale a augmenté dans le sol comme en deuxième année.



**Figure 22.** Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen

- **Effet du parcage de bovins aux champs sur le pH du sol dans la commune rurale de Kopro pen.**

Les analyses de sol après la deuxième année ont révélé que le pH du sol reste acide, mais l'acidité n'a connu qu'une légère baisse par rapport au témoin (Figure 23). Le pH a augmenté de valeur par rapport au témoin de 0,49% pour le TN<sub>2</sub>, de 0,8% pour le TN<sub>5</sub>, et de 0,9% pour le TN<sub>10</sub>. En troisième année, la valeur du pH a diminué par rapport à la deuxième année (le sol étant acide évolue vers des sols très acides) dans tous les traitements.



**Figure 23.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.

- **Effet du parcage de bovins aux champs sur les bilans de N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Kopro pen.**

Le modèle de calcul des bilans théoriques de première année de N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques a montré un bilan déficitaire pour l'azote pour les TN<sub>0</sub>, TN<sub>2</sub>, TN<sub>5</sub>, mais excédentaire pour le TN<sub>10</sub> (Tableau 57). Le bilan du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été déficitaire pour le TN<sub>0</sub>, le TN<sub>2</sub>, et le TN<sub>5</sub> mais excédentaire pour le TN<sub>10</sub>, le bilan a été déficitaire pour les autres traitements. Pour les deux dernières années les bilans du N et de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ont été déficitaires pour tous les traitements. Tandis que celui du K<sub>2</sub>O a été déficitaire pour le TN<sub>0</sub>, et très excédentaire pour les autres traitements.

**Tableau 57.** Bilan de l’N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et du K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs	Itinéraires techniques				
	Années	Mil+Parcage Bovins 0nuit TN <sub>0</sub>	Mil+Parcage Bovins 2nuits TN <sub>2</sub>	Mil+Parcage Bovins 5nuits TN <sub>5</sub>	Mil+Parcage Bovins 10nuits TN <sub>10</sub>
Azote (N en kg.ha <sup>-1</sup> )	2005	-51,37	- 49,97	-35,81	47,75
	2006	-112,50	-260,63	-324,25	-399,35
	2007	-146,27	-337,3	-417,96	-602,55
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en kg.ha <sup>-1</sup> )	2005	-30,81	- 50,30	-33,78	5,89
	2006	-57,47	-133,3	-158,04	-137,89
	2007	-85,24	-163,36	-189,38	-213,08
Potassium (K <sub>2</sub> O en kg.ha <sup>-1</sup> )	2005	- 84,54	1014,33	7158,30	29196,89
	2006	-153,85	729,15	6743,94	28832,11
	2007	-244,39	655,74	6663,41	28634,66

(Source : tests en milieu paysan)

Dans le contexte écologique et socio-économique actuel, l'utilisation de la fumure animale peut contribuer au maintien, ou même à la reconstitution de la fertilité édaphique. Il faut pour cela accroître la production et améliorer la qualité de ces fertilisants animaux. Pour répondre à ces besoins, le parcage de nuit est un des créneaux le plus important. Son intérêt tient au fait que le transfert du fumier est assuré par les animaux, et qu'il nécessite peu d'investissement. Les quantités déposées sont de l'ordre de 600kg de MS fèces par UBT par an (Landais, 1990). Ces techniques sont couramment utilisées pour fertiliser les champs de céréales pendant la saison sèche (Bationo, 1998). En effet, des tests de parcage de bovins la nuit, réalisés sur trois sites en cinquième région au Mali ont permis d'obtenir des rendements grains et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. On enregistre par ordre de performance : l'application de TN<sub>10</sub> qui permet d'obtenir un surplus de production moyen par rapport au témoin sur 3ans par hectare en grain de mil de 107%, une augmentation de la matière organique, et une baisse de l'acidité du sol ; l'application de TN<sub>5</sub> avec, un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au TN<sub>0</sub> de 82,46% ; l'application du TN<sub>2</sub> permet d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 44,9%. Le bilan en K<sub>2</sub>O est positif pour les itinéraires utilisés, et déficitaire pour N et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Le parcage de nuits des bovins permet également d'améliorer la qualité des grains et de la paille par rapport au témoin. Le principal frein à ces techniques est qu'elles demandent un surplus de travail (ou de coût pour un contrat de parcage auprès d'un éleveur) alors que les agriculteurs sont généralement trop pauvres pour posséder suffisamment de bétail. Les agriculteurs riches et les éleveurs sédentaires accumulent de la matière organique dans leurs champs aux dépens des plus pauvres dont les champs se dégradent peu à peu car ils fournissent du fourrage aux animaux qui y passent sans que les éléments nutritifs ne leur soient restitués (Neef, 1997). D'après Schlecht et Buerkert, 2004, le fumier n'est pas exploité comme il le pourrait, ni en terme de la quantité effectivement disponible ni en terme d'effet résiduel. La petite taille des troupeaux appartenant à un individu, la peur du vol de bétail, et le manque de moyens de transport pour le fumier empêchent, une utilisation plus efficiente des pratiques de parcage et d'utilisation du fumier transporté. Cependant Powell *et al.*, 1996, trouve que laisser tous les résidus de récolte sur les champs permet d'obtenir des meilleurs rendements plutôt que de les laisser consommer par les animaux qui laisseront leur fumier/urine aux champs. Toutefois, cette stratégie n'est pas envisageable pour les agriculteurs, étant donné qu'il n'y a pas de fourrage alternatif durant la saison sèche. La connaissance de la durée du séjour d'animaux dans un corral spécifique, la variation du contenu

nutritif du foin, la variation de qualité de fumier produite, le nombre et le type d'animaux ainsi que le type de sol doit permettre d'estimer l'apport nécessaire de fumier en un site particulier. Cet apport doit prendre en compte d'autres contraintes importantes comme la charge de travail et la disponibilité en terres de pâturage et en fumier (Gandah *et al.*, 2003). Les variations en termes de disponibilité de pâture vont particulièrement affecter la quantité et la qualité du fumier produit par un animal. Les concentrations en matière organique, N et P dans le fumier seront plus faibles durant la saison sèche (Powell *et al.*, 1996). Schlecht *et al.*, 1997 rapportent que les quantités de N excrétées sont plus élevées de jour que de nuit et que les défécations et urinations sont plus fréquentes au lever du soleil et à l'abreuvement. Ceci suggère que des pratiques de gestion du bétail telles que le maintien des animaux sur le site du parcage une trentaine de minutes après leur lever, et l'épandage de litière près des points d'eau, permettraient une récupération plus complète du fumier et de l'azote pour améliorer la fertilité des sols.

#### **4.2.6. Effet du parcage de petits ruminants au champ sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.**

- **Effet du parcage de petits ruminants aux champs sur l'amélioration du rendement du mil dans les communes rurales étudiées.**

##### **- Commune rurale de Koporo pen**

L'analyse des résultats en première année de test a montré un accroissement de la production (grains et paille) de mil par hectare par rapport au témoin quel que soit le temps de parcage (Tableau 58). Le TN<sub>5</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 478 % (1820kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 380% (11400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>10</sub>, la production de mil par hectare a connu un accroissement par rapport au témoin de 268% (1020kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 326% (9800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>2</sub>, le rendement a augmenté également de 100% (380kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 192% (4600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'évaluation économique des résultats a montré que la production obtenue a permis de réaliser des bénéfices. Ainsi, le TN<sub>5</sub> a réalisé le bénéfice le plus élevé avec une augmentation de la valeur ajoutée à partir du rendement grain de 703% (23 520FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au témoin. Le TN<sub>10</sub> a permis d'accroître la valeur ajoutée de 363% (115 320FCFA.ha<sup>-1</sup>), et de 139% (4 280FCFA.ha<sup>-1</sup>) pour le TN<sub>2</sub>.

En deuxième année, les rendements grains obtenus ont été relativement meilleurs à ceux de la première année pour la majeure partie des traitements sauf celui de TN<sub>5</sub> où le rendement n'a pas changé. Les rendements paille ont peu varié entre les traitements de TN<sub>2</sub>, TN<sub>5</sub>, et TN<sub>10</sub>. Le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 289% (1620kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 110% (4400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>5</sub>, la production de mil par hectare a connu un accroissement par rapport au témoin de 278% (1560kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 120% (4800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Pour le TN<sub>2</sub>, le rendement a augmenté par rapport au TN<sub>0</sub> de 192 % (1080kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 100% (4000kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Les rendements (grains) obtenus ont permis de réaliser des valeurs ajoutées qui ont évolué en fonction du nombre de nuit de parcage. Ainsi, figure en tête le TN<sub>10</sub>, avec un regain de 365% (207 400FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>5</sub> avec 356 % (202 000FCFA.ha<sup>-1</sup>) et du TN<sub>2</sub> avec 244% (138 800FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>.

Les rendements grains obtenus en troisième année ont été relativement plus bas par rapport à l'année précédente pour tous les traitements. L'analyse des résultats a montré un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin pour tous les traitements. Le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir le meilleur rendement avec un surplus de production par hectare de 106% (507kg.ha<sup>-1</sup>) en grain, et 147% (3 752 kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>5</sub>, le rendement a



augmenté par rapport au témoin de 63%(soit 302kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 98%(soit 2520 kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'application de TN<sub>2</sub> a amélioré la production de mil par hectare par rapport au TN<sub>0</sub> de 37%(176kg.ha<sup>-1</sup>) en grain, et de 75%(1 920kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. En troisième année comme en deuxième année, les bénéfices réalisés ont évolué en fonction du nombre de nuit de parage. Le TN<sub>10</sub> venait toujours en tête avec un regain de 135%(62 660FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>5</sub> avec 83%(38 460FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>, et enfin le TN<sub>2</sub> avec un taux d'accroissement du bénéfice par rapport au TN<sub>0</sub> de 46%(21 280FCFA.ha<sup>-1</sup>).

#### **- Commune rurale de Madiama**

L'analyse des résultats de la campagne de la première année de la culture de mil après parage de petits ruminants (Tableau 58), a montré un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin quelque soit le temps de parage. Ainsi le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir le surplus de production par rapport au TN<sub>0</sub> le plus élevé, avec un regain de 80%(400kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 80%(6100kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ce traitement est suivi du TN<sub>2</sub> avec 40%(200kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 26%(2000kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille et du TN<sub>5</sub> avec 20% (100kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 31%(2400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. L'évaluation économique a montré que le TN<sub>10</sub> a permis de réaliser la valeur ajoutée la plus élevée à partir de la production grain avec un taux d'accroissement par rapport au TN<sub>0</sub> de 79,3%(36600 FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>, suivi du TN<sub>2</sub> avec 45,7%(22800FCFA.ha<sup>-1</sup>), et du TN<sub>5</sub> avec 14,8%(7400FCFA.ha<sup>-1</sup>).

Les rendements mil obtenus en deuxième année de culture ont montré comme en première année un surplus de production par rapport au témoin. Mais contrairement à la première année c'est plutôt le TN<sub>2</sub>, qui a permis d'obtenir le rendement le plus élevé avec un regain par rapport au TN<sub>0</sub> de 200%( 800kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 133% (3200kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Il est suivis du TN<sub>10</sub> avec un taux d'accroissement de la production par hectare de 100%(400kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 66,6%(1600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Enfin, le TN<sub>5</sub>, avec une progression de la production de 50%(200kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 50%(1200kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ainsi, le TN<sub>2</sub> a permis de réaliser la valeur ajoutée la plus élevée à partir du rendement grain par rapport au TN<sub>0</sub> de 277%(110 425FCFA.ha<sup>-1</sup>), cet traitement est suivi de TN<sub>10</sub> avec 132%(52 800FCFA.ha<sup>-1</sup>), et enfin le TN<sub>5</sub> avec un accroissement de la valeur ajoutée de 68,2%(27200FCFA.ha<sup>-1</sup>) par hectare.

En troisième année de culture, l'analyse des résultats a montré comme les années précédentes un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin pour tous les traitements. Mais aussi comme en première année le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 113,3%(850kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 79,35%(4920kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>5</sub>, le rendement a augmenter par rapport au TN<sub>0</sub> de 60%(soit 450kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 58%(3600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le TN<sub>2</sub>, la production de mil par hectare a progressé par rapport au TN<sub>0</sub> de 28%(210kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 25,8%(1600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le TN<sub>10</sub> venait en tête avec le regain le plus élevé par rapport au TN<sub>0</sub>, de 129%(115 420FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi de TN<sub>5</sub>, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 69,9%(62 200FCFA.ha<sup>-1</sup>) par hectare, et enfin le TN<sub>2</sub>, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 31,2%(27 800FCFA.ha<sup>-1</sup>).

#### **- Commune rurale de Doucombo**

L'analyse des résultats indique que les rendements obtenus en première année après 5 et 2 nuits de parage de petits ruminants ont été meilleurs au témoin aussi bien en grain qu'en paille (Tableau 58). Le rendement après le TN<sub>5</sub> a augmenté par rapport au TN<sub>0</sub> en grains de 132%(980kg.ha<sup>-1</sup>) et de 107%(6000kg.ha<sup>-1</sup>) en paille, suivi du TN<sub>2</sub>, avec un gain relatif pour le grain de 67%(500kg.ha<sup>-1</sup>) et de 50%(2800kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le rendement grain a été déficitaire par rapport au TN<sub>0</sub> pour le TN<sub>10</sub> de 46%(340kg.ha<sup>-1</sup>), mais a connu un regain en

rendement paille de 100%(5600kg.ha<sup>-1</sup>). Ce déficit était dû à l'insuffisance de la pluie et à l'abondance de fumier. L'évaluation économique de la production a montré que le TN<sub>5</sub> a été le plus performant, avec une augmentation de la valeur ajoutée de 168,9%(117 688 FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>2</sub>, avec 81%(soit : 400 FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>. Par contre l'application du TN<sub>10</sub> a engendré un manque à gagner en valeur ajoutée de 104%(soit 76 040 FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub>.

Les rendements grain obtenus en deuxième année ont été tous supérieurs à ceux de la première année, les gains relatifs en grain et en paille ont connu un accroissement par rapport au témoin pour tous les traitements. Le gain relatif en grain avec le TN<sub>5</sub> vient en tête avec 104%(920kg.ha<sup>-1</sup>) et 47%(1600kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du TN<sub>10</sub>, avec une augmentation en grain de 78%(660kg.ha<sup>-1</sup>) et de 55,8%(1900kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille et enfin le TN<sub>2</sub> avec un regain de 38%(320kg.ha<sup>-1</sup>) et de 17,6%(600kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Comme en première année, le TN<sub>5</sub> a donné le meilleur bénéfice en deuxième, avec une augmentation de la valeur ajoutée de 126,6%(128 000 FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>10</sub>, avec un taux d'accroissement de 87%(soit 89 200 FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>2</sub>, a amélioré la valeur ajoutée de 42,57%(43 200 FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au TN<sub>0</sub> sans fertilisant.

**Tableau 58.** Indicateurs de production du parcage de petits ruminants dans les communes rurales étudiées.

Communes	Itinéraires techniques	Années	Mil (témoin) TN <sub>0</sub>		Mil+Parcage 2 nuits TN <sub>2</sub>		Mil+Parcage 5 nuits TN <sub>5</sub>		Mil+Parcage 10 nuits TN <sub>10</sub>	
			Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille
Koporo pen	Rendement moyen (kg/ha)	2005	380	3 000	760	7 600	2 200	14 400	1 400	12 800
		2006	560	4 000	1 640	8 000	2 120	8 800	2 180	8 400
		2007	480	2 560	656	4 480	782	5080	987	6 312
	Coût total de production	2005	21 445	-	30 365	-	52 725	-	48 925	-
		2006	16 125	-	17 725	-	16 925	-	19 325	-
		2007	16 125	-	17 725	-	16 925	-	19 325	-
	Bénéfices/Pertes	2005	31 755	-	76 035	-	255 275	-	147 075	-
		2006	56 675	-	195 475	-	258 675	-	264 075	-
		2007	46 275	-	67 555	-	84 735	-	108 935	-
Madiama	Rendement moyen (kg/ha)	2005	500	7600	700	9600	600	10000	900	13700
		2006	400	2400	1200	5600	600	3600	800	4000
		2007	750	6200	960	7800	1200	9800	1600	11120
	Coût total de production	2005	20 125	-	25 325	-	26 725	-	36 525	-
		2006	16 125	-	17 725	-	16 925	-	19 325	-
		2007	16 125	-	17 725	-	16 925	-	19 325	-
	Bénéfices/Pertes	2005	49 875	-	72 675	-	57 275	-	89 475	-
		2006	39 875	-	150 275	-	67 075	-	92 675	-
		2007	88 875	-	116 675	-	151 075	-	204 295	-
Doucombo	Rendement moyen (kg/ha)	2005	740	5 600	1 240	8 400	1 720	11600	400	11200
		2006	840	3 400	1 160	4 000	1760	5 000	1 500	5 300
		2007	825	7 240	1 860	8 520	2180	11 070	2 320	11 710
	Coût total de production	2005	30 485	-	41 085	-	50 005	-	58 925	-
		2006	16 125	-	17 725	-	16 925	-	19 325	-
		2007	16 125	-	17 725	-	16 925	-	19 325	-
	Bénéfices/Pertes	2005	73 115	-	132 515	-	190 795	-	-2 925	-
		2006	101 475	-	144 675	-	229 475	-	190 675	-
		2007	99 375	-	242 675	-	288 275	-	305 475	-

(Source : tests en milieu paysan)

Comme en deuxième année, les rendements grain obtenus en troisième année ont été supérieurs à ceux de la première année, les gains relatifs en grain et en paille ont connu un

accroissement par rapport au témoin pour tous les traitements. Le gain relatif en grain par rapport au témoin le plus élevé a été obtenu avec le TN<sub>10</sub>, avec 181%(1495kg.ha<sup>-1</sup>) et de 61,7%(4470kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille, suivi du TN<sub>5</sub> avec une augmentation en grain de 164%(1355kg.ha<sup>-1</sup>) et de 52,9%(3830kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille et enfin le TN<sub>2</sub>, avec un regain de 125% (1035kg.ha<sup>-1</sup>) en grain, et de 17,6%(1280kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Le TN<sub>10</sub> a donné le meilleur bénéfice en troisième année, avec amélioration de la valeur ajoutée de 207%(206100 FCFA.ha<sup>-1</sup>), suivi du TN<sub>5</sub>, avec 190%(188900 FCFA.ha<sup>-1</sup>) et enfin le TN<sub>2</sub>, avec 144%(143300 FCFA.ha<sup>-1</sup>).

- **Effet du parage de petits ruminants aux champs sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du mil dans la commune rurale de Kopro pen.**

Les résultats des analyses de grains et de paille de mil en première année, ont montré un accroissement du taux d'azote par rapport à la culture continue de mil (Tableau 59). Ainsi, avec le TN<sub>2</sub>, le taux d'azote a baissé de 3,37% dans les grains et de 55,47% dans la paille, pour l'application du TN<sub>5</sub>, le taux de progression a été de 9,98% pour les grains et ce taux a baissé de 33,3% dans la paille, ce taux a augmenté de 19,9% pour les grains et baissé de 22,14% dans la paille avec le TN<sub>10</sub> par rapport au TN<sub>0</sub>. En deuxième année, le taux d'azote n'a connu aucune augmentation par rapport au témoin dans les grains par contre dans la paille le taux a augmenté de 14,67% pour le TN<sub>2</sub>, pour l'application du TN<sub>5</sub>, le taux d'accroissement a été de 3,6% pour les grains et de 21,33% pour la paille, ce taux a été de 7,91% pour les grains et 30,67% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, le regain en azote avec le TN<sub>2</sub>, a été de 7,70% dans les grains et 90,36% pour la paille, pour l'application de TN<sub>5</sub>, le taux d'accroissement a été de 7,70% pour les grains et de 125,3% pour la paille, ce taux a été de 15,39% pour les grains et 200% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>.

En première année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu un accroissement de 10,96% dans les grains et de 85,71% pour la paille avec l'application du TN<sub>2</sub>, le taux d'accroissement a été de 10,96% pour les grains et de 185,7% pour la paille avec l'application du TN<sub>5</sub>, et de 23,29% pour les grains et de 285,7% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. Tandis qu'en deuxième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a progressé de : 39,58% dans les grains et de 25% pour la paille, pour l'application du TN<sub>2</sub>, de : 47,92% pour les grains et de 100% pour la paille avec l'application du TN<sub>5</sub>. Enfin, avec le TN<sub>10</sub>, le regain en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été de 31,25% pour les grains, et de 83,33% pour la paille. En troisième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a connu également un accroissement de 12,83% dans les grains et de 49,26% pour la paille pour l'application du TN<sub>2</sub>, ce taux d'accroissement a été de 10,41% pour les grains, et un déficit de 11,03% pour la paille, avec l'application du TN<sub>5</sub>. Enfin, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été de 50,36% pour les grains et 19,85% pour la paille avec l'application du TN<sub>10</sub> par rapport au TN<sub>0</sub>.

En première année, le taux de K<sub>2</sub>O n'a connu aucune augmentation dans les grains par rapport au témoin, par contre, le taux a augmenté de 16,05% pour la paille pour l'application du TN<sub>2</sub>. Comme avec le TN<sub>2</sub>, le taux de K<sub>2</sub>O n'a connu aucun changement par rapport au TN<sub>0</sub>, pour les grains, mais il a augmenté de 67,9% pour la paille avec l'application du TN<sub>5</sub>. Le taux d'accroissement a été de 8% pour les grains et de 40,74% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. Le taux de K<sub>2</sub>O en deuxième année, a été amélioré de 4,88% dans les grains, mais sans changement par rapport au témoin pour la paille, pour l'application du TN<sub>2</sub>. Le taux d'augmentation a été de 12,20% pour les grains et de 2,69% pour la paille avec le TN<sub>5</sub>. Enfin, le taux de K<sub>2</sub>O a progressé de 9,76% pour les grains et de 6,45% pour la paille avec le TN<sub>10</sub>. En troisième année, le taux de K<sub>2</sub>O dans les grains n'a pas augmenté par rapport au témoin, par contre ce taux a augmenté de 87,07% dans la paille pour l'application du TN<sub>2</sub>. L'application du TN<sub>5</sub> a permis d'obtenir une progression du taux de K<sub>2</sub>O de 1,59% pour les grains, et de 0,68% pour la paille. Avec, le TN<sub>10</sub>,

le taux d'accroissement obtenu a été de 6,35% pour les grains et de 20,41% pour la paille. Les déficits par rapport au TN<sub>0</sub> en éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O s'expliqueraient par les déficits en eau de pluie, qui seraient à l'origine du déficit de mobilisation des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sols dans les traitements avec fumier à cause de leur différence de concentration avec les témoins sans fumier.

**Tableau 59.** Variation du taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et paille suivant les itinéraires techniques dans la commune de Koporo pen.

Indicateurs	Itinéraires techniques	Années	Mil après 0 nuit de parcage Petits Ruminants TN <sub>0</sub>		Mil après 2 nuits de Parcage Petits Ruminants TN <sub>2</sub>		Mil après 5nuits de parcage Petits Ruminants TN <sub>5</sub>		Mil après 10nuits de parcage Petits Ruminants TN <sub>10</sub>	
			grains	paille	grains	paille	grains	paille	grains	paille
			N total (%)	2005	1,66	0,38	1,60	0,17	1,83	0,25
	2006	1,39	0,75	1,39	0,86	1,44	0,91	1,50	0,98	
	2007	1,65	0,24	1,77	0,47	1,77	0,56	1,90	0,74	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (%)	2005	0,73	0,07	0,81	0,13	0,81	0,20	0,90	0,27	
	2006	0,48	0,12	0,67	0,15	0,71	0,24	0,63	0,22	
	2007	0,41	0,13	0,46	0,20	0,45	0,12	0,62	0,16	
K <sub>2</sub> O total (%)	2005	0,50	0,81	0,50	0,94	0,50	1,36	0,54	1,14	
	2006	0,41	1,86	0,43	1,86	0,46	1,91	0,45	1,98	
	2007	0,63	1,47	0,63	2,75	0,64	1,48	0,67	1,77	

(Source : analyse des plantes : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet du parcage de petits ruminants aux champs sur le taux du N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les résultats des analyses de sol après la première année de culture (Tableau 60) ont montré qu'avec le TN<sub>2</sub> et le TN<sub>5</sub>, le taux d'accroissement de l'azote a été de 33,33%, et de 155,5% avec le TN<sub>10</sub>. Tandis qu'en deuxième année, avec l'application de TN<sub>2</sub>, le taux d'azote a baissé de 90%, il a également baissé de 87,27 %, et de 89,09% respectivement pour le TN<sub>5</sub> et le TN<sub>10</sub> par rapport au TN<sub>0</sub>. En troisième année, le taux d'accroissement de l'azote a été de 10,53%, pour l'application du TN<sub>2</sub>, de 5,26 %, pour le TN<sub>5</sub>, et de 42,11% avec le TN<sub>10</sub> par rapport au témoin.

Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a connu un accroissement en première année, avec l'application du TN<sub>2</sub>, de 10,10(4,1ppm), ce taux n'a pas changé par rapport au TN<sub>0</sub> avec, le TN<sub>5</sub>. Le TN<sub>10</sub> a permis d'obtenir un accroissement de 21,92%(8,9ppm). Mais en deuxième année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol a connu une augmentation avec le TN<sub>2</sub>, de 7,63%(3ppm), ce taux a été de 21,37%(8,4ppm) avec le TN<sub>5</sub>, et de 24,94%(9,8ppm) pour le TN<sub>10</sub>. Par contre, comme en première année, le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans le sol en troisième année n'a montré aucun accroissement par rapport au TN<sub>0</sub>, avec l'application du TN<sub>2</sub>. Cependant, le taux d'amélioration a été de 8,45%(4,3ppm) avec le TN<sub>5</sub>, et de 16,70%( 8,5ppm) avec l'application du TN<sub>10</sub>.

Le taux K<sub>2</sub>O dans le sol en première année, a augmenté par rapport au TN<sub>0</sub> de 7,90%(38,3ppm), avec le TN<sub>2</sub>, de 21%(102ppm), avec le TN<sub>5</sub>, et de 20,29%(98,4ppm), avec le TN<sub>10</sub>. Comme en première année, le taux de K<sub>2</sub>O en deuxième année, a connu une amélioration de par rapport au TN<sub>0</sub>, de 4,89%(11ppm), avec le TN<sub>2</sub>, de 17,78%(40ppm), avec le TN<sub>5</sub>, et de 35,56%(80ppm) avec le TN<sub>10</sub>. De même qu'en troisième année, l'accroissement du taux K<sub>2</sub>O dans le sol par rapport au TN<sub>0</sub> a été de 30,52%(75,7ppm) avec le TN<sub>2</sub>, de 5,56%(13,8ppm), avec le TN<sub>5</sub>, et de 13,91%(34,5ppm) avec le TN<sub>10</sub>.

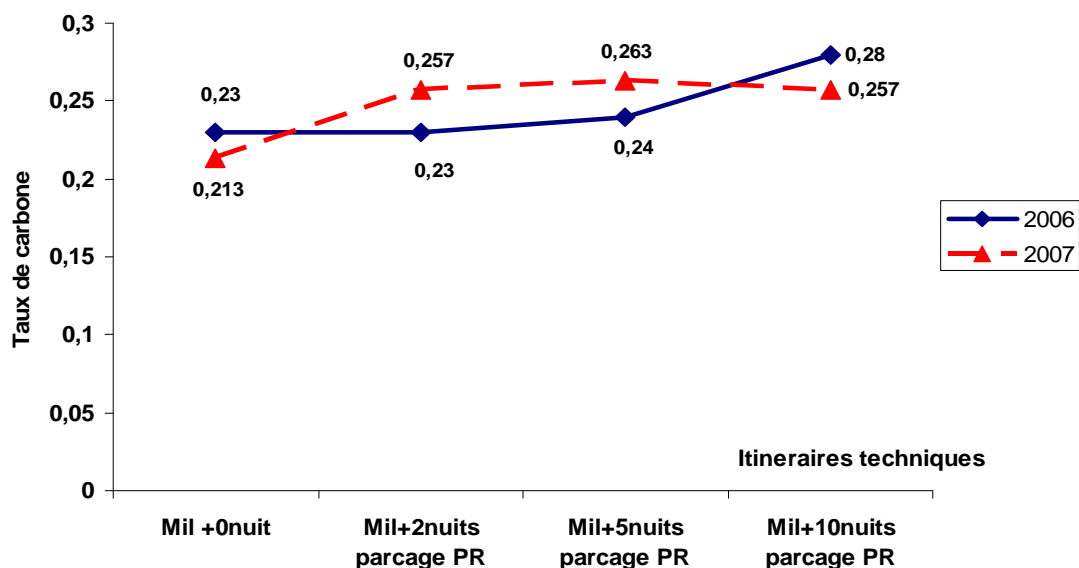
**Tableau 60.** Variation du taux et de la quantité de N, P, K du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs	Années	Mil+Parcage	Mil+Parcage	Mil+Parcage	Mil+Parcage
		Petits ruminants	Petits ruminants	Petits ruminants	Petits ruminants
		0 nuit TN <sub>0</sub>	2 nuits TN <sub>2</sub>	5 nuits TN <sub>5</sub>	10 nuits TN <sub>10</sub>
		0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
N total %	2005	0,009	0,012	0,012	0,023
	2006	0,022	0,022	0,028	0,024
	2007	0,019	0,021	0,020	0,027
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total ppm	2005	40,6	44,7	40,6	49,5
	2006	39,3	42,3	47,7	49,1
	2007	50,9	50,9	55,2	59,4
K <sub>2</sub> O total ppm	2005	484,9	523,2	587,0	583,3
	2006	225	236	265	305
	2007	248,0	323,7	234,2	213,5

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

- **Effet du parcage de petits ruminants aux champs sur le carbone total et la matière organique totale du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

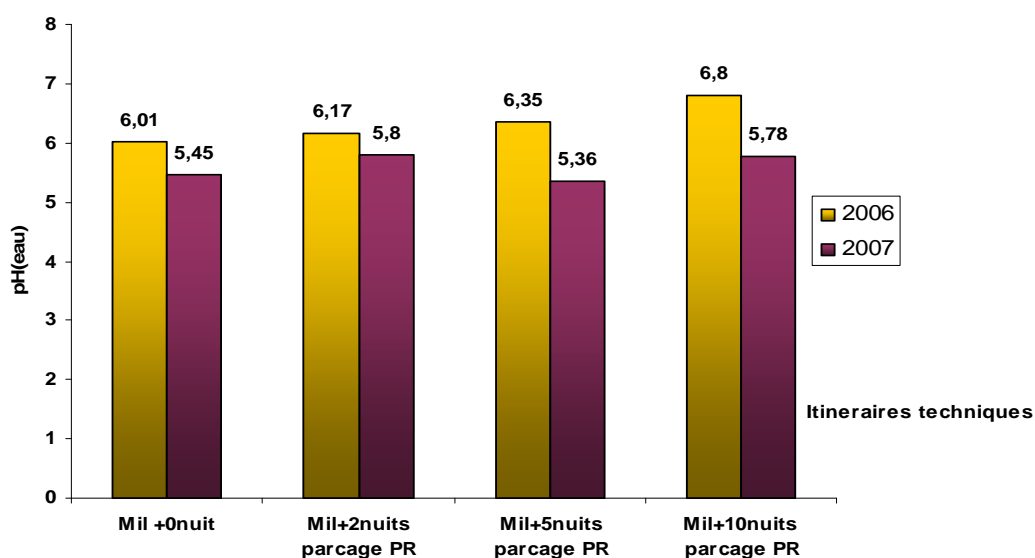
Les résultats des analyses de sol après la deuxième année de culture (Figure 24) ont montré que le taux de carbone total obtenu dans le TN<sub>0</sub> a été le même que celui obtenu dans le TN<sub>2</sub>. Par contre le taux de carbone total dans le sol a connu un accroissement par rapport au TN<sub>0</sub>, de 4,3%, avec le TN<sub>5</sub>, et de 21,7%, avec le TN<sub>10</sub>. Le rapport C/N a été de 10 respectivement pour le TN<sub>0</sub>, le TN<sub>2</sub>, de 9 pour le TN<sub>5</sub>, et de 12 pour le TN<sub>10</sub>. La matière organique totale comme le carbone ont connu une augmentation similaire dans le sol. Ainsi le taux d'accroissement de la matière organique varie comme celui du carbone respectivement de 0%, 4,3% et 21,6% par rapport au TN<sub>0</sub>. Après la troisième année de culture, les analyses de sol ont montré qu'avec l'application du TN<sub>2</sub>, le regain en carbone total du sol a été de 20,63% par rapport au TN<sub>0</sub>, avec le TN<sub>5</sub> le taux d'amélioration a été de 23,4%, et de 65% pour l'application du TN<sub>10</sub>. Le rapport C/N a été de 11 respectivement pour le TN<sub>0</sub>, 12 pour le TN<sub>2</sub>, 13 pour le TN<sub>5</sub>, et de 10 pour le TN<sub>10</sub>. Ce qui implique un forte minéralisation de la matière organique totale. Cette matière organique comme le carbone total a connu également un accroissement dans le sol. Son taux d'accroissement varie comme celui du carbone de 20,6%, 23,4% et de 65% par rapport au témoin



**Figure 24.** Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

- **Effet du parcage de petits ruminants aux champs sur le pH du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Les résultats des analyses de sol après la deuxième année ont montré une augmentation de la valeur du pH du sol (légère diminution de l'acidité) restant toujours acide. Le pH a connu un accroissement par rapport au  $TN_0$  dans tous les traitements de parcage de petits ruminants, avec une valeur de 13% pour le  $TN_{10}$  (Figure 25). En troisième année, la valeur du pH a baissé dans l'ensemble de traitements.



**Figure 25.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

- **Effet du parcage de petits ruminants aux champs sur les bilans théoriques de N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune rurale de Koporo pen.**

Le modèle de calcul des bilans théoriques de première année de N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques, a montré dans le Tableau 61 qu'en première année, le bilan a été déficitaire pour l'azote pour tous les traitements. Le bilan du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été également déficitaire pour tous les traitements. Le bilan a été déficitaire pour le témoin, et le TN<sub>2</sub>, le TN<sub>5</sub> pour les années de test, tandis qu'il a été excédentaire pour le TN<sub>10</sub> pour les deux premières années, et déficitaire pour la troisième année. Le déficit en N et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été très élevé pour le TN<sub>5</sub> et le TN<sub>10</sub>, avec une tendance à justifier les rendements obtenus. Le déficit a été moins élevé pour le TN<sub>2</sub>.

**Tableau 61.** Bilan de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen.

Indicateurs	Itinéraires techniques	Années	Mil+Parcage PR 0Nuit TN <sub>0</sub>	Mil+Parcage PR 2Nuits TN <sub>2</sub>	Mil+Parcage PR 5Nuits TN <sub>5</sub>	Mil+Parcage PR 10Nuits TN <sub>10</sub>
Azote (N en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-44,61	-56,54	-176,56	-133,04
		2006	-139,07	-285,53	-453,08	-420,59
		2007	-174,81	-367,76	-559,07	-585,76
Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-24,37	-75,87	-222,31	-214,22
		2006	-61,81	-190,81	-403,17	-375,29
		2007	-86,18	-266,68	-625,48	-589,51
Potassium (K <sub>2</sub> O en kg.ha <sup>-1</sup> )		2005	-52,4	-116,68	-202,1	538,04
		2006	-205,79	-428,38	-557,76	185,78
		2007	-287,1	-683,05	-718,14	-50,89

(Source : tests en milieu paysan à Koporo pen)

Le parcage de petits ruminants aux champs permet d'obtenir des rendements moyens grains et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. En effet, l'application de 10nuits de parcage de petits ruminants (soit en moyenne 10UBT par hectare pendant 210 nuits allant de novembre à mai) pendant 3ans a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 222% et le taux de carbone du sol a augmenté de 21,74%. Quant l'application de 5 nuits de parcage de petits ruminants (soit en moyenne 5UBT par hectare pendant 210 nuits allant de novembre à mai) pendant 3ans, le surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin obtenu a été de 260% et le taux de carbone du sol a augmenté de 4,35%. Enfin, l'application de 2nuits de parcage de petits ruminants (soit en moyenne 2UBT par hectare pendant 210 nuits allant de novembre à mai) a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 115%. Le taux d'accroissement du carbone total du sol obtenu a été de 20,63% par rapport à la culture continue de mil. Le bilan en K<sub>2</sub>O a été excédentaire pour le parcage de 10 nuits en première et deuxième année, mais déficitaire à la troisième année. Par contre tous les bilans étaient négatifs pour l'ensemble des itinéraires utilisés pour les deux premières années.

L'avantage primordial du parcage vient du fait que les transferts sont assurés par les animaux eux-mêmes (avec peu d'investissement) et que l'ensemble des excréments (fèces et urines) est déposé sur le champ durant le temps du parcage. Le transfert de la matière organique fertilisante des pâturages permanents vers les terres cultivées, bien que reconnu comme un élément important de la fertilité du sol est très limité car il faut 4 à 40 ha de pâturage naturel pour

un ha de champ cultivé. On peut donc dire que le transfert de ces techniques doit prendre en compte l'amélioration des parcours.

#### **4.2.7. Effet de la microdose de DAP et d'Urée sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées.**

- **Effet de la microdose de DAP et d'Urée sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées.**

- *Commune rurale de Kopro pen*

En première année, les rendements mesurés (grain et paille) n'ont montré aucune différence significative (Tableau 62). Cependant on distingue un surplus de production de mil avec un gain relatif en grains de 34%(190kg.ha<sup>-1</sup>) et de 67%(3480kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille par rapport au T<sub>0</sub> pour le T<sub>1</sub>. L'application du T<sub>2</sub>, a permis d'améliorer le rendement grain de 14%(80kg.ha<sup>-1</sup>) et de 34 %(1450kg.ha<sup>-1</sup>) pour le rendement paille par rapport au T<sub>0</sub>. L'évaluation économique a montré que le T<sub>1</sub> a permis de réaliser plus de valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub>, avec un accroissement du bénéfice de 22,59%(12 140FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Cependant, l'application de T<sub>2</sub> a engendré un déficit de la valeur ajoutée de 10%(5 420FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport à celui du T<sub>0</sub> à cause du déficit pluviométrique.

En deuxième année, les rendements grain obtenus sont supérieurs à ceux de la première année, par contre les rendements paille sont inférieurs à ceux de la même année qui a connu un déficit pluviométrique. L'analyse des résultats a montré qu'il n'existe aucune différence significative entre les rendements grain malgré le surplus constaté. Par contre, il existe une différence significative entre les rendements paille. L'application de T<sub>1</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 83,45 %(580kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 125%(2750kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec l'application de T<sub>2</sub>, le rendement a connu une amélioration par rapport au T<sub>0</sub> de 84,89%(590kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 70,45%(1550kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. En deuxième année, le T<sub>1</sub> a permis d'augmenter la valeur ajoutée de 86,92%(56 060FCFA.ha<sup>-1</sup>). Alors qu'avec l'application du T<sub>2</sub>, la valeur ajoutée obtenue a été de 78,35 %(50 530FCFA.ha<sup>-1</sup>) supérieure également à celle du T<sub>0</sub>.

En troisième année, les rendements grain obtenus sont supérieurs à ceux de la première année. L'analyse des résultats a montré qu'il existe une différence très significative entre les rendements grain, et une différence significative entre les rendements paille. L'application du T<sub>2</sub> a permis d'obtenir le meilleur rendement avec un surplus de production par hectare par rapport au T<sub>0</sub>, de 107%(625kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 43%(1360kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Quant avec l'application du T<sub>1</sub>, le rendement a augmenté par rapport au T<sub>0</sub> de 68%(395kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 39%(1240kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Contrairement aux années précédentes le T<sub>2</sub> a présenté le meilleur bénéfice, avec un accroissement de la valeur ajoutée de 112%(57 625FCFA.ha<sup>-1</sup>). Alors qu'avec l'application du T<sub>1</sub>, la valeur ajoutée obtenue a augmenté de 67%(34 416FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport celle du T<sub>0</sub>. La microdose de DAP avec ou sans Urée a permis de réaliser une valeur ajoutée de la production grain par hectare supérieure à celle du témoin.

- *Commune rurale de Madiama*

En première année de test, l'analyse des résultats (Tableau 62) indique qu'il existe une différence significative entre les rendements grains, mais la différence est non significative pour les rendements paille. Le T<sub>1</sub>, et le T<sub>2</sub> ont donné un surplus de rendement (grains et paille) de mil par



rapport au témoin. Le T<sub>1</sub> a permis d'obtenir la plus grande production par hectare avec un surplus de 109%(575kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 45,5%(2425kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ce traitement a été suivi du T<sub>2</sub>, avec un surplus de la production de mil par hectare par rapport T<sub>0</sub> de 100%(525kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 26,7%(1425kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>2</sub> a permis d'augmenter la valeur ajoutée à partir de la production grain par hectare de 122,9%(60 650FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Le T<sub>2</sub> a permis également un accroissement de la valeur ajoutée de 102,6%(50 650FCFA.ha<sup>-1</sup>). Ainsi, l'apport de microdose de DAP a permis de réaliser un bénéfice supérieur à celui du DAP et l'urée.

Les tests repris en deuxième année ont donné des rendements grain et paille supérieurs à ceux de la première année, la bonne pluviométrie en serait à l'origine. Les analyses des résultats ont montré un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin pour tous les traitements, et qu'il existait une différence très significative entre les rendements grains, mais non significative pour le rendement paille par rapport au témoin. Le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir la plus grande production par hectare avec un surplus de 150,5%(1442kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 37,5%(2550kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>1</sub>, la production de mil par hectare a connu également un accroissement par rapport au T<sub>0</sub> de 9,6%(92kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et de 2,3%(125kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Cependant en deuxième année le T<sub>1</sub> a présenté une production très peu différente de celle du témoin si bien que le bénéfice réalisé est également peu différent. Le T<sub>1</sub> a permis de réaliser un déficit en valeur ajoutée de la production grain par hectare de 0,2%(208FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Le T<sub>2</sub> a présenté le meilleur bénéfice, il a permis un accroissement de la valeur ajoutée de 159,9%(166 192FCFA.ha<sup>-1</sup>).

En troisième année, l'analyse des résultats a montré un surplus des rendements (grains et paille) de mil par rapport au témoin pour tous les traitements. Il existe une différence très significative entre les rendements (grains et paille) par rapport au témoin. Le T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 132%(1 065kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 107,8%(4 270kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Avec le T<sub>1</sub>, le rendement mil a augmenté par rapport au T<sub>0</sub> de 71,4%(575Kg/ha) en grain et de 53,3%(2112,5kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Ainsi, le T<sub>2</sub> a présenté le meilleur bénéfice, il a permis d'obtenir un accroissement de la valeur ajoutée de 140,2%(118 690FCFA.ha<sup>-1</sup>). Quant au T<sub>1</sub>, la valeur ajoutée de la production grain par hectare croit de 71,6%(60 650FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.

#### **- Commune rurale de Doucombo**

L'analyse des résultats de la première année (Tableau 62) indique que le meilleur rendement a été obtenu par le traitement T<sub>1</sub>, avec une augmentation par rapport au T<sub>0</sub> de 48%(440kg.ha<sup>-1</sup>) en grain et 1,3%(100kg.ha<sup>-1</sup>) en paille. Le rendement obtenu avec le T<sub>2</sub> a connu un déficit de 10%(100kg.ha<sup>-1</sup>) pour le rendement grain et un accroissement de 2,6%(200kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille par rapport au T<sub>0</sub>. Ce déficit en production grain était dû à l'apport de l'urée en période d'insuffisance d'eau de pluie. L'évaluation économique a montré que le T<sub>1</sub> a permis de réaliser une augmentation de la valeur ajoutée par rapport au T<sub>0</sub> de 45,2%(43 010FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Par contre, l'application de T<sub>2</sub> a engendré un manque à gagner de 53%(50 480FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>.

En deuxième année, les rendements grain obtenus ont été tous supérieurs à ceux de la première année pour l'ensemble des traitements à cause de la pluviométrie. L'application du T<sub>2</sub> a permis d'obtenir une augmentation du rendement grain de 51,29%(595kg.ha<sup>-1</sup>) et de celui de la paille de 19,58%(700kg.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Alors que l'application du T<sub>1</sub> a permis d'améliorer le rendement grain de 23,27%(270kg.ha<sup>-1</sup>) et de la paille de 7,69%(275kg.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. Les rendements paille ont été inférieurs à ceux de la première année. En deuxième année le T<sub>2</sub> a présenté le meilleur bénéfice, il a permis un accroissement de la valeur ajoutée de 53%(65 470FCFA.ha<sup>-1</sup>). Alors qu'avec le T<sub>1</sub>, le regain en valeur ajoutée a été de 22%(28

228FCFA.ha<sup>-1</sup>), supérieure à celle de T<sub>0</sub>. La microdose de DAP et urée (T<sub>2</sub>) a permis de réaliser une valeur ajoutée de la production grain par hectare supérieure à celle de tous les traitements avec une pluviométrie suffisante.

En troisième année, les rendements grain obtenus ont été tous supérieurs à ceux de la première année. L'application du T<sub>2</sub> a permis d'obtenir un accroissement du rendement grain de 126%(1 083kg.ha<sup>-1</sup>), et de 69%(1 925kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille par rapport au T<sub>0</sub>. Alors que l'application du T<sub>1</sub> a permis d'obtenir un regain en rendement grain de 74%(soit 633kg.ha<sup>-1</sup>), et de 50%(1 400kg.ha<sup>-1</sup>) pour la paille. Le T<sub>2</sub> a présenté le meilleur bénéfice, il a permis un accroissement de la valeur ajoutée de 133%(120 958FCFA.ha<sup>-1</sup>). Alors qu'avec l'application du T<sub>1</sub>, le taux d'augmentation de la valeur ajoutée a été de 74%(67 958FCFA.ha<sup>-1</sup>) par rapport au T<sub>0</sub>. La microdose de DAP et urée (T<sub>2</sub>) a permis de réaliser une valeur ajoutée de la production grain par hectare supérieure à celle de tous les traitements.

**Tableau 62.** Indicateurs de production après apport en microdose du DAP et d'urée au poquet dans les communes rurales étudiées.

Communes	Itinéraires techniques	Années	Mil (Témoin)		Mil + DAP		Mil+ DAP+Urée	
			T <sub>0</sub>		T <sub>1</sub>		T <sub>2</sub>	
			Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille
Koporo pen	Rendement moyen (kg/ha)	2005	560	4 170	750(ns)	6 960(ns)	640(ns)	5 620(ns)
		2006	695	2 200	1275(ns)	4 950*	1 285(ns)	3 750*
		2007	585	3 160	980**	4 400*	1 210**	4 520*
	Coût total de production	2005	24 665	-	39 125	-	41 285	-
		2006	25 860	-	45 200	-	49 030	-
		2007	24 430	-	41 365	-	48 055	-
	Bénéfices/Pertes	2005	53 735	-	65 875	-	48 315	-
		2006	64 490	-	120 550	-	118 020	-
		2007	51 620	-	86 036	-	109 245	-
Madiama	Rendement moyen (kg/ha)	2005	525	5 325	1 100*	7 750(ns)	1 050*	6 750(ns)
		2006	958	6 800	1 050*	5 450(ns)	2 400*	9350(ns)
		2007	805	3 957,5	1 380**	6 070**	1 870**	8 227,5**
	Coût total de production	2005	24 175	-	44 025	-	47 025	-
		2006	30 237	-	43 325	-	65 925	-
		2007	28 095	-	47 945	-	58 505	-
	Bénéfices/Pertes Moyenne	2005	49 325	-	109 975	-	99 975	-
		2006	103 883	-	103 675	-	270 075	-
		2007	84 605	-	145 255	-	203 295	-
Doucombo	Rendement moyen (kg/ha)	2005	915	7 500	1 355(ns)	7 600(ns)	815(ns)	7 700(ns)
		2006	1 160	3 575	1 430(ns)	3 850(ns)	1 755(ns)	4 275(ns)
		2007	857	2 775	1 490**	4 175**	1 940**	4 700**
	Coût total de production	2005	33 705	-	51 595	-	69 485	-
		2006	33 065	-	48 645	-	56 895	-
		2007	28 823	-	49 485	-	59 485	-
	Bénéfices/Pertes	2005	95 095	-	138 105	-	44 615	-
		2006	123 335	-	151 555	-	188 805	-
		2007	91 157	-	159 115	-	212 115	-

\*: Significatif ; \*\* : très significatif ; ns : non significatif (Source : tests en milieu paysan )

- **Effet de la microdose de DAP et d'Urée sur le taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du mil dans la commune de Koporo pen.**

Le Tableau 63 indique que les variations des taux de N des grains de mil sont insignifiantes d'un itinéraire technique à l'autre, tandis que celles de la paille varient de 0,1 à 0,3%. Le taux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

varie de 0,6 à 0,8% pour les grains et de 0,07 à 0,13%. Le taux de K<sub>2</sub>O est environ de 0,5% pour les grains et de 0,9 à 1% pour la paille.

**Tableau 63.** Variation du taux en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O des grains et pailles du mil suivant les itinéraires techniques dans la commune de Koporo pen

Indicateurs	Mil Témoin		Mil+ DAP		Mil+ DAP+Urée	
	grains	paille	grains	paille	grains	paille
N total %	1,664	0,341	1,664	0,171	1,664	0,256
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total %	0,65	0,10	0,73	0,07	0,81	0,13
K <sub>2</sub> O total %	0,47	0,96	0,50	1,01	0,54	0,94

(Source : analyse des plantes : BUNASOL 2005, 2006,2007)

- **Effet de la microdose de DAP et d'Urée sur les bilans théoriques de N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et K<sub>2</sub>O du sol dans la commune de Koporo pen.**

Le tableau 64 indique le bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et le K<sub>2</sub>O suivant les itinéraires techniques. Tous les bilans ont été déficitaires. Le déficit a été presque le même pour les itinéraires techniques aussi bien en N en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> qu'en K<sub>2</sub>O. Avec l'apport d'engrais, la demande devient plus forte.

**Tableau 64.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et le K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Koporo pen

Indicateurs	Mil (témoin)	MIL+DAP	Mil+DAP+Urée
Azote	-58,85	-57,35	-54,39
Phosphore	-39,05	-42,54	-53,25
Potassium	-85,33	-148,09	-112,57

(Source : tests en milieu paysan à Koporo pen )

L'application de la dose de 2g de DAP au poquet a permis d'obtenir un surplus de production par hectare de 30 à 100% en grain de mil pour une bonne pluviométrie. Avec les déficits de pluies le surplus varie de 9 à 14%, et des resemis, qui seront nécessaires. L'utilisation de la microdose de 2g de DAP au poquet complété par un apport de 1g d'urée à la levée donne le meilleur rendement grain de mil, et a permis d'obtenir un accroissement de la production de mil par hectare par rapport au témoin de 50 à plus de 100% en grain. Entre les rendements avec application de DAP et de DAP et de l'urée la différence est non significative. On peut donc recommander le choix du DAP. Des résultats similaires ont été obtenus par Bulkert *et al.*,1998, avec l'application de phosphore au poquet sous forme d'engrais N-P-K sur le mil, par Traore *et al.*, en 2002, et tout récemment par Caroline, 2005-2006 au Niger. Selon Ramadjita Tabo (comm. pers), cette technique fait revivre les régions dont les sols sont dégradés et permet aux agriculteurs de reprendre en main leur destin dans les régions où les engrais sont trop chers ou rares.

### **4.3. Scénarios résultant de l'application du modèle de calcul des besoins nutritifs du mil**

Le modèle a permis d'obtenir quatre scénarios de besoins nutritifs du mil sous une pluviométrie moyenne de 468 mm, et sur un sol de type B1. Le programme du modèle figure en annexe 2.

#### **4.3.1. Scénario 1**

Pour un rendement mil grains, ciblé de 650 kg, la production de paille serait de 3395 kg pour une production totale de 4045kg. Le ratio pousse racine serait de 4, l'ensemble racines et chaume pèserait 1011,25kg :

- L'azote nécessaire serait de 46,2 kg, et le besoin minimum d'azote en pourcentage est de 1,102 pour les grains et 0,409 pour la paille. L'absorption totale de l'azote serait de 32,02% avec un taux de récupération de 0,4%. Les besoins en azote pour 100kg de grains seront de 7,09kg. ;
- Le phosphore nécessaire serait de 41,68 kg, et le besoin minimum de phosphore en pourcentage serait de 0,67% pour les grains et 0,12% pour la paille. L'absorption totale de phosphore serait de 12,09% avec un taux de récupération de 0,2%. Les besoins en phosphore pour 100kg de grains seront de 6,41kg ;
- Le potassium nécessaire serait de 108,38kg et le besoin minimum de potassium en pourcentage serait de 0,41% pour les grains et 1,28% pour la paille. L'absorption totale de potassium serait de 76,51 avec un taux de récupération de 0,5%. Les besoins en potassium pour 100kg de grains seront de 16,67kg ;
- Le besoin en fumier utilisé serait estimé à 14869,29kg constitué de 1,27% de N, 0,28% de P, et 1,3% de K. Les quantités de fumier nécessaires pour N, P, K seront respectivement 3631,90kg, 14888,29kg et 8337,65kg ;
- Le temps de jachère utilisé serait de 52 ans.

#### **4.3.2. Scénario 2**

Le rendement mil grain, ciblé était de 800kg, pour cela la production de paille sera 4040 kg pour une production totale de 4840kg. Le ratio pousse racine est de 4, l'ensemble racines et chaume pèse 1210 kg :

- L'azote nécessaire serait de 56,10 kg, et le besoin minimum d'azote en pourcentage serait de 1,102% pour les grains et 0,409% pour la paille. L'absorption totale de l'azote serait de 38,49% avec un taux de récupération de 0,4%. Les besoins en azote pour 100kg de grains seront de 7,01kg ;
- Le phosphore nécessaire serait de 51,24 kg, et le besoin minimum de phosphore en pourcentage serait de 0,673% pour les grains et 0,123% pour la paille. L'absorption totale de phosphore serait de 14,85% avec un taux de récupération de 0,5%. Les besoins en phosphore pour 100kg de grains seront de 6,40 kg ;
- Le potassium nécessaire serait de 128,82 kg et le besoin minimum de potassium en pourcentage est de 0,41% pour les grains et 1,281% pour la paille. L'absorption totale de potassium serait de 91,36 avec un taux de récupération de 0,5%. Les besoins en potassium pour 100kg de grains seront de 16,22kg ;

- Le besoin en fumier utilisé serait estimé à 18301,42kg constitué de 1,27% de N, 0,28% de P, et 1,3% de K. Les quantités de fumier nécessaires pour N, P, K seront respectivement 3631,90kg, 14888,29kg et 8337,65 kg ;
- Le temps de jachère utilisé serait de 64 ans.

#### **4.3.3. Scénario 3**

Pour un rendement grain, ciblé de 1000kg, la production de paille sera 4900kg pour une production totale de 5900kg. Le ratio pousse racine est de 4, l'ensemble racines et chaume pèse 1475kg :

- L'azote nécessaire serait de 69,40 kg, et le besoin en pourcentage minimum d'azote serait de 1,102% pour les grains et 0,409% pour la paille. L'absorption totale de l'azote serait de 47,11% avec un taux de récupération de 0,4%. Les besoins en azote pour 100kg de grains seraient de 6,94kg ;
- Le phosphore nécessaire serait de 63,07kg, et le besoin en pourcentage minimum de phosphore est de 0,673 pour les grains et 0,123 pour la paille. L'absorption totale de phosphore est de 18,16 avec un taux de récupération de 0,2%. Les besoins en phosphore pour 100kg de grains sont de 6,34kg ;
- Le potassium nécessaire serait de 158,29 kg et le besoin en pourcentage minimum de potassium est de 0,41 pour les grains et 1,281 pour la paille. L'absorption totale de potassium est de 111,08 avec un taux de récupération de 0,5%. Les besoins en potassium pour 100kg de grains seraient de 15,82kg ;
- Le besoin en fumier utilisé rait estimé à 22527,67kg constitué de 1,27% de N, 0,28% de P, et 1,3% de K. Les quantités de fumier nécessaires pour N, P, K seraient respectivement 5464,88kg, 22527,66kg et 12176,31kg ;
- Le temps de jachère utilisé est de 79 ans.

#### **4.3.4. Scénario 4**

Pour un rendement grain, ciblé de 1500kg, la production de paille serait de 7050kg pour une production totale de 8550kg. Le ratio pousse racine serait de 4, l'ensemble racines et chaume pèseront 2137,50kg :

- L'azote nécessaire est de 102,66kg, et le besoin minimum d'azote en pourcentage serait de 1,102% pour les grains et 0,409% pour la paille%. L'absorption totale de l'azote serait de 38,49% avec un taux de récupération de 0,4%. Les besoins en azote pour 100kg de grains seraient de 6,84kg ;
- Le phosphore nécessaire serait de 92,62 kg, et le besoin minimum de phosphore en pourcentage est de 0,673% pour les grains et 0,123% pour la paille. L'absorption totale de phosphore serait de 14,85% avec un taux de récupération de 0,5% Les besoins en phosphore pour 100kg de grains seraient de 6,17kg ;
- Le potassium nécessaire serait de 229,46 kg et le besoin minimum de potassium en pourcentage serait de 0,67% pour les grains et 0,12% pour la paille. L'absorption totale de potassium serait de 26,80 avec un taux de récupération de 0,20%. Les besoins en potassium pour 100kg de grains seraient de 15,30kg ;
- Le besoin en fumier utilisé serait estimé à 33079,24 kg constitué de 1,27% de N, 0,28% de P, et 1,3% de K. Les quantités de fumier nécessaires pour N, P, K seraient respectivement 8083,43kg, 33079,24kg et 17661,08kg.
- Le temps de jachère utilisé est de 116 ans.

Le calcul des besoins en éléments nutritifs a permis de réaliser quelques estimations de ces besoins dans le cadre de systèmes de production agricole durables, sur la base des données minimum obtenues à partir des analyses en N, P, K des graines et pailles des cultures témoins. La méthode peut être améliorée si l'on dispose de données détaillées, telle que la quantité des substances nutritives au cours de la période de croissance. On peut alors faire en sorte que cette procédure soit dynamique. Une autre amélioration de la procédure devra inclure l'équilibre en carbone. Il conviendrait de rechercher plus avant le rôle de l'application du fumier en tant que la compensation de la minéralisation à partir de ce groupement. Selon Duivenbooden 1996, il conviendrait d'analyser l'importance d'autres éléments nutritifs pour certains systèmes de production. Dans certains cas, ces éléments peuvent affecter la croissance des cultures, par exemple le soufre pour des cultures légumineuses. De surcroît, les effets des substances nutritives sur le pH du sol devraient être pris en compte, de même que les effets des éléments nutritifs appliqués (Ca) pour réduire le pH, étant donné que l'acidité du sol détermine la répartition du phosphore. Malgré ces défauts et contraintes, la procédure constitue une des descriptions de la durabilité en termes d'équilibres (des éléments) nutritifs. On peut facilement l'adapter à d'autres régions.

#### **4.4. Description du processus d'élaboration de schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal sahélien**

De nombreuses actions ont été menées en collaboration avec les populations en vue de développer des techniques appropriées de restauration et de conservation des ressources naturelles. Avec le désengagement de l'Etat, la redécouverte des dynamiques humaines locales, l'accélération de l'évolution des règles traditionnelles de la gestion des espaces et de ressources de moins en moins aptes à satisfaire les besoins de la croissance démographique, sont autant de facteurs qui ont conduit les promoteurs de programmes de développement à accorder une importance particulière à l'approche « gestion de terroir villageois ou communal », en Afrique. La plupart des programmes de développement rural et tous les plans d'actions environnementaux doivent prendre désormais en compte l'échelle du terroir et de ses décideurs en vue d'aboutir à un véritable développement des ressources naturelles. De plus en plus, la gestion des ressources naturelles devient transversale pour toutes les activités de développement rural au Sahel. Elle est perçue comme la base indispensable pour atteindre la sécurité alimentaire. Les relations entre gestion des ressources naturelles et sécurité alimentaire constituent le socle du développement agricole durable. Pour garantir leur sécurité alimentaire, les paysans utilisent des techniques de production agricole visant à maximiser leur production. Cependant, si les exploitants agricoles n'utilisent pas des techniques de production adéquates et durables, ils vont contribuer à la dégradation des ressources naturelles, notamment les terres entraînant la perte de qualité du sol.

Les étapes de la mise en œuvre d'un programme de gestion des ressources naturelles d'un terroir ou d'une commune rurale sont les suivantes :

##### **4.4.1. Etapes1. Diagnostic régional**

- La revue de la documentation géographique et économique de la petite région considérée concernait le milieu naturel, le milieu humain et la démographie, le contexte économique, l'armature institutionnelle, contexte foncier, etc.
- L'établissement de documents cartographiques de synthèse (échelle 1/ 100.000 à 1/ 250.000) :
  - Carte de l'état actuel : occupation agricole des terres, végétation pastorale et forestière, etc. ;

- Carte du milieu physique : ressources en terres, ressources en eaux identifiées ;
- Carte du contexte humain : armature administrative, équipements, projet et actions en cours, typologie des terroirs représentés, diagnostic des types de droits fonciers ;
- Conclusions sous la forme d'un diagnostic régional identifiant :
  - les grands équilibres de la région, les dynamiques, les perspectives, les potentialités et les contraintes, les enjeux du développement actuel ;
  - les thèmes prioritaires dans le domaine de la gestion des ressources naturelles (conservation/ mobilisation) ;

#### **4.4.2. Etape 2. Diagnostic concerté sur l'utilisation de l'espace rural et de l'impact de celle-ci sur l'environnement.**

Il intéresse les territoires villageois de la commune, qui est un ensemble de terroirs qui seront traités tout en fonction de leurs interactions. Le diagnostic de l'état des lieux sera matérialisé par trois documents cartographiques (échelle du 1/ 20.000 au 1 / 50.000) :

- cartes des systèmes d'utilisation agricole des terres, de la végétation des équipements et de l'habitat ;
- carte simplifiée d'aptitude/ contraintes des terres aux affectations actuelles ou envisageables, des ressources en eaux identifiées, des sites et ressources particuliers ;
- carte simplifiée des trames foncières sous la forme d'un zonage par type de droit coutumier sur les différentes ressources. Ce document indiquera les limites du terroir villageois ou de la commune et les zones et/ ou les limites avec les terroirs voisins.

Le travail est réalisé à partir de l'exploitation des photographies aériennes et complété par des enquêtes de terrain : ressources naturelles, ressources humaines, connaissances des circuits de décision à l'intérieur du terroir mais aussi relations qu'il entretient avec l'extérieur.

La démarche, de type participatif, compte :

- une phase préliminaire de contact avec le village et d'exposé du « projet » ;
- une phase d'enquêtes où chacun pourra apporter la contribution de ses connaissances ;
- une phase de synthèse qui débouche sur :
  - l'identification des problèmes, causes, objectifs de vie des différents groupes dans le village, des stratégies de « redressement » puis d'action prioritaires ;
  - l'évaluation de la faisabilité et de l'opportunité de ces actions prioritaires pour les intéressés ;
  - la recherche de moyens pour mettre ces actions en œuvre ;
  - une programmation indicative qui doit tenir compte des autres programmes décidés par ailleurs et susceptibles d'intéresser le territoire villageois.

Cette phase de synthèse est elle-même un élément du renforcement de la capacité locale à prendre des initiatives nouvelles (sans se laisser mener, si possible, par les avantages offerts par les intervenants extérieurs), et à mobiliser les partenaires extérieurs de façon responsable.

Il y a avantage à classer les actions projetées en fonction d'une typologie de la décision selon que celle-ci dépend de :

- l'Etat et des collectivités rurales : participation à la gestion de la forêt classée, amélioration des pistes rurales, etc. ;

- la collectivité villageoise dans son ensemble : puits, gestion des feux de brousse ; création de boisements villageois, contrôle du bétail, bornage du terroir, etc. ;
- des associations d'usagers : aménagements de bas-fonds, gestion de pâturages, secteurs de lutte anti-érosives, chemins ruraux, petits périmètres irrigués, etc. ;
- des chefs d'exploitation : pratiques culturales anti-érosives, agroforesterie, etc.

Il est nécessaire de vérifier, par enquêtes, le degré d'homogénéité des stratégies de ces différents décideurs face aux problèmes posés par la conservation de leur patrimoine. Ce type de connaissances est indispensable pour pouvoir évaluer les chances d'acceptabilité et de succès des thèmes de conservation qui ne peuvent être mis en pratique qu'à tel ou tel échelon décisionnel. Ainsi, il serait nécessaire d'identifier et de dissocier les actions :

- qui peuvent être réalisées à la seule initiative des collectivités ou des individus (technique et financement et / ou réalisation) ;
- qui demandent un appui technique exogène ;
- qui requièrent également un financement extérieur (subvention et / ou crédit) par le budget de l'Etat et / ou de structures type projet financées par l'aide internationale ou bilatérale.

Les impacts de ces actions doivent être abordés à ce stade, en particulier ceux qui posent des problèmes d'arbitrage dans l'affectation de ressources (exemple, mise en culture d'un bas-fond déjà utilisé comme pâturage de saison sèche).

La conclusion de ce diagnostic, mené en concertation avec les populations du terroir concerné, débouche sur un bilan de l'utilisation de l'espace et de l'impact de celle-ci sur les ressources naturelles. Il permet une prise de conscience du patrimoine mobilisé, des enjeux de sa conservation, des besoins actuels et des perspectives d'avenir. Ce bilan s'appuie sur un document cartographique de type morphopédologique, basé lui aussi sur une photo-interprétation associée à des enquêtes de terrain. Il aboutit à un zonage de l'espace en aptitudes et contraintes à des utilisations actuelles ou potentielles et, pour cela prend en compte les risques de dégradation éventuels qui en résultent. L'établissement de ce bilan s'accompagne, pour chaque élément de l'environnement, de la mise en évidence des droits de décision collectifs ou individuels qui y sont associés. Il alimente une réflexion des populations rurales prenant en compte le présent et le futur :

- que fait-on de ce patrimoine aujourd'hui ?
- comment en tirer le meilleur parti face à nos besoins ?
- qui profitera ou perdra si on change les façons de l'utiliser ?
- comment le conserver et l'enrichir pour les descendants ?
- par quoi commencer ?
- Etc.

Cette réflexion peut être matérialisée par un schéma d'orientation concerté, établi avec les populations et accompagné de propositions d'actions ou d'identification de microprojets.

#### **4.4.3. Etape 3. Mise en œuvre des actions retenues**

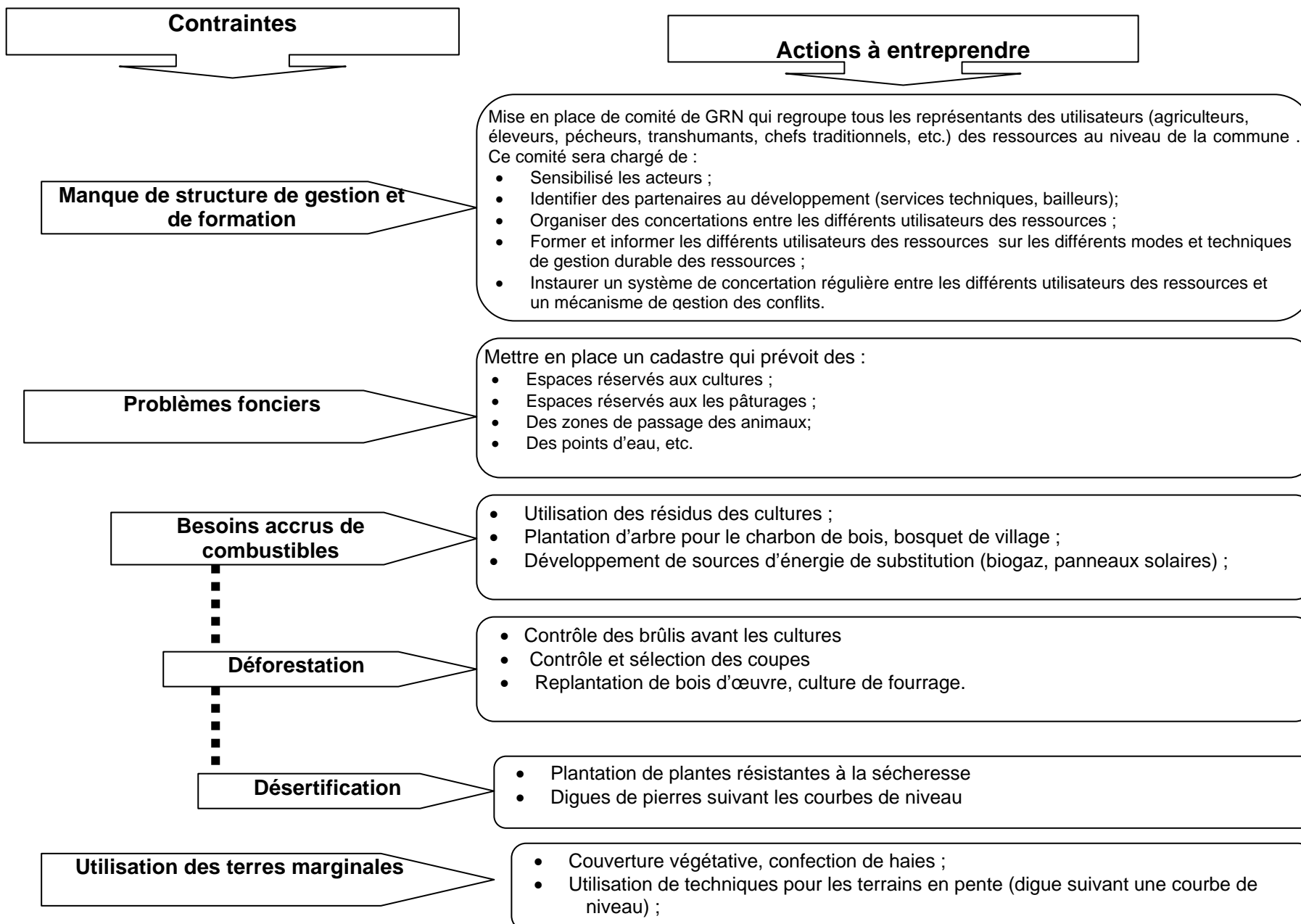


Si les moyens techniques permettent de planifier et de réaliser rapidement les petites études d'avant-projet sommaire nécessaire aux réalisations, par contre la clarification du problème foncier et des structures de gestion se pose avec acuité et demande beaucoup d'efforts et de patience, qu'il s'agisse :

- de l'amélioration des ressources par l'introduction ou l'adoption de technologies ;
- de l'enrichissement de patrimoine (plantations) ;
- de la conservation (mise en défens temporaire d'espaces, travaux de conservation des sols).

Cette mise en œuvre repose sur des relations contractuelles entre les populations intéressées et les finances publiques (administration et budget de l'Etat, programmes financés par l'aide extérieure), chaque partie apportant sa contribution clairement définie dans le cadre d'un plan d'actions concertées (figure 26).

Bien que la pression sur les ressources soit forte, voire très forte dans certaines zones au point de créer des dégradations à tendance irréversible, on peut dire sans risque de se tromper que la mise en œuvre de la décentralisation offre une grande opportunité pour les communautés d'asseoir une gestion efficace de proximité de ces ressources naturelles. Pour ce faire, il s'avère nécessaire qu'une place importante soit accordée à la formation des différents groupes d'acteurs afin de leur permettre de jouer convenablement leurs rôles respectifs. Le transfert des compétences doit être modulé mais irréversible. Pour ce faire, il faudrait agir sur les contraintes qui sont nombreuses car en plus de l'insuffisance des ressources financières, il faut noter celle des ressources humaines en quantité et en qualité pour la prise en charge et la gestion des compétences à transférer. Il faut renforcer les capacités des associations de Gestion des Ressources Naturelles afin qu'elles puissent réagir aux changements et risques internes et externes.



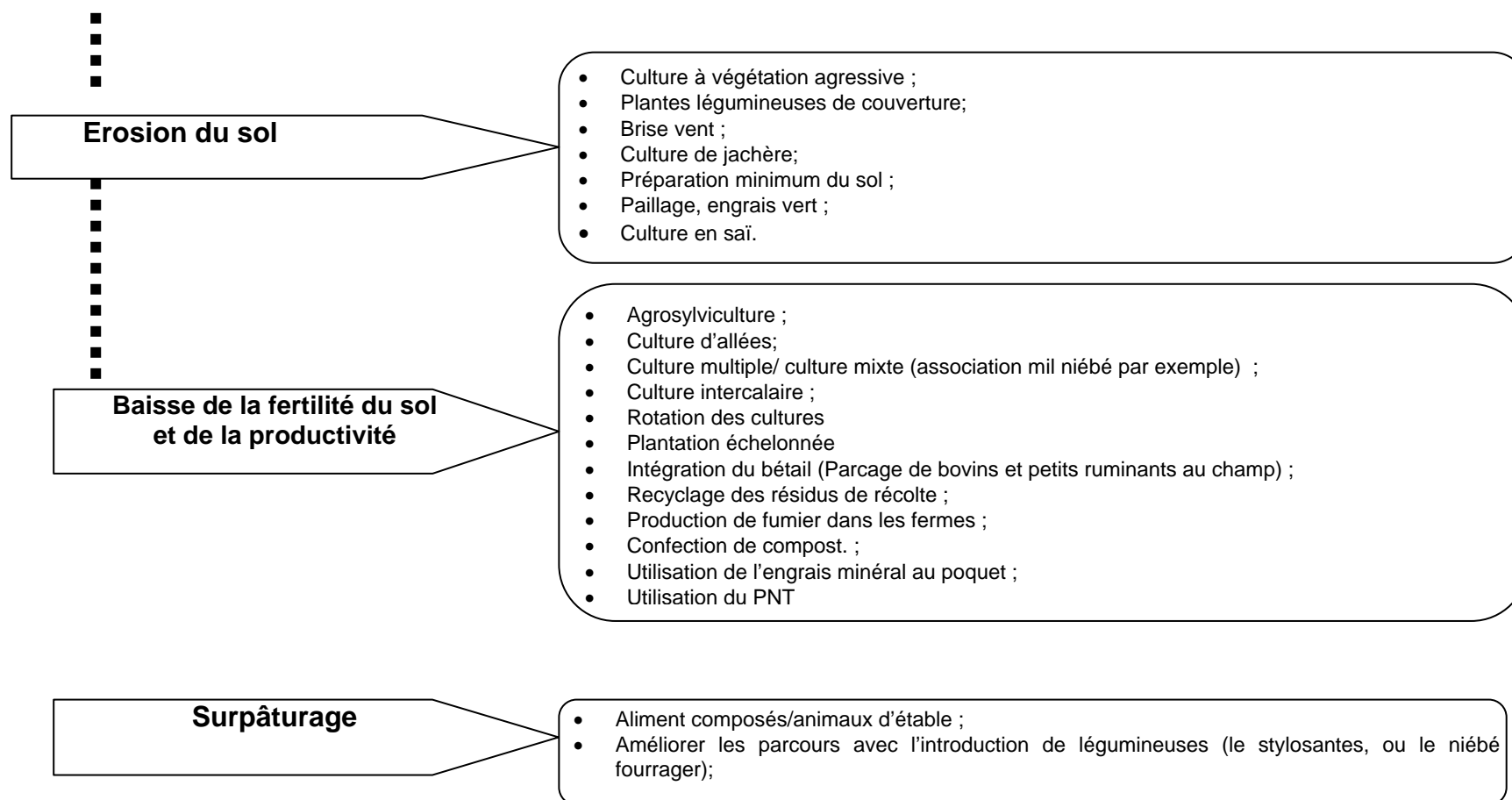


Figure 26. Schéma d'une gestion durable de l'agriculture face aux pressions socioéconomiques

## **CONCLUSION**

## 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 des 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.

La présente étude se voudrait une contribution à la lutte contre l'insécurité alimentaire des populations de la région. Bien que beaucoup de technologies en matière de gestion intégrée de la fertilité des sols aient été développées dans la région, l'accent n'a pas été suffisamment mis sur la participation des paysans, ce qui évidemment m'a permis de prendre en compte leurs préoccupations socio-économiques. Cette étude doit nous permettre : d'identifier les méthodes actuelles de gestion paysanne de fertilité des sols et établir une typologie des exploitations à partir d'enquêtes exploitations, de réaliser en milieu paysan des tests de fertilisation des sols cultivés en mil, avec le PNT, la fumure organique et l'engrais minéral, soit en combinaison, soit seuls et à différentes doses, la rotation avec le niébé et du PNT à différentes doses, et enfin de proposer un schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal sahélien voué à la fois à l'agriculture et à l'élevage.

Les enquêtes ont été menées auprès de 177 paysans chefs d'exploitation dans 12 villages de 3 communes rurales situées dans trois zones agro-écologiques de la région. Ces enquêtes ont permis d'identifier les méthodes actuelles de gestion paysanne de fertilité des sols et d'établir une typologie des exploitations pour une bonne orientation des technologies proposées.

Les tests de fertilisation des sols cultivés en mil, ont été réalisés en milieu paysan afin, de déterminer les effets des itinéraires techniques de gestion de la fertilité du le sol et sur le rendement. Les itinéraires utilisent le Phosphate Naturel de Tilemsi, la fumure organique, l'engrais minéral, et la rotation améliorée des cultures. Ces technologies ont déjà fait leurs preuves en station au Mali et ailleurs dans la sous région. Les activités de recherche ont duré trois ans.

Les cumuls des pluies enregistrées (623,6mm en 2003, 514,5mm en 2004 et 607,1mm en 2005) ont été inférieurs à celui de la moyenne pluriannuelle de 30 ans (671,1mm). En plus de cette variabilité interannuelle, une grande variabilité inter mensuelle a été observée d'une part entre les différents mois de la même année et d'autre part entre les mêmes mois des différentes années. La répartition des pluies dans le temps a été relativement bonne en 2003 et en 2005 comparativement à 2004 malgré un déficit accentué en août 2005 (161,7mm) et en septembre 2003 (58,5mm).

Les résultats des enquêtes ont montré que dans la région de Mopti, il y a une disponibilité relativement importante en résidus de récolte en raison de l'importance des superficies emblavées et du rapport paille/grain des variétés cultivées. Selon leur nature, le besoin et les moyens du paysan les résidus de récolte sont laissés aux champs à la pâture libre ou transportées en famille pour stockage en vue d'atténuer les effets négatifs des périodes de la saison sèche. L'enfouissement et le brûlage sont peu pratiqués. Pour ce qui concerne la fumure organique, les

types employés dans la fertilisation des champs sont, entre autres, les déjections animales mélangées ou non aux pailles, et les ordures ménagères. Les quantités d'ordures ménagères sont plus faibles que celles des autres.

L'analyse des résultats par type d'exploitation indique que la quantité utilisée par unité varie selon les communes. Le constat est cependant que la collecte du fumier se limite à l'intérieur du parc. En dehors de cette aire, tout ce qui est déposé comme fèces tombe sur les parcours, dans les champs. Selon les paysans. La plus grande quantité de fumier est utilisée sur les champs communs, et les pertes au cours du transport sont insignifiantes. Le problème fondamental qui se pose dans le cas du fumier est celui de la qualité et la faiblesse des quantités produites. Selon les paysans enquêtés, il est possible d'accroître la production de fumure par une utilisation maximale de la litière dans les parcs. Cela passe par la collecte, aussi bien, des pailles de brousse que des résidus et des déchets de battage. Le compostage constitue une autre possibilité. Tout cela exige l'équipement requis pour le transport en nombre suffisant mais aussi et surtout des actifs courageux, selon leur propre expression. A défaut de cela, il faut avoir les moyens financiers pour recruter la main d'œuvre salariée ou pour motiver ses propres actifs à faire ce travail.

Les contraintes les plus importantes évoquées sont : l'équipement pour 54%, la distance (14%) le stockage (12%) et enfin la main d'œuvre et le moyen financier ont été évoqués dans 6% des exploitations. L'analyse des résultats a montré que le type de gestion de la fertilité des sols par les unités de production est déterminé par la taille de l'exploitation, la disponibilité en main d'œuvre, en équipement et en intrants. On note que la disponibilité en ressources (actifs), la structure de l'exploitation (superficies), l'équipement et le cheptel influent positivement sur l'exportation des résidus de récolte à la ferme, le stockage de fumier au champ, et l'enfouissement des résidus de mil au champ. Ce constat est fait même si l'intensité des liens des corrélations par endroit est très faible.

Les quantités de fumier produites correspondent à une durée de stabulation de 14heures. Un prolongement de ce temps, conjugué à une plus grande utilisation de litière, serait à mesure d'accroître la production de fumier et d'en améliorer la qualité. Cela passe nécessairement par une intensification de l'élevage qui commence d'abord par un meilleur usage du potentiel de biomasse disponible dans la zone. Mais il faudrait aussi des débouchés sûrs et incitatifs pour la production. Les difficultés de l'enquête sont entre autres les chiffres et les informations sur les effectifs du cheptel, qui sont à prendre avec réserve à cause du tabou qui les entoure. Suivant le cheptel, les superficies des champs, la taille, l'équipement, l'apport en fumure organique : on distingue 3 types : A, B, et C. Ainsi, en fonction des quantités de fumier stockées dans la concession les exploitations A, B et C des communes de Kopro pen et Madiama, et les exploitations de type A à Doucombo sont capables d'apporter au moins  $2t.ha^{-1}.an^{-1}$  de fumier au champ chaque année. Pour la pratique du parage au champ, seules les exploitations type A, de la commune de Kopro pen peuvent réaliser le parage pendant une durée de 10 mois (correspondant au parage de 10 nuits), de 8 mois (5 nuits), et de 2 mois (2 nuits). Les exploitations de type A des communes rurales de Kopro pen, de Madiama, et de Doucombo peuvent respectivement parquer au champ : 43,48UBT, 10,5UBT et 7,06UBT pendant 2, 7 à 10 mois. Les exploitations de type B, de la commune de Kopro pen peuvent réaliser le parage au champ de 16,31UBT à l'hectare pendant une durée de 5 mois. Pour les exploitations de type C des communes étudiées, la réalisation du parage est impossible avec le cheptel total (UBT) de l'exploitation.

En vue de promouvoir l'utilisation par les agriculteurs des itinéraires techniques de gestion de la fertilité des sols, il est essentiel de pouvoir établir préalablement l'effet en conditions réelles de ces itinéraires sur le sol et sur les rendements. A cet effet des tests de

fertilisation des sols en milieu paysan ont été mis en place pour une durée de 3 ans dans 3 Communes rurales de la région de Mopti. Ces tests devaient permettre :

- les analyses agronomiques et économiques des effets des itinéraires techniques de rotation niébé-mil améliorée avec du Phosphate de Tilemsi à différentes doses ( $300$  et  $600\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$ ) ainsi, que leurs effets résiduels (de un à deux ans après application) ont montré que la pratique de la rotation avec le niébé en tête a été plus rentable que la culture continue de mil. Ces itinéraires ont permis de réaliser des bénéfices nets supérieurs à ceux du mil en culture continue. L'application du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) à différentes doses sur le niébé en tête de rotation donne avec l'application de  $600\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de PNT, un taux d'accroissement du rendement grain variant de 7 à 80%. Avec un apport de  $300\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de PNT, le taux d'augmentation du rendement grain a varié de 10 à 68% par rapport rendement grain du niébé seul. L'augmentation du taux d'azote dans les grains par rapport au  $T_0$  a varié de 106% à 112%. En ce qui concerne la paille, le taux d'azote varie de 99,4% à 150%.

Le mil pourrait bénéficier d'effets résiduels de N fixé par la légumineuse. Ainsi, les arrières effets sur la culture du mil en deuxième année de  $600\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de PNT appliqué au niébé permettent d'accroître le rendement grains de mil de 45 à plus de 100%. Avec l'arrière effet de l'application de  $300\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de PNT, et du niébé, l'accroissement du rendement grains varie de 29 à 70%. Quant à l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant, le rendement grain du mil accroît de 5 à 47%. En troisième année, les arrières effets de  $600\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de PNT appliqué au niébé permettent d'accroître le rendement grains à plus de 100%. Avec, l'application de  $300\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de PNT, et du niébé, le regain en rendement grain peut varier de 75 à plus de 100%. Le rendement grain peut atteindre 20 à plus de 100% avec, l'arrière effet du niébé seul sans fertilisant. Les bilans des éléments N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  et  $\text{K}_2\text{O}$  ont été déficitaires. L'application du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) à différentes doses sur le niébé en tête de rotation permet d'obtenir une augmentation progressive de la valeur du pH, qui traduit une diminution de l'acidité du sol (très acide à acide) avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport du PNT en deuxième année. Mais en troisième année, l'acidité des sols augmente (acide à très acide) dans l'ensemble des traitements, ce qui se traduit par la baisse des valeurs du pH. On en conclut que l'effet de la rotation légumineuse céréale couplé avec l'arrière effet du PNT apporté sur le niébé en tête de rotation constitue une technologie relativement simple et performante qui pourrait être utilisée par la plupart des paysans et contribuer à une amélioration significative de la productivité du mil et des systèmes de culture à base de mil dans les zones sahéliennes du Mali ;

- une meilleure compréhension de la pratique de gestion des amendements organiques basés sur le transport et l'application de fumier de bovins et de petits ruminants aux champs à différentes doses. L'application de fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses dans la fertilisation du mil sur trois ans de test de fertilisation aux champs a permis d'obtenir une augmentation des rendements moyens grain et paille, et une amélioration de la qualité des grains et paille en azote, et en phosphore par rapport au témoin. L'apport de  $2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  de fumier de bovins ou de petit ruminant permet d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 0,6 à 82%, avec une augmentation de la concentration du sol en matière organique de 8,3% et d'une baisse de la valeur du pH de 5,09% du sol par rapport au témoin dès la deuxième année. En cas de déficit pluviométrique, la réduction de production peut atteindre 30% par rapport au rendement du témoin. Avec, l'apport d'une dose unique de  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de bovins ou de petit ruminant pour une durée de 3ans, le surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin peut varier de 13 à plus de 100%, avec une augmentation de la matière organique de 4,10%, et une hausse de la valeur du pH de 5,6% du sol par rapport au témoin dès la deuxième année pour une bonne pluviométrie. Compte tenu du caractère aléatoire de la pluviométrie, l'application de  $2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  de fumier est préférable à celle de  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier à cause du risque, et des possibilités des paysans à stocker le fumier.

- 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  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  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  $2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  de fumier de bovins et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  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  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de bovins et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT. L'apport de  $2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$  de fumier de petits ruminants et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT permet d'obtenir un taux d'accroissement du rendement grain de 60,11% et de 63,8% avec le  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de petits ruminants et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT par rapport au témoin. Enfin, l'application de  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  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 bilan en  $\text{K}_2\text{O}$  a été positif pour les itinéraires utilisés, par contre il a été déficitaire pour N et  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Mais le déficit est plus faible avec les  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de petits ruminants et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT, et les  $5\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de fumier de bovins et  $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 3\text{ans}^{-1}$  de PNT.

- une meilleure compréhension de la pratique de gestion des amendements organiques basés sur le parage de bovins aux champs, avec différente durée : Ainsi, des tests de parage de bovins la nuit, réalisés sur trois sites en cinquième région au Mali ont permis d'obtenir des rendements grains et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Ainsi, par ordre de performance : l'application de 10 nuits de parage permet d'obtenir un surplus de production moyen par rapport au témoin sur 3ans par hectare en grain de mil de 107%, une augmentation de la matière organique, et une baisse de l'acidité du sol ; l'application de 5nuits avec, un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 82,46% ; enfin l'application du 2 nuits permet d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 44,9%. Le bilan en  $\text{K}_2\text{O}$  est positif pour les itinéraires utilisés, et déficitaire pour N et  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Le parage de nuits des bovins permet également d'améliorer la qualité des grains et de la paille par rapport au témoin.

- une meilleure compréhension de la pratique de gestion des amendements organiques basés sur le parage de petits ruminants aux champs, avec différente durée a permis d'obtenir des rendements moyens grains et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Ainsi, l'application de 10nuits de parage de petits ruminants (soit en moyenne 10UBT par hectare pendant 210 nuits allant de novembre à mai) pour 3ans permet d'obtenir un accroissement du rendement grain de mil par rapport au témoin de plus de 200% et le taux de carbone du sol a augmenté de 21,74%. Mais, l'apport de 5 nuits de parage de petits ruminants (soit en moyenne 5UBT par hectare pendant 210 nuits allant de novembre à mai) pour 3ans, a permis d'obtenir une augmentation du rendement en grain de mil par rapport au témoin de 260%, et du taux de carbone du sol de 4,35%. Enfin l'application de 2nuits de parage de petits ruminants (soit en moyenne 2UBT par hectare pendant 210 nuits allant de novembre à mai) a permis d'obtenir un surplus de production par hectare en grain de mil par rapport au témoin de 115%. Le taux d'accroissement du carbone total du sol obtenu a été de 20,63% par rapport à la culture continue de mil. Le bilan en  $\text{K}_2\text{O}$  a été excédentaire pour le parage de 10 nuits en première et deuxième année, mais déficitaire à la troisième année. Par contre tous les bilans étaient négatifs pour l'ensemble des itinéraires utilisés pour les deux premières années.

- une meilleure utilisation de l'engrais au poquet (3 niveaux application : témoin, DAP et DAP et de l'urée) permet d'obtenir un surplus de production (grains et paille) de mil à l'hectare par rapport au témoin. En effet, l'application de la dose de 2g de DAP au poquet permet d'obtenir un



surplus de production par hectare de 30 à 100% en grain de mil pour une bonne pluviométrie, Avec les déficits de pluies le surplus atteint 9% entre 10 et 14% et des resemis, qui seront nécessaires. Quant à l'utilisation de la microdose de 2g de DAP au poquet complété par un apport d'urée à la levée donne le meilleur rendement grain de mil, et permet d'obtenir un accroissement de la production de mil par hectare par rapport au témoin de 50 à plus de 100% en grain. Entre les rendements avec application de DAP et de DAP et de l'urée la différence est non significative. Nous pouvons donc recommander le choix du DAP pour le coût de production.

Les différents résultats des tests de fertilisation aux champs ont montré qu'un système de production mixte associant agriculture et élevage et utilisant des Phosphates Naturels peut constituer une alternative durable à la culture continue de céréales qui entraîne la perte de la fertilité des sols. Dans la pratique, les quantités de fumier appliquées (estimées à plus de 10 t ha<sup>-1</sup>) sont hors de portée pour la plupart des agriculteurs sahéliens, généralement trop pauvres pour posséder suffisamment de bétail. Par ailleurs, les engrais importés sont coûteux et difficiles d'accès pour les campagnes. L'amélioration de l'accessibilité des intrants paraît essentielle pour parvenir à un accroissement durable des rendements en mil dans cette région. Toutes ces activités doivent être envisagées dans un système de gestion globale des ressources naturelles de la commune rurale. Elles doivent s'intégrer dans un programme de développement socio-économique de la commune. Les communautés doivent gérer d'une manière concertée des parcours au niveau communal en sensibilisant et en organisant les différents utilisateurs des ressources (éleveurs transhumants, résidents et cultivateurs) afin, d'aboutir à un séjour des troupeaux transhumants dans les champs après récolte, lors des passages pour les zones humides (cas de Madiama). Ce séjour permet un transfert de la matière organique par les animaux dans les champs et à une réduction des conflits.

Pour garantir leur sécurité alimentaire, les paysans utilisent des techniques de production agricole visant à maximiser la production. Cependant, si les exploitants agricoles n'utilisent pas des techniques de production adéquates et durables, ils vont contribuer à la dégradation des ressources naturelles, notamment les terres entraînant leur perte de qualité. La dégradation des pâturages due à la surexploitation des ligneux pour les besoins de plus en plus importants des populations humaines et animales pourrait compromettre l'association souhaitée entre l'agriculture et l'élevage. La stratégie serait de transformer les résidus de récolte en compost ou en fumier. L'effort doit porter sur la méthode de gestion des résidus de cultures et du fumier afin de définir des périodes d'application permettant de synchroniser la minéralisation des éléments nutritifs avec les besoins des cultures. Dans la région la plus sèche du Sahel où les résidus de récolte laissés au champ peuvent augmenter les rendements, les options de gestion pourraient viser à accroître la production de la biomasse afin de satisfaire les besoins à la fois des animaux et du sol en résidus de culture. Les difficultés rencontrées au niveau des tests de fertilisation du sol aux champs sont surtout l'indisponibilité des paysans lors des activités de sarclage des parcelles, cette activité entre en concurrence avec le labour et le semis du riz dans le Delta et le semis des légumineuses sur le Plateau Dogon et dans le Séno. Les sarclages viennent souvent en retard et les parcelles sont le plus souvent envahies de mauvaises herbes.

Nous suggérons que les études en perspective prennent en compte les facteurs qui influencent le comportement des unités de production, par rapport à l'utilisation des techniques de gestion de la fertilité du sol et l'introduction de variétés de mil de cycle court et à haut rendement adapté à la région. Un appui de deux laboratoires au moins dans le cadre des analyses des sols et plantes serait indispensable pour la fiabilité des données.

En terme de recommandation, compte tenu du caractère insidieux du phénomène de dégradation, les efforts de sensibilisation doivent se poursuivre et s'intensifier afin d'aboutir à des pratiques

de gestion saines et porteuses. En effet, des moyens adéquats de nature à faciliter le travail de collecte et d'utilisation efficace des résidus allant de pair avec l'intensification des activités d'élevage doivent être à la portée des paysans. Les efforts de regroupement doivent se poursuivre autour des objectifs de gestion et conservations des eaux et des sols afin d'aboutir à une amélioration de la production et de la productivité céréalière. Des conventions entre les utilisateurs des ressources doivent être établies pour prendre en compte d'une part l'intégration agriculture élevage (parcage des animaux transhumants dans les champs pendant la période d'attente) et d'autre part celle de la gestion de la fertilité du sol et celle de la gestion globale des ressources naturelles dans le Programme de Développement Social et Economique de la Commune (PDSEC).

## **BIBLIOGRAPHIE**

**Angé A., 1990.** La fertilité des sols et les stratégies paysannes de mise en valeur des ressources naturelles : le mil dans les systèmes de culture du Sud du bassin arachidier sénégalais. 33pages 89-121.

**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., Ntare B.R. 2000.** Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in semi-arid tropics, West Africa. *Journal of Agricultural Science*, 134, p. 277-284.

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

**Bationo, A., E. Ayuk et A.U. Mkwunye., 1991.** Évaluation à long terme des engrais phosphoriques pour la production du mil à chandelle sur les sols sahéliens sablonneux des tropiques semi-arides de l’Afrique occidentale.

**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.

**Bationo A., et Vlek., P.L.G., 1997.** The role of nitrogen fertilizer applied to food crops in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. *Journal of Agricultural Science*.

**Bergeret P., et Dufumier M., 2002.** Analyser la diversité des exploitations agricoles In Mémento de l’Agronome CIRAD-GRET 2002 Ministère des Affaires étrangères Pages 321-405

**Bosma R., Bengaly M., Defoer T., 1993.** Pour un système durable de production : plus de bétail. Rôle des ruminants au Mali-Sud, dans le maintien du taux de matière organique des sols. In: Séminaire "Élevage et cycle viable des éléments nutritifs dans les systèmes mixtes agriculture élevage de l’Afrique sub-saharienne". CIPEA/ILCA, 22-26 novembre 1993, 14 p.

**Breman H., Traore N., 1987.** Analyse des conditions de l’élevage et proposition de politique et de programme. Mali OCDE/CILS Club du Sahel.

**Brouwer J., et Bouma J., 1997.** La Variabilité du sol et de la croissance des cultures au Sahel : points saillants de la recherche (1990 - 95) au Centre Sahélien de l’ICRISAT : Bulletin d’information n° 49 : 42pages.

**Bulkert A.C., Muchling B., et Bationo A., 1998.** Application de phosphore au poquet sous forme d’engrais N-P-K sur le mil.

**Caroline D. D., 2005-2006.** Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur le rendement en mil dans le Fakara (Niger) Lauvaine-la-Neuve 161pages

**Camara O.S., 1996.** Utilisation des résidus de récolte et du fumier dans le cercle de Koutiala : Bilan des éléments nutritifs et analyse économiques : 136pages

**Cisse M. I., 1995.** Les « parcs » agroforestiers du Mali : État des connaissances et perspectives pour leur amélioration N° 93. Rapport de consultation. Réseau de Recherche Agroforestière Pour les Zones Semi-arides de l’Afrique de l’Ouest (SALWA), Juillet 1995. 53p

**Cissé. S et Gosseye. P.A., 1990.** Compétition pour les ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali. Rapport 1. Ressources naturelles et population : AB -BLo/ESPR, AB-DLo. Wagening, 106 p + 66 p annexes.

**CSLP., 2000.** Cadre Stratégique de Lutte Contre la Pauvreté. Document préparé et adopté par le Gouvernement Malien 19 juillet 2000. 40pages.

**CNRA/IER., 1998.** Plan Stratégique de la Recherche Agricole (CNRA), 1999/ 2005; CRRRA de MOPTI Mai, 1998.

**D.N.S.I., 1998.** Etude du budget consommation. DNSI Bamako.

**Dembele I., Kater L., ESPGRN NIONO., 1998.** Gestion paysanne de la fertilité des sols en Afrique au sud du Sahara 50pages.

**Dioné J., PRISA, INSAT, CILSS, 1994.** Décalage entre Production et consommation : in Promotion de Systèmes agricoles durables dans les pays d’Afrique soudano-sahélienne.

**Doumbia. M. D. 1993.** Nutrient stress in acid soils 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.

**Dugué P., 2001.** Le conseil aux exploitations familiales. Actes de l’Atelier 19 – 23 novembre 2001 Bohicon, Bénin Cirad 77pages.

**EMCES., 1994.** Enquête Malienne de Conjoncture Economique et Sociale de la Direction Nationale de la Statistique et de l’Informatique (DNSI., 1994) Annexes 34pages.

**ESPGRM-MOPTI/SANREM., 1999.** Participatory Landscape/Lifescape Appraisal: Syntheses du diagnostic participative réalisé à Madiama, Nérékoro et Tombonkan du 1<sup>er</sup> au 14 février 1999 : Working paper N°. 99-02: OIRD.West Africa. 82pages.

**Gandah, M., Bouma, J., Brouwer, J., Hiernaux, P., Van Duivenbooden, N. 2003.** Strategies to optimize allocation of limited nutrients to sandy soils of the Sahel : a case study from Niger, West Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment, 94, 311-390.

**Ganesh P., Rauniyar, Goode. F. M., 1992.** Technology Adoption on small farms. World Development, Vol.20. N°2, p275 282.

**Ganry F., 1985.** Quelques réflexions pratiques sur la valorisation des fumiers et composts en : Atelier sur la recherche agronomique pour le milieu paysan, Nianing, Sénégal du 5 au 11 Mai 1985 Dakar, ISRA pages : 108 -119.

**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.

**Kaboré D.P., 2000.** Modeling District-Level Socioeconomic Linkages and Growth: Towards Sustainable Natural Resource Management in Agricultural and Pastoral Systems under Environmental Stress and Conflict in the Niger Delta Region of Mali. SANREM CRSP West Africa. Working Paper N° 01-03.

**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.

**Kébé M., 1999** Coraf Action n° 12

**Kébé. D., 1989.** Les relations agriculture-élevage et le devenir des systèmes de production de Fonsébougou, Sud-Mali Mémoire ENSAM, Unik. Montpellier -I 105 pages.

**Kellman, M., 1979,** Soil enrichment by neotropical savanna trees. Journal of Ecology.

**Kessler, J.J. et Breman, H., 1992** The potentiel of agroforestry to increase primary production in the sahelian and Sudan zones of West Africa. Agroforestry systems.

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

**Klaij M.C, et Ntare B.R., 1995.** Rotation and tillage effects a yield of pearl millet (*Pinnesetum glaucum*), and cowpea (*vigna unguiculata*), and aspect of crop water balance and soil fertility in a semi arid tropical environnement Journal of agriculture science 124: 39-44.

**Kleene P., Sanogo B., Viestra G., 1989.** A partir de Fonsébougou....Présentation, Objectifs et méthode du volet de Fonsébougou (1977-1987) Collection Système de Production Rurale au Mali : Volume I.

**Kodio A., Touré M.S.M., Traoré B., Cissé S., Moore K.M., 2000.** Résultats d'enquête de base sur les conflits dans la commune de Madiama : Rapport Office of International Research and development (OIRD), Outreach Division of University Provost, 1060 Litton Reaves Hall. Virginia Polytechnic Institute and State University : Blacksburg, VA 24061-0334.

**Krul, J. M., F. W. T. Penning de Vries et K. Traoré, 1982.** Les processus du bilan d'azote. In: van Duivenbooden: La durabilité exprimée en termes d'éléments nutritifs avec référence spéciale à l'Afrique de l'Ouest: 1996.

**Landais E., et al., 1990.** Systèmes d'élevage et transfère de fertilité in Savanes d'Afrique, terres fertiles? Montpellier 10 – 14 décembre 1990 p.219.

**Landais E., Lhoste P., Guérin H., 1990.** Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. *In: Savanes d'Afrique terres fertiles ? Actes des rencontres internationales Montpellier, 10-14 décembre 1990, Ministère de la Coopération et du Développement/CIRAD, p. 219-270.*

**Mathieu P., 1991.** Manuel d'agronomie tropicale: Appliquée à l'agriculture Haïtienne: 489 pages.

**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.*

**Murty D.S. et Renard. C., 2001.** Les plantes céréalières : le sorgho in *Agriculture en Afrique tropicale* Coordinateur : Romain H. Raemaekers DGCI. Bruxelles Belgique 1634 pages.

**NEF., 2005.** Lutte contre la pauvreté dans la région de Mopti – iied juillet 2005 18pages.

**Nair P.K.R. 1984,** Soil productivity aspects of agroforestry. ICRAF, Nairobi, Kenya.

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

**Neef, A. 1997.** Le contrat de parcage, fumure pour les riches ? Une étude de cas au sud-ouest du Niger. In *Soil Fertility Management in West African Land Use Systems* (éd. Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen M.) .Margraf Verlag, Weikersheim, Ch. 49, p. 381-386.

**Penning de vries et Djitteye, 1982.** La productivité des pâturages sahéliens. *Agri. Res . 918.* Pudoc, wageningen

**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

**PIRT, 1983.** Les ressources terrestres au Mali. Volume II. Rapport technique. *Projet Inventaire Ressources Terrestres au Mali. Mali/USAID, Bamako, Mali, TAMS, New York, USA. 406 p.*

**PIRT, 1983.** Les ressources terrestres au Mali. Volume III. Annexes. *Projet Inventaire Ressources Terrestres au Mali. Mali/USAID, Bamako, Mali, TAMS, New York, USA.532 p.*

**Poly, J, 1991.** Les enjeux des rencontres: in *Savanes d'Afrique, terres fertiles : Ministère de la Coopération et du Développement, 1991 CIRAD : 587 pages.*

**Poulain. J.F., 1980.** Crop residues in traditional cropping- systems of West-Africa. Effects on the mineral balance and level of organic matter in soils - proposals for their better management. In *Organic Recycling in Africa. FAO Soils Bulletin 43 p 38-71.*

**Powell., J. M., Fernandez-Rivera, S., Hiernaux, P., Turner, M. D. 1996.** Nutrient cycling in Integrated Rangeland/Cropland Systems of the Sahel. *Agricultural Systems, 32 (2/3), 143-170.*

**PTD., 2002.** Plan Triennal de Développement 2002 – 2004 Commune rurale de Doucoumbo, Cercle de Bandiagara, région de Mopti Janvier 2002.20 pages.

**Renard C. et Anand Kumar K., 2001.** Les plantes céréalières : le mil in Agriculture en Afrique tropicale Coordinateur : Romain H. Raemaekers DGCI. Bruxelles Belgique 1634 pages.

**Sacko L., 2008.** Recueil des textes législatifs et réglementaires de l'Institut d'Economie Rurale 1960 – 2007 IER 184 pages.

**Sah R.N., Mikkelsen D.S., and Hafez A.A., 1989.** Phosphorus behavior in flooded-drained soils. II. Iron transformation and phosphorus sorption. Soil Science Society of America Journal 53, 1723-1729.

**Schlecht, E., Buerkert, A. 2004.** Organic inputs and farmer's management strategies in millet fields of western Niger. Geoderma, 121, 271-289.

**Schlecht, E., Fernandez-Rivera, S., Hiernaux, P. 1997.** Timing, size and nitrogen concentration of faecal and urinary excretions in cattle, sheep and goats: Can they be exploited for better manuring of cropland? In Soil Fertility Management in West African Land Use Systems (éd. Renard G., Neef A., Becker K., von Oppen M.). Margraf Verlag, Weikersheim, Ch. 47, p. 361-367.

**Touré Y. T., 1974.** Fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses : mémoire de fin d'étude ENSup 90pages.

**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., 2005.** Fiche technique des techniques culturales performantes pour de nouvelles variétés de mil 07 IER 6pages.

**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.

**Van Duivenbooden N., 1996.** La durabilité exprimée en fermes d'éléments nutritifs avec référence spéciale à l'Afrique de l'Ouest Rapport Pss N° 2a. 262 pages.

**Vanderborght T. et Baudoin. J.P., 2001.** Les légumineuses à grains : le Niébé in Agriculture en Afrique tropicale Coordinateur : Romain H. Raemaekers DGCI. Bruxelles Belgique 1634 pages.

**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.

**Young, A., 1989.** Agroforestry for soil conservation. CAB International Wallingford, UK/UCRAF, Nairobi, Kenya.

## **ANNEXE**



**ANNEXE 1**  
**QUESTIONNAIRE**  
**GESTION DE LA FERTILITE DES SOLS**

Nom : ..... Village .....

Nombre d'actifs : H / \_\_\_\_ / F / \_\_\_\_ / Effectif de l'exploitation / \_\_\_\_ / Nombre de charrue : \_\_\_\_ /

Nombre de charrette : (asine \_\_\_\_, équine \_\_\_\_, bovine \_\_\_\_) Nombre d'animaux de trait \_\_\_\_ /

**1. Les produits de récolte (champ collectif)**

**1.1 Superficie des cultures pures et production totale (champ collectif)**

		Mil	Sorgho	Riz	Niébé	Arachide
Nombre de champ						
Superficie (ha)						
Production	Quantité					
	Unité de mesure					
Date de récolte (Mois)						
Distance moyenne du champs au village						

(Exprimer la production en charretée, en botte, en panier, en kg, ou autres).

**1.2 Superficie des cultures en association (champ collectif)**

Nom de l'association	Superficie (Ha)	Culture 1	%	Culture 2	%	Culture 3	%

- Avez-vous des terres en jachère ? Oui \_\_\_\_ / Non \_\_\_\_ /
- Si oui, indiquer la superficie \_\_\_\_ / et le nombre d'années \_\_\_\_ /
- Depuis combien de temps exploitez vous votre champs commun? (Nombre d'années). \_\_\_\_ /

### 1.3 Utilisation des produits principaux de récolte (champ collectif) (%)

	Mil	Sorgho	Riz	Niébé	Arachide
Consommation					
Vente					
Autres (à préciser)					

### 1.4 Utilisation des produits secondaires résidus et fanes (champ collectif) (%)

	Mil	Sorgho	Riz	Niébé	Arachide
Transporté immédiatement					
Laissé au champ					

- Si la paille est pâturée au champ, pendant combien de mois / \_\_\_\_\_ /
- Quels animaux ? (1) Personnel \_\_\_\_\_ / ; (2) D'autrui ; \_\_\_\_\_ / ; (3) Personnel et autrui \_\_\_\_\_ /
- Si les animaux d'autrui pâturent dans le champ, qu'est ce qu'ils donnent en retour ? .....  
.....

#### 1.4.1 Utilisation des produits secondaires qui ne sont ni pâturés, ni transportés (%)

(époques : numéroté de 1 à 12 selon le mois ; animaux)

		Mil	Sorgho	Riz	Niébé	Arachide
Enfouissement	%					
	Mois					
Brûlage	%					
	Mois					
Autres (à spécifier)	%					
	Mois					

**1.4.2 Utilisation des produits secondaires transportés (%)**

Utilisation	Tige de Mil	Tige de Sorgho	Paille de Riz	Fane de Niébé	Fane d'Arachide
Fourrage					
Combustible					
Litière					
Construction					
Autres à spécifier					

**1.5 Transport des résidus de récolte**

(1 = charrette bovine ; 2 = charrette asine ; 3 = charrette équine ; 4 = bicyclette ; 5 = autres)

- Louez-vous des moyens pour le transport des résidus ? Oui \_\_\_\_\_/Non \_\_\_\_\_/
- Si oui, lesquels ? (1, 2, 3, 4, 5) Pendant combien de jours ? / \_\_\_\_\_/
- Coût par jour \_\_\_\_\_/ ou par voyage \_\_\_\_\_/
- Vend-t-on les résidus de récoltes dans votre village ? Oui \_\_\_\_\_/ Non \_\_\_\_\_/
- Achetez-vous des résidus de récolte hors du village ? Oui \_\_\_\_\_/ Non \_\_\_\_\_/

**1.6 Quelles sont selon vous les contraintes de l'utilisation des résidus de récolte ?**

(1) Equipement \_\_\_\_\_/ ; (2) Animaux \_\_\_\_\_/ ; (3) Distance \_\_\_\_\_/ ; (4) Financière \_\_\_\_\_/ ; (5) Stockage \_\_\_\_\_/ ;  
 (6) Main d'œuvre \_\_\_\_\_/ ; (7) Autres (à spécifier) \_\_\_\_\_/

**1.7 Avez-vous reçu des conseils dans l'utilisation des résidus de récolte ?** Oui \_\_\_\_\_/ Non \_\_\_\_\_/

- Si oui de qui ? (à spécifier).....
- Si oui lesquels ? .....  
 .....  
 .....
- Les appliquez-vous ? Oui \_\_\_\_\_/ Non \_\_\_\_\_/
- Pourquoi ?  
 .....  
 .....

## 2. Production du fumier

### 2.1 Inventaires animaux

	Vaches	Bœufs	Veaux	Ovins	Caprins	Volaille
Nombre parqué						
Nombre en au piquet						
Nombre total de têtes						

### 2.2 Lieu de pâture par saison et par espèce animale

	Saison froide			Saison chaude			Hivernage		
	Transh	Pâturage retour quotidien	Stabu	Transh	Pâturage Retour quotidien	Stabu	Transh	Pâtur. retour quotidien	Stabul
Bovin									
Ovin									
Caprin									

### 2.3 Lieu et type de parc

Animaux	Type de parc			Emplacement	
	pas de parc	fixe	mobile	champs	Village
Vaches					
Bœufs					
Veaux					
Ovins					
Caprins					

- A quelle période se fait le parcage des animaux pendant la nuit ?

(1) toute l'année \_\_\_\_/; (2) Saison froide \_\_\_\_/; (3) Saison chaude \_\_\_\_/; (4) Hivernage \_\_\_\_/

- Quelle est la durée du parcage des animaux pendant la nuit ? \_\_\_\_\_/

### 2.4 Lieu de collecte des fèces

(1) Parc \_\_\_\_/; (2) Pâturage \_\_\_\_/; (3) lieu d'abreuvement \_\_\_\_/; (4) Concession \_\_\_\_/; (5) Autres à préciser) \_\_\_\_/

### 2.5 Utilisation de la litière

- Lieu de stockage : (1) Champ \_\_\_\_/; (2) A côté du parc \_\_\_\_/; (3) Au magasin \_\_\_\_/; (4) Autres \_\_\_\_/.
- En plus des tiges des cultures, utilisez-vous d'autres produits comme litière ? Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/
- Si oui les quels?.....

**2.6 Quelle est la fréquence d'introduction de la litière ?**

(1 = quotidiennement ; 2 = hebdomadairement ; 3 = mensuellement ; 4 = annuellement ; 5 = autres à spécifier).

**2.7 A quelle période vous vous occupez de la production de fumier ?**

(1) Toute l'année \_\_\_\_/; (2) Saison froide \_\_\_\_/; (3) Saison chaude \_\_\_\_/; (4) Hivernage \_\_\_\_/

**2.8 Quelle est la provenance de votre fumure ?**

- Achat \_\_\_\_/ production personnelle \_\_\_\_/ autres à spécifier \_\_\_\_/
- Le fumier est-il vendu dans votre village ? Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/
- Si oui préciser le coût. \_\_\_\_/

**2.9 Louez-vous des moyens pour le transport du fumier ?** Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/

(Moyen : 1 = charrette bovin ; 2 = charrette asine ; 3 = charrette équin ; 4 = autre à spécifier)

- Si oui, lesquels ? (1, 2, 3, 4) pendant combien de jours ? \_\_\_\_/le coût / jour \_\_\_\_/ ou par voyage / \_\_\_\_/
- Faites-vous appel à la main d'œuvre salariée ? Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/

**Si oui quel est le coût journalier** \_\_\_\_/ **le nombre** \_\_\_\_/

- Faites-vous appel aux associations de travail ? Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/

**Si oui quel est le nombre de personnes** \_\_\_\_/ **le coût** \_\_\_\_/

**2.10 Constatez-vous des pertes au cours du transport ?** Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/

- Si oui : comment les qualifiez-vous ?  
(1) Importantes \_\_\_\_/; (2) Moyennement importantes \_\_\_\_/; (3) Négligeables \_\_\_\_/
- Donnez les proportions ? \_\_\_\_/

**2.11 A quelle période de l'année le transport se fait-il ?**

(1) Saison froide : \_\_\_\_/; (2) Saison chaude \_\_\_\_/; (3) Saison pluvieuse \_\_\_\_/

- Pourquoi ?.....  
.....  
.....
- Cette activité entre-t-elle en concurrence avec d'autres activités Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/

Si oui lesquelles ?.....  
.....

**2.12 A quelle époque faites-vous l'épandage du fumier au champ ?**

(1) Saison froide : \_\_\_\_/; (2) Saison chaude \_\_\_\_/; (3) Saison pluvieuse \_\_\_\_/

- Pourquoi ?.....  
.....  
.....

**2.13 Quelles sont les diverses utilisations de la fumure dans votre exploitation (%)**

(1) Champs \_\_\_\_/; (2) Jardins potagers/vergers \_\_\_\_/; (3) Autres(à spécifier) \_\_\_\_/

- Sur quels types de sols, utilisez-vous le fumier ? (nom vernaculaire).....
- Pourquoi ?.....
- Dans quelles intervalles de temps la même parcelle est fumée ?

(1) Chaque an \_\_\_\_/ ; (2) Tous les 2 ans \_\_\_\_/ ; (3) Tous les 3 ans \_\_\_\_/ ; (4) Autres(à spécifier) \_\_\_\_/

- Sur quels types de sols, n'utilisez-vous pas le fumier? (nom vernaculaire) :.....
- Pourquoi ?.....

### 2.15 Les cultures qui sur lesquelles sont utilisées les engrais et le fumier

Cultures Sup. et quantités	Mil	Sorgho	Riz	Niébé	Arachide
Superficie					
Quantité fumier					
Quantité urée					
Quantité DAP					
Quantité Complexe Céréale					
Autres ( à spécifier)					

(Exprimer les quantités de fumier en charretées ou autres et les quantités d'engrais en kg)

### 2.16 Avez-vous reçu des conseils dans le cadre de la production du fumier ? Oui \_\_\_\_/Non \_\_\_\_/

- Si oui quels types de conseils ?.....
- De qui ?.....
- Les appliquez-vous ? Oui \_\_\_\_/Non \_\_\_\_/
- Si oui depuis combien d'années ? \_\_\_\_/

### 2.17 Croyez-vous pouvoir accroître votre production de fumier ? Oui \_\_\_\_/ Non \_\_\_\_/

- Si oui, préciser les moyens à mettre en oeuvre

### 2.18 Quelles sont les contraintes à la production de fumier ?

### 2.19 Quelles sont les contraintes à l'utilisation du fumier ?

### 2.20 Avez-vous des méthodes traditionnelles d'appréciation de la qualité du fumier ?

Oui \_\_\_\_/Non \_\_\_\_/

- Si oui lesquelles ?.....
- Quelle est la qualité du fumier que vous utilisez ?

(1) Bonne \_\_\_\_/ ; (2) Moyenne \_\_\_\_/ ; (3) Mauvaise \_\_\_\_/ ; (4) Ne sait pas \_\_\_\_/

**2.21 Utilisez-vous des fosses fumières ?** Oui \_\_\_\_\_/ Non \_\_\_\_\_/

**2.22 A quel type de culture destinez vous en priorité le fumier ?**

(1) Mil \_\_\_\_\_/;(2) Sorgho \_\_\_\_\_/; (3)Riz \_\_\_\_\_/; (4)Niébé \_\_\_\_\_/; (5)Arachide \_\_\_\_\_/;(6)Autres(à spécifier)\_\_\_\_\_/

**2.23 Quels sont selon vous les avantages de l'utilisation du fumier ?**

.....  
.....

## ANNEXE 2 :

### Programme de calcul des besoins en éléments nutritifs du mil

Activité	i1/i6
Culture	Mil
Intensité du système	Extensive
Sol	B1
Zone	Séno
<b>Précipitations (mm)</b>	<b>468</b>
Irrigation (mm)	0
Eléments relatifs au champ	
Rendement net	
<b>Rendement cible</b>	<b>650</b>
Paille	3395
Total	4045
Ratio pousse/racine	4
Racines + chaume	1011,25
Fraction de paille dans le champ	0,06
Fraction de paille brûlée au champ	0,08
Matière organique enfouie dans le sol	1198,65
Paille/objectif	5,22
$S=a+b*Yt$	600+4,3Yt
<b>Besoin en N:</b>	
<b>% de N minimum. (grain)</b>	<b>1,102</b>
<b>% de N minimum. (paille)</b>	<b>0,409</b>
Multiplicateur N % (grain)	1,2
Multiplicateur N % (paille)	1,3
Nu (tagb)	26,64
Absorption racines + chaume	5,37
Absorption totale de N	32,02
Taux de récupération de N	0,4
Nu/RFN	80,05
Sources Naturelles de N	
N - eau de pluie	3,04
N - racines + chaume	5,37
N - micro-racines	0,40
N - micro-MO enfouie	0,29
N - paille laissée au champ	0,76
N - paille/cendres	0,02
N - fraction de matière organique	0,3
N - fertilité du sol	24,01
Sources Naturelles de N	33,93
<b>Besoin en N</b>	<b>46,12</b>
<b>Besoin en P:</b>	
<b>% de P minimum. (grain)</b>	<b>0,67</b>
<b>% de P minimum. (paille)</b>	<b>0,12</b>



Multiplicateur P % (grain)	1,2
Multiplicateur P % (paille)	1,3
Pu (tagb)	10,52
Absorption racines + chaume	1,57
Absorption totale de P	12,09
Taux de récupération de P	0,2
Pu/RFP	60,49
Sources Naturelles de P	
P - eau de pluie	0,32
P - racines + chaume	1,57
P - micro-racines	0,04
P - micro-MO enfouïe	0,02
P - paille laissée au champ	0,22
P - paille/cendres	0,01
P - fraction de matière organique	0,3
P - fertilité du sol	18,14
Sources Naturelles de P	18,81
<b>P nécessaire</b>	<b>41,68</b>
<b>Besoin en K:</b>	
<b>% de K minimum. (grain)</b>	<b>0,41</b>
<b>% de K minimum. (paille)</b>	<b>1,28</b>
Multiplicateur K % (grain)	1,2
Multiplicateur K % (paille)	1,3
Ku (tagb)	59,69
Absorption racines + chaume	16,82
Absorption totale de K	76,51
Taux de récupération de K	0,5
Ku/RFK	153,03
Sources Naturelles de K	
K - eau de pluie	2,34
K - racines + chaume	16,82
K - paille laissée au champ	2,39
K - paille/cendres	0,12
K - fraction de matière organique	0,15
K - fertilité du sol	22,95
Sources Naturelles de K	44,64
<b>K nécessaire</b>	<b>108,38</b>
<b>Besoins</b>	
<b>N</b>	<b>46,12</b>
<b>P</b>	<b>41,68</b>
<b>K</b>	<b>108,38</b>
Besoins en N pour 100 kg de grains	7,09
Besoins en P pour 100 kg de grains	6,41
Besoins en K pour 100 kg de grains	16,67
Besoins moyens en N/100kg	
Besoins moyens en P/100kg	

Besoins moyens en K/100kg	
<b>Fumier</b>	
% de N du fumier	1,27
% de P du fumier	0,28
% de K du fumier	1,3
Fumier nécessaire à N	3631,90
Fumier nécessaire à P	14888,29
Fumier nécessaire à K	8337,65
<b>Besoins en fumier utilisé</b>	<b>14869,29</b>
Fumier/Yt	22,87
Moyenne de fumier/Yt	
<b>Jachère</b>	
Apport de N-jachère a-1	9,36
Apport de P-jachère a-2	1,12
Apport de K-jachère a-3	9,36
Années de jachère pour N	7,93
Années de jachère pour P	52,42
Années de jachère pour K	14,55
<b>Jachère utilisée</b>	<b>46</b>
Jachère utilisée	

## **ANNEXE 3**

**MINISTRE DE L'AGRICULTURE  
DE L'HYDRAULIQUE ET DES  
RESSOURCES HALIEUTIQUES**

**BURKINA FASO**  
*Unité – Progrès - Justice*

-----  
**SECRETARIAT GENERAL**

-----  
**BUREAU NATIONAL DES SOLS**

-----  
**DIRECTION GENERALE**

-----  
**DIRECTION DU LABORATOIRE  
D'ANALYSE**

-----  
**03 BP 7142 Ouagadougou 01**

**Tel : 50-36-18-85 Burkina Faso**

**Ouagadougou, le**

# **RAPPORT D'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE SOL, DE GRAINS ET DE PAILLE**

N° Laboratoire 573/2006 à 651/2006

CV5-6Mil 1-2/DDI  
Boureima Traoré/MALI



---

03 BP 7142 Ouagadougou 03 Téléphone: + (226) 50-36-11-03/ 50-36-18-85/ 89 Fax: + ( 226) 50-36-20-36

## Résultats d'Analyse d'Echantillons de Sol 2005 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	573	574	575	576	577
Rotation Niébé mil					
N° d'origine	J01	J02	J03	J04	J05
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil Avant culture	T1 mil témoin	T2 mil après niébé	T3 mil après niébé + 300kg PNT	T4 mil après niébé + 600kg PNT
<b>Azote total</b> %	0,013	0,016	0,015	0,020	0,015
<b>Phosphore total ppm (P)</b>	48,7	40,6	40,6	48,7	44,7
<b>Potassium total ppm (K)</b>	327,5	587	523,2	561,5	689,1

N° Laboratoire	578	579	580	581	582
Mil +Fo bovin et PR					
N° d'origine	J06	J07	J08	J09	J10
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +2t/ha/an bovins	T2 mil +5t/ha/3an bovins	T3 mil +2t/ha/an PR	T4 mil +5t/ha/3ans PR
<b>Azote total</b> %	0,009	0,010	0,012	0,013	0,013
<b>Phosphore total ppm (P)</b>	48,7	48,7	48,7	41,2	41,2
<b>Potassium total ppm (K)</b>	587,0	663,5	561,5	535,9	515,1

N° Laboratoire	583	584	585	585	587	588
Mil +Fo bovin et PR+PNT						
N° d'origine	J11	J12	J13	J14	J15	J16
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +300kg PNT	T2 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT Fo bovins	T3 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT Fo bovins	T4 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT FO PR	T5 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT FO PR
<b>Azote total</b> %	0,009	0,015	0,013	0,015	0,013	0,015
<b>Phosphore total ppm (P)</b>	41,2	93,4	48,7	56,8	48,7	48,7
<b>Potassium total ppm (K)</b>	283,3	587,0	433,9	510,4	510,4	535,9

N° Laboratoire	589	590	591	592
<b>Parcage Bovins</b>				
N° d'origine	J17	J18	J19	J20
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mile témoin	T1 mile +2nuits	T2 mile +5nuits	T3 mile 10 nuits
<b>Azote total %</b>	0,011	0,015	0,013	0,016
<b>Phosphore total ppm (P)</b>	41,2	48,7	44,7	48,7
<b>Potassium total ppm (K)</b>	327,5	510,4	561,5	561,5

N° Laboratoire	593	594	595	596
<b>Parcage PR</b>				
N° d'origine	J21	J22	J23	J24
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>Azote total %</b>	0,009	0,012	0,012	0,023
<b>Phosphore total ppm (P)</b>	40,6	44,7	40,6	49,6
<b>Potassium total ppm (K)</b>	484,9	523,2	587,0	583,3



## Résultats d'Analyse d'Echantillons de grains mil 2005 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	597	598	599	600
	Rotation Niébé mil			
N° d'origine	J25	J26	J27	J28
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
<b>Azote total (N %)</b>	1,595	3,285	3,378	3,378
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,66	0,88	0,80	0,95
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,42	1,44	1,22	1,44

N° Laboratoire	601	602	603	604	605
	Mil +Fo bovin et PR				
N° d'origine	J29	J30	J31	J32	J33
	T0 mil témoin	T1mil +2t/ha/an Fo bovin	T2mil +5t/ha/3an	T3 mil +2t/ha/an FO PR	T4 mil +5t/ha/3ans FO et PR
<b>Azote total (N %)</b>	1,502	1,408	1,595	1,595	1,220
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,58	0,58	0,58	0,69	0,44
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,40	0,41	0,40	0,42	0,30

N° Laboratoire	606	607	608	609	610	611
	Mil +FO+300kg PNT					
N° d'origine	J34	J35	J36	J37	J38	J39
	T0 mil témoin	T1mil +300kg PNT	T2mil +2t/ha/an Fo bovin	T3 mil 5t/ha/3ans Fo bovin	T4mil +2t/ha/an FO et PR	T5mil +5t/ha/3ans FO PR
<b>Azote total (N %)</b>	1,689	1,642	1,736	1,885	1,783	1,595
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,95	0,51	0,66	0,73	0,66	0,51
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,35	0,34	0,40	0,53	0,41	0,31

N° Laboratoire	612	613	614	615
	<b>Mil après parage bovins</b>			
N° d'origine	J40	J41	J42	J43
	T0 mil témoin	T1 mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>Azote total (N %)</b>	1,502	1,877	1,971	2,329
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,47	0,80	0,80	0,98
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,32	0,46	0,46	0,56

N° Laboratoire	616	617	618	619
	<b>Mil après parage PR</b>			
N° d'origine	J44	J45	J46	J47
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>Azote total (N %)</b>	1,664	1,608	1,830	1,996
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,73	0,81	0,81	0,90
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,50	0,50	0,50	0,54

N° Laboratoire	620	621	622
	<b>DAP et Urée</b>		
N° d'origine	J48	J49	J50
	T0 mil témoin	T1 mil +DAP	T2 mil +DAP+Urée
<b>Azote total (N %)</b>	1,664	1,664	1,664
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,65	0,73	0,81
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,47	0,50	0,54





## Résultats d'Analyse d'Echantillons de paille de mil 2005 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	623	624	625	626
N° d'origine	<b>Rotation Niébé mil</b>			
	J51	J52	J53	J54
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
<b>Azote total (N %)</b>	0,776	1,941	1,548	1,502
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,16	0,24	1,75	1,97
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	1,74	1,21	0,84	0,87

N° Laboratoire	627	628	629	630	631
N° d'origine	<b>Mil +Fo bovin et PR</b>				
	J55	J56	J57	J58	J59
	T0 mil	T1mil +2t/ha/an Fo bovin	T2mil +5t/ha/3an	T3 mil +2t/ha/an FO PR	T4mil +5t/ha/3ans FO et PR
<b>Azote total (N %)</b>	0,316	0,333	0,299	0,286	0,307
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	1,10	0,99	0,92	0,92	1,17

N° Laboratoire	632	633	634	635	636	637
N° d'origine	<b>Mil +FO+300kg PNT</b>					
	J60	J61	J62	J63	J64	J65
	T0 mil témoin	T1mil +300kg PNT	T2mil +2t/ha/an Fo bovins	T3 mil +5t/ha/3ans Fo bovin	T4mil +2t/ha/an FO et PR	T5mil +5t/ha/3ans FO PR
<b>Azote total (N %)</b>	0,299	0,520	0,444	0,316	0,299	0,299
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,22	0,14	0,16	0,09	0,11	0,07
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	2,06	1,42	1,83	1,47	1,92	0,91



N° Laboratoire	638	639	640	641
	<b>parcage bovins</b>			
N° d'origine	J66	J67	J68	J69
	T0 mil témoin	T1mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil 10 nuits
Azote total (N %)	0,341	0,171	0,256	0,213
Phosphore total (P2O5 %)	0,10	0,07	0,07	0,07
Potassium (K2O %)	1,02	0,96	1,15	1,39

N° Laboratoire	642	643	644	645
	<b>ParcagePR</b>			
N° d'origine	J70	J71	J72	J73
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
Azote total (N %)	0,384	0,171	0,256	0,299
Phosphore total (P2O5 %)	0,07	0,13	0,20	0,27
Potassium (K2O %)	0,81	0,94	1,36	1,14

N° Laboratoire	646	647	648
	<b>DAP et Urée</b>		
N° d'origine	J74	J75	J76
	T0 mil témoin	T1 mil +DAP	T2 mil +DAP+Urée
Azote total (N %)	0,341	0,171	0,256
Phosphore total (P2O5 %)	0,10	0,07	0,13
Potassium (K2O %)	0,96	1,01	0,94



**Résultats d'Analyse d'Echantillons de racines de niébé 2005 KOPORO PEN**  
**MALI**

N° Laboratoire	649	650	651
<b>Racines niébé</b>			
N° d'origine	J77	J78	J79
	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé + 600kg PNT
<b>Azote total (N %)</b>	0,810	0,683	0,704
<b>Phosphore total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %)</b>	0,20	0,17	0,20
<b>Potassium (K<sub>2</sub>O %)</b>	0,81	0,82	0,82

Le Directeur du Laboratoire  
d'Analyse  
Bureau du Directeur  
National des Services  
SAWADOGO Moussa

25 AVR 2006

**MINISTRE DE L'AGRICULTURE  
DE L'HYDRAULIQUE ET DES  
RESSOURCES HALIEUTIQUES**

**BURKINA FASO**  
*Unité – Progrès - Justice*

-----  
**SECRETARIAT GENERAL**

-----  
**BUREAU NATIONAL DES SOLS**

-----  
**DIRECTION GENERALE**

-----  
**DIRECTION DU LABORATOIRE  
D'ANALYSE**

-----  
**03 BP 7142 Ouagadougou 01**

**Tel : 50-36-18-85 Burkina Faso**

**Ouagadougou, le**



## **RAPPORT D'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE SOL, DE GRAINS ET DE PAILLE**

**N° Laboratoire 184/2007 à 252/2007**

**CV5-6Mil 1-2/DDI  
Boureima Traoré/MALI**

---

**03 BP 7142 Ouagadougou 03 Téléphone: + (226) 50-36-11-03/ 50-36-18-85/ 89 Fax: + ( 226) 50-36-20-36**

## Résultats d'Analyse d'Echantillons de Sol 2006 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	184	185	186	187
<b>Rotation Niébé mil</b>				
N° d'origine	K1	K2	K3	K4
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>				
<b>Carbone total</b> %	0,262	0,276	0,283	0,293
<b>Azote total</b> %	0,020	0,022	0,023	0,024
<b>C/N</b>	13	13	12	12
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>				
<b>Phosphore total</b>	39,3	42,1	44,9	53,3
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>				
<b>Potassium total</b>	324	344	353	358
<b>REACTION DU SOL</b>				
	5,68	5,92	5,99	6,00

N° Laboratoire	188	189	190	191	192
<b>Mil +Fo bovin et PR</b>					
N° d'origine	K5	K6	K7	K8	K9
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +2t/ha/an bovin	T2 mil +5t/ha/3an bovin	T3 mil +2t/ha/an PR	T4 mil +5t/ha/3ans PR
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>					
<b>Matière organique totale</b> %	0,417	0,452	0,447	0,434	0,428
<b>Carbone total</b> %	0,242	0,262	0,259	0,252	0,248
<b>Azote total</b> %	0,021	0,020	0,022	0,024	0,021
<b>C/N</b>	11	13	12	11	12
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>					
<b>Phosphore total</b>	39,3	39,3	42,1	39,3	42,1
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>					
<b>Potassium total</b>	324	344	383	342	353
<b>REACTION DU SOL</b>					
	6,09	5,78	5,84	6,15	6,29

N° Laboratoire	193	194	195	196	197	198
Mil +Fo bovin et PR+PNT						
N° d'origine	K10	K11	K12	K13	K14	K15
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +300kg PNT	T2 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT Fo bovin	T3 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT Fo bovin	T4 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT FO PR	T5 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT FO PR
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>						
Matière organique totale %	0,418	0,500	0,536	0,583	0,448	0,517
Carbone total %	0,242	0,290	0,311	0,338	0,260	0,300
Azote total %	0,021	0,023	0,024	0,026	0,020	0,021
C/N	11	13	13	13	13	14
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>						
Phosphore total	39,3	42,1	42,1	56,2	42,1	56,3
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>						
Potassium total	231	324	294	393	344	353
<b>REACTION DU SOL</b>						
	5,09	6,02	5,98	6,10	5,86	6,00

N° Laboratoire	199	200	201	202
Parcage Bovins				
N° d'origine	K16	K17	K18	K19
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mile témoin	T1 mile +2nuits	T2 mile +5nuits	T3 mile 10 nuits
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>				
Matière organique totale %	0,362	0,431	0,483	0,672
Carbone total %	0,210	0,250	0,280	0,390
Azote total %	0,020	0,020	0,023	0,028
C/N	11	13	12	14
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>				
Phosphore total	36,5	39,5	42,1	48,9
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>				
Potassium total	255	324	335	354
<b>REACTION DU SOL</b>				
	6,07	6,10	6,12	6,13

N° Laboratoire	203	204	205	206
<b>Parcage PR</b>				
N° d'origine	K20	K21	K22	K23
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>				
<b>Matière organique totale</b> %	0,397	0,397	0,414	0,483
<b>Carbone total</b> %	0,230	0,230	0,240	0,280
<b>Azote total</b> %	0,022	0,022	0,028	0,024
<b>C/N</b>	10	10	9	12
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>				
<b>Phosphore total</b>	39,3	42,3	47,7	49,1
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>				
<b>Potassium total</b>	225	236	265	305
<b>REACTION DU SOL</b>				
	6,01	6,17	6,35	6,80



## Résultats d'Analyse d'Echantillons de grains mil 2006 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	207	208	209	210
	Rotation Niébé mil			
N° d'origine	K24	K25	K26	K27
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mile après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
Azote total (N %)	1,20	1,44	1,50	1,55
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,55	0,63	0,67	0,63
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	0,46	0,51	0,48	0,49

N° Laboratoire	211	212	213	214	215
	Mil +Fo bovin et PR				
N° d'origine	K28	K29	K30	K31	K32
	T0 mil témoin	T1mil +2t/ha/an Fo bovin	T2mil +5t/ha/3an	T3 mil +2t/ha/an FO PR	T4 mil +5t/ha/3ans FO et PR
Azote total (N %)	1,18	1,28	1,39	1,28	1,28
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,55	0,63	0,71	0,55	0,63
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	0,43	0,51	0,48	0,48	0,46

N° Laboratoire	216	217	218	219	220	221
	Mil +FO+300kg PNT					
N° d'origine	K33	K34	K35	K36	K37	K38
	T0 mil témoin	T1mil +300kg PNT	T2mil +2t/ha/an Fo bovin	T3 mil 5t/ha/3ans Fo bovin	T4mil +2t/ha/an FO et PR	T5mil +5t/ha/3ans FO PR
Azote total (N %)	1,18	1,28	1,28	1,39	1,39	1,50
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,60	0,67	0,75	0,63	0,60	0,79
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	0,42	0,46	0,43	0,46	0,44	0,45



N° Laboratoire	222	223	224	225
	Mil après parcage bovins			
N° d'origine	K39	K40	K41	K42
	T0 mil témoin	T1 mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil + 10 nuits
Azote total (N %)	1,39	1,39	1,44	1,50
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,49	0,55	0,63	0,63
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	0,42	0,37	0,45	0,46

N° Laboratoire	226	227	228	229
	Mil après parcage PR			
N° d'origine	K43	K44	K45	K46
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
Azote total (N %)	1,39	1,39	1,44	1,50
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,48	0,67	0,71	0,63
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	0,41	0,43	0,46	0,45



**Résultats d'Analyse d'Echantillons de paille de mil 2006 KOPORO PEN  
MALI**

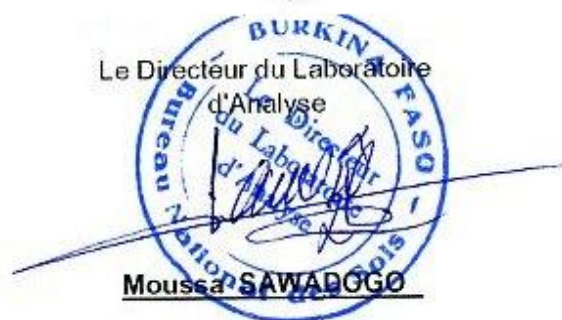
N° Laboratoire	230	231	232	233
N° d'origine	Rotation Niébé mil			
	K47	K48	K49	K50
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
Azote total (N %)	0,75	0,86	0,86	0,96
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,12	0,17	0,15	0,14
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	1,84	1,91	1,33	1,30

N° Laboratoire	234	235	236	237	238
N° d'origine	Mile +Fo bovin et PR				
	K51	K52	K53	K54	K55
	T0 mil	T1mil +2t/ha/an Fo bovin	T2mil +5t/ha/3an	T3 mil +2t/ha/an FO PR	T4mil +5t/ha/3ans FO et PR
Azote total (N %)	0,75	0,86	0,91	0,86	0,80
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,12	0,15	0,13	0,15	0,14
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	1,81	1,84	1,95	1,45	2,09

N° Laboratoire	239	240	241	242	243	244
N° d'origine	Mil +FO+300kg PNT					
	K56	K57	K58	K59	K60	K61
	T0 mil témoin	T1mil +300kg PNT	T2mil +2t/ha/an Fo bovin	T3 mil +5t/ha/3ans Fo bovin	T4mil +2t/ha/an FO et PR	T5mil +5t/ha/3ans FO PR
Azote total (N %)	0,64	0,64	0,75	0,80	0,75	0,70
Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %)	0,12	0,14	0,12	0,15	0,12	0,11
Potassium (K <sub>2</sub> O %)	1,51	2,05	1,98	1,98	1,73	1,96

N° Laboratoire	245	246	247	248
	<b>parcage bovin</b>			
N° d'origine	K62	K63	K64	K65
	T0 mil témoin	T1mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil 10 nuits
Azote total (N %)	0,75	0,86	0,86	0,98
Phosphore total (P2O5 %)	0,10	0,12	0,12	0,13
Potassium (K2O %)	1,59	1,81	1,98	1,59

N° Laboratoire	249	250	251	252
	<b>Parcage PR</b>			
N° d'origine	K66	K67	K68	K69
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
Azote total (N %)	0,75	0,86	0,91	0,98
Phosphore total (P2O5 %)	0,12	0,15	0,24	0,22
Potassium (K2O %)	1,86	1,86	1,91	1,98


  
 Le Directeur du Laboratoire  
 d'Analyse  
 du Bureau National  
 d'Analyse  
 de Ouagadougou  
**Moussa SAWADOGO**

**MINISTRE DE L'AGRICULTURE  
DE L'HYDRAULIQUE ET DES  
RESSOURCES HALIEUTIQUES**

**BURKINA FASO**  
*Unité – Progrès - Justice*

-----  
**SECRETARIAT GENERAL**

-----  
**BUREAU NATIONAL DES SOLS**

-----  
**DIRECTION GENERALE**

-----  
**DIRECTION DU LABORATOIRE  
D'ANALYSE**

-----  
**03 BP 7142 Ouagadougou 01**

**Tel : 50-36-18-85 Burkina Faso**

**Ouagadougou, le**

# **RAPPORT D'ANALYSE D'ECHANTILLONS DE SOL, DE GRAINS ET DE PAILLE**

N° Laboratoire 825/2008 à 893/2008

CV5-6Mil 1-2/DDI  
Boureima Traoré/MALI



---

03 BP 7142 Ouagadougou 03 Téléphone: + (226) 50-36-11-03/ 50-36-18-85/ 89 Fax: + ( 226) 50-36-20-36

**Résultats d'Analyse des échantillons de Sol 2007 KOPORO PEN MALI**

N° Laboratoire	825	826	827	828
<b>Rotation Niébé mil</b>				
N° d'origine	L1	L2	L3	L4
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>				
Matière organique totale %	0,39	0,53	0,44	0,45
Carbone total %	0,225	0,265	0,257	0,263
Azote total %	0,021	0,024	0,023	0,019
C/N	11	13	11	14
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>				
Phosphore total	59,4	59,4	42,5	46,7
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>				
Potassium total	323,7	289,3	330,6	310,0
<b>REACTION DU SOL</b>				
pH eau	5,49	5,23	5,18	5,56

N° Laboratoire	829	830	831	832	833
<b>Mil +Fo bovin et PR</b>					
N° d'origine	L5	L6	L7	L8	L9
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +2t/ha/an bovin	T2 mil +5t/ha/3an bovin	T3 mil +2t/ha/an PR	T4 mil +5t/ha/3ans PR
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>					
Matière organique totale %	0,37	0,43	0,37	0,42	0,42
Carbone total %	0,213	0,250	0,213	0,244	0,244
Azote total %	0,020	0,019	0,019	0,021	0,021
C/N	11	13	11	12	12
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>					
Phosphore total	50,9	55,2	50,9	42,5	50,9
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>					
Potassium total	316,8	306,5	344,4	330,6	337,5
<b>REACTION DU SOL</b>					
pH eau	5,04	4,56	5,30	5,40	5,41

N° Laboratoire	834	835	836	837	838	839
Mil +Fo bovin et PR+PNT						
N° d'origine	L10	L11	L12	L13	L14	L15
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +300kg PNT	T2 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT Fo bovin	T3 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT Fo bovin	T4 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT FO PR	T5 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT FO PR
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>						
Matière organique totale %	0,37	0,46	0,44	0,45	0,46	0,53
Carbone total %	0,213	0,269	0,257	0,263	0,269	0,307
Azote total %	0,020	0,023	0,021	0,023	0,023	0,024
C/N	11	12	12	11	12	13
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>						
Phosphore total	55,2	59,4	55,2	50,9	59,4	50,9
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>						
Potassium total	330,6	268,6	261,7	316,8	296,2	358,2
<b>REACTION DU SOL</b>						
pH eau	5,46	5,35	5,25	5,13	5,30	5,53

N° Laboratoire	840	841	842	843
Parcage Bovins				
N° d'origine	L16	L17	L18	L19
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil 10 nuits
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>				
Matière organique totale %	0,37	0,43	0,47	0,59
Carbone total %	0,213	0,250	0,275	0,344
Azote total %	0,019	0,019	0,023	0,027
C/N	11	13	12	13
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>				
Phosphore total	50,9	59,4	63,7	76,4
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>				
Potassium total	213,5	230,7	310,0	206,6
<b>REACTION DU SOL</b>				
pH eau	5,57	5,36	5,57	5,45

N° Laboratoire	844	845	846	847
Parcage PR				
N° d'origine	L20	L21	L22	L23
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>MATIERE ORGANIQUE</b>				
Matière organique totale %	0,37	0,44	0,45	0,44
Carbone total %	0,213	0,257	0,263	0,257
Azote total %	0,019	0,021	0,020	0,027
C/N	11	12	13	10
<b>PHOSPHORE ppm (P)</b>				
Phosphore total	50,9	50,9	55,2	59,4
<b>POTASSIUM ppm (K)</b>				
Potassium total	248,0	323,7	234,2	213,5
<b>REACTION DU SOL</b>				
pH eau	5,45	5,80	5,36	5,78



### Résultats d'Analyse des échantillons de Grains 2007 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	871	872	873	874
<b>Rotation Niébé mil</b>				
N° d'origine	L24	L25	L26	27L4
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
<b>Azote total en % de N</b>	2,030	2,108	2,108	2,342
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
<b>Phosphore total en % de N</b>	0,595	0,632	0,671	0,708
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>				
<b>Potassium total en % de N</b>	0,470	0,560	0,560	0,540

N° Laboratoire	875	876	877	878	879
<b>Mil +Fo bovin et PR</b>					
N° d'origine	L28	L29	L30	L31	L32
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +2t/ha/an bovin	T2 mil +5t/ha/3an bovin	T3 mil +2t/ha/an PR	T4 mil +5t/ha/3ans PR
<b>Azote total en % de N</b>	2,030	2,186	2,186	2,342	2,264
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>					
<b>Phosphore total</b>	0,671	0,745	0,708	0,671	0,671
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>					
<b>Potassium total</b>	0,560	0,580	0,580	0,540	0,540

N° Laboratoire	880	881	882	883	884	885
<b>Mil +Fo bovin et PR+PNT</b>						
N° d'origine	L33	L34	L35	L36	L37	L38
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +300kg PNT	T2 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT Fo bovin	T3 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT Fo bovin	T4 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT FO PR	T5 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT FO PR
<b>AZOTE en % de N</b>						
<b>Azote total</b>	2,030	2,108	2,108	2,264	2,108	2,186
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>						
<b>Phosphore total</b>	0,522	0,595	0,595	0,671	0,595	0,671
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>						
<b>Potassium total</b>	0,470	0,470	0,470	0,470	0,540	0,510



N° Laboratoire	886	887	888	889
<b>Parcage Bovins</b>				
N° d'origine	L39	L40	L41	L42
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil 10 nuits
<b>AZOTE en % de N</b>				
<b>Azote total</b>	2,030	2,108	1,523	1,777
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
<b>Phosphore total</b>	0,362	0,413	0,413	0,595
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>				
<b>Potassium total</b>	0,470	0,490	0,590	0,600

N° Laboratoire	890	891	892	893
<b>Parcage PR</b>				
N° d'origine	L43	L44	L45	L46
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>AZOTE en % de N</b>				
<b>Azote total</b>	1,650	1,777	1,777	1,904
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
<b>Phosphore total</b>	0,413	0,466	0,456	0,621
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>				
<b>Potassium total</b>	0,630	0,630	0,640	0,670



### Résultats d'Analyse des échantillons de Paille 2007 KOPORO PEN MALI

N° Laboratoire	848	849	850	851
<b>Rotation Niébé mil</b>				
N° d'origine	L47	L48	L49	L50
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après niébé	T2 mil après niébé + 300kg PNT	T3 mil après niébé +600kg PNT
<b>AZOTE en % de N</b>				
<b>Azote total</b>	0,405	0,637	0,718	0,718
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
<b>Phosphore total</b>	0,178	0,224	0,236	0,244
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>				
<b>Potassium total</b>	1,840	1,540	1,910	1,470

N° Laboratoire	852	853	854	855	856
<b>Mil +Fo bovin et PR</b>					
N° d'origine	L51	L52	L53	L54	L55
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +2t/ha/an bovin	T2 mil +5t/ha/3an bovin	T3 mil +2t/ha/an PR	T4 mil +5t/ha/3ans PR
<b>Azote total en % de N</b>	0,186	0,327	0,249	0,405	0,405
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>					
<b>Phosphore total</b>	0,231	0,188	0,143	0,188	0,121
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>					
<b>Potassium total</b>	1,610	1,980	1,950	1,810	1,700

N° Laboratoire	857	858	859	860	861	862
<b>Mil +Fo bovin et PR+PNT</b>						
N° d'origine	L56	L57	L58	L59	L60	L61
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil +300kg PNT	T2 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT Fo bovin	T3 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT Fo bovin	T4 mil +2t/ha/an+ 300kgPNT FO PR	T5 mil +5t/ha/3ans+ 300kgPNT FO PR
<b>Azote total en % de N</b>	0,374	0,561	0,718	0,718	0,561	0,796
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>						
<b>Phosphore total</b>	0,188	0,226	0,176	0,244	0,183	0,203
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>						
<b>Potassium total</b>	1,950	2,420	2,310	1,870	2,080	2,240

N° Laboratoire	863	864	865	866
<b>Parcage Bovins</b>				
N° d'origine	L62	L63	L64	L65
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1mil +2nuits	T2 mil +5nuits	T3 mil 10 nuits
<b>AZOTE en % de N</b>				
<b>Azote total</b>	0,096	0,693	0,893	0,905
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
<b>Phosphore total</b>	0,186	0,108	0,098	0,095
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>				
<b>Potassium total</b>	2,210	1,480	1,350	1,540

N° Laboratoire	867	868	869	870
<b>Parcage PR</b>				
N° d'origine	L66	L67	L68	L69
	0 - 40	0 - 40	0 - 40	0 - 40
	T0 mil témoin	T1 mil après +2nuits	T2 mil + 5nuits	T3 mil + 10 nuits
<b>AZOTE en % de N</b>				
<b>Azote total</b>	0,249	0,474	0,561	0,749
<b>PHOSPHORE en % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>				
<b>Phosphore total</b>	0,136	0,203	0,121	0,163
<b>POTASSIUM en % de K<sub>2</sub>O</b>				
<b>Potassium total</b>	1,470	2,750	1,480	1,770



## **AVANT PROPOS**

Au Mali comme dans tous les pays du Sahel la situation alimentaire devient de plus en plus difficile face à une démographie qui ne cesse de croître et à des conditions climatiques souvent défavorables. Depuis quelques années cette situation figure au premier plan des préoccupations du Gouvernement du Mali, qui a jugé utile de mettre sur pied une nouvelle politique rurale.

Il s'agit en fait de conjuguer et d'utiliser le maximum de moyens humains et matériels autour d'objectifs agro-sylvo-pastoraux bien identifiés dans une aire géographique du territoire nationale pour solutionner le problème. C'est dans ce cadre que de nombreuses opérations de développement ont vu le jour dans diverses régions géographiques du pays. Le Gouvernement du Mali, conscient du problème, a mis son espoir dans les interventions du Programme d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations Paysannes (PASAOP) chargé d'assurer un certain équilibre économique agricole de la population malienne.

Cette étude « Effets des techniques de gestion de la fertilité sur le sol et sur les systèmes de production à base de mil dans la région de Mopti au Mali » est une contribution qui s'inscrit dans le cadre des activités du Projet « Amélioration de la fertilité des sols et du rendement du mil en 5<sup>ème</sup> région ». Ce projet s'inscrit dans les dix priorités de recherche dégagées par le Conseil Régional de la Recherche et de la Vulgarisation Agricole (CRRVA) de la Région de Mopti.

Une étude de la gestion de la fertilisation des sols en général et pour l'amélioration des rendements du mil en particulier n'est pas aisée. Elle nécessite toute une gamme de moyens et de méthodes qui, dans la plupart des cas, sont limités. Ce projet constitue une réponse à un appel à propositions de projets de recherche-développement lancé par le Comité National de la Recherche Agricole (CNRA) dans le cadre des activités de la composante Appui au Système National de Recherche Agricole du Programme d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations Paysannes (PASAOP). Entièrement financée par le PASAOP la présente recherche a été réalisée dans le cadre d'une « formation Sandwich » entre l'Université de Bamako au Mali et l'Institut d'Economie Rurale (IER) à travers son programme de formation.

Après un survol de l'état actuel des techniques de fertilisation du sol dans la région, ce projet de recherche envisage un certain nombre de mesures en matière de fertilisation des sols permettant aux producteurs d'améliorer la productivité de leurs exploitations et d'augmenter leurs revenus. L'adoption de ces itinéraires techniques améliorés de production durable permet une utilisation efficace de l'azote, du phosphore et du potassium du sol. Ces innovations d'ordre technique, et de gestion prennent en compte les spécificités agro-écologiques et les réalités socio-économiques locales.

## **REMERCIEMENTS**

Mes remerciements vont au Dr. Oumar Niangado ancien Directeur de l'IER pour m'avoir accepté à l'Institut. Mes sincères remerciements vont à la Direction de l'Institut d'Economie Rurale, pour l'heureuse initiative qu'elle a eue en inscrivant la formation parmi ses priorités, au Directeur de l'IER, Dr. Bino Témé pour m'avoir autorisé à suivre cette formation, à la Direction scientifique, au Dr Lassine Diarra pour avoir accepté parrainer ma formation, et à l'ensemble des chercheurs de l'IER pour les observations, et contributions lors des commissions scientifiques. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude

Je remercie sincèrement le Pr Mohamed Sida Maïga à l'Université de Bamako (Faculté des Sciences et Techniques, DER de Biologie qui a fourni le meilleur de lui-même pour mon encadrement, afin de mener à bien cette thèse pour laquelle plusieurs rencontres ont été nécessaires. Je le remercie pour sa disponibilité. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont au Pr. Messaoud Lahbib à l'Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA) pour ses appuis moraux, sa contribution et sa grande disponibilité sans lesquels je ne saurais terminer cette thèse, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont au Projet SANREM, et en particulier à Monsieur Keith MOORE pour avoir accepté contribuer financièrement et intellectuellement à mes premiers travaux de recherche à Madiama, et au Pr Alassane M Cissé et l'ensemble des professeurs de l'Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA), pour ma formation, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont à l'ensemble des membres de jury et en particulier au Professeur Fafré SAMAKE pour avoir accepté la présidence du jury, et à tous les membres du jury, qu'ils trouvent tous ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie l'ensemble du personnel du Laboratoire BUNASOL du Burkina Faso et du Laboratoire Sol Plante de l'IER pour leur disponibilité et leur participation à la conduite des analyses au laboratoire.

Je remercie vivement la Direction du CRRA de Mopti, pour les facilités accordées dans le cadre de nos travaux, très particulièrement le Dr Amadou Kodio Directeur du Centre, le Dr. Salmana CISSE, le Dr. Odiaba SAMAKE et l'ensemble des chercheurs et techniciens de l'Equipe SPGRN de Mopti et Kopro pen pour leur appui constant tout le long de mes travaux ;

Je remercie sincèrement tous les collègues de la sous station de Kopro pen, pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette étude et leurs contributions à sa réalisation.

Mes remerciements s'adressent à tout le personnel du département de biologie de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) et plus particulièrement au Pr. Seydou Zibba Maïga pour toutes les facilités accordées.

J'exprime ma profonde gratitude à toutes les autorités politiques et administratives des communes rurales de Kopro pen, Madiama, et Doucombo, tous les chefs de villages de qui m'ont autorisé à mener mes enquêtes au niveau des exploitations.

Je remercie les laborieux paysans des communes rurales de Madiama, Doucombo et Kopro pen qui se sont volontiers prêtés à nos travaux.

Je remercie les amis Samba B Toukara, Alassane Yattara, Barké Sangho, et leurs familles respectives, pour leur appui matériel et moral.

Enfin, mes sincères remerciements vont à : mes parents, mon épouse, mes frères et sœurs et mes enfants pour les sacrifices consentis durant cette formation doctorale.

## **DEDICACE**

*A mes parents aux quels je dois tout ;*

*A ma famille qui a toujours été à mes côtés aux moments difficiles ;*

*A mes amis pour affection.*

## SOMMAIRE

Avant propos.....	i
Remerciements.....	ii
Dédicace.....	iii
Sommaire.....	iv
Liste des tableaux .....	vi
Liste des figures.....	ix
Liste des sigles et abréviations. ....	x
<b>RESUME.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUME EN ANGLAIS.....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SUR LA GESTION DE LA FERTILITE DU SOL.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Techniques agro- forestières.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Rotation des cultures.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3 Pratique de l'association des cultures .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Utilisation des engrais minéraux.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 Utilisation de la fumure organique.....</b>	<b>14</b>
<b>1.6 Typologie des exploitations.....</b>	<b>15</b>
<b>2. LE MILIEU D'ETUDE.....</b>	<b>18</b>
2.1. Région administrative de Mopti.....	19
2.2. Commune rurale de Koporo pen.....	20
2.2.1. Milieu physique.....	20
2.2.2. Milieu humain.....	22
2.3. Commune rurale de Madiama.....	25
2.3.1. Milieu physique.....	26
2.3.2. Milieu humain.....	27
2.4. Commune rurale de Doucombo.....	32
2.4.1. Milieu physique.....	33
2.4.2. Milieu humain.....	33
<b>3. MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. Matériel végétal.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2. Animaux, fumures organiques et minérales.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3. Méthode d'étude.....</b>	<b>37</b>
3.3.1. Détermination des caractéristiques et typologie des exploitations.....	38
3.3.2. Tests de fertilisation du sol en milieu paysan.....	41
3.3.3. Calcul des besoins nutritifs du mil par application de modèle.....	49
3.3.4. Elaboration de schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal Sahélien.....	50
<b>4. RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. Typologie des exploitations des communes étudiées.....</b>	<b>53</b>
4.1.1. Caractéristiques des ressources et typologie des exploitations des communes étudiées .....	53
4.1.1.1. Ressources humaines au niveau des exploitations.....	53
4.1.1.2. Disponibilités en terre.....	54
4.1.1.3. Cheptel.....	54
4.1.1.4. Equipement.....	55
4.1.1.5. Rendement des cultures.....	56
4.1.1.6. Production de paille.....	56

4.1.1.7. Distance.....	57
4.1.1.8. Utilisation des résidus de récolte.....	57
4.1.1.9. Utilisation de la fumure.....	64
4.1.2. Typologie des exploitations.....	66
4.1.2.1. Les types d'exploitations.....	66
4.1.2.2. Analyse comparative des exploitations par type.....	67
<b>4.2. Effets des itinéraires techniques sur la fertilité du sol et le rendement du mil en milieu paysan.....</b>	<b>73</b>
4.2.1. Caractéristique de la pluviométrie du milieu pendant la période de l'étude dans les trois sites.....	73
4.2.2. Effet de la rotation niébé - mil avec apport de phosphate naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes étudiées.....	75
4.2.3. Effet de l'apport du fumier de bovins et de petits ruminants sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.....	83
4.2.4. Effet de l'apport du fumier de parc et du Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.....	92
4.2.5. Effet du parcage de bovins au champ sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.....	102
4.2.6. Effet du parcage de petits ruminants au champ sur l'amélioration du rendement du mil et de la fertilité du sol dans les communes rurales étudiées.....	111
4.2.7. Effet de la microdose de DAP et d'Urée sur le rendement du mil dans les communes rurales étudiées.....	119
<b>4.3. Scénarios résultant de l'application du modèle de calcul des besoins nutritifs du mil.....</b>	<b>123</b>
4.3.1. Scénario 1.....	123
4.3.2. Scénario 2.....	123
4.3.3. Scénario 3.....	124
4.3.4. Scénario 4.....	124
<b>4.4. Description du processus d'élaboration de schéma de gestion durable des ressources naturelles d'un terroir communal Sahélien.....</b>	<b>125</b>
4.4.1. Etape 1. Diagnostic régional.....	125
4.4.2. Etape 2. Diagnostic concerté sur l'utilisation de l'espace rural et de l'impact de celle-ci sur l'environnement.....	126
4.4.3. Etape 3. Mise en œuvre des actions retenues.....	128
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>131</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>138</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>143</b>



## **LISTE DES TABLEAUX**

- Tableau 1.** Nombre d'exploitations et de ménages de la commune rurale de Koporo pen
- Tableau 2.** Superficies et rendements des cultures de la commune rurale de Koporo pen
- Tableau 3.** Effectifs des animaux de trait et équipements de la commune rurale de Koporo pen
- Tableau 4.** Effectifs des animaux d'élevage dans la commune rurale de Koporo pen
- Tableau 4.** Nombre d'exploitations et de ménages de la commune de Madiama
- Tableau 6.** Nombre de bovins, d'ovins et caprins et ratio par ménage en commune rurale de Madiama
- Tableau 7.** Nombre d'exploitations et de ménages de la commune rurale de Doucombo
- Tableau 8.** Teneurs en NPK des différents types de fumures et les doses apportées au champ pour les tests en milieu paysan dans les communes étudiées.
- Tableau 9.** Villages d'enquêtes et taille des échantillons correspondants dans les communes étudiées.
- Tableau 10.** Hommes/jours par hectare
- Tableau 11.** Prix (FCFA) du mil, du niébé, des intrants et quantité (Kg/ha) d'intrants.
- Tableau 12.** Valeur (FCFA) du fumier calculée à partir de son taux en élément, du coefficient (Kg engrais / Kg élément), du taux d'engrais dans le fumier et du prix engrais (FCFA.kg<sup>-1</sup>)
- Tableau 13.** Production de fumier en kg en fonction de la durée de parage au champ
- Tableau 14.** Nombre d'UBT utilisé sur la parcelle d'expérimentation et le nombre d'UBT correspondant sur un hectare au champ et leur durée de parage (la durée de parage sur un hectare allant de novembre à mai soit : 210 nuits environ).
- Tableau 15.** Distribution de l'azote, du phosphore et du potassium entre les différents processus, pour le type de sol B1 en 5<sup>ème</sup> région.
- Tableau 16.** Ressources humaines des exploitations enquêtées des communes rurales étudiées
- Tableau 17.** Disponibilités et utilisation des terres (en hectares) par unité de production des communes étudiées
- Tableau 18.** Ressources animales par exploitation des communes étudiées
- Tableau 19.** Disponibilités en équipements par exploitation des communes étudiées.
- Tableau 20.** Rendements moyens (en kg.ha<sup>-1</sup>) des cultures dans les communes étudiées.
- Tableau 21.** Productions en résidus de récolte par exploitation (en kg) des communes étudiées.
- Tableau 22.** Distances moyennes des champs de culture (en Km) aux villages des communes étudiées.
- Tableau 23.** Différentes formes d'utilisation des résidus de récolte en pourcentage des communes étudiées.
- Tableau 24.** Analyse de régression ressources et structure et le stockage de résidus de mil à la ferme dans les communes étudiées.
- Tableau 25.** Analyse de régression : actif et l'enfouissement des résidus de mil au champ dans les communes rurales étudiées
- Tableau 26.** Analyse de régression ressources et structure et la pâture des résidus de mil au champ dans les communes étudiées.
- Tableau 27.** Analyse de régression : ressources et structure et la pâture des résidus de mil au champ dans les communes étudiées.
- Tableau 28.** Analyse de régression : ressources et structure : charrette et superficie de sorgho et le stockage des résidus de sorgho à la concession dans les communes étudiées
- Tableau 29.** Analyse de régression : structure, superficie sorgho et la pâture des résidus de sorgho au champ dans les communes étudiées.

- Tableau 30.** Analyse de régression : structure et le stockage de résidus de riz aux concessions dans la commune rurale de Madiama
- Tableau 31.** Analyse de régression : structure et la pâture des résidus de riz au champ de la commune rurale de Madiama
- Tableau 32.** Analyse de régression : structure et le stockage de fanes de niébé à la concession dans les communes étudiées.
- Tableau 33.** Analyse de régression : structure et le stockage de fanes d'arachide à la ferme dans les communes étudiées.
- Tableau 34.** Quantité moyenne de fumier en charretées apportée et superficie moyenne fumée par exploitation dans les communes étudiées
- Tableau 35.** Résultat d'analyse de régression actifs et superficie cultivée de l'exploitation et le stockage de fumier au champ des communes étudiées.
- Tableau 36.** Caractéristiques des exploitations par type d'exploitation des communes étudiées.
- Tableau 37.** Surface moyenne fumée en pourcentage par rapport à la surface totale dans les communes étudiées.
- Tableau 38.** Surfaces moyennes fumées en pourcentage par rapport à la superficie totale par culture dans les communes étudiées.
- Tableau 39.** Doses d'engrais utilisées par culture, par ha et par type d'exploitation dans la commune rurale de Madiama
- Tableau 40.** Stockage des résidus de récolte en charretées dans les communes étudiées.
- Tableau 41.** Variation décadaire de la pluviométrie moyenne annuelle des communes étudiées en 2005, 2006, et 2007.
- Tableau 42.** Rendements/Coût de production /Bénéfices/Pertes de la rotation niébé-mil et phosphate naturel de Tilemsi dans les communes rurales étudiées.
- Tableau 43.** Variation du taux en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains, pailles/fanes et racines du mil et du niébé suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 44.** Concentration du sol en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 45.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol après culture de mil et du Niébé en tête de rotation dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 46.** Indicateurs de production après apport du fumier de bovins et de petits ruminants dans les communes rurales étudiées
- Tableau 47.** Variation des taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et de la paille du mil suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen..
- Tableau 48.** Variation du taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques après récolte dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 49.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 50.** Indicateurs de production de l'apport du fumier de parc et du phosphate naturel de Tilemsi (PNT) dans les communes rurales étudiées.
- Tableau 51.** Variation du taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et pailles de mil suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 52.** 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 Kopro pen..
- Tableau 53.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen
- Tableau 54.** Indicateurs de production du parcage de bovins dans les communes rurales étudiés.
- Tableau 55.** Variation des taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O des grains et paille suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 56.** Variation des taux de N, et des quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O du sol suivant les

- itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen
- Tableau 57.** Bilan des éléments N, du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et du K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen..
- Tableau 58.** Indicateurs de production du parcage de petits ruminants dans les communes rurales étudiées.
- Tableau 59.** Variation du taux de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O des grains et paille suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen..
- Tableau 60.** Variation des taux de N, et des quantités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen
- Tableau 61.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 62.** Indicateurs de production après apport en microdose du DAP et d'urée au poquet dans les communes rurales étudiées.
- Tableau 63.** Variation du taux en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O des grains et pailles du mil suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Tableau 64.** Bilan des éléments N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et le K<sub>2</sub>O du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Dépôts de fumier dans les champs de mil
- Figure 2.** Carte des régions administratives et des isohyètes du Mali (IER, 1998)
- Figure 3.** Carte physique de la commune rurale de Kopro pen
- Figure 4.** Variation du cumul pluviométrique annuel dans la région de Mopti
- Figure 5.** Carte physique de la commune rurale de Madiama (SANREM/IER, 2004)
- Figure 6.** Variations interannuelles des précipitations de 1970 - 2000 à Madiama
- Figure 7.** Troupeau en attente pour la transhumance
- Figure 8.** Séjour des bovins dans les champs
- Figure 9.** Carte physique de la commune rurale de Doucombo
- Figure 10.** Dispositif expérimental pour la détermination de l'effet du parcage des bovins sur la fertilité du sol et le rendement du mil.
- Figure 11.** Dispositif expérimental pour la détermination de l'effet du parcage des petits ruminants sur la fertilité du sol et le rendement du mil.
- Figure 12.** Schéma de la dynamique des macro éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium) au sein du système de production (Duivenbooden 1996)
- Figure 13.** Répartition des exploitations en trois types
- Figure 14.** Résidus de mil stockés pour servir de fourrage aux animaux à Madiama
- Figure 15.** Variation du taux de carbone total du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 16.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques pendant les deux dernières années 2006 et 2007 dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 17.** Variation du taux de matière organique du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 18.** Variation du pH en eau du sol suivant les itinéraires techniques en 2006 et 2007 dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 19.** Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 20.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 21.** Dépôt de fumier de bovins après un séjour des troupeaux de bovins aux champs dans la commune rurale de Madiama.
- Figure 22.** Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 23.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen.
- Figure 24.** Variation du taux de carbone du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen
- Figure 25.** Variation du pH du sol suivant les itinéraires techniques dans la commune rurale de Kopro pen..
- Figure 26.** Schéma d'une gestion durable de l'agriculture face aux pressions/socio-économiques

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:	Oxyde d'aluminium ou alumine
<b>BNDA</b>	:	Banque Nationale de Développement Agricole
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	:	Carbonate de calcium
<b>CaO</b>	:	Oxyde de calcium
<b>CO<sub>2</sub></b>	:	Dioxyde de carbone
<b>CRRA</b>	:	Centre Régional de Recherche Agronomique
<b>CRRVA</b>	:	Conseil Régional de la Recherche et de la Vulgarisation Agricole
<b>CRU</b>	:	Comité Régional des Utilisateurs
<b>CSCOM</b>	:	Centre de Santé Communautaire
<b>CSLP</b>	:	Cadre Stratégique de Lutte Contre la Pauvreté
<b>DAP</b>	:	Diammonium Phosphate
<b>DNSI</b>	:	Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique
<b>DRSPR</b>	:	Département de Recherche Système de Production Rurale
<b>EMCES</b>	:	Enquête Malienne de Conjoncture Economique et Sociale
<b>ESPGRN</b>	:	Equipe Système de Production et de Gestion des Ressources Naturelles
<b>F</b>	:	Fluor
<b>FAO</b>	:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
<b>FAST</b>	:	Faculté des Sciences et Techniques
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:	Oxyde de fer
<b>GRN</b>	:	Gestion des Ressources Naturelles
<b>ha</b>	:	hectare
<b>IER</b>	:	Institut d'Economie Rurale
<b>IFS</b>	:	Initiative pour la Fertilité des Sols
<b>ISFRA</b>	:	Institut Supérieur de Formation et de la Recherche Appliquée
<b>K</b>	:	Potassium
<b>K<sub>2</sub>O</b>	:	Oxyde de Potassium
<b>kg</b>	:	kilogramme
<b>km<sup>2</sup></b>	:	kilomètre
<b>MgO</b>	:	Oxyde de magnésium
<b>MO</b>	:	Matière Organique
<b>MS</b>	:	Matière Sèche
<b>N</b>	:	Azote
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	:	Oxyde de sodium
<b>NEF</b>	:	Near East Foundation
<b>ODR</b>	:	Opération de Développement Rural
<b>ONG</b>	:	Organisation Non Gouvernementale
<b>OP</b>	:	Organisation Paysanne
<b>P</b>	:	Phosphore
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	:	Oxyde de phosphore
<b>PASAOP</b>	:	Programme d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations Paysannes
<b>PDSEC</b>	:	Programme de Développement Social et Economique de la Commune
<b>PGRN</b>	:	Programme de Gestion des Ressources Naturelles
<b>PIB</b>	:	Produit Intérieur Brute
<b>PIRT</b>	:	Projet Inventaire des Ressources Terrestres
<b>PNIR</b>	:	Programme National pour les Infrastructures Rurales

<b>PNT</b>	:	Phosphate Naturel de Tilemsi
<b>PNVA</b>	:	Programme National de Vulgarisation Agricole
<b>PPIV</b>	:	Petit Périmètre Irrigué Villageois
<b>PTVA</b>	:	Programme Test de Vulgarisation Agricole
<b>SANREM</b>	:	Gestion Durable de l'Agriculture et des Ressources Naturelles
<b>SCAER</b>	:	Société des Crédits Agricoles et d'Equipements Ruraux
<b>SiO<sub>2</sub></b>	:	Oxyde de silicium
<b>SNRA</b>	:	Système National de Recherche Agricole
<b>SNSA</b>	:	Stratégie Nationale de Sécurité Alimentaire
<b>SPSS</b>	:	Statistical Package for the Social Science
<b>SSP</b>	:	Phosphate Super Simple
<b>UBT</b>	:	Unité Bétail Tropical

## **RESUME**

Le mil est une des cultures principales de la région de Mopti. La pluviométrie et la faible fertilité des sols sont les principaux facteurs conditionnant le rendement de cette culture. La culture continue, pratiquée sans restauration de la fertilité du sol provoque une diminution rapide de la teneur en éléments nutritifs et en matière organique ainsi qu'une acidification de la plupart des sols et une baisse du rendement du mil. La présente étude est une contribution à la lutte contre la baisse de la fertilité des sols et les bas rendements du mil dans la région de Mopti au Mali. Pour atteindre ces objectifs, deux types d'activités ont été menés : le premier est une enquête, le second est une introduction d'itinéraires techniques de fertilisation du sol en milieu paysan. L'enquête a été menée auprès des paysans dans 3 communes rurales et 12 villages dans les trois zones agro-écologiques de la région.

Les résultats des enquêtes exploitations montrent une disponibilité relativement importante en résidus de récolte utilisés dans l'alimentation du cheptel d'une part, et d'autre part dans la région, le type de gestion de la fertilité des sols par les exploitations est déterminé par sa taille (le nombre d'actifs), la disponibilité en main d'œuvre, de l'équipement et d'intrants. La disponibilité en actifs, en superficies, en équipement, et le cheptel influent positivement sur l'exportation des résidus de récolte à la concession, le stockage de fumier au champ, et l'enfouissement des résidus de mil au champ.

Des critères tels que le nombre d'actifs, de charrettes, d'animaux de trait, la surface cultivée, le cheptel total (UBT) ont permis de regrouper les exploitations en 3 types : A, B, et C. Ainsi, en fonction des quantités de fumier stockées dans la concession les exploitations A, B et C des communes de Kopro pen et Madiama, et les exploitations de type A à Doucombo sont capables d'apporter au moins  $2t.ha^{-1}.an^{-1}$  de fumier au champ chaque année. Pour la pratique du parcage au champ, seules les exploitations type A, de la commune de Kopro pen peuvent réaliser le parcage pendant une durée de 10 mois (correspondant au parcage de 10 nuits), de 8 mois (5 nuits), et de 2 mois (2 nuits). Les exploitations de type A, et B des communes rurales de Kopro pen, de Madiama, et de Doucombo peuvent parquer au champ des animaux avec des durées différentes. Par contre le parcage au champ est impossible avec l'effectif du cheptel disponible des exploitations de type C. Cependant une gestion concertée des parcours au niveau communale basée sur une sensibilisation des différents utilisateurs des ressources (éleveurs transhumants et cultivateurs) peut aboutir à un séjour plus prolongé des troupeaux transhumants dans les champs après récolte, et avec un transfère de la matière organique plus important et une réduction des conflits.

En vue de promouvoir l'utilisation par les agriculteurs des itinéraires techniques de gestion de la fertilité des sols et à partir de leur capacité, il a été réalisé en conditions réelles des tests agronomiques de ces itinéraires, pour évaluer leurs effets sur le sol et sur le rendement du mil. Ce sont les itinéraires suivants :

La technique de rotation niébé-mil améliorée avec du Phosphate de Tilemsi à différentes doses ( $300$  et  $600kg.ha^{-1}.3ans^{-1}$ ) permet d'améliorer le rendement grain niébé de 10 à 68% par rapport au rendement grain du niébé seul. L'augmentation du taux d'azote dans les grains par rapport au témoin varie de 106% à 112%. En ce qui concerne la paille, le taux d'azote varie de 99,4% à 150%. Les bénéfices réalisées sont nettement supérieurs à ceux du mil en culture continue, et varient de 7 à 80%. Ainsi, les arrières effets du PNT ( $300$  et  $600Kg.ha^{-1}.3ans^{-1}$ ) appliqué au niébé sur la culture du mil en deuxième et troisième années permettent d'accroître le rendement grains de mil de 29 à plus de 100%. Tandis que l'application du niébé seul accroît le rendement grain du mil de 20 à 47%. La valeur du pH du sol (très acide à acide) augmente en deuxième année, cette valeur baisse en troisième

année avec les différents traitements de la rotation niébé avec apport du PNT dans l'ensemble des traitements. Ainsi, l'effet de la rotation légumineuse céréale couplé avec l'arrière effet du PNT apporté sur le niébé en tête de rotation constitue une technologie relativement simple et performante qui pourrait contribuer à améliorer la productivité du mil dans la région de Mopti.

L'application du fumier de bovins et de petits ruminants à différentes doses ( $2t.ha^{-1}.ans^{-1}$  et  $5t.ha^{-1}.3ans^{-1}$ ) permet d'améliorer d'une part les rendements moyens grain de 0,6 à plus de 100%, la qualité en azote et en phosphore des grains a été améliorée, la concentration du sol en matière organique a augmenté (4,10% à 8,3%) suivi d'une hausse de la valeur du pH (5 à 5,6%) du sol par rapport au témoin dès la deuxième année pour une bonne pluviométrie.

L'application de  $300kg.ha^{-1}.3ans^{-1}$  de PNT avec différentes doses ( $2t.ha^{-1}.ans^{-1}$  et  $5t.ha^{-1}.3ans^{-1}$ ) du fumier de bovins, et de petits ruminants dans la fertilisation du mil en trois ans permet d'obtenir des taux d'accroissement du rendement grain par rapport à la culture continue de mil variant de 52,8 à 57,59% pour le fumier de bovins, et de 60,11 à 63,8% pour le fumier de petits ruminants. Avec l'application de  $300kg.ha^{-1}.3ans^{-1}$  de PNT, l'accroissement du rendement grain varie de 0 à 16%. La valeur du pH du sol, et le taux en matière organique du sol augmentent en deuxième année, mais baissent en troisième année dans l'ensemble des traitements. Compte tenu du caractère aléatoire des pluies, l'application de  $2t.ha^{-1}.an^{-1}$  de fumier serait mieux que celle de  $5t.ha^{-1}.3ans^{-1}$  de fumier à cause du risque, et des possibilités des paysans à stocker le fumier dans tous les cas d'application du fumier.

Le parage de bovins la nuit aux champs permet d'obtenir des rendements grains et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. En effet, le rendement évolue avec la durée de parage, et les taux d'amélioration du rendement varient de 44,9 à 107% par rapport au témoin. Le taux de matière organique du sol augmente, pendant que son acidité baisse. Le parage de nuits des bovins permet également d'améliorer la qualité des grains et de la paille par rapport au témoin. Comme celui des bovins, le parage de petits ruminants pendant la nuit aux champs permet également d'obtenir des rendements moyens grains et paille supérieurs à ceux de la culture continue de mil. Le surplus de rendement grain de mil évolue également suivant la durée de parage. Ainsi, les taux d'augmentation du rendement grain varient entre 100 et plus de 200% par rapport au témoin. Quant à celui du carbone du sol, ils varient entre 4,35 et 21,70% par rapport au témoin. Le bilan en  $K_2O$  a été excédentaire pour le parage de 10 nuits les deux premières années, mais déficitaire à la troisième année. Par contre tous les bilans étaient négatifs pour l'ensemble des itinéraires utilisés pour les deux premières années. Le parage de 5 nuits en première année paraît suffisant.

Le placement d'engrais au poquet (3 niveaux application : témoin, DAP et DAP et de l'urée) permet d'obtenir un surplus de production (grains et paille) de mil à l'hectare par rapport au témoin. Ainsi, un surplus de rendement grain de 30 à 100% est obtenu par l'application de la dose de 2g de DAP au poquet, et 50 à plus de 100% par application de 2g de DAP au poquet complété par un apport d'1g d'urée à la levée. Entre les rendements avec application de Diammonium phosphate (DAP) et de DAP et de l'urée la différence est non significative. En effet, le choix du DAP est conseillé.

Les différents résultats des tests des itinéraires techniques de gestion de la fertilité du sol aux champs ont montré qu'un système de production mixte associant agriculture et élevage et utilisant des Phosphates Naturels peut constituer une alternative durable à la culture continue de céréales qui entraîne la perte de la fertilité des sols. Dans la pratique, les quantités de fumier appliquées (estimées à plus de 10 T.  $ha^{-1}$ ) sont hors de portée pour la plupart des agriculteurs sahéliens, généralement trop pauvres pour posséder



suffisamment de bétail. Les engrais importés sont chers et difficiles d'accès dans les campagnes. L'amélioration de l'accessibilité des intrants paraît essentielle pour parvenir à un accroissement durable des rendements en mil dans cette région. Toutes ces activités doivent être intégrées dans un système de gestion globale des ressources naturelles au sein d'un programme de développement socio-économique de la commune.

## **RESUME EN ANGLAIS**

Millet is one of the principal crops in the Region of Mopti. Rainfall and poor soil fertility are the main factors impacting on millet yields. Continuous cultivation, practiced without soil fertility restoration, causes a quick reduction in soil nutrients and organic matter, as well as an acidification of most of the soils and a decrease in millet yields. The present study is a contribution to the restoration of soil fertility and to increasing millet yields in the Mopti Region of Mali. To reach these targets, two types of activities were carried out: the first one was a survey; and the second was to introduce soil fertility techniques in the rural environment. The survey was carried out with farmers in 3 rural districts and 12 villages in the three agro-ecological zones of the region.

The results of the farm surveys show a relatively important availability of crop residues used for animal feeding and that the type of farm level soil fertility management is determined by the size of the family (number of active members), the availability in labour, equipment and inputs. Availability in active family members, land, equipment, and livestock has a positive impact on the exportation of the crop residues, the stocking of manure in the field, and the incorporation of crop residues in the field.

Criteria such as the number of active family members, carts, draught animals, cultivated area, the number of livestock (UBT) permits the identification of 3 types of farms: A, B, and C (according to the quantities of manure stocked in plots). The farms A, B and C from the districts of Koporo pen and Madiama, and the farms of type A in Doucombo are able to bring at least 2t/ha/year of manure to the fields every year. For the practice of the field stabling, only type A farms of the district of Koporo pen are able to sustain the stabilization for a period of 10 months (corresponding to the parking of 10 nights), of 8 months (5 nights), and of 2 months (2 nights). Type A and B farms in the rural districts of Koporo pen, Madiama, and Doucombo can stable animals in the field for different durations. On the other hand, field stabling is not possible with the size of the livestock available in the farms of type C. However, an organized management of livestock at district level based on awareness building among different resource users (transhumant herders and farmers) can lead to transhumant herds staying on the farms after harvest for a transfer of the organic manure and a reduction of conflicts.

With a view of promoting the use of soil fertility management techniques by farmers, based on their capacity, agronomic tests of these practices were undertaken in real conditions in order to assess their impacts on the soil and on millet yields. These are the following practices:

The technique of rotating cowpeas and improved millet with the Tilemsi Phosphate (PNT) at different doses (300 and 600kg/ha/3years) improves cowpea grain yields from 10 to 68% compared to the yield of the cowpea grain alone. The increase in the rate of nitrogen in grains compared to a control varies from 106% to 112%. As regards to the straw, the level of nitrogen varies from 99.4% to 150%. The benefits gained are clearly greater than those of millet cultivated continuously, and vary from 7 to 80%. Further, the effects of PNT (300 and 600 kg/ha/3 years) applied to cowpeas following millet cultivation in the second and third years allows for increases in millet grain yields from 29 to more than 100%. The application of cowpeas alone increases the yield millet grain from 20 to 47%. The level of the soil pH (very acid to acid) increases in the second year, but drops in the third year with the different treatments of the cowpea rotations with addition of PNT.

Also, the effect of leguminous cereal rotation coupled with the carryover effect of PNT on the cowpea at the beginning of the rotation constitutes a relatively simple and highly efficient technology which could contribute to improved millet productivity in the region of Mopti.

The application of cattle and small ruminants manure at different doses (2t/ha/year and 5t/ha/3years) increases the average outputs of grain from 0.6 to more than 100% in one hand; the quality in nitrogen and phosphorus of grains was improved, the concentration of soil organic matter increased (4.10% to 8.3%), followed by an increase in soil pH level (5 to 5.6%) compared to the control at the start of the second year for a good rainfall.

Application of 300kg/ha/3years of PNT with different doses of cattle and small ruminant manure (2t/ha/year and 5t/ha/3years) in the fertilization of millet over three years realized an increase in the grain yields compared with the continuous cultivation of millet varying from 52.8 to 57.59% for the cattle manure, and from 60.11 to 63.8% for the small ruminant manure. As for the application of 300kg/ha/3years of PNT, the increase in grain yield varies from 0 to 16%. The rate of the soil pH and the rate in soil organic manure increased in the second year, but fell in the third year for all treatments. Considering the unpredictable character of rains, application of 2t/ha/year of manure would be better than that of 5t/ha/3years of manure because of risk, and the opportunity for farmers to gather manure in all cases of manure application.

Stabling cattle at night in the fields obtains grain and straw yields higher than those of continuous millet cultivation. Thus, the yield evolves with the duration of the stabling and yield improvement rates vary from 44.9 to 107% compared to the control. The level of soil organic matter increases, while its acidity falls. The night stabling of the cattle also improves the quality of grain and straw compared to the control. As with the cattle, the stabling of small ruminants during the night in fields also achieved average grain and straw outputs higher than those of the continuous millet cultivation. Millet grain yield increases also increased with the duration of stabling. So, the rate of increase in grain yields vary from 100 and more than 200% compared to the control. As for soil carbon, it varies from 4.35 to 21.70% compared to the control. The K<sub>2</sub>O level increased for the 10 nights stabling during the first two years, but declined the third year. On the other hand, all results were negative for all the practices used during the first two years. Stabling during 5 nights in the first year seems to be enough.

The placement of manure with the seedlings (3 levels of application: control, Diammonium phosphate (DAP), and DAP and urea) achieved an increase in millet grain and straw production per hectare compared to the control. In addition, an increase in grain yield of 30 to 100% was achieved with the application of 2g of DAP per seedling, and 50 to more than 100% with the application of 2g of DAP per seedling complemented by 1g of urea at germination. The difference between yields was not significant with application of DAP, and that of DAP and urea. Consequently, the choice of DAP is recommended.

The different results of the soil fertility management practices field tests showed that a system of mixed production, associating agriculture and animal husbandry and using natural phosphate can constitute a sustainable alternative to the continuous cereals cultivation which leads to soil fertility losses. In practice, the quantities of manure applied (estimated to more than 10 T/hectare) are out of reach for most of Sahelian farmers, generally too poor to sufficient livestock. Imported fertilizers are expensive and difficult to access in the countryside. The improvement of input access seems essential to reach a

sustainable increase in millet yields in this region. All these activities must be integrated into a global natural resources management system within a socioeconomic development program of the district.