

## Propositions

1. Un certain niveau de pression sur les terres est nécessaire pour que les paysans s'investissent dans des actions de maintien voire d'amélioration de la conduite de leur troupeau et de la fertilité de leurs terres (cette thèse).
2. La présence d'une culture de rente qui bénéficie des facilités de crédits pour l'achat d'intrants et qui assure aux paysans suffisamment de profits, joue favorablement sur le bilan d'éléments nutritifs (cette thèse).
3. Les stratégies développées en matière de la gestion de la fertilité des sols par les différentes classes d'exploitation, sont fonctions de leur situation socio-économique (cette thèse).
4. La pratique paysanne qui consiste à concentrer la fumure organique sur de petites portions "infertiles" que de la diluer en l'épandant sur tout le champ, se justifie agronomiquement et économiquement (cette thèse).
5. En vue d'une augmentation du taux d'adoption des technologies, plusieurs alternatives doivent être proposées au paysan. Ce dernier étant un bon intégrateur pourra avec de bonnes briques bien construire.
6. L'intégration des connaissances des paysans aux connaissances scientifiques n'est plus un principe appliqué uniquement par les anthropologues et les sociologues, mais donne du sens à la recherche.  
*Webb, P., 1998. Leçons acquises et futures voies de recherche. In: Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Renard, G., A. Neef, K. Becker, M. von Oppen (eds.): Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 - 8 march 1997, p 577-589.*
7. Il serait beau de noircir un peu le blanc et de blanchir un peu le noir, bref de diminuer les écarts et de faciliter l'instauration du consensus et l'acceptation des uns par les autres.
8. L'état peut influencer positivement la gestion de la fertilité des sols par la mise en place de plans d'actions, dans lesquels un accent particulier sera mis sur la formation des jeunes ruraux en gestion de la fertilité des terres et en conduite des animaux.
9. Les maîtres de la parole au Manding disent que "toutes les choses mettent leurs petits au monde hormis la parole qui peut donner naissance à sa mère" (Griots).
10. Une recherche non-financée est comme un véhicule sans carburant.

**Gestion de la fertilité des sols  
par classe d'exploitation au Mali-Sud**

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0873 5629

Promotoren: Prof. dr. ir. H. van Keulen  
Hoogleraar bij de leerstoelgroep plantaardige productiesystemen  
Prof. dr. ir. E.M.A. Smaling  
Hoogleraar in de bodeminventarisatie en landevaluatie

Samenstelling promotiecommissie:  
Prof. dr. R. Merckx (Katholieke Universiteit Leuven)  
Dr. N. Sanginga (International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan)  
Dr. ir. B.H. Janssen (Wageningen Universiteit)  
Dr. ir. F. van der Pol (Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam)

NN08201,3105.

# **Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali-Sud**

**Salif Kanté**

## **Proefschrift**

ter verkrijging van de graad van doctor  
op gezag van de rector magnificus  
van Wageningen Universiteit,  
Prof. dr. ir. L. Speelman  
in het openbaar te verdedigen  
op woensdag 12 december 2001  
des morgens te elf uur in de Aula

12001635078

Kanté, S., 2001

Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali-Sud / S. Kanté  
Thèse Wageningen Université – avec résumés en Anglais et Néerlandais  
ISBN 90-5808-569-4

*Dédicace*

*A mon père feu Zoumana Kanté,  
A ma mère feu Oumou Kanté,  
A mon oncle feu Idrissa Kanté,  
A mes soeurs Safiatou, Oumou et Kamadiè,  
A ma femme Djénébou Koné et à notre fille Aminata.*

## Préface et remerciements

Cette thèse a été effectuée à l'Equipe sur les Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) de Sikasso, qui a pour but principal de contribuer au développement équitable des systèmes de productions agricoles durables et rémunérateurs avec une participation active des paysans, de la recherche thématique et du développement. Or selon la Banque Mondiale cité par Pieri (1991a), "C'est surtout sur l'exploitation des terres que l'Afrique devra compter pour faire progresser les revenus". Alors faudra-t-il exploiter ces terres au détriment des générations futures? La réponse étant non, il va falloir donc mener des actions de maintien voire d'amélioration de ces terres. C'est dans un tel souci que notre recherche-action sur l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols a démarré en fin 1993. Ainsi cette thèse qui en découle est le fruit d'efforts conjoints tant scientifique qu'institutionnel, avec la participation de plusieurs acteurs auxquels je tiens à présenter mes sincères remerciements. Cependant, je remercie tout d'abord "Allah le tout puissant" pour m'avoir donné la force nécessaire à la réalisation de cette thèse. Mes vifs remerciements vont à Roel Bosma, grâce à la confiance duquel, il m'a été demandé d'appuyer Marinus Bos dans la collectes d'information sur les aspects agronomiques de gestion de la fertilité des sols. Je remercie vivement Demba Kébé et Bino Témé qui ont saisi cette occasion pour me proposer en thèse et dont le soutien sur le plan administratif mérite d'être reconnu. Toon Defoer, malgré nos difficultés de départ pour l'utilisation de la même base, nous avons su trouver la bonne voie pour effectuer deux thèses complémentaires à partir des mêmes activités de recherche-action. Toon, à toi mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance pour avoir été parmi les initiateurs de cette thèse et pour les multiples travaux réalisés ensemble. J'adresse mes sincères remerciements à:

- Mamadou Doumbia et Omar Niangado pour l'intérêt porté sur mon travail et leur engagement à mes côtés;
- Wim van Kampen, Abdoulaye Hamadoun Maïga, Zana J L Sanogo, Mémé Togola, pour leur soutien administratif. Zana, merci pour les multiples facilités accordées durant l'exécution des travaux;
- Minamba Bagayogo, Kabirou N'Diaye, Mama Koné, Floris van der Pol et Maja Slingerland pour leurs pertinentes remarques et suggestions;
- Wilem Stoop et Patrick Dugué pour leur disponibilité et leur soutien technique,
- Siaka Bagayoko, Abou Bengaly, M'Piè Bengaly, Amadi Coulibaly, N'Golo Coulibaly, Marie Claire Dembélé, Diakalia Diabaté, Abdoul Karim Diarra, Souleymane B Diarra, Aminata Doucouré, Hugo de Groote, Thea Hilhorst, Abdoulaye Kamara, Issa Kanté, Sanata Koné, Bitchibaly Kounkandji, Moulaye Sangaré pour leur participation à la collecte des données et/ou à la saisie et aux restitutions des résultats aux paysans;
- Robert Berthé, Issiaka Coulibaly, Lassine Dembélé, Bourema Goita, Mamadou Sanogo, Sitan Sanogo et Moumine Traoré qui, à des moments, ont été mes yeux et bras et sur le terrain; qu'ils retrouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance;
- Ibrahime Dembélé, Loes Kater, Daouda Koné, Alpha S. Maïga et tout le personnel de l'ESPGRN de Niono pour leur soutien tant technique que administratif lors de la collecte et de l'analyse des données de M'Peresso;
- Hamady Djouara pour sa participation à la collecte des données, mais aussi à l'analyse de celles du Chapitre 6;

- Pieter Vereijken, Joost Vlaming et Siaka Traoré pour leur appui informatique lors de la conception de l'outil d'aide à la décision (Chapitre 7);
- Rosalie Diabaté, Boubacar Diaw et Abdramane Sidibé pour leur disponibilité permanente en matière de recherche et de photocopie de documents;
- la comptabilité, le parc auto et tout le personnel du CRRA/Sikasso sans oublier les chauffeurs et les gardiens, qui constituent l'environnement quotidien du chercheur;
- Peter Uithol pour son appui de qualité dans les travaux d'édition.

Je remercie les responsables de la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) de Koutiala, de Sikasso et la Direction Technique du Développement Rural (DTDR) pour leur intérêt pour le thème. Je remercie David Daou, Négéba Fané et tout le personnel de la Division de Defense et Restauration des Sols pour leur forte participation au diagnostic sur la gestion de la fertilité des sols co-organisé par la Division de Défense et Restauration des Sols (DDRS) et l'ESPGRN en 1995. Je remercie Cheick Konaté et toute l'équipe de la Section Aménagement de Terroir de Sikasso pour les informations fournies sur la production de la fumure organique. Je tiens à remercier spécialement Zana Diarra et Lassana Bah (CMDT/Koutiala) pour leur disponibilité et leur franche collaboration au sein du groupe de réflexion sur la gestion de la fertilité des sols.

Je remercie Bert Janssen et Floris van der Pol pour avoir accepté d'être les évaluateurs de ma proposition de thèse et pour les suggestions d'amélioration.

Mes vifs remerciements vont à mes professeurs Herman van Keulen et Eric Smaling pour l'intérêt porté sur mon travail, pour leur patience, pour les multiples efforts fournis pour l'aboutissement de cette thèse et pour le soutien tant technique que social. Eric, merci pour les coups de fil envoyés à partir de Sikasso à l'Ambassade des Pays-Bas et à l'Université de Wageningen pour soutenir ton futur étudiant. Herman, merci pour les multiples corrections et pour avoir mis chaque virgule et chaque point à sa place. Herman et Eric, encore merci pour cette franche, amicale et fructueuse collaboration.

Je remercie toutes ces personnes qui m'entourent quotidiennement et qui m'ont de temps en temps tiré par la main afin d'éviter que je sois complètement submerger dans ma recherche: mes proches et amis, mes collègues de l'ESPGRN et ceux du Groupe Système de Production Végétale du Département de la Science des Plantes de l'Université de Wageningen. A cet effet, je tiens à remercier particulièrement: Johan Brons et sa famille, Cheickna Diarra, Boubacar Diaw, Issa Kanté, Rinco de Koejer et sa famille, Salam Kondombo, Santiago Lopez-Ridaura, Aliou Saïdou, Maja Slingerland, Olga Vigiak, Paula Westerman, Martina Mayus et Assefa Abegaz Yimer.

Je remercie sincèrement les braves paysans de Noyaradougou et M'Peresso pour leur disponibilité et leur patience face à des techniciens qui demandent trop, qui sillonnent leurs champs de long en large, en creusant des trous et en plaçant des carrés de rendement. Enfin, mes remerciements vont à Bocar Kelly et sa famille qui n'ont ménagé aucun effort pour me faciliter la validation de certains paramètres de l'outil d'aide à la décision dans leur parc.

Je ne saurai terminer cette partie sans remercier la Coopération Neerlandaise, l'Institut International pour l'Environnement et le Développement (IIED) pour avoir financé respectivement la thèse et une partie des travaux de M'Peresso. Je remercie l'Institut d'Economie Rural (IER), l'Institut Royal des Tropiques (KIT) et l'Université de Wageningen (WU) pour leur soutien technique, administratif et financier.

Enfin, je remercie tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette thèse.

# Table de Matières

1	Introduction générale	1
1.1	Introduction	1
1.2	Sujet de recherche	2
2	Problèmes de fertilité des sols	11
2.1	Problèmes de fertilité des sols dans les pays soudano-sahéliens de l'Afrique de l'Ouest	11
2.2	Problèmes de fertilité des sols au Mali	17
2.3	Mali-Sud	24
2.4	Technologies disponibles et taux d'adoption	30
2.5	Conclusions	43
3	Présentation des villages d'étude	45
3.1	Introduction	45
3.2	Méthodologie	46
3.3	Milieu physique	50
3.4	Système de production	55
3.5	Conclusions et suggestions	72
4	Gestion de la fertilité par classe d'exploitation	73
4.1	Introduction	73
4.2	Méthodologie	74
4.3	Résultats	82
4.4	Conclusions et suggestions	96
5	Bilans d'éléments nutritifs par classe d'exploitation	99
5.1	Introduction	99
5.2	Méthodologie	100
5.3	Résultats	108
5.4	Conclusions	121
6	Coûts et bénéfices de la valorisation des résidus	123
6.1	Introduction	123
6.2	Méthodologie	124
6.3	Résultats	131
6.4	Conclusions	145
7	Outil d'aide à la décision	147
7.1	Introduction	147
7.2	Méthodologie	148
7.3	Résultats	162
7.4	Conclusions	171
8	Discussions générales	173

8.1 Approche utilisée	173
8.2 Stratégies paysannes de gestion de la fumure organique	175
8.3 Saturation de l'environnement et gestion de la fertilité du sol	176
8.4 Classes d'exploitations et stratégies de gestion des résidus et des fumures	178
8.5 Gestion des flux d'éléments nutritifs par village et par classe	180
8.6 Coûts et bénéfices de la gestion des résidus et des fumures	184
8.7 Outil d'aide à la décision et possibilité d'amélioration de la gestion actuelle	185
8.8 Principales contraintes à la gestion de la fertilité	187
8.9 Perspectives	188
Bibliographie	191
Abréviations	202
Résumé	203
Samenvatting	209
Summary	215
Annexes	219
<i>Curriculum vitae</i>	239

# 1 Introduction générale

## 1.1 Introduction

*"La terre, nous ne l'avons pas héritée de nos ancêtres, mais nous l'avons empruntée à nos enfants" (Badiane & Szempruch, 2000).*

Les questions liées à la gestion de la fertilité des sols occupent le centre des débats sur la durabilité des systèmes de production agricole en Afrique, et particulièrement en Afrique au sud du Sahara. Les agriculteurs s'inquiètent par rapport à la "fatigue des sols", les éleveurs par rapport à la faible productivité des pâturages. Les techniciens s'interrogent sur les raisons de la baisse des rendements et sur les capacités du système en cours de satisfaire les besoins actuels et ceux croissants des générations futures. Cette inquiétude des uns et des autres est bien illustrée par Gray III (cité par Doumbia & Sidibé, 1999) qui dit: "Quand un sol est pauvre, les gens qui l'exploitent sont également pauvres". Les politiques nationales et internationales ne sont pas en dehors de ces débats. Ainsi, l'Initiative Fertilité des Sols a été lancée à Rome en 1996 lors du sommet mondial sur l'alimentation par la Banque Mondiale et ses partenaires tels que le Centre International du Développement des Engrais (IFDC), l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO), le Centre International de Recherche en Agroforesterie (ICRAF), l'Association Internationale des Industries d'Engrais Chimiques (IFA), et l'Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI), les Pays Bas, la Belgique et le Club du Sahel (Breman, 1998a; Dioum, 1997). L'objectif de cette initiative est de faciliter une meilleure compréhension des facteurs qui contribuent à la baisse de la fertilité des sols, des solutions potentielles et de catalyser les participations futures dans les projets et expérimentations de programmes de gestion des sols (Breman, 1998a). L'idée qui prévaut dans l'initiative est d'abord de régénérer le capital de fertilité du sol (apports de phosphates naturels, chaulage, introduction d'espèces fixatrices d'azote, lutte anti-érosive, etc.), ensuite de mener des actions permanentes de protection, de maintien, d'amélioration de la fertilité restaurée par des apports équilibrés d'éléments nutritifs et des techniques culturales appropriées (Dioum, 1997). L'une des conditions du succès est le développement de plan d'action national pour l'amélioration de la fertilité des sols par les pays désirant participer à l'initiative. Ainsi, on assiste actuellement à l'élaboration de plans nationaux de gestion de la fertilité par beaucoup de pays africains (Burkina Faso, Ghana, Côte d'Ivoire, Mali, etc.).

La notion de fertilité selon Dioum (1997), dépasse la disponibilité en éléments nutritifs; elle englobe en particulier la teneur en matière organique du sol, sa structure, sa capacité de rétention en eau et son activité biologique. Ainsi, gérer la fertilité, c'est agir pour maintenir, parfois améliorer, le statut organique, minéral, physique et biologique des sols en vue d'atteindre un certain niveau de production et ce de façon durable (Pieri, 1989 cité par Benoit-Cattin, 1991).

La solution à la généralisation de la dépréciation du "capital naturel" et de la baisse de la capacité de production des terres d'Afrique au sud du Sahara passe nécessairement par des investissements dans la fertilité des terres. En effet, pour améliorer durablement la productivité agricole des terres dépourvues de matière organique et de la nécessaire activité biologique, compactées et sensibles à l'érosion par ruissellement, épuisées en éléments nutritifs majeurs, il faut obligatoirement procéder à leur remise en état d'utiliser les ressources naturelles renouvelables que sont l'énergie lumineuse,

l'air et l'eau pluviale (Pieri *et al.*, 1998). Pour cela, de multiples techniques ont été développées par les chercheurs. Malheureusement, nombreuses sont les techniques, qui bien qu'adaptées aux conditions agro-écologiques sont peu ou pas adoptées par les paysans. Les raisons de non adoption sont beaucoup plus socio-économiques et institutionnelles. Ainsi, le taux relatif de non adoption des techniques de conservation du sol et de l'eau était de 29, 27, 24 et 23% lié respectivement au droit foncier inapproprié, au manque de services de support, aux politiques négatives, à la non adaptation des techniques aux possibilités des paysans (FAO, 1995 citée par Shetty *et al.*, 1998). Les actions d'amélioration de la fertilité des sols, pour être durables, doivent être multifformes, pour prendre en compte la diversité existante entre les situations agro-écologiques et socio-économiques concrètes. Pour cela, la participation et la responsabilisation de tous les acteurs, tant privés que publics sont indispensables à toutes les étapes de l'identification et de la mise en œuvre des composantes de cette action (Pieri *et al.*, 1998). Pour que les paysans s'associent à des actions d'amélioration, il faut que ce soit techniquement possible, qu'ils en aient le savoir-faire, qu'ils y soient incités et y trouvent un intérêt, qu'ils disposent des moyens nécessaires (Benoit-Cattin, 1991).

## 1.2 Sujet de recherche

L'étude s'inscrit dans la suite logique du processus de recherche en cours à l'Equipe sur les Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) de Sikasso "mise au point d'une approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols" en y apportant une dimension complémentaire en terme de bilan d'éléments nutritifs, de coût de valorisation des résidus (transport et transformation), mais aussi, en traduisant les résultats obtenus en outils d'aide à la décision pour les différentes catégories d'exploitations.

L'approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols avait pour objectif général d'élaborer une approche méthodologique participative de recherche, qui permettra d'améliorer la gestion de la fertilité des sols, afin d'assurer la durabilité des systèmes de production. L'objectif spécifique de l'approche était de développer une méthodologie de recherche-action qui permet aux paysans et à l'encadrement: 1) d'identifier les variables clefs, d'appréhender l'état actuel et d'analyser les contraintes de la gestion de fertilité des sols au niveau du village et de l'exploitation; 2) de raisonner et planifier les actions à entamer en matière de gestion de fertilité des sols en tenant compte des éléments structurels des exploitations; 3) de suivre et évaluer ces actions à long terme.

Une importante base de données relatives à 40 exploitations (2 villages) regroupées dans différentes classes d'exploitations a été constituée durant les 3-4 années d'exécution de l'approche (voir plus en détail dans la section 4.2). Cette base servira de fondement à la présente étude centrée sur la "*Gestion de la fumure et des résidus de récolte par classe d'exploitation au Mali-Sud: mise au point d'outil d'aide à la décision en matière de gestion des résidus*".

### 1.2.1 Description du problème

De 1960 à nos jours, beaucoup de travaux ont été menés au Mali et particulièrement au Mali-Sud en matière de gestion de la fertilité des sols. Ces travaux ont touché pratiquement tous les aspects: des techniques de protection et de conservation des eaux et des sols jusqu'à la recherche de formules d'engrais par culture (Tableau 1.1). Malgré les multiples technologies disponibles, en

matière d'amélioration des apports d'éléments nutritifs, de leur efficacité, de recyclage et de protection des sols, le problème de la stagnation, voire de la baisse des rendements devient de plus en plus préoccupant dans les zones pionnières de la production cotonnière du Mali-Sud. Dans les zones de Koutiala et de Sikasso où le taux de croissance démographique est respectivement de 2,9 et 1,8, jusqu'à 80% des terres sont cultivées de façon permanente. Le taux de croissance des superficies cultivées oscille entre 3 et 10% par an (Schrader & Wennik, 1996). L'accroissement des superficies au Mali-Sud était de l'ordre de 175% entre 1973/74 et 1988/89; et l'augmentation de la production du coton était à 80% due à l'accroissement des superficies et à 20% due à l'amélioration de la productivité de la terre (Kébé, 1989).

Au Mali-Sud, au moins 30-40% du revenu généré par l'agriculture semble provenir de l'épuisement des réserves nutritives des sols (van der Pol, 1992). Cette zone reçoit pourtant 75% des engrais minéraux utilisés au Mali (Kieft *et al.*, 1994). Cependant, seulement 26% des parcelles cultivées reçoivent de la fumure organique (Kanté *et al.*, 1993; Brons *et al.*, 1994b). Les apports de fumure organique et minérale sont actuellement insuffisants par rapport aux exportations et un déficit généralisé en azote et en potassium est constaté. Du Tableau 1.2, il ressort que quelque soit la définition des éléments nutritifs par les auteurs concernés, tous aboutissent au constat de déficit en potassium. Ce problème devient de plus en plus marqué pour les terres cultivées en permanence. Ainsi, entre 1977 et 1988, les exploitations en situation de carence quasi certaine en potassium sont passées de 3% à 7% dans le secteur de Koutiala (Traoré, 1993). Les quantités de fumure organique produites sont insuffisantes par rapport aux superficies cultivées. Ces quantités varient selon que les pressions humaines et animales sont faibles ou fortes sur les ressources naturelles. Les doses moyennes appliquées sur le coton, qui reçoit le maximum de fumure organique, dépassent rarement 3 tonnes/ha contre 5 tonnes recommandées (Kébé *et al.*, 1995; Kanté *et al.*, 1998a). La production de fumier par unité de bétail tropical (UBT) variant entre 100 et 500 kg/an est de loin inférieure à la norme théorique qui est de 900 à 1000 kg/an pour la zone de Sikasso (Bosma *et al.*, 1996; Defoer *et al.*, 1996). Une bonne partie de la fumure des petits ruminants est perdue à cause de leur divagation en saison sèche. Or un groupe de 10 petits ruminants (moutons, chèvres) permet de produire autant de fumier qu'un bovin (Berger, 1996).

La culture du coton a favorisé l'augmentation du nombre de bétail des paysans comme facteur de traction animale, mais également comme facteur autonome d'épargne rurale (Kieft *et al.*, 1994). Le taux de croissance du cheptel ces dernières années est de 5% pour les bovins et de 15% pour les petits ruminants (Coulibaly & Kessler, 1991 cités par Brons *et al.*, 1994a). En considérant les prix de 1995, la rentabilité annuelle d'une vache (sans compter le fumier produit) est égale à 13%, contre un taux d'intérêt de 8,5% pour un compte d'épargne à la BNDA (Bosma *et al.*, 1996). En plus de la traction et de son rôle de banque paysanne, le bétail joue un rôle non négligeable dans la valorisation des résidus à travers le fourrage et le fumier. Malgré les besoins alimentaires du troupeau en saison sèche et l'insuffisance de la fumure organique produite, 40-75% des résidus sont encore brûlés dans les principales zones cotonnières du Mali-Sud (Kébé *et al.*, 1995; Kanté *et al.*, 1998a). Les quantités de résidus stockées et recyclées comme fourrage, litière et compost sont faibles et varient entre 4% et 24% quelle que soit la catégorie (type ou classe) à laquelle appartient l'exploitation (Kanté *et al.*, 1998a). Le recyclage des résidus permettra d'améliorer la productivité du bétail, de valoriser la main d'oeuvre en saison sèche et d'augmenter la quantité de fumier (Blokland *et al.*, 1994).

Tableau 1.1 Technologies disponibles au Mali- Sud, effets sur les flux d'éléments nutritifs.

Technologies disponibles	Apport	Recyclage	Protection/restauration
<i>Protection des sols, conservation des eaux et amélioration du système d'utilisation des terres</i>			
Lignes en cailloux	-	-	×
Paillage	-	×	×
Fascines en débris végétaux	-	×	×
Haies vives	-	-	×
Bandes enherbées	×	-	×
Soles fourragères/jachères améliorées	×	-	×
Association céréales/ légumineuses	×	-	×
Billonnage cloisonné	-	-	×
Grattage à sec	-	-	×
Buttage	-	-	×
Zay	-	-	×
Demi – lune	-	-	×
Labour sur courbe de niveau	-	-	×
<i>Fumures organiques</i>			
Parcs améliorés/ fosses fumières	×	×	-
Compostage	×	×	-
Enfouissement résidus		×	×
<i>Fumures minérales (engrais importés)</i>			
Coton: 200 kg/ha de 14N-22P-12K-7B-1S + 50kg/ha d'urée	×	-	-
Mil/sorgho: 100 kg/ha de 15N-15P-15K + 50kg/ha d'urée	×	-	-
Maïs: 100 kg/ha de 15N-15P-15K + 150kg/ha d'urée	×	-	-
Riz pluvial: 100 kg/ha de 15N-15P-15K + 100kg/ha d'urée	×	-	-
<i>Amendements minéraux et engrais importés</i>			
Phosphate naturel de Tilemsi + N+ K (dose de fond, sur coton et sur maïs)	×	-	-
Dolomites	×	-	×
<i>Gestion intégrée des éléments nutritifs</i>			
Approche amélioration gestion de la fertilité des sols (AAGFS)	×	×	×
Combinaison des apports, recyclage et protection	×	×	X

Tableau 1.2 Bilans NPK de quelques systèmes de cultures au Mali-Sud.

Système de culture	N	P	K	Chaux
Coton – maïs - sorgho	-27	0	-18	-35
Arachide – mil - mil	-34	1	-28	-4
* Coton – sorgho - sorgho	-	-	-71	-

Source: van der Pol (1993); \*Source: adaptée de Cretenet (1996).

La recherche, malgré la multitude de techniques et de méthodes mises au point en vue d'améliorer la fertilité des sols, reste limitée dans ses recommandations qui sont d'ordre générale (Kanté *et al.*, 1993) et qui visent surtout le paysan "moyen". Or, il a été constaté que les changements qu'ont subit les systèmes de production durant ces dernières années ont également accentué la différence existante entre les exploitations. Ainsi, à côté des exploitations bien équipées sont nées par suite d'éclatement, de migration, d'autres dites marginales sur le plan équipement, technicité, accès aux bonnes terres, possession de bétail, main d'œuvre, alphabétisation des actifs, *etc.*

Le chef d'exploitation ou de travaux, en vue d'améliorer sa gestion de la fertilité prend sa décision en fonction de ses disponibilités en main d'œuvre, en animaux, en résidus, en moyen de transport et en tenant compte de son revenu brut dans certains cas (Berger, 1996; Camara, 1996). Malheureusement, la plupart des messages vulgarisés en matière d'intégration agriculture-élevage ne tiennent pas compte des capacités de différentes catégories d'exploitation.

Les études citées ci dessus sont souvent disciplinaires et ne prennent pas l'exploitation agricole comme une entité ou les résidus, le bétail, la main d'œuvre, l'équipement et même les revenus sont gérés sur décision d'un chef et en fonction de leur disponibilité. Selon McDowell (1988), la non prise en compte de la forte interaction entre les systèmes de culture et le bétail dans la plupart des petites exploitations serait à la base de la faible adoption par les paysans des interventions agronomiques et zootechniques développées isolément. Selon Shetty *et al.* (1998), la non adoption par les paysans des technologies disponibles en matière de gestion des résidus est principalement causée par: 1) la méconnaissance de ces technologies; 2) leur non adaptation aux possibilités des paysans; 3) le manque de main d'œuvre, de temps ou du capital et 4) les faibles liens recherche-vulgarisation-paysans.

Le thème "*Gestion de la fertilité des sols*" avec un accent particulier sur la "*Gestion de la fumure et des résidus de récolte par classe d'exploitation au Mali-Sud: mise au point d'outil d'aide à la décision en matière de gestion des résidus*" s'insère bien dans le conseil de gestion de l'exploitation vulgarisé par la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT), en mettant à la disposition de différentes catégories d'exploitations des normes d'intégration agriculture-élevage tenant compte des disponibilités de l'exploitation en résidus de récolte, en main d'œuvre, en équipement et de la taille du cheptel. L'outil d'aide à la décision a pour objectif, non pas de prescrire des solutions toutes faites ou de canaliser les agro-pasteurs dans leur prise de décision, mais d'enrichir leurs connaissances et leurs raisonnements afin de leur faciliter le choix d'options tactiques de gestion de leurs résidus de récolte. Il ne s'agit pas là d'un changement radical, mais d'une amélioration de ce qui existe; et cela à partir d'une connaissance des pratiques quotidiennes des agro-pasteurs et de certaines données agronomiques et zootechniques disponibles.

### 1.2.2 Questions de recherches

La quasi unanimité des différents acteurs du monde rural par rapport à la "fatigue des terres" et leur souci d'améliorer la gestion actuelle de la fertilité des terres par les paysans, nous a amené à poser les questions suivantes:

- Les stratégies développées par les exploitants sont-elles fonctions du niveau de pression sur les ressources naturelles et de la catégorie (classe ou type) d'exploitation à laquelle elles appartiennent?
- Quelles améliorations peuvent être proposées à partir du suivi des apports et exportations de NPK par les différentes catégories d'exploitation?

- Quelles options tactiques de gestion des résidus peut-on conseiller aux différentes catégories d'exploitation, tout en tenant compte de leurs caractéristiques?

### 1.2.3 Objectifs

L'objectif général est d'apporter une dimension complémentaire à l'étude "mise au point d'une approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols" par une analyse approfondie de la gestion des résidus et des fumures.

L'étude a pour objectifs spécifiques de:

- Identifier les stratégies de production de la fumure et de gestion des résidus selon le niveau de pression sur les terres.
- Suivre l'évolution des apports et des exportations de NPK au fil des ans par classe d'exploitation.
- Déterminer les coûts et bénéfices de la valorisation des résidus de récolte.
- Développer d'outil d'aide à la décision, prenant en compte les disponibilités en résidus de récolte, en bétail, en main d'œuvre, en équipement, et en fumure pour différentes catégories d'exploitation.
- Déterminer les potentialités de production de la fumure organique par différentes catégories d'exploitation.

### 1.2.4 Méthodologie générale

#### 1.2.4.1 Choix des villages

L'étude est exécutée dans plusieurs localités du Mali-Sud. Les villages sont choisis de commun accord avec la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT: principal organisme de développement), selon les critères suivants:

- acuité du problème de baisse de la fertilité dans le village;
- représentativité d'une zone donnée par le village (pour le transfert des résultats);
- volonté des populations d'améliorer la fertilité de leurs sols;
- accessibilité du village en toute période.

Du lot de villages où l'approche a été exécutée, ceux de M'Peresso et Noyaradougou ont été retenus pour l'approfondissement des connaissances sur les pratiques de gestion de la fertilité par les paysans et pour une meilleure valorisation des résultats de l'étude sous forme d'outil d'aide à la décision en matière de gestion de la fertilité des sols. Ces deux villages ont été choisis sur la base des critères suivants:

- disponibilité d'une base importante de données (village d'intervention de l'ESPGRN);
- motivation des populations (taux de présence aux réunions, intérêt pour les tests);
- différence de niveaux de pression sur les terres.

M'Peresso et Noyaradougou sont situés dans différentes zones agro-écologiques et sont situés respectivement entre les isohyètes 700-900 mm (bassin cotonnier avec forte pression sur les terres) et 1000-1100 mm (zone d'expansion de la culture du coton).

#### 1.2.4.2 *Choix des exploitations*

Les 40 exploitations (20 par village) suivies lors de l'étude "mise au point d'une approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols" (sous-section 4.2.1, étape 3) ont été maintenues. Ces exploitations ont en fonction de leur gestion de la fertilité des sols été regroupées par les paysans en 3 classes (Classe I: gestion bonne, Classe II: gestion moyenne, Classe III: gestion faible). Cependant, pour la collecte de données complémentaires, le suivi fut divisé en léger et approfondi.

##### *Suivi léger:*

Il s'agit des exploitations sur lesquelles l'ESPGRN disposait d'au moins deux années de données. Ce qui revenait à 20 exploitations par village. A Noyaradougou les exploitations ont été suivies de 1994 à 1997 et de 1995 à 1997 à M'Peresso.

##### *Suivi approfondi:*

Les exploitations faisant partie de ce suivi ont été choisies à partir des premières analyses. Un échantillon de 3 exploitations a été choisi dans chacune des 3 classes et par village sur la base des critères suivants:

- exploitations agricoles à structure semblable et à rendements moyens de coton différents sur 3-4 ans;
- motivation de l'exploitation.

En plus de ces 18 exploitations sélectionnées, 2 autres ont été ajoutées à la liste du village, en tenant compte de la taille de la classe et des particularités de l'exploitation (sans charrette, maximum de bovins, maximum d'actifs au sein de la classe, etc.). La collecte des données auprès de ces exploitations s'est poursuivie jusqu'en 2001.

Pour la constitution de la base de données, des coefficients ont été tirés de la littérature, certains paramètres ont été obtenus à travers les enquêtes, les mesures et les caractérisations de sols.

#### 1.2.4.3 *Revue de littérature*

Une revue de littérature a été faite pour mieux cerner les problèmes de gestion de la fertilité en Afrique soudano-sahélienne, au Mali et au Mali-Sud. Des données obtenus au Mali-Sud et dans des zones similaires ont été collectées et analysées. Il s'agit des données relatives aux superficies équivalentes dans les associations de culture, aux rapport tiges/graines de différentes cultures, à la teneur en NPK des cultures (graines, résidus), des fumures organiques et minérales, à certaines normes zootechniques (fourrage, litière, fumier/UBT) et agronomiques (compostage).

#### 1.2.4.4 *Enquêtes et estimations*

Des guides d'entretien appuyés par des outils participatifs comme les cartes d'exploitations ont été utilisés pour quantifier les fumures organiques et minérales utilisées, les résidus de récolte recyclés, les superficies des cultures et des jachères entre 1994 et 1997. La catégorisation des exploitations en classes de gestion de la fertilité a également été faite en associant l'utilisation

d'éléments visuels (carton et feuilles de différentes couleurs) aux guides d'entretien pré-établis. Les enquêtes classiques ont été utilisées pour évaluer la population humaine et animale des exploitations des villages concernés. Une estimation du temps d'utilisation du matériel de transport (charrette et âne) a été faite.

#### **1.2.4.5 Mesures**

Les mesures ont dans un premier temps été centrées sur la conversion des unités locales (charretée d'épis, de gerbes, de fumure organique, de résidus de telle ou telle culture) en unité standard (kg). En plus des charretées, des mesures de quantités de fumure organique d'une benne, d'une remorque ont eu lieu. Dans le cadre du calcul des coûts et bénéfices de la gestion des résidus et de la fumure organique, les superficies des parcelles tests ont été mesurées en 1999. Les rendements ont été mesurés en 1999 et 2000. Les temps de manutention (coupe, creusement, chargement, transport, déchargement, épandage) des résidus et de la fumure ont également fait l'objet de mesure.

#### **1.2.4.6 Caractérisation des sols**

Par rapport aux sols, des enquêtes classiques et une MARP (Méthode Accélérée de Recherche Participative) (Gueye & Schoonmaker-Freudenberger, 1991) ont eu lieu dans les villages concernés pour déterminer les noms vernaculaires des terres et leurs caractéristiques. Pour cela l'approche toposéquentielle a été utilisée. Le concept de toposéquence ou catena (Milne, 1936 cité par Bitchibaly *et al.*, 1994), étant une séquence de types de sols, en relation avec la topographie, avait été initialement élaboré pour mieux comprendre l'adaptation des différentes cultures aux différents types de sols répartis le long de la toposéquence. Une toposéquence est ainsi définie par une succession de modelés sur lesquels se développent différents types de sols caractérisés par leur matériau, leur position topographique, leur régime hydrique, leur sensibilité à la dégradation et leur potentiel de fertilité (Bitchibaly *et al.*, 1994). L'importance de cette approche réside dans le fait que les paramètres utilisés sont non seulement faciles à identifier sur le terrain, mais également reconnus par les paysans sous des noms vernaculaires. Des sondages pédologiques ont eu lieu avec des tarières marquées pour mieux apprécier les différences. Des échantillons de sols ont été pris pour mieux cerner les différences physico-chimiques des terres et les stratégies de gestion des paysans. Les analyses ont été faites par le laboratoire de sol - eau - plante de Sotuba (Mali).

#### **1.2.4.7 Analyses statistiques**

Le logiciel SPSS a été utilisé pour toutes les analyses statistiques. Le logiciel Excel a été utilisé pour l'élaboration de l'outil d'aide à la décision.

#### **1.2.4.8 Restitution des résultats**

En vue de faciliter l'adoption des résultats par les paysans/paysannes et l'encadrement de base du Mali-Sud et en particulier ceux des régions CMDT de Koutiala et Sikasso située entre 700 et 1100 mm de pluie, une simplification des résultats sous forme d'images et/ou de graphiques est faite.

---

Le document dans son Chapitre 2 présente les problèmes de fertilité des sols dans les pays soudano-sahéliens, au Mali et au Mali-Sud. Le Chapitre 3 est centré sur les deux villages d'étude: milieu humain, zonage agro-écologique, paysage, terres et végétations, systèmes de culture et d'élevage. Le Chapitre 4 donne les caractéristiques des classes d'exploitation, la gestion des fumures organiques, minérales et des résidus de récolte par classe. Le Chapitre 5 traite les flux et les bilans de NPK par classe. Dans le Chapitre 6, sont présentés les coûts et les profits liés au recyclage des résidus et à l'utilisation de la fumure produite. Le Chapitre 7 est centré sur une analyse des contraintes et des capacités de gestion des résidus (production de fumure organique) par les différentes classes sous forme d'outil d'aide à la décision. Enfin les discussions générales ont eu lieu dans le Chapitre 8.

## 2 Problèmes de fertilité des sols

### 2.1 Problèmes de fertilité des sols dans les pays soudano-sahéliens de l'Afrique de l'Ouest

*"L'espace rural a le caractère d'un capital, car sa capacité productive est imputable à la fois au travail des hommes, mais une fraction de ses aptitudes est due à des facteurs naturels" (Badouin, 1979 cité par Kébé, 1989).*

Ce chapitre a pour objectifs de mieux cerner les contraintes et les potentialités existantes pour une meilleure gestion de la fertilité des sols en Afrique soudano-sahélienne, au Mali et au Mali-Sud en particulier.

#### 2.1.1 Climat et sols

Les pays sahéliens ou autrement dit les pays, situés au sud immédiat du Sahara (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau, Mauritanie, Mali, Niger, Burkina Faso, Tchad) sont caractérisés par un climat tropical avec une seule saison de pluies d'une durée de 2-4 mois (Sissoko, 1998). La pluviométrie au Sahel varie entre 100 et 1100 mm par an. Selon Delville (1996), quatre zones peuvent être distinguées: la zone sahélienne (150-400 mm de pluie), la zone sahélo-soudanienne (400-650 mm de pluie), la zone soudano-sahélienne (650-900 mm de pluie) et la zone soudanienne ( $900 < P < 1200$  mm de pluie). Berthé *et al.* (1991) proposent la subdivision du sud du Mali en 3 zones: une zone semi-aride ou soudanien nord (500-900 mm), une zone sub-humide ou soudanien sud (900-1100 mm) et une zone humide ou nord guinéen ( $>1100$  mm). La pluviométrie est caractérisée par une forte variabilité: cumul annuel, date de démarrage de la saison, durée et répartition en cours de campagne (Delville, 1996; Vierich & Stoop, 1990 cités par Sissoko & Breman, 1998). Les données collectées entre 1951 et 1960 sur la variabilité annuelle des précipitations à Bissau (Guinée-Bissau) et à Bobo Dioulasso (Burkina Faso) montrent de larges fluctuations par rapport à la moyenne (Windmeijer & Andriessse, 1993). Au Niger, Shetty *et al.* (1998) trouvent que les écarts par rapport à la moyenne peuvent s'étendre sur plus de 8 ans. Les averses violentes provoquent l'érosion des sols fragiles n'ayant pas une couverture végétale suffisante. Les caractéristiques des précipitations, surtout lors des premières pluies, lorsque le sol est nu, renforcent les déséquilibres entre offre climatique et besoins hydriques. Ces limitations placent les paysans et éleveurs sahéliens dans une situation de risque quasi permanent face à la sécheresse du début jusqu'à la fin de l'hivernage (Niangado, 1998). Le gain de production lié à l'utilisation des engrais organiques et minéraux est fortement influencé par les aléas climatiques. Dans les zones relativement arides, le gain en céréale varie de 300 à 800 kg/ha en année favorable, tandis qu'il est nul en année défavorable (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 Moyennes annuelles des résultats des tests de fumure au Yatenga (1984-1987).

Pluviométrie *ETR/ETM	Rendement moyen du témoin (kg/ha)	Gain de production en mil (kg/ha)			
		Fumier (poudrette) (5 t/ha)	Compost (5 t/ha)	Engrais 14-23-14 (100 kg/ha)	
Défavorable	0,3	0 - 200	0	Dépressif	0
Médiocre	0,6	200 - 400	+ 100	+ 100	+ 150
Moyen	0,75	400 - 600	+ 200	+ 150	+ 300
Favorable	0,9	600 - 800	+ 400-800	+ 300	+ 500-600

\*ETR/ETM Cycle (mil de 90 jours, réserve utile du sol = 90 mm) Evapo-Transpiration Réelle, Evapo-Transpiration Maximale. Source: Dugué (1993).

La pluviométrie des 10 dernières années est en moyenne de 200-250 mm inférieure à celle obtenue il y a 60 ans (Figure 2.1). Cette baisse pluviométrique autrement appelée descente des isohyètes par Delville (1996) s'est traduite par une baisse de la production de biomasse du milieu, obligeant ainsi les paysans à étendre les superficies cultivées au détriment des jachères, en vue de satisfaire les besoins d'une population croissante. A cause de la forte pression sur les terres, les jachères de longue durée (20-25 ans) ont cédé leur place à celles de durée moyenne de 5-10 ans. Ainsi la réduction des temps de jachère greffée aux effets de la baisse de la pluviométrie, inhibe la régénération naturelle de la fertilité des sols.

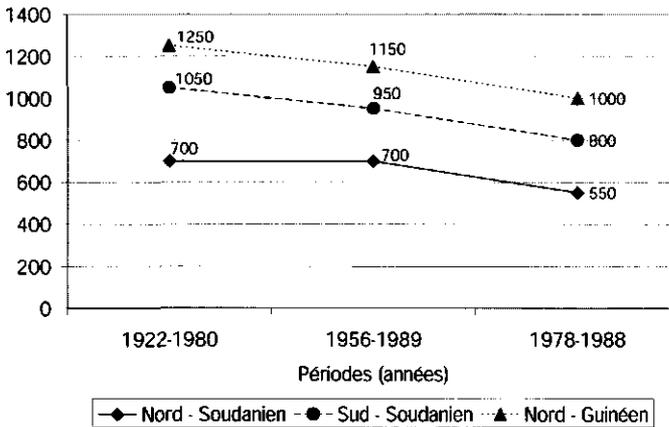


Figure 2.1 Descente des isohyètes selon Bitchibaly &amp; Dioni, 1992 (cas de certaines zones du Mali-Sud).

Les sols exploités sont divers (Tableau 2.2) et hétérogènes en raison des transports et des remaniements auxquels ils ont été et sont toujours soumis (Pieri, 1991b).

Tableau 2.2 Superficie (Mha) de quelques types de sols par pays.

Pays	Type de sol					Total
	Luvisols	Arenosols	Regosols	Vertisols	Nitosols	
Mali	15,8	5,9	6,4	0,6	2,1	30,8
Burkina Faso	12,5	1,5	7,4	1,3	0,3	23
Tchad	10,3	4,4	1,6	7,5	2,5	26,3
Sénégal	4,1	2,2	2,4	-	1,2	9,8
Niger	1,6	11,6	1,1	-	-	14,3

Source: Niangado (1998).

Cependant, ces sols ont en commun: une large extension du recouvrement sableux (Tableau 2.3), et une forte présence du fer. Ce dernier est à la base de la formation de vastes cuirasses ferrugineuses et de sols gravillonnaires sur les sommets et les versants amonts des toposéquences.

Tableau 2.3 Quelques caractéristiques physiques et chimiques des sols 0-20 cm sur 2 sites de zone de culture du mil en Afrique occidentale.

Caractéristiques du sol	Sadore, Niger <sup>1</sup>	Cinzana, Mali <sup>2</sup>
Texture du sol en (%)		
Sable	94	88
Limon	1	2
Argile	5	10
pH		
H <sub>2</sub> O	5,3	5,9
KCl	4,3	4,9
Matière organique (%)	0,2	0,3
Total N (%)	0,01	0,04
C/N	10	4
Phosphore		
Olsen (ppm)	4,8	11
Bray (ppm)	3,2	1,1
CEC (mq/100g)	0,96	2,9

<sup>1</sup> Pluviométrie annuelle moyenne 560 mm sur station;

<sup>2</sup> Pluviométrie annuelle moyenne 700 mm sur station;

Source: Shetty *et al.* (1998) adaptée.

La présence de cuirasse et/ou de gravillons affecte les capacités de rétention en eau et en éléments nutritifs des sols. Ainsi, la Réserve d'eau Utile (RU) était de 18-32 mm/m sur les terres gravillonnaires contre 44-130 mm/m sur les autres terres (Labo SEP non publié cité par Kanté *et al.*, 1998b). Le cuirassement constitue un facteur limitant des ressources en sols dans certaines localités. A cause des cuirasses et des sols gravillonnaires peu épais, 30% du territoire national du Burkina Faso sont considérés comme des régions à valeur agricole faible ou nulle (Pieri, 1991b). Ces sols gravillonnaires, peu profonds, peu productifs et occupant des positions amonts voire sommitales (plateaux et versants) sont de plus en plus exploités dans certaines localités du sud du Mali (Kanté *et al.*, 1993). Les sols argileux sont rencontrés sur les parties basses de la

toposéquence. La fraction argileuse, peu abondante est de type kaolinite, qui a une faible teneur en calcium. Les argiles à base de kaolinite ne favorisent non plus un stockage important d'eau et d'éléments nutritifs (Pieri, 1991b). La majorité des sols des pays sahéliens ont une médiocre fertilité chimique et sont assez sensibles à la battance et à l'érosion (Deckers, 1993; Delville, 1996). La pauvreté chimique et surtout l'aridité extrême pendant la saison sèche font que les sols de cette région sont classés parmi les plus pauvres du monde (Breman, 1998b). Le Tableau 2.3 illustre bien cette pauvreté en argile, en matière organique, en éléments nutritifs et la faible Capacité d'Echange Cationique (CEC).

## **2.1.2 Changements agro-techniques, socio-économiques et institutionnels**

### **2.1.2.1 Changements agro-techniques**

La culture itinérante défriche-brûlis a dans les localités à forte pression sur les terres cédé sa place à un système de culture permanente. La culture manuelle fut en partie remplacée par la culture attelée; ce qui a permis non seulement une meilleure préparation du sol, mais aussi l'extension des superficies cultivées. En effet, entre 1961/63 et 1990, l'augmentation de la production en Afrique sub-saharienne était de 47% attribuable à l'extension des surfaces contre -13 à 30% dans les autres parties du monde (Tableau 2.4). Selon Kébé (1989), l'accroissement des superficies au Mali-Sud était de l'ordre de 175% entre 1973/74 et 1988/89; et l'augmentation de la production du coton était à 80% due à l'accroissement des superficies et à 20% due à l'amélioration de la productivité de la terre. Ces changements, s'ils ont favorisé l'augmentation de la production, n'ont pas toujours été accompagnés des mesures de conservation et de restitution des éléments nutritifs du sols. Les conséquences du non respects de ces mesures sont: l'épuisement ou la fatigue des sols, la baisse de la production de biomasse et l'érosion des sols. Les études menées en Afrique soudano-sahélienne ont montré que 90% des terres non irriguées sont à des degrés variables frappées par la désertification, autrement dit la dégradation (Bationo *et al.*, 1998b). Selon Pieri *et al.* (1998), environ 320 millions d'hectares ont à différents degrés été touchées par différentes formes de dégradation induite par des activités humaines au cours des 30 dernières années. Il est estimé que 70% des terres arables et 31% des terres pastorales sont frappées par l'érosion; et que ces terres perdues sont 2,5 fois plus riche en éléments nutritifs que le sol restant (Bationo *et al.*, 1998b).

Les bilans d'éléments nutritifs établis dans cette zone sont en général négatifs (van der Pol, 1993; Bationo *et al.*, 1998b; Stoorvogel & Smaling, 1990a; Traoré, 1993) (Tableau 2.5). Le déficit en NPK est relativement moins élevé dans les pays disposant de plus de jachères. Toutefois, les surfaces et l'âge de ces dernières diminuent avec l'augmentation de la pression humaine et animale. Dans ces conditions, la réduction du déficit en éléments nutritifs passe nécessairement par l'apport d'éléments nutritifs produits sur place et/ou importés. Malheureusement les quantités d'engrais organiques produites sur place sont insuffisantes et celles d'engrais minéraux utilisées sont très faibles. En 1992/93, la consommation d'engrais minéraux variait entre 6-10 kg/ha dans les pays soudano-sahéliens excepté le Niger (Tableau 2.5), contre 81 kg/ha dans les pays en développement et 93 kg/ha dans le monde en 1990 (Gerner & Harris, 1993).

Tableau 2.4 Contribution des augmentations de surface et de rendement à l'accroissement de la production céréalière dans les pays en développement et les pays à haut revenu, 1961- 1990 (World Bank, 1992 citée par van Reuler & Prins, 1993b).

Groupe de pays	Production moyenne 1988-1990, 10 <sup>6</sup> t	Augmentation depuis 1961-1963, %			Rendements 1988-1990, t ha <sup>-1</sup>
		Total	Attribuable à l'extension des surfaces	Attribuable à l'augmentation des rendements	
Afrique sub-saharienne	57	73	47	52	1,0
Extrême Orient	499	189	6	94	3,7
Asie du Sud	261	114	14	86	1,9
Amérique Latine	105	111	30	71	2,1
Moyen Orient et Afrique du Nord	41	68	23	77	1,4
Europe et ex-URSS	336	76	-13	113	2,2
Monde	1.858	100	8	92	2,6

Tableau 2.5 Bilans N-P-K en 1983 et consommation d'engrais par pays.

Pays	Terres arables ('000 ha)	Jachères (%)	Bilans (kg/ha)			* Utilisation d'engrais (kg/ha cultivé)	
			N	P	K	1969-71	1992-93
Burkina Faso	6.691	50	-14	-2	-10	0,3	6
Gambie	236	29	-14	-3	-16	-	4,4
Mali	8.015	72	-8	-1	-6	2,9	10,3
Mauritanie	846	79	-7	0	-5	0,6	8,2
Niger	10.985	47	-16	-2	-11	0,1	0,4
Sénégal	5.235	53	-12	-2	-10	2	7,2

Source: Stoorvogel & Smaling (1990a)

\*Source adaptée: Gerner *et al.* (1996)

Comblent les déficits d'éléments nutritifs du Tableau 2.5 demande des importations énormes d'engrais minéraux. Or comme de telles importations sont irréalistes selon Shetty *et al.* (1998), la recherche d'alternatives est indispensable. Parmi les alternatives, on peut citer l'utilisation des phosphates naturels disponibles localement (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal), la production de fumure organique par compostage, paillage des résidus et leur utilisation comme litière dans les parcs. Dans tous les cas, l'apport de fumure organique est indispensable pour maintenir, voire augmenter le taux de matière organique et le pouvoir tampon du sol.

### 2.1.2.2 Changements socio-économiques et institutionnels

#### *Croissance démographique et situation alimentaire*

Contrairement au taux de croissance de la population mondiale qui était de 1,7% à la fin des années 80 (Makken, 1993), celui des pays soudano-sahéliens oscillait autour de 2,8 (Tableau 2.6). Malgré un tel taux de croissance, la région apparaît comme sous peuplée et la densité de la population dépasse rarement 40 personnes/km<sup>2</sup>. Durant la dite période, la production totale a nettement augmenté dans plusieurs pays. Toutefois, les efforts d'amélioration de la situation alimentaires sont inhibés par le fort taux de croissance (Tableau 2.6). Compte tenu de la croissance démographique au cours de ces périodes, la production par habitant a chuté de près de 2% par an (Pieri *et al.*, 1998). Ainsi, la consommation de céréale par tête en Afrique soudano-sahélienne est passé de 169 en 1980 à 157 kg en 1990 (Makken, 1993). Comme le dit Giri cité par Niangado (1998), "c'est la montée de la dépendance alimentaire".

Tableau 2.6 Population, taux de croissance démographique, densité et indices total de production des pays soudano-sahéliens.

Pays	Population (x 1000)		Taux de croissance de la population (%)		Indice de production des cultures 1990	* Production alimentaire par habitant (kg)	
	1975	1990	1975-80	1989-90		1975-77	1990-92
Burkina Faso	6.202	8.996	2,4	2,8	147,4	99	125
Gambie	548	861	3,4	2,9	138,7	130	86
Guinée Bissau	672	964	3,6	2,0	132,4	-	-
Mali	6.169	9.214	2,2	3,2	161,8	92	92
Niger	4.771	7.731	3,4	3,2	98,3	-	-
Sénégal	4.806	7.327	3,0	2,8	118,7	121	96

NB pour les deux sources, les données de 1979-81 ont constitué la base et ont été considérées comme étant égale à 100%. Source: Windmeijer & Andriess (1993), \*Source: Wiggins (1995) cité par IFDC-Africa (2000)

Cependant, en année normale, beaucoup de paysans produisent suffisamment de grains pour se nourrir eux-mêmes, sans pouvoir pour autant fournir en quantité et en qualité les citoyens qui constituent présentement 15% des Sahéliens (Niangado, 1998). Les alternatives de solutions jusqu'alors prises ont été beaucoup plus centrées sur l'extension des superficies qu'une intensification de la production.

#### *Intrants, cultures de rentes et réformes institutionnelles*

La suppression de la subvention des intrants agricoles exigée dans le cadre de l'ajustement structurel pose le sérieux problème d'acquisition des intrants par les producteurs pour la majorité desquels leurs coûts sont trop élevés. Ainsi, Dugué (1993), trouve que l'utilisation de la fumure minérale est actuellement marginale et inférieure à 10 kg/ha au Yatenga (Burkina Faso) comme au Sine Saloum (Sénégal). Cette faible utilisation est liée d'une part aux capacités d'investissement réduites de la majorité des paysans et d'autre part aux risques économiques dus aux aléas pluviométriques (Tableau 2.1).

La dévaluation des monnaies locales (CFA, Ouguiya) a renchéri le coût de ces intrants à l'importation. La faiblesse des systèmes de crédit qui sont peu adaptés aux réalités locales limite également l'investissement, indispensable à l'intensification agricole (Traoré, 1998). Contrairement à la céréaliculture de subsistance, les cultures de rente encadrées par la recherche et la vulgarisation, bénéficient très souvent d'intrants, de matériels et de crédit. Ainsi, les zones d'expansion de ces cultures se caractérisent par une extension rapide des surfaces cultivées, l'utilisation des intrants importés (>50% des quantités importées) et une sécurité alimentaire relativement renforcée.

Les Etats soudano-sahéliens sont engagés dans des réformes institutionnelles et législatives dont l'impact positif sur le producteur est limité entre autre par: l'inadaptation du système de crédit aux conditions locales, la faible performance du réseau d'approvisionnement en intrants, la faiblesse des systèmes de collecte, de transformation, de transport et d'écoulement des produits, le faible niveau d'intégration des structures paysannes dans la prise de décision, l'inefficience des systèmes de vulgarisation, les difficultés que connaît la recherche dans la génération et le transfert de paquets technologiques adoptables sur le plan écologique, socio-économique et culturel (Traoré, 1998; Sissoko, 1998). Cependant, la disponibilité de nombreuses options techniques de restauration et d'amélioration de la fertilité des terres, greffées à la prise de conscience par les états de la zone par rapport à la nécessité d'investir dans la fertilité des terres, laissent entrevoir des lendemains meilleurs. Il y a aussi la prise de conscience par les populations locales de la nécessité de gérer les ressources naturelles.

## 2.2 Problèmes de fertilité des sols au Mali

Le Mali est un vaste pays sahélien situé en Afrique occidentale entre l'Algérie, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Guinée, la Mauritanie, le Niger et le Sénégal (Figure 2.2). Il couvre une superficie de 1.248.574 km<sup>2</sup> et a une population de 9,5 millions d'habitants (Kieft *et al.*, 1994; Sissoko, 1998). Il est découpé en 8 régions administratives (Kayes, Koulikoro, Sikasso, Ségou, Mopti, Gao, Tombouctou et Kidal) plus le district de Bamako. Il est arrosé par les fleuves Sénégal et Niger.

### 2.2.1 Environnement physique

#### 2.2.1.1 Zones agro-écologiques

Sur le plan agricole, on distingue 4 principales zones agro-écologiques (Figure 2.3) auxquelles peut être ajoutée la zone spécifique du delta intérieur du fleuve Niger (Kieft *et al.*, 1994):

La *zone sud-saharienne* occupe environ 50% du territoire. En juxtaposant les deux sources, cette zone sud-saharienne correspondrait à la zone saharienne sur Figure 2.3. Elle est caractérisée par des précipitations irrégulières et <200 mm par an. L'élevage constitue la principale activité. Les mil, sorgho, blé et riz sont cultivés sur les plaines et au bord du fleuve.

La *zone sahélienne* occupe 20% (sans compter le delta du Niger) du territoire. La pluviométrie varie de 200 à 700 mm par an. C'est la zone des mil/sorgho. Les nombreux pâturages favorisent également l'élevage dans cette zone.



Figure 2.2 Le Mali (Mali-Sud en hachuré) et ses pays limitrophes.

Carte des principales unités agro-écologiques du Mali

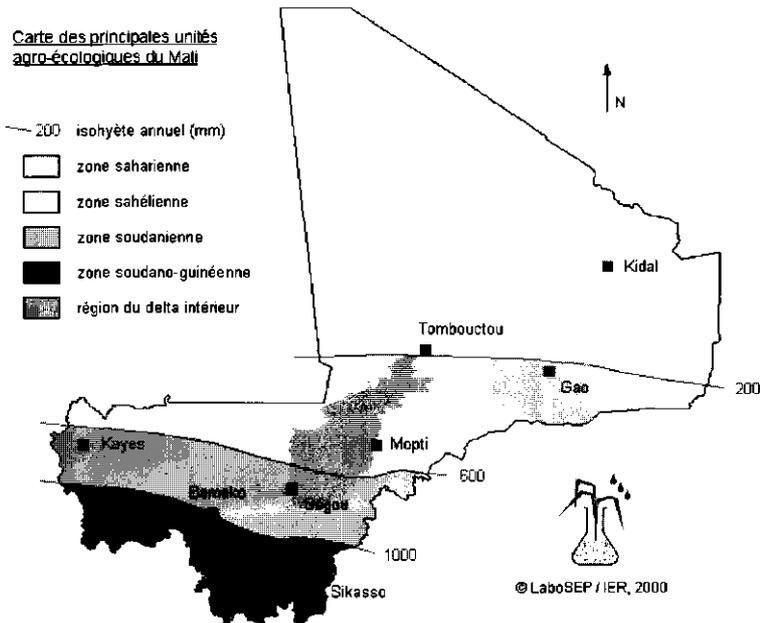


Figure 2.3 Les principales unités agro-écologiques du Mali.

La zone nord-soudanienne (soudanienne sur Figure 2.3) occupe environ 20% du territoire. Les précipitations varient de 700 à 1300 mm par an. Les mil, sorgho, coton, les légumineuses, maïs sont cultivés dans ces zones. L'élevage connaît un essor.

La zone sud-soudanienne (soudano-guinéenne sur Figure 2.3) occupe environ 6% du territoire. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1300 mm et plus. En plus des céréales sèches, on rencontre le coton, les légumineuses, les tubercules et de grand vergers d'arbres fruitiers. Les pâturages relativement abondants attirent les éleveurs.

Le delta intérieur du Niger, situé en pleine zone sahélienne, occupe 6% du territoire. C'est le domaine de l'élevage, du riz irrigué et de la diversification (maraîchage).

Le Mali comme l'ensemble des pays soudano-sahéliens a connu la descente des isohyètes de l'ordre de 200 mm (Figure 2.1).

### 2.2.1.2 Extension des superficies cultivées et dégradation des terres

Sur les 19.599.700 ha des terres à vocation agricole, les superficies effectivement exploitées sont de l'ordre de 2.100.000 ha, soit 12% (PIRT cité par Kieft *et al.*, 1994). La forte disponibilité en terre a souvent provoqué chez les populations un réflexe d'extensification et de surconsommation de l'espace (Pieri 1989 cité par van der Pol & Giraudy, 1993). Dans les différentes zones agro-écologiques du Mali, on constate que l'augmentation de la production est surtout due à une extension des superficies cultivées qu'à une intensification. Cependant, dans les zones cotonnières et rizicoles l'augmentation des productions est la résultante d'une augmentation simultanée des surfaces et des rendements. La forte variabilité pluviométrique et le risque de sécheresse qu'elle engendre des semis aux récoltes n'encouragent souvent pas les paysans à s'endetter pour fertiliser les sols (Tableau 2.1). Or, il faut nourrir une famille de plus en plus nombreuse. L'alternative la plus simple est d'étendre les superficies et de gérer le risque à court terme en puisant sur le capital sol. Ainsi les agriculteurs du Mali-Sud tirent en moyenne 30% de leurs revenus de l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs (van der Pol, 1993). Au sud, où les conditions pluviométriques sont relativement bonnes, l'acquisition du matériel agricole, greffée aux incertitudes climatiques, aux coût des engrais chimiques et aux besoins croissants des populations ont également favorisé l'extension des superficies. Cette extension se fait au détriment des zones boisées, des jachères, réduisant du coup les pâturages et les possibilités de restauration naturelle de la fertilité des sols et leur résistance à l'érosion. Malheureusement, l'utilisation de la fumure organique aussi bien que minérale est très faible. Moins de 20% des superficies cultivées au Mali sont fertilisées avec les engrais minéraux. La zone cotonnière qui reçoit 75% des engrais minéraux utilisés au Mali (Kieft *et al.*, 1994), a à peine 26% de ses parcelles qui reçoivent de la fumure organique et/ou minérale (Kanté *et al.*, 1993; Brons *et al.*, 1994b). Selon Pieri (1989) cité par van der Pol & Giraudy (1993), on constate qu'au delà de 3-6 ans de culture dans les systèmes agricoles à faible niveau d'intrants, une baisse des rendements et une dégradation des aptitudes culturales des sols. Entre 1952 et 1975, les sols nus du Mali sont passés de 4% à 26% (Kieft *et al.*, 1994). Selon ces derniers, le bilan de la fertilité exception faite pour la disparition normale des nutriments par les récoltes souffre de 2 causes fondamentales de dégradation:

- l'érosion est la cause de perte de substance des sols atteints dans leurs fractions les plus actives (colloïdes minéraux et organiques);

- le déficit de bilan organique des sols cultivés dans lesquels, la cinétique de minéralisation l'emporte sur celle de l'accumulation organique sous forme d'humus de façon à ce que les sols sont atteints dans leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques.

Le manque croissant de fumure organique est une contrainte générale qui limite la durabilité agricole tant pour les zones de céréaliculture que pour les zones cotonnières et rizicoles du Mali, bien que ces dernières reçoivent 85% des engrais minéraux (Kieft *et al.*, 1994). La faible production et utilisation de la fumure organique est citée comme une des causes techniques de la baisse des rendements du coton au Mali (CMDT, 1997).

### 2.2.1.3 Migration de l'élevage vers le sud et système agricole mixte

L'élevage au Mali, comme dans la plupart des pays au sud du Sahara a été sérieusement frappé par les épisodes de sécheresse. Beaucoup de troupeaux du nord ont migré vers le sud où les pâturages sont relativement plus abondants. Au Mali-Sud, cette migration a été accompagnée d'un transfert partiel des animaux des pasteurs vers les paysans. Selon Landais *et al.* (1991), ce transfert fut facilité par les disponibilités monétaires provenant du coton et par une demande soutenue en bœufs de labour et en animaux d'élevage susceptibles de valoriser les quantités croissantes de sous produits agricoles. Ainsi, dans la région de Sikasso, entre 1965 et 1988, le nombre de bovins est passé de 350.000 à 1.240.000 têtes et les petits ruminants de 186.000 à 590.000 têtes (Pradere 1990, cité par Landais *et al.*, 1991). Selon des études récentes, l'élevage stagne voire régresse au nord, tandis qu'il poursuit son expansion vers le sud. Ainsi le taux de régression est 4% à Gao et celui de la croissance est de 3% à Koulikoro et 3,2% à Sikasso (Landais *et al.*, 1991). Dans certaines localités du sud comme Koutiala, on note un dépassement de la capacité de charge animale (Leloup & Traoré, 1990 cités par Bosma, 1993, Tableau 3.1), créant du coup des problèmes d'insuffisance de pâturage et de dégradation des zones de parcours. Cependant, beaucoup d'espoirs reposent sur le développement de systèmes d'exploitation valorisant au mieux les interactions complémentaires entre les cultures et le bétail. L'utilisation de la traction animale et du fumier dans l'agriculture et l'alimentation des animaux avec les résidus de récolte ne cessent de gagner du terrain en Afrique de l'Ouest (Powell & Williams, 1993). Hiernaux *et al.* (1998) soutiennent la thèse que le développement de l'élevage est à la fois une des formes et un des moyens de l'intensification agricole dans les pays du Sahel. Le bétail est selon ces derniers, un agent biologique du recyclage accélérée des matières organiques et minérales et du transfert de ces éléments à l'intérieur du paysage agro-pastoral. Par ses excréments fécales et urinaires, le bétail sahélien retourne au sol 35 à 55% de la matière organique ingérée et 80 à 90% de l'azote et du phosphore et plus de 90% des autres éléments minéraux (Landais *et al.*, 1991 cités par Hiernaux *et al.*, 1998). La stimulation de l'activité biologique des sols, l'accélération de la minéralisation, de l'humification et la réduction de l'acidité des sols qui résultent du dépôt des fèces et urines sont des effets majeurs du bétail sur l'agro-écosystème (Hiernaux *et al.*, 1998). Les interactions complémentaires entre les cultures et le bétail peuvent également être bien valorisées par une intensification du système d'élevage à travers la culture de légumineuses fourragères, une meilleure gestion des résidus et sous produits agro-alimentaires pour l'alimentation des animaux et un plus grand séjour de ces derniers dans les parcs et étables. Ceci favorisera une amélioration qualitative et quantitative du fumier produit.

## 2.2.2 Situation socio-économique et institutionnelle

### 2.2.2.1 Economie

Le secteur rural occupe une place de choix dans l'économie du Mali (Tableau 2.7). Le secteur primaire occupe la première place dans la structure du Produit Intérieur Brut (PIB) avec un apport de 43,6% sur les 1166,4 milliards de F CFA en 1995 (DNP/DNSI, 1996). Plus de 80% de la population économiquement active est employée dans ce secteur qui fournit 75-80% des exportations (Kieft *et al.*, 1994; Sissoko, 1998). La production du secteur primaire disponible au niveau national couvrait en 1981 moins de 90% des besoins de consommation, mais fluctue actuellement autour de 100% de la consommation nationale (Kieft *et al.*, 1994). Les importations agricoles constituent 50 à 55% (dont environ 40% en équipements et intrants) de l'ensemble des importations. En plus des équipements et intrants, le Mali importe des céréales. Il est cependant autosuffisant et exportateur en année de bonne pluviométrie. Ainsi, la production céréalière est passée de 1.948.998 tonnes en 1994 à 2.198.336 tonnes en 1995 (DNP/DNSI, 1996; FAO, 1995), soit une augmentation de 12,8%.

Tableau 2.7 Produit Intérieur Brut du Mali et sa répartition en 1995.

Principaux indicateurs	Valeurs
<b>Produit Intérieur Brut (PIB)</b>	<b>1166,4 (milliards de F CFA)</b>
<i>Secteur primaire</i>	43,6%
Agriculture vivrière	17
Agriculture industrielle	9,4
Elevage	10,5
Pêche	1
Sylviculture	5,7
<i>Secteur secondaire</i>	15,9%
Industrie moderne	6,9
Mines	2,7
Artisanat (textile)	0,5
Bâtiments et travaux publiques	5,8
<i>Secteur tertiaire</i>	40,5%
Commerce	16,5
Administration	8,1
Droits et taxes à l'importation	6,2
Autres tertiaires	9,7
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Source: DNP/DNSI, 1996.

Les quantités de mil et maïs exportées ont doublé voire triplé entre 1993 et 1999 et sont passées de 3.941 à 11.801 et de 760 à 1.755 tonnes respectivement pour le mil et le maïs (DNSI, 1999). La production du coton qui était de 269.407 tonnes en 1994/95, a atteint 522.899 tonnes en 1997/98. Ces niveaux de production font que le coton a contribué pour environ 45% aux recettes d'exportation du pays en 1995/96 (MEPI/PNUD, 1999). Selon Sissoko (1998), le bétail contribuait

à 25% aux recettes d'exportation contre 13% pour l'or et le diamant en 1990. Le nombre de têtes de bovins exporté est passé de 41.483 en 1993 à 129.064 en 1999; soit une augmentation de 211% (DNSI, 1999).

Ainsi, le coton et le bétail fournissent environ 70% des recettes d'exportation du Mali d'où la nécessité de créer les conditions favorables pour un bon développement du secteur primaire et une meilleure intégration de l'agriculture et de l'élevage. Cependant, force est de constater que le prix des intrants croît plus vite que celui des produits. De 1978 à 1987, le prix des intrants a globalement augmenté de 123% contre une augmentation de 90% pour le coton-graine (Kébé, 1989). La dévaluation du F CFA survenue en 1994 a doublé le prix des intrants. Les exportateurs peuvent vendre les produits agricoles au prix doublé; malheureusement, les paysans qui sont appelés à investir dans la fertilité de leurs parcelles n'ont pratiquement pas une telle possibilité.

### 2.2.2.2 *Eclatement des familles et migration*

L'intégration au marché, si dans les conditions favorables, elle améliore le niveau de vie des paysans; elle crée également des besoins nouveaux et fragilise le monde rural. On assiste à une différenciation de plus en plus marquée des exploitations, à l'éclatement de certaines grandes exploitations, conduisant ainsi au morcellement des terres, à l'exploitation des terres marginales et à des difficultés de gestion de l'espace collectif (Delville, 1996; Kanté & Defoer, 1994).

Pendant les 8-10 mois de la saison sèche, beaucoup de jeunes ruraux se dirigent sur les villes à la recherche de biens matériels et de connaissances. Les migrations au Sahel concernent 25-30% des hommes actifs (Delville, 1996) et même 70-80% (Scoones & Toulmin, 1993; Amoukou *et al.*, 1996). Cette forte variation constatée par les auteurs cités ci-dessus est fonction des réalités socio-économiques des localités concernées par leurs études. Les jeunes cherchent à obtenir des revenus hors du secteur agricole et ne sont donc plus disponibles pour les travaux traditionnels exigés par les vieux pour le maintien de la société rurale (van der Pol & Giraudy, 1993). Certaines familles connaissent des crises de main d'œuvre en saison sèche pour l'exécution des travaux d'aménagement de l'espace et de production de fumure organique. Or, "le processus de la 'reconstruction' de la fertilité passe nécessairement par un contrôle de l'érosion et un maintien du stock de matière organique" (Sedogo, 1993 cité par Niangado, 1998).

### 2.2.2.3 *Marquage des terres*

Dans les zones en voie de saturation, des stratégies d'appropriation foncière basées sur la constitution de réserves foncières poussent à défricher le plus que possible. Il n'est pas rare dans ces zones de voir les paysans planter quelques arbres ou des haies vives pour marquer leur passage et leur droit de possession sur les nouvelles défriches (Kater *et al.*, 1992; van der Pol & Giraudy, 1993; Delville, 1996). Il s'agit là des zones où la course à la terre est de règle. Les pratiques les plus extensives sont rencontrées dans ces zones. L'insécurité foncière liée à l'existence de textes législatifs (Code Domanial et Foncier et Code Forestier) modernes non adoptés aux réalités du milieu et leur cohabitation avec les droits coutumiers en voie de régression, ne favorisent pas souvent l'application et le suivi des procédures de ces codes pour une bonne gestion de la fertilité des sols.

### 2.2.2.4 Encadrement et formation des populations rurales

La faible participation des populations comme principaux acteurs dans les programmes de gestion de la fertilité des sols et l'insuffisance d'alphabétisés dans les exploitations agricoles sont des facteurs limitant le succès de ces programmes.

L'étude menée par Kieft *et al.* (1994) sur "vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali" a abouti à la proposition d'une façon d'envisager une politique de fertilisation durable en 3 étapes, basée sur les ressources disponibles au Mali. La nécessité d'utiliser les engrais minéraux a été soulignée, à condition qu'ils soient utilisés parallèlement avec d'autres mesures culturales comme la culture de légumineuses, la fumure organique et les travaux de lutte anti-érosive. Le Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sera très important en terme de durabilité à cause de sa teneur en CaO et d'allègement des importations d'engrais phosphatés.

Face à la dégradation progressive des ressources naturelles et de celle du capital sol en particulier, le Mali s'est engagé dans la voie de "l'Initiative Fertilité des Sols" et est entrain de mettre sur pied son plan national de gestion de la fertilité des sols.

Cadre 2.1 Plan national pour la gestion de la fertilité des sols.

La satisfaction des besoins alimentaires sans cesse croissant d'une population galopante et le soucis de sauvegarder, voire d'améliorer le potentiel productif sur le plan national, passent nécessairement par la prise de mesures politiques en matière d'investissement dans la fertilité des sols. Beaucoup de projets travaillent dans le cadre de l'amélioration de la gestion de la fertilité. Cependant, ces projets sont très souvent localisés et n'englobent pas tout le pays. Ces projets ont des durées assez limitées. Il n'existe également pas de programme national cohérent en la matière; ce qui nécessite l'élaboration d'un plan national pour la gestion de la productivité des terres (Kanté & Sanogo, 1997).

#### Gestion de la productivité des terres

La gestion de la productivité des terres sera basée essentiellement sur trois points:

- augmentation de l'apport d'engrais minéraux,
- accroissement de l'apport de matière organique,
- conservation des sols.

Deux options seront proposées:

- intensification agricole (engrais minéraux, engrais organiques, techniques améliorées),
- capitalisation de la fertilité des sols (amendement avec le PNT, les dolomites, la matière organique).

Eléments du plan: Il s'agit de:

- approches participatives,
- sensibilisation et adhésion des acteurs,
- analyse des contraintes et des indicateurs de solutions possibles,
- formulation d'une stratégie nationale,
- dispositions institutionnelles (responsables, tâches, niveaux),
- suivi et évaluation.

Etapes de formulation d'une stratégie nationale pour l'amélioration de la fertilité des sols

On distingue à ce niveau 4 phases:

- phase consultative (ateliers régionaux et un forum national)
- phase d'élaboration de la stratégie et des plans d'action,
- phase d'exécution des plans d'action
- phase de suivi.

Les acteurs du plan national sont les développeurs, les chercheurs, les producteurs, les intermédiaires (industriels, vendeurs d'engrais), les bailleurs et l'état.

Le Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) sera très important dans la stratégie. Une usine d'engrais sera créée à Markala.

Le Mali, bien que n'ayant pas encore un programme finalisé de gestion de la fertilité des terres, est engagé dans une voie démocratique, dans la mesure où les paysans et éleveurs s'organisent et font entendre leur voix; et dans la mesure où le plan national pour la gestion de la fertilité en cours d'élaboration prévoit la participation et la responsabilisation des différents partenaires aux différentes phases.

## 2.3 Mali-Sud

La région sud-est du Mali communément appelée Mali-Sud est délimitée par les frontières de la Guinée et de la Côte d'Ivoire au sud, du Burkina Faso à l'est et du fleuve Niger au nord. Elle couvre administrativement toute la région de Sikasso et partiellement celles de Koulikoro et Ségou (Figure 2.4). Le Mali-Sud s'étend sur une superficie de 122.000 km<sup>2</sup> (soit 10% du territoire national) et est peuplé de 2.500.000 habitants, soit 32% de la population totale du pays (Berthé *et al.*, 1991). Le taux d'accroissement moyen de la population était de 2% entre 1976 et 1991. Il était de 1,8% au nord et 2,9% au centre (Bosma *et al.*, 1996). En 1994, la densité de la population variait de 15 personnes/km<sup>2</sup> au sud (Bougouni) à 30-31 au centre (Fana, Koutiala) (Tableau 2.8).

### 2.3.1 Environnement physique

On distingue selon Berthé *et al.* (1991) 3 zones climatiques:

- une zone semi-aride (soudanien nord) avec 500-900 mm de pluie;
- une zone sub-humide (soudanien sud) avec en moyenne 900-1100 mm;
- une zone humide (guinéen nord) avec une pluviométrie >1100 mm.

Il existe une saison des pluies allant de mai/juillet-octobre/novembre et une saison sèche qui dure de décembre-mai (Bosma *et al.*, 1996). Les températures minimales et maximales en saison pluvieuse oscillent entre 26 et 34 °C. Le Mali-Sud, comme le reste du pays a connu également une descente des isohyètes de 150 à 200 mm (Figure 2.1), l'assèchement de certains marigots et le remblaiement de leur lit. La sécheresse a également favorisé la dégradation des terres, due à la surexploitation des pâturages en saison sèche.

Le relief est faible et l'altitude moyenne est comprise entre 280-400 m. Les sols sont en général d'origine colluvio-alluviale sur les sommets et les pentes et d'origine alluviale sur les terrains en basse position. Les sols sont gravillonnaires sur les sommets (plateaux) et les pentes (versants). Leur texture de surface est à dominance sableuse, sablo-limoneuse à limono-sableuse dans les zones de grès. Elle est à dominance limoneuse dans les zones de schiste et plus lourde dans les zones doléritiques (Kanté & Defoer, 1994; Kanté & Bengaly, 1997; Bitchibaly, 1996). La végétation varie de la savane arbustive à la zone forestière.

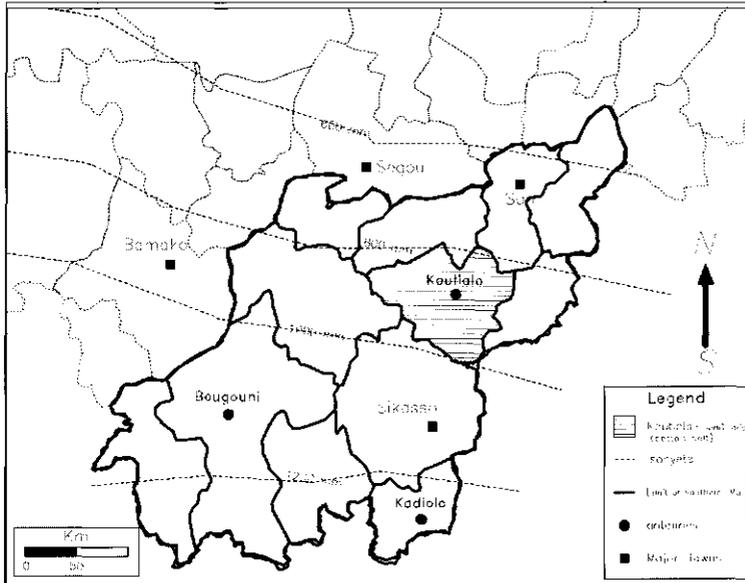


Figure 2.4 Le Mali-Sud.

Les principales contraintes sont:

- forte pression sur les terres dans la partie centrale engendrée par l'accroissement démographique et l'augmentation du cheptel. Le taux de croissance du cheptel ces dernières années (1990-1994) est ( $\geq 5\%$  pour les bovins et  $\geq 11\%$  pour les petits ruminants (Coulibaly & Kessler, 1991 cités par Brons *et al.*, 1994a; CMDT/DDRS, 1995).
- extension des champs (déboisement des terres de culture) et manque d'investissements importants dans la fertilité. Le taux de croissance des superficies cultivées oscille entre 3 et 10% par an. Les superficies cultivées ont triplé sinon quadruplé depuis l'indépendance obtenue en 1960 (Schrader & Wennik, 1996).
- régression des pâturages à cause de l'expansion constante et désordonnée des surfaces cultivées
- dépassement de la capacité de charge animale dans certaines localités du nord et du centre.

Il faut toutefois souligner que l'ampleur des contraintes mentionnées ci dessus diffère selon que l'on est au nord, au centre ou au sud du Mali-Sud (Tableau 2.8). Ainsi, le nombre d'hectares cultivables encore en réserve pour chaque hectare cultivé autrement appelé Potentiel Agro-démographique des Terres (PAT) est de 2,5 à 5 fois plus élevé au sud (Bougouni, Sikasso) qu'au nord (San) ou au Centre (Fana, Koutiala). Selon les normes de la FAO, le PAT pour les systèmes de production utilisant peu d'intrants dans les zones de savane doit être supérieur ou égal à 2 pour la pérennité de l'activité agricole (Schrader & Wennik, 1996). Au Mali-Sud, seulement les régions CMDT de Bougouni et Sikasso ont un PAT supérieur à 2 (Tableau 2.8). La production agricole dans les autres régions du Mali-Sud va dépendre du niveau d'intrants et des mesures de maintien et d'amélioration de la fertilité des sols.

### 2.3.2 Environnement socio-économique et institutionnel

#### 2.3.2.1 Evolutions sociales

Les ethnies dominantes du Mali-Sud sont les Bobo, les Minianka, les Senoufo, les Bambara et les Peul. Excepté les Peuls qui sont traditionnellement des éleveurs, ces populations sont en majorité des agriculteurs. Cependant on assiste actuellement comme le dit Pelissier (1977) cité par Landais *et al.* (1991) à un métissage technique entre agriculture et élevage. Les éleveurs se sédentarisent de plus en plus et les agriculteurs se font de plus en plus la main dans l'élevage grâce à la culture attelée et au réinvestissement de l'argent du coton dans le troupeau. A côté de ces changements il faut noter la migration des jeunes, l'éclatement des grandes exploitations et l'affaiblissement de l'autorité des vieux.

A partir des années 1980, les Associations Villageoises (AV) ont connu un développement rapide au Mali-Sud et fonctionnent essentiellement autour de la commercialisation du coton, de la fourniture des intrants agricoles et du crédit d'équipement. Une profonde crise de fonctionnement secoue présentement les AV qui sont passées d'une par village à plusieurs (Camara, 1996; Kébé & Sidibé, 1998).

#### 2.3.2.2 Evolutions économiques

Le Mali-Sud contribue pour 47,5% au PIB du pays et fournit par le coton et les animaux vivants, 78% des exportations du pays. Dans les années 1990, la contribution du Mali-Sud par rapport à la production nationale était de 37%, 63%, 13% et 100% respectivement pour les mil/sorgho, le maïs, l'arachide et le coton (Berthé *et al.*, 1991). La production du coton est passé de 50.032 tonnes à 247.000 tonnes entre 1973/74 et 1988/89; soit une augmentation de 394% en quinze ans (Kébé, 1989). Toutefois, depuis 1975, les rendements se sont stabilisés autour de 1100-1300 kg/ha. Le métissage agriculture/élevage a donné naissance à des systèmes de production mixtes (agropastoraux) en majorité. Toutefois 2 principaux systèmes de production peuvent selon Bosma *et al.* (1996) être distingués:

- système basé sur le mil/sorgho/arachide dans la zone semi-aride;
- système basé sur les céréales/coton-élevage au centre et au sud.

Selon Pradere (1990) cité par Landais *et al.* (1991), le développement de l'élevage dans les régions de Ségou et Sikasso a positivement influencé le taux de couverture des besoins alimentaires des populations. Ce taux, en année normale est de 130 et 140%, respectivement à Ségou et à Sikasso.

#### 2.3.2.3 Institutions

##### *Directions régionales*

Au niveau administratif, 3 directions régionales assurent l'encadrement du monde rural. Il s'agit de la Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural (DRAMR), la Direction Régionale de l'Aménagement et de l'Équipement Rural (DRAER) et la Direction Régionale de la

Réglementation et du Contrôle (DRRC). Ces directions assurent la centralisation, le traitement et la diffusion des données statistiques sur le secteur agricole.

La DRAMR est chargée d'appuyer les activités agricoles auprès des paysans et paysannes, des groupements professionnels du secteur rural et des collectivités décentralisées par: le conseil et la vulgarisation agricole, la formation, l'information, la promotion des filières agricoles, l'organisation et l'animation du monde rural. Cette direction assure aussi la prévention des fléaux, la protection des végétaux et des animaux, le suivi-évaluation des actions de développement et le renforcement de la liaison entre recherche et vulgarisation.

La DRAER est chargée de l'évaluation des potentiels des ressources, de l'élaboration de plans directeurs d'aménagement du terroir ayant des caractères nationaux, de l'élaboration des normes d'aménagement et d'équipement rural. Elle s'occupe de l'étude, du suivi et de la coordination des projets et programmes d'investissement dans le domaine de l'équipement rural, de l'aménagement et la gestion des ressources naturelles.

La DRRC, en rapport avec les services et organismes professionnels compétents, s'occupe de l'élaboration de la législation et de la réglementation relatives aux activités du secteur du développement rural, l'organisation, l'évaluation et la coordination du contrôle de l'application de la législation et de la réglementation. Elle est chargée de la formation, de l'éducation des opérateurs et organisations professionnelles du secteur du développement rural en matière de législation et de réglementation. Elle élabore les normes de qualité des produits et intrants agricoles et assure leur contrôle.

#### *CMDT*

La Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) créée en 1974 est la principale structure d'encadrement du Mali-Sud. Elle s'occupe du développement de l'ensemble de la production agricole dans le cadre d'une rotation équilibrée où le coton représente économiquement la culture motrice, l'intégration de l'agriculture et de l'élevage, l'organisation du monde rural et la mise en valeur rationnelle des ressources naturelles (Berthé *et al.*, 1991). Elle assure la vulgarisation agricole, l'alphabétisation, l'approvisionnement en intrants, la collecte, l'égrenage et la commercialisation de la totalité de la production cotonnière de sa zone, l'amélioration de l'élevage et le désenclavement de sa zone d'intervention. Ainsi, elle encadrait 4.279 villages du Mali-Sud en 1993 (Schradler & Wennik, 1996). Elle travaille étroitement avec les AV dont les équipes techniques remplacent peu à peu l'encadrement de base. Le Mali-Sud est divisé par la CMDT en 5 régions (Tableau 2.8).

Face à la forte pression et à la menace de dégradation des terres dans les régions nord et centre de sa zone d'intervention, la CMDT, de concert avec les paysans a sollicité l'aide de la Coopération Néerlandaise afin de protéger l'environnement. Le Projet Lutte Anti-Erosive (PLAE) créé dans ce cadre fut après 10 ans d'activité remplacé en 1992 par la Division de Défense et de Restauration des Sols (DDRS). Cette nouvelle structure est chargée de la poursuite des actions entamées par le PLAE et s'occupe des aspects de conservation et d'amélioration du potentiel productif.

Tableau 2.8 Caractéristiques des régions CMDT et du Mali-Sud.

Paramètres	Régions CMDT					Mali-Sud
	Bougouni	Fana	Koutiala	San	Sikasso	
Nombre de villages encadrés (1993)	982	855	698	857	887	4279
Nombre d'habitants (1994)	542.637	430.897	550.133	345.459	498.367	2.367.493
Nombre moyen d'habitants/village (1993)	545	490	766	396	552	542
Nombre d'exploitations encadrées (1993)	21.543	25.246	35.227	29.105	23.496	134.617
Nombre moyen d'exploitations/village	22	30	50	34	26	31
Population moyenne/exploitation (1993)	21	13	15	10	12	14
Croissance démographique (1976-1991)	1,3	2,8	2,9	1,8	1,8	2,1
Densité de la population (hab/km <sup>2</sup> ) 1994	15	31	30	28	21	25
Superficies cultivables/habitant 1994 (ha)	4,72	1,42	1,89	1,55	2,66	2,06
*Superficies cultivables en % du total	39	44	56	44	53	46
Superficies cultivées/habitant 1994 (ha)	0,47	0,62	0,79	0,79	0,54	0,63
PAT en 1994	4,7	1,29	1,47	0,96	3,65	2,3
*Total Bovins (têtes) en 1994	345.141	577.371	738.997	274.010	296.310	2.231.829
*Petits ruminants (têtes) en 1994	272.714	374.544	415.321	371.498	234.679	1.668.756

PAT-Potentiel agro-démographique des terres = nombre d'hectares cultivables encore en réserve pour chaque ha cultivé; Source: Schrader & Wennik (1996); \*Source: CMDT/DDRS (1995).

Dans le cadre de la gestion des ressources naturelles, un zonage a été réalisé. Cette étude a permis de différencier 7 zones homogènes au Mali-Sud. Il s'agit des espaces à fortes contraintes du nord (zone A), du bassin cotonnier (zone B), de l'aurole d'extension du bassin cotonnier (zone C), des espaces hétérogènes de Sikasso (zone D), de la frange de mise en valeur du sud (zone E), des zones vides du sud (zone F) et de la zone d'influence du réservoir de Sélingué (zone G). La zone F a été récemment (après 1995) subdivisée en F et G (Figure 2.5). La zone A est caractérisée par des disponibilités en terre médiocres, la dégradation avancée des ressources naturelles et une forte pression agro-pastorale. La zone B se caractérise par l'importance de la production cotonnière. En effet, cette zone assure selon les campagnes 50 à 70% de la production nationale. Elle concentre l'ensemble des problèmes: forte densité humaine (45-80 habitants/km<sup>2</sup>), quasi-totalité de bonnes terres cultivées en permanence depuis 30 à 50 ans, exploitation des terres marginales suite à l'explosion démographique et à l'éclatement des grandes familles, forte pression sur les pâturages et les ressources ligneuses. Dans la zone C, les terres cultivables, les pâturages et les forêts sont encore disponibles. La zone D, constituée par les espaces hétérogènes de Sikasso se caractérise par des espaces de fortes concentrations d'habitants, juxtaposés avec des espaces relativement vides. La zone de mise en valeur du sud (zone E) est une zone de transition entre les espaces du nord fortement impliqués dans la production cotonnière et les espaces sous exploités du sud. Dans cette zone, les réserves de terre de culture sont encore disponibles. La zone F, jadis contaminée par l'onchocercose et encore sous l'influence de la trypanosomiase animale, abrite de belles réserves forestières et d'abondantes réserves en terre. La zone G est fortement influencée par la présence du barrage hydroélectrique de Sélingué. La zone est confrontée présentement au problème de manque de terres de culture et des pâturages.

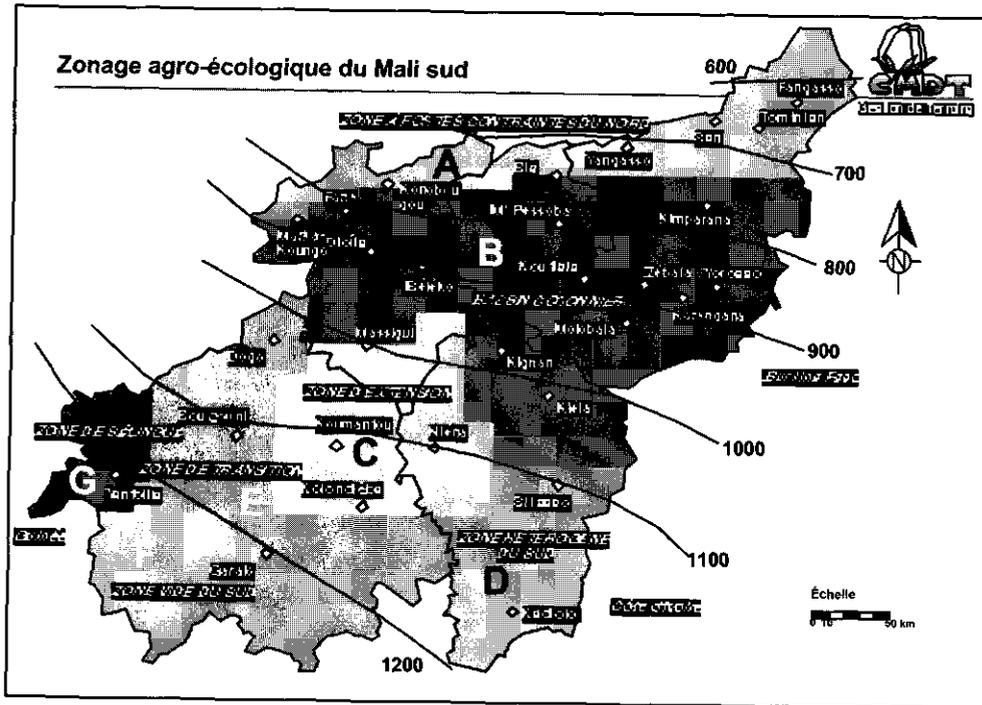


Figure 2.5 Zonage agro-écologique du Mali-Sud (CMDT, 2000).

### Structures de crédit

La CMDT et la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA) constituent les principales structures de crédit. D'autres structures bancaires paysannes comme le Yiriwa so, le Kafo jiginew existent également dans la zone.

### CRRA

La recherche est assurée par les différents Centres Régionaux de la Recherche Agronomique (CRRA) de l'Institut d'Economie Rural (IER). Les principaux CRRA intervenant au Mali-Sud sont ceux de Niono et Sikasso. Ce dernier est chargé de la recherche cotonnière au Mali-Sud. Le centre de Sikasso comprend 5 programmes de recherche. Il s'agit des programmes coton, riz de bas fond, ressources forestières, fruits et légumes, céréales sèches et Système de Production et Gestion des Ressources Naturelles (SPGRN). Le programme coton du CRRA de Sikasso mène depuis 1979 (voire 1965 dans certains cas) des études sur l'évolution de la matière organique dans les essais de longue durée (essai fumure organo-minérale, essai entretien organique des sols, essai évolution de la matière organique). Des essais alternatives de fertilisation avec différentes options (intensive, intermédiaire, extensive, avec ou sans PNT) ont été conduits chez les paysans. Le programme SPGRN (ex Division de Recherche sur les Systèmes de Production Rurale), qui a pour rôle de

mener des diagnostics sur les contraintes socio-économiques des producteurs et de chercher les solutions appropriées permettant de les lever, a également mené des tests sur le fumier (5 et 10 t/ha), les associations céréales légumineuses fourragères, l'essai correction pH, *etc.* Les résultats de l'Equipe sur les Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) relatifs aux parcs améliorés, aux techniques de lutte anti-érosive sont actuellement vulgarisés par la CMDT. En 1993, l'ESPGRN a fait une pré-étude sur la gestion de la fertilité dans 4 villages du Mali-Sud. C'est suite à ce diagnostic que la mise au point d'une approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols fut initiée en fin 1993.

## 2.4 Technologies disponibles et taux d'adoption

Ici un accent sera surtout mis sur les technologies vulgarisées au Mali-Sud et leur taux d'adoption. Les données sur les taux d'adoption sont issues d'enquêtes menées auprès des paysans par l'organisme de développement ou par la recherche. Les taux d'adoption fournis par le suivi-évaluation de la CMDT prennent en compte la typologie des exploitations. En effet, dans le conseil de gestion vulgarisé par la CMDT, les exploitations en fonction de leurs éléments structurels ont été regroupées en types: A, B, C et D; dont:

- A: exploitation agricole bien équipée pour la culture attelée, avec un troupeau de plus de 10 bovins;
- B: exploitation disposant au moins d'une unité d'attelage, avec un troupeau de moins de 10 bovins;
- C: exploitation ne disposant pas d'un attelage complet, mais sachant le conduire;
- D: exploitation en culture manuelle.

La région CMDT de Koutiala et une bonne partie de celle de Sikasso, où l'étude est menée sont dominées par les types A et B.

Un principe fondamental de durabilité des productions agricoles est de retourner au sol les nutriments enlevés par les récoltes, le ruissellement, l'érosion, le lessivage, la dénitrification, la volatilisation et autres pertes ou prélèvements. Cependant, pour anéantir l'épuisement des réserves nutritives des sols, il ne suffit pas d'augmenter les doses de fumures organo-minérales. Il faut une gestion intégrée de la fertilité des sols en améliorant tous les aspects des systèmes de culture (Stoorvogel *et al.*, 1993). Une gestion équilibrée des éléments nutritifs (EN) est une manipulation judicieuse des stocks et flux qui favorisent l'apport, l'amélioration du recyclage des EN et la réduction des exportations non utiles comme le lessivage et l'érosion (Smaling, 2000) (Figure 2.6). Tous les aspects évoqués ci dessus ont fait l'objet d'essais et de tests par la recherche. Les technologies mises à la disposition des paysans du Mali-Sud par la recherche et la vulgarisation (CMDT) sont nombreuses et variées. Ces technologies de gestion des éléments nutritifs au niveau exploitation visent essentiellement 3 buts qui sont mentionnés en Figure 2.6.

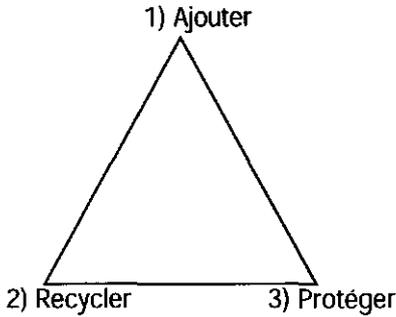


Figure 2.6 Objectifs des technologies disponibles.

Selon Smaling *et al.* (1996), les apports (IN), le recyclage (FL: FI sur la Figure 2.7) et les exportations (OUT) au niveau de l'exploitation sont mentionnés en Figure 2.7.

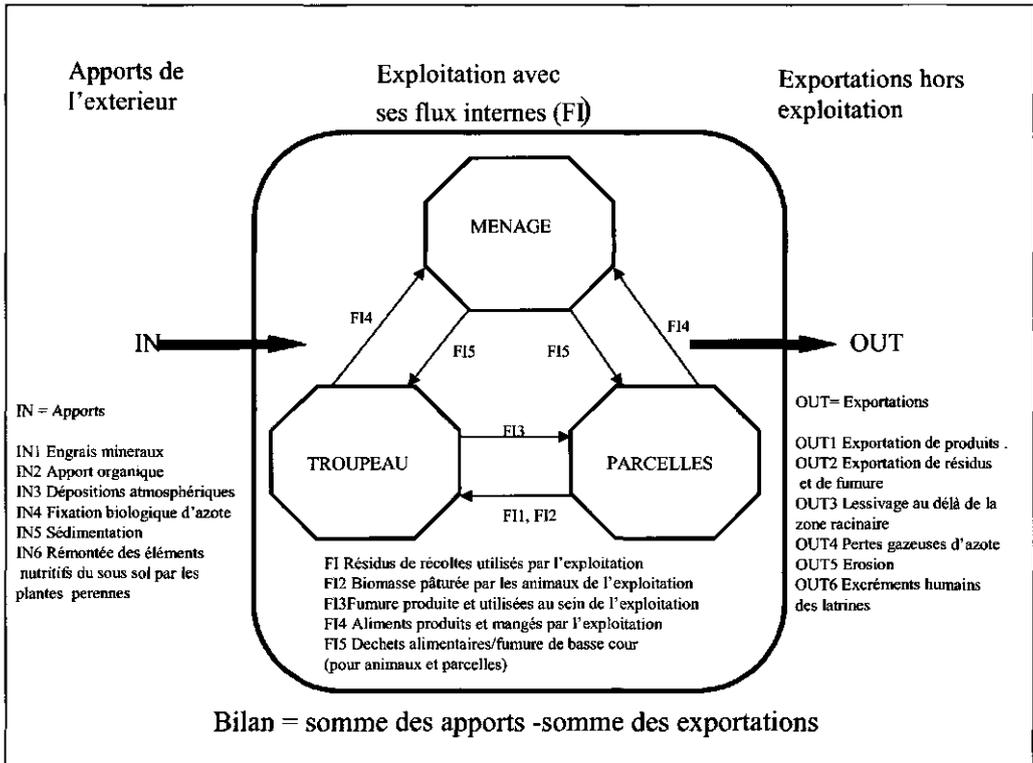


Figure 2.7 Eléments du bilan de l'exploitation (Source: adaptée de Hilhorst *et al.*, 2000).

Ces différents flux peuvent être regroupés selon Bationo *et al.* (1996), en technologies de:

- 1) Protection des sols et conservation des eaux;
- 2) Amélioration du système d'utilisation des terres;
- 3) Apport de fumures organiques;
- 4) Apport de fumures minérales (engrais importés);
- 5) Amendements minéraux;
- 6) Gestion intégrée des éléments nutritifs.

#### 2.4.1 Protection des sols et conservation des eaux

Selon Jansen & Diarra (1990), cités par Hijkoop *et al.* (1991), les superficies fortement dégradées sont passées entre 1952 et 1987 de 16 à 43% et de 18 à 94% respectivement pour les terroirs de Fombougou (Sikasso) et Kaniko (Koutiala). Les pluies torrentielles causent d'énormes dégâts sur les terres sableuses et sablo-limoneuses de ces zones. Les pertes de sol par érosion dans ces zones varient de 2-17 t/ha/an (Vlot & Traoré, 1995) et de 0,02-22 t/ha/an (Bah, 1992), respectivement dans les zones de Koutiala et Sikasso. Il s'agit là des pertes obtenues à partir de petites parcelles de ruissellement. Cependant, face à de telles pertes, la protection des sols et la conservation de l'eau s'avèrent nécessaires sur les unités de la toposéquence situées en position de pente. Les technologies disponibles en préparation, protection des sols et conservation des eaux sont multiples. Parmi elles on peut citer:

##### *Billonnage cloisonné*

Il consiste à faire des levées de terre à différents intervalles dans l'interligne des billons ou des buttes (Gakou *et al.*, 1996). Il permet la conservation de l'eau dans des bassins de micro-captage et de réduire les pertes par érosion (OUT5) (Perrier, 1987). Ainsi selon Souaré, (1987) cité par Hijkoop *et al.* (1991), le cloisonnement des sillons peut augmenter l'infiltration de 10 à 20 mm d'eau par pluie. Le cloisonnement a permis une augmentation du rendement coton (années déficitaire ou normale) de 6,3% (Poel & Kaya, 1988 cités par Hijkoop *et al.*, 1991). Cependant le cloisonnement sur les sols lourds peut provoquer un effet négatif sur les rendements. Les meilleurs effets sur les rendements du sorgho ont été obtenus avec des micro bassins ayant 0,5 m<sup>2</sup> de dimensions contre 1 m<sup>2</sup> pour le mil (Perrier, 1987).

##### *Grattage à sec*

Il consiste à effectuer des raies sur le champ non labouré grâce au multicultureur équipé de dents rigides ou de pics fouilleurs. Il permet de casser la croûte formée à la surface du sol, d'ameublir le sol et de favoriser la pénétration des premières pluies (CMDT-IER/DRSPR, 1990). Une augmentation de 36% du rendement du coton a été obtenue grâce au grattage à sec en année sèche (Hijkoop *et al.*, 1991). Un multicultureur semeur conçu par l'ESPGRN et la CMDT/ADP a terminé la phase de test et doit être multiplié et diffusé. Toutefois son coût élevé peut être un frein à son adoption.

### **Buttage**

Le buttage consiste à rassembler la terre au pied des plantes. Il favorise l'enracinement des plantes (une meilleure utilisation des eaux de pluie), augmente leur résistance à la verse et permet l'enfouissement des mauvaises herbes et des engrais. Il permet de réduire les pertes OUT3 et OUT5.

Les principales contraintes d'adoption du billonnage cloisonné et du grattage à sec résident dans la non disponibilité du matériel, augmentation de l'enherbement et les effets non immédiats sur la réduction de l'érosion.

### **Zay**

Le zay ou trou de plantation ou poche d'eau est une technique traditionnelle pratiquée sur le plateau Dogon (Mali) et qui est bien adapté à la zone soudano-sahélienne (Gakou *et al.*, 1996; Wedum *et al.*, 1996). Traditionnellement, les poches d'eau (towalen en bambara) sont des trous de 20 cm de diamètre et 10 cm de profondeur creusés à la houe. Il est traditionnellement utilisé dans la province du Yatenga (Burkina Faso) et même au Niger où il est connu sous le nom tassa. Il s'agit des trous enrichis en fumier ou compost qui servent à collecter les eaux de pluie sous forme de poches d'eau. Selon Sidibé (1994), cité par Gakou *et al.* (1996), le nombre de paysans de la zone de Tominian ayant adopté la technique a été multiplié par 14 à partir de 1993. En effet, le zay est assez efficace dans la récupération des terres dégradées. Il favorise IN2, FL3, FL5 et réduit OUT5. La technique ne pose pas assez de contrainte, exceptée l'asphyxie ou les brûlures (trous plus fumure organique) des plantes qu'elle entraîne respectivement dans les zones assez humide ou sèche.

### **Demi-lunes**

Les demi-lunes sont des demi-cercles creusés perpendiculairement à la pente et entourés en aval de levées de terre dites lunettes, également en demi-cercles, prolongées par des ailes en pierre ou en terre. Les demi-lunes permettent de collecter les eaux de surface, de stabiliser les sols sur les pentes fortes et de récupérer les sols dégradés (réduction OUT5). Les principales contraintes des demi-lunes selon Sidibé (1994) cité par Gakou *et al.* (1996) sont:

- difficulté de mécaniser les travaux agricoles;
- besoin important d'entretien;
- possibilité de semer seulement 20% de la parcelle;
- rentabilité économique non évidente (coût égale 3 fois celui des cordons pierreux et 2 fois celui du zay).

### **Labour sur courbe de niveau**

La technique consiste à faire des diguettes (ados) sur courbes de niveau. La distance entre les courbes est déterminée par 80 cm de dénivelée si la pente est notable et conduit à une largeur de bande inférieure à 50 m. Elle est de 50 m de largeur si la pente est faible. La bande entre les diguettes est par la suite labourée parallèlement aux diguettes. Cette technique permet de réduire le ruissellement (OUT5) et de favoriser l'infiltration des eaux de pluie. Il a été constaté chez un

paysan de Konobougou (région CMDT de Fana) une amélioration du rendement du cotonnier qui est passé de 600 kg/ha en 1993, à 850 en 1994 et 1000 en 1995 (Gigou & Traoré, 1995). La technique est en cours de vulgarisation. La principale contrainte est la cassure fréquente des ados, les premières années avant leur stabilisation par la végétation.

### *Lignes en cailloux*

Les lignes en cailloux autrement appelés cordons pierreux, bande de cailloux, diguettes en pierres, sont en général utilisées sur les parties amont de la toposéquence où les blocs de cuirasses et cailloux sont abondants. Ils sont disposés sur courbe de niveau. Les lignes en cailloux ont en 3 ans d'utilisation permis un couvrement d'environ 100% des parcelles dénudées (Gakou *et al.*, 1996). Elles permettent une réduction des pertes par érosion (OUT5).

### *Paillage*

La couverture du sol par les pailles (paillage ou mulch de paille) permet de réduire la force de frappe des eaux de pluie sur le sol (OUT5) et le protège contre l'action des rayons solaires. Ainsi le paillage permet de réduire à la fois le ruissellement et l'évaporation de l'eau tout en favorisant le recyclage (FL1). Toutefois, les quantités de paille nécessaires à une bonne protection du sol sont assez élevées et atteignent 8 t/ha (Gakou *et al.*, 1996). Cependant, 1 à 1,5 t/ha de paille peut réduire le transport éolien des particules du sol de 42 à 63% (Sterk & Stroosnijder, 1998).

### *Fascines en débris végétaux*

Elles sont constituées de débris végétaux (branches d'arbres, résidus de récolte), alignés en amont des champs ou sur les zones préférentielles de passage d'eau au niveau du champ. Comme le paillage, les fascines réduisent OUT5 et favorisent la restitution des résidus (FL1). Les fascines conviennent bien aux zones déficitaires en cailloux. Toutefois, elles nécessitent un entretien annuel, car le matériel est non seulement attaqué par les termites, mais se décompose en partie au fil des ans.

Les paysans utilisent aussi, des diguettes et des exutoires pour protéger leurs champs.

Par rapport à l'adoption des techniques, il ressort que malgré la multitude de techniques permettant à la fois la préparation du sol et la conservation des eaux de pluie, le labour reste la technique la plus utilisée. Cependant les exploitations de type D ne disposant pas d'attelage font plus de grattage sans labour (Tableau 2.9).

Dans la région CMDT de Koutiala, 93% des parcelles de coton étaient labourées directement, contre 1% pour le billonnage direct et 1% pour le grattage non suivi de labour. En 1998/99, 71% des parcelles suivies (413) du Mali-Sud étaient labourées directement, contre 3; 6 et 9% respectivement pour le grattage suivi de labour, grattage non suivi de labour le billonnage direct (CMDT, Suivi Evaluation, 1999).

Tableau 2.9 Adoption des techniques de préparation de sol (en % du nombre de parcelles de coton recensées) au Mali-Sud.

Mesures d'aménagement	Type d'exploitation			
	A *(142)	B *(249)	C *(43)	D *(14)
Grattage + labour	1	2	16	14
Grattage sans labour	6	8	7	64
Billonnage direct	5	9	9	8
Labour direct	84	80	53	-
Confection de buttes	2	0	7	-
Sarclage mécanique	84	80	59	-

\*Les chiffres entre parenthèses: Nombre de parcelles;

Source: Suivi Evaluation CMDT, enquêtes agricole 1994/1995, cité par Gakou *et al.* (1996).

#### 2.4.2 Amélioration du système d'utilisation des terres

Il est souvent difficile de séparer les techniques d'amélioration du système d'utilisation des terres de celles de la protection et de la conservation des sols et eaux.

##### *Haies vives*

Plusieurs espèces d'arbustes ont été utilisées pour délimiter ou protéger les champs. Parmi elles, on peut noter l'*Euphorbia balsamifera*, *Jatropha curcas* (pourghère), *Citrus limon* (citron), *Cajanus cajan* (pois d'angole), *Leucaena leucocephala*, *Agave sisalana* (sisal), *Ziziphus mauritania*. Ainsi, si certaines espèces comme *Euphorbia balsamifera* ont une utilité limitée à la seule protection du sol, d'autres comme *Cajanus cajan*, en plus de leur influence positive sur le sol sont bien appréciées par les animaux. Cependant, ce dernier est fortement attaqué par les termites (Hijkoop *et al.*, 1991). Les haies vives, en fonction des espèces améliorent les apports IN4 et IN6 et réduisent OUT3 et OUT5.

##### *Bandes enherbées*

L'insertion de bandes d'herbes dans les champs permet de réduire le ruissellement et de favoriser l'infiltration des eaux de pluie. Les paysans par expérience ont proposé des bandes larges de 3 m (au lieu de 5) et distantes de 50 m. Ceci permet d'augmenter la surface exploitée sous culture de 6%. Les espèces comme *Vigna unguiculata* (niébé), *Digitaria exilis* (fonio), *Brachiaria ruziziensis*, *Stylosanthes hamata*, *Andropogon gayanus* ont été testées (Gakou *et al.*, 1996; Hijkoop *et al.*, 1991). L'association *Brachiaria ruziziensis* et *Stylosanthes hamata* est conseillée par le service de vulgarisation, car elle est plus viable dans le temps que chacune des espèces prises séparément. Il faut toutefois souligner qu'*Andropogon gayanus*, bien que difficile à installer, demeure longtemps et résiste mieux à l'action des feux et des animaux. Dans les nouvelles zones de défrichement, la bande peut être constituée de végétation naturelle, donnant ainsi lieu à un défrichement amélioré. Cependant, la technique n'est pas encore maîtrisée par les paysans et le changement de coutume ne se fait pas rapidement. Les bandes enherbées, comme les haies vives, peuvent en fonction des espèces améliorer les apports IN4 et réduire l'érosion (OUT5).

### *Soles fourragères et jachères améliorées*

La prise en compte d'une sole de légumineuse dans la rotation où d'une jachère améliorée en légumineuse permet de réduire la durée de la jachère et d'assurer une meilleure intégration agriculture-élevage. La protection de la sole et la production de semences restent les principales contraintes. Selon Bosma *et al.* (1999), le bilan de la matière organique peut être positif avec un assolement incluant environ 17% de jachère améliorée, accompagné d'un recyclage efficace des résidus de culture. En plus des herbacés, comme *Stylosanthes hamata*, certaines espèces arbustives comme *Acacia auriculiformis* sont utilisées pour l'amélioration des jachères. Selon l'étude menée à Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) par Louppe *et al.* (1998), on note un enrichissement en azote de l'ordre de 400 kg/ha sous *Acacia auriculiformis* par rapport à l'*Eucalyptus camaldulensis*, et de 150 kg/ha par rapport à *Gmelina arborea*. Selon Ouattara (1989), cité par Louppe *et al.* (1998), l'*Acacia auriculiformis* à Korhogo nodule déjà très bien dans les pépinières avec les souches locales de *Rhizobium* et 96% des nodules sont efficaces.

L'association *Gliricidia sepium* - *Stylosanthes hamata* en test actuellement donne déjà de bons résultats. Les quantités de carbone et d'azote sont respectivement de 970 et 60 kg/ha pour l'association contre 430 et 30 kg/ha pour le *Gliricidia sepium* seul (Yossi *et al.*, 2000). L'effet résiduel de *Stylosanthes hamata* sur la production du sorgho durant les 3 années qui suivent la sole fourragère est estimé à 450, 200 et 50 kg/ha (Hoefsloot *et al.*, 1993). En plus de l'effet positif sur la fertilité du sol, la qualité du fourrage produit est améliorée. Les soles fourragères et jachères améliorées, en fonction des espèces améliorent les apports IN4 et IN6 et réduisent OUT3 et OUT5.

### *Associations céréales - légumineuses*

Dans le souci de protéger (OUT5), voire d'améliorer la fertilité des sols (IN4) et l'alimentation des animaux (FL1), plusieurs associations céréales-légumineuses ont été testées au Mali-Sud. Ainsi, en fonction des zones, les associations sorgho - niébé, mil - niébé, maïs - niébé, sorgho - arachide et maïs - dolique peuvent être rencontrées dans les champs paysans. Les associations sorgho - pois d'Angole, mil - pois d'Angole, ont également été testées. En milieu paysan, la densité du niébé est très faible dans les associations qui l'intègrent. La production de semence et la mécanisation des semis (disques pour les légumineuses) constituent les principales contraintes des associations maïs - dolique (ESPGRN, 1994a) et céréale - pois d'Angole (ESPGRN, 1994b). Dans les associations de céréales - légumineuses, Charpentier *et al.* (1991) proposent des céréales à port érigé, à cycle court avec des légumineuses à port rampant et à cycle long. Dans une telle association, avec un décalage d'environ 30 jours entre les semis, la compétition entre les deux cultures est minimisée, la production de matière sèche est maximisée, la fixation d'azote, la couverture du sol, la lutte contre les adventices et la vie biologique (faune et flore du sol) sont améliorées.

Pour faciliter l'adoption des techniques de Lutte Anti-Erosive (LAE), la CMDT a introduit la notion de villages LAE, autrement dit de villages ayant une équipe technique formée en matière de LAE. Le taux d'adoption des techniques de LAE est en général inférieur à 50%. En 1994, la technique de LAE la plus adoptée était les haies vives qu'on trouvait chez 35% des exploitations des villages LAE (CMDT/DDRS, 1995). Cette technique a été jadis utilisée par 67% des exploitations des villages LAE contre 35% dans les villages non LAE (CMDT/DDRS, 1995). Du Tableau 2.10, il ressort que 28% des exploitations appliquent des techniques de LAE. Aussi plus de 40% des exploitations bien équipés (type A) font de la lutte anti-érosive contre 10% des

exploitations manuelles (Type D). Indépendamment du type d'exploitation, les haies vives dominent les autres techniques de LAE. Elles sont suivies par les lignes en cailloux. Les bandes enherbées sont les moins pratiquées. Il faut souligner que les techniques traditionnelles vulgarisées ont en général un taux d'adoption plus élevé que celles vulgarisées, mais non traditionnelles. Ainsi, selon van der Poel & Kaya (1989) cités par Hijkoop *et al.* (1991), les diguettes traditionnelles et les haies vives d'Euphorbia étaient adoptées respectivement à 41 et 52% contre 0% pour les cordons pierreux et lignes en tiges. Cela s'expliquait par le fait que les paysans n'avaient pas encore l'habitude de faire le piquetage sur courbe de niveau. Selon les mêmes auteurs, les principales contraintes d'adoption des techniques de LAE sont: le manque de main d'oeuvre, de temps, la lourdeur du travail et la méconnaissance des techniques (Tableau 2.11). A ces contraintes s'ajoutent le manque de charrette, d'attelage et de semences pour les bandes enherbées. Entre 1995 et 1999, la réalisation des lignes en cailloux est passée de 5000 à plus de 7000 km, contre 12500 à 20000 km pour les haies vives (CMDT, 2000).

Tableau 2.10 Adoption des techniques de Lutte Anti-Erosive par type d'exploitation (moyenne de la zone).

Mesures d'aménagement	Type d'exploitation				Global
	A	B	C	D	
<i>Application LAE en %</i>	43	27	25	10	28
<i>Adoption de techniques (% par rapport au total des exploitations)</i>					
Lignes en cailloux	12	8	10	1	8
Haies vives	30	14	8	5	16
Bandes enherbées	2	2	1	0	1
Autres	5	4	5	4	4
<i>Adoption de techniques (% par rapport aux exploitations qui font de la LAE)</i>					
Lignes en cailloux	29	28	38	13	29
Haies vives	71	54	32	47	57
Bandes enherbées	4	6	5	3	5
Autres	11	15	17	7	16

Source: CMDT, Suivi Evaluation (1999)

Tableau 2.11 Principales contraintes d'adoption des mesures de Lutte Anti-Erosive indiquées par les paysans (en % de réponses)

Contraintes	Lignes en cailloux	Fascine en tiges	Haie vive	Bande enherbée
Manque de main d'oeuvre	18	60	21	14
Manque de temps	15	10	21	5
Manque de matériels	13	10	-	19
Manque de semences	-	-	9	24
Travail lourd	8	-	-	-
Méconnaissance de la technique	20	20	19	33
Autres	28	-	30	5
Nombre réponses	40	10	53	21

Source: Van der Poel et Kaya (1989) cités par Hijkoop *et al.* (1991).

### 2.4.3 Apports organiques (IN2 et FL1-5)

#### *Parc amélioré*

Il s'agit d'un enclos fixe, destiné au parcage des animaux, où on apporte des tiges, de la paille ou toute autre matière végétale sous forme de litière en vue de produire du fumier (Bosma & Jager, 1992). Les pailles de maïs utilisées comme litière peuvent efficacement absorber l'ammoniaque de façon à réduire les pertes jusqu'à 85% et 50% respectivement dans les bouses de vache et dans le mélange bouse-urine (Nzuma & Murwira, 2000). La recherche en vue d'améliorer le statut organique des sols, s'est penchée sur les techniques de production du fumier. Ainsi à Cinzana, en incorporant 24 kg/animal/mois de litière, il a été possible de produire en 6 mois, 1600 kg/animal de fumier à 42% d'humidité et avec un C/N égale à 26. Le fumier à C/N élevé provoque une faim azotée des plantes dans les sols pauvres en cet élément d'où toute l'importance d'avoir un fumier à C/N bas. Pour améliorer la fertilité des sols, diverses formes et sources de fumure organique sont utilisées. Ces fumures sont de compositions variables (Tableau 2.12). Ainsi l'analyse de 281 échantillons de fumure organique, tous types confondus pris au Mali-Sud a donné les valeurs moyennes figurant dans le Tableau 2.12. Une tonne d'un tel produit ne fournit au total que 9,7 kg d'azote, 1,7 kg de phosphore et 12,8 kg de potassium (N'Tarla, 1987).

Tableau 2.12 Composition chimique de la fumure organique (tous types confondus)

Analyse	Valeur moyenne et écart type	Coefficient de variation (%)
Matière organique	38 ± 22	58
% N	0,97 ± 0,53	55
% P	0,17 ± 0,07	45
% K	1,28 ± 0,9	70

Source: adaptée de N'Tarla (1987).

Certains parcs améliorés sont accompagnés d'une *fosse fumièr*e où la décomposition du fumier se poursuit après le nettoyage du parc. A côté des parcs améliorés, beaucoup d'exploitations continuent à produire de la poudrette à partir des *parcs traditionnels* où la litière n'est pas utilisée. En plus du fumier, la recherche a beaucoup travaillé sur la production de compost à partir des compostières. Le DRSPR-Sikasso a produit une fiche technique sur le *compostage*. Les paysans, à côté du fumier et du compost produisent d'importantes quantités d'*ordures* ménagères soit à l'air libre ou en les compostant (*Chapitres 3 et 4*).

Globalement, 67% des exploitations de la zone CMDT produisent de la matière organique de différentes origines (parc amélioré, parc traditionnel, fosse fumièr, compostière, étable fumièr, etc.). La technique la plus utilisée est la compostière (28% des exploitations), suivi du parc traditionnel (26%), des autres techniques (15%), de la fosse fumièr (11%), du parc amélioré (9%) et enfin de l'étable fumièr (6%) (Giraudy & Samaké, 1995). Le nombre de compostières est passé de 15 000 en 1995 à environ 40000 en 1999 (CMDT, 2000). Cependant, un peu plus du tiers des parcelles de coton (38%) reçoit de la Fumure Organique (FO). Les exploitations les mieux équipées (types A et B) produisent plus de FO que les moins équipées et possédant moins d'animaux (types C et D). Ainsi, 54, 34, 19 et 22% des parcelles ont reçu de la FO respectivement

au niveau des types A, B, C et D (CMDT, Suivi Evaluation, 1999). Les fumures organiques et minérales sont utilisées par 90% des exploitations contre 7% qui utilisent uniquement les engrais minéraux et 2% qui utilisent seulement la FO (Giraudy & Samaké, 1995).

### *Enfouissement des résidus de récolte*

La mise en jachère des terres de culture pendant plus de 10 ans permettait de remonter la fertilité des sols. Dans certaines localités du Mali-Sud et plus précisément dans le vieux bassin cotonnier, les terres sont exploitées de façon quasi permanente. Or, en 10 ans d'exploitation sans restitution des résidus de récolte des terres pauvres du Mali-Sud, on assiste à une perte de 24-46% de la réserve initiale de matière organique du sol (Tableau 2.13). Cette perte n'est pas compensée par l'apport de 15t/ha/3 ans d'un fumier dont la composition moyenne est donnée dans le Tableau 2.12. Les taux de matière organique, malgré l'amélioration constatée grâce à l'incorporation des résidus entre 1978-80 et 1987-89 (11 ans) restent inférieur au taux de départ de 1970. Cependant, du Tableau 2.13, il ressort que l'enfouissement des résidus est une technique efficace. Les résidus de récolte à faible C/N représentent une source majeure d'éléments nutritifs pour les plantes. Ils peuvent servir de moyens efficaces de maintien de la matière organique du sol, s'ils retournent sur les parcelles où ils ont été produits (Stangel, 1993). Ils doivent avoir dans ce cas un C/N élevé.

Tableau 2.13 Evolution du taux de matière organique dans l'horizon 0-40 cm avec ou sans restitution des résidus de récolte.

Traitement	Sans restitution			Avec restitution des résidus		
	1970	1980	Evolution de 70 à 80 (%)	1978-80	1984-86	Evolution de 78 à 86(%)
Témoin	0,65	0,35	-46	0,34	0,36	+6
Fumier (15 t/3 ans)	0,71	0,52	-27	0,44	0,51	+16
*Engrais	0,65	0,36	-45	0,40	0,41	+3
Engrais +fumier	0,71	0,54	-24	0,52	0,57	+10

Source: IER/N<sup>o</sup>Tarla (1990), \* 20N+68P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+24S en 1965 et 90N+68P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+120K<sub>2</sub>O+24S+2.2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 1976-1979 apporté en tête de rotation coton - sorgho - arachide.

Malheureusement, moins de 10% des résidus sont enfouis dans la zone de Koutiala (Camara, 1996). Michels *et al.* (1993) cités par Bationo *et al.* (1993) ont constaté une réduction du transport horizontal des sables de 59% avec l'application de 2 t/ha de résidus de récolte. La principale contrainte à l'enfouissement est le manque de moyen de broyage mécanique. A l'ICRISAT une telle quantité de résidus a permis de réduire le pic de la température de surface du sol (à 1 m de profondeur) de 48,5 à 39,3 °C; ce qui permet aux jeunes plantes de supporter "l'ensablement" (Buerkert non publié cité par Bationo *et al.*, 1993). Cependant, pour une meilleure utilisation des matières organiques, la prise en compte de leur qualité: %N, C/N, (lignine et poly-phénol)/N s'avère nécessaire. L'arbre à décision pour la gestion de la matière organique, selon TSBF (2000) est présenté dans la Figure 2.8.

Il faut toutefois noter que les résidus aussi bien que le fumier ne peuvent pas corriger les déficiences d'éléments nutritifs du milieu de leur provenance. Pour corriger un tel déficit, il faut

des éléments nutritifs en provenance de l'extérieur. En terme de bibliographie, un accent particulier est mis sur les résidus dans le Chapitre 3.

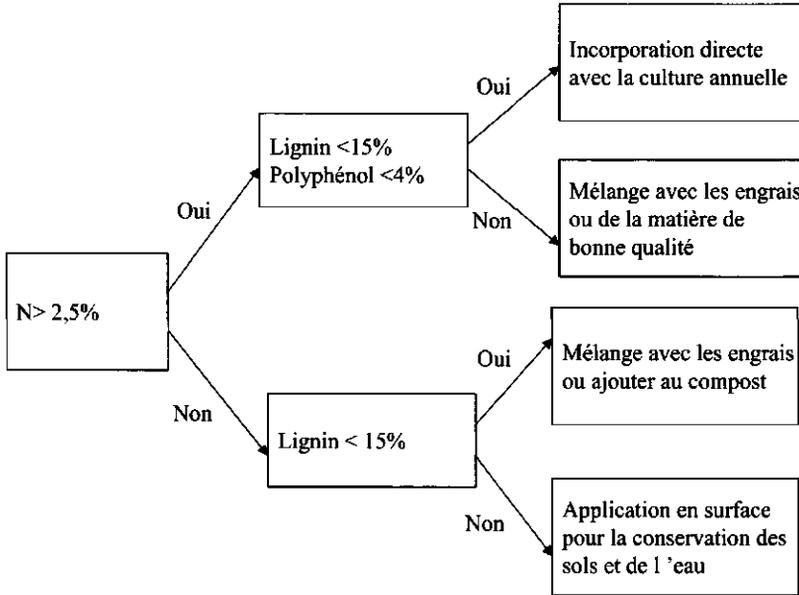


Figure 2.8 Arbre à décision pour la gestion de la matière organique (Source: TSBF, 2000).

#### 2.4.4 Apports d'engrais minéraux (IN1)

Dès les années 1960, les recherches en matière de fertilisation minérale ont été orientées sur: la composition optimale de la fumure, les doses et dates d'apport. Dans un premier temps les efforts ont été centrés sur le diagnostic des déficiences minérales. En absence de fertilisation, une perte de 25 et 60% du potentiel de production a été constatée respectivement en première et dixième année. La recherche de la composition optimale de la fumure a évolué au fil des ans (Tableau 2.14). La formule de 1974 est jusqu'à présent recommandée sur coton. D'autres formules développées pour le coton ont vu le jour entre 1974 et 1998. Il s'agit des formules suivantes:

1976: 14 -22 -12 -7S -1B (200 kg/ha) + 50 kg/ha d'urée, formule classique pour les zones où la pluviométrie annuelle est  $\geq 900$  mm.

1996: 22 -13 -12 -5S - 0,7B (200 kg/ha en dose unique) pour les zones à faible pluie (<750 mm) qui pratiquent des semis tardifs.

1998: 14-18-18-6S-1B (200 kg/ha) + 50 kg/ha d'urée, formule pour les sols carencés en potassium où la pluviométrie annuelle est  $>750$  et  $<$  à 900 mm.

1998: 14-22-12-6S-1B-5MgO (200 kg/ha) + 50 kg/ha d'urée (formule moins acidifiante).

Les principaux engrais minéraux importés et recommandés présentement par la recherche pour les cultures au Mali sont mentionnés dans le Tableau 2.15.

Tableau 2.14 Evolution des formules d'engrais sur coton

Année	Formule	Engrais
1962	10 N - 36 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 12 S	75 kg/ha de triple superphosphate + 50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
1966	21 N - 72 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 24 S	150 kg/ha de triple superphosphate + 100 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
1969	21 N - 48 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 12 S	100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque + 50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque
1972	51 N - 48 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 12 S	100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque + 50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque + 50 kg/ha d'urée
1974	51 N - 46 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 28 K <sub>2</sub> O - 8 S - 2 B	200 kg/ha du complexe (14-23-14-8-2) + 50 kg/ha d'urée

Source: Gakou *et al.* (1996).

Tableau 2.15 Engrais minéraux importés et recommandés actuellement sur les cultures au Mali-Sud.

Culture	Formule
Coton	200 kg/ha de 14 - 22 - 12 - 7S - 1B + 50 kg/ha d'urée
	200 kg/ha de 22 - 13 - 12 - 5S - 0,7B pour les zones à faible pluie en dose unique
	200 kg/ha de 14-22-12-6S-1B-5MgO + 50 kg/ha d'urée (formule moins acidifiante)
Mil et sorgho	200 kg/ha de 14-18-18-6S-1B + 50 kg/ha d'urée (formule riche en potassium)
Maïs	100 kg/ha de complexe céréales (15 - 15 - 15) + 50 kg/ha d'urée
Riz pluvial	100 kg/ha de complexe céréales (15 - 15 - 15) + 150 kg/ha d'urée
Riz irrigué	100 kg/ha de complexe céréales (15 - 15 - 15) + 100 kg/ha d'urée
	100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque + 150 kg/ha d'urée (variété à paille haute)
	100 kg/ha de phosphate d'ammoniaque + 250 kg/ha d'urée (variété à paille courte)

Source: Gakou *et al.* (1996).

Le coton est la culture la plus fertilisée. L'application de l'urée et du complexe coton est faite respectivement par 94 et 98% des paysans de la zone CMDT. Les céréales sont moins fertilisées bien que le pourcentage de parcelles fertilisées dans les régions CMDT de Koutiala et Sikasso soit légèrement plus élevé que la moyenne de la zone (Tableau 2.16).

Tableau 2.16 Utilisation d'engrais minéraux sur maïs, sorgho et mil (% de parcelles).

% de parcelles fertilisées	Urée			Complexe coton			Complexe céréale		
	Kla	Sko	CMDT	Kla	Sko	CMDT	Kla	Sko	CMDT
Maïs	72	79	64	15	4	18	55	69	52
Sorgho	11	29	8	1	-	2	12	-	7
Mil	17	32	10	-	3	2	9	19	13

Kla: Région CMDT de Koutiala, Sko: Région CMDT de Sikasso, CMDT: zone CMDT;

Source: CMDT, Suivi Evaluation (1999),

Les doses vulgarisées sur coton par la CMDT sont de 150 kg/ha de complexe coton (NPKSB: 14-22-12-7-1) et de 50 kg/ha d'urée. Par rapport aux doses vulgarisées, les paysans utilisent moins de complexe coton (126 kg/ha) et légèrement plus d'urée (52 kg/ha) (CMDT, Suivi-Evaluation, 1999).

### 2.4.5 Amendements minéraux (IN1)

Il s'agit surtout des minéraux issus des phosphates naturels et des dolomites. Dans le cadre de l'amélioration du pH, des essais et tests ont été effectués avec le Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) et la chaux aux doses respectives de 1t/ha et 300 kg/ha. Le rendement du coton-graine a augmenté de 1-2% et 9-15% par rapport au témoin respectivement pour la chaux et le PNT (IER/SRCVO, 1990 cité par Gakou *et al.*, 1996). Le Phosphate Naturel de Tilemsi (PNT) contient 28% de  $P_2O_5$  et 42% de CaO. L'efficacité agronomique du PNT n'est plus à démontré et elle est évaluée à 80% par rapport à un phosphate soluble. L'efficacité des phosphates naturels ne dépend pas seulement des propriétés chimiques et minéralogiques de la roche, mais aussi des propriétés du sol et des plantes cultivées. En Gambie, l'efficacité du PNT était de 74% et 92% par rapport au superphosphate simple respectivement sur maïs et sur arachide (Bationo *et al.* 1987). Les essais de granulation du PNT avec de l'eau, la mélasse, le plâtre et l'urée ont donné des résultats techniques satisfaisants en terme de grosseur des granules, mais les rendements étaient inférieurs à ceux du PNT non-granulé et le coût était prohibitif sur le plan financier (LUXCONSULT S.A., 1985 cité par Gakou *et al.*, 1996). Selon ces derniers, les phosphates partiellement solubilisés (avec des mélanges d'acide ou en présence de sels ammoniacaux) et granulés ont un indice d'efficacité agronomique égale à 94-98% par rapport au superphosphate. Selon Truong & Fayard (1993), cités par Gakou *et al.* (1996), le problème actuel du PNT est beaucoup plus économique et industriel qu'agronomique. Le PNT est utilisé dans la production de compost et dans les expérimentations d'engrais complexes (en y ajoutant les compléments azotés, potassiques et autres éléments nutritifs) (Tableau 2.17).

Tableau 2.17 Doses de Phosphate Naturel de Tilemsi et compléments.

Dose	Culture/rotation	Formule (quantités en kg/ha)	Période
De fond	2-3 ans	300 PNT	au labour
	4-5 ans	500 PNT	au labour
Annuelle	Coton	200 PNT + 40 $K_2SO_4$ + 45 urée + 3 boracine + 50 urée	au labour à la levée à 40 jours du semis
		Mais	100 PNT + 25 $K_2SO_4$ + 30 urée + 150 urée

Source: Gakou *et al.* (1996).

Selon Samacké *et al.* (1993), cités par Gakou *et al.* (1996), le PNT est utilisé par 15% des paysans et n'a jamais été appliqué par 51%. Le PNT a été utilisé et abandonné par 34% des paysans. Les principales contraintes à la production et/ou à l'utilisation des différentes fumures sont mentionnées dans le Tableau 2.18.

Tableau 2.18 Principales contraintes à la production et/ou à l'utilisation des fumures.

Fumure organique	Fumure minérale importée	PNT
- Surplus de travail (manipulation, transport épandage)	- Faible apport (coût élevé)	- Difficultés d'application: aspect poudreux
- Insuffisance des moyens de transport	- Pluviométrie (apports tardifs)	- Effet faible en 1ère année
- Présence partielle du bétail dans le parc (manque d'aliment)	- Substitution partielle/complémentarité FO et FM	- Méconnaissance des méthodes et conditions d'application du PNT par la vulgarisation
- Non disponibilité des actifs	- Méconnaissance du rôle sur la plante des différents éléments de la fumure	- Manque d'approche participative
- Manque d'actifs (exode)		
- Distance champ - lieu de production		
- Manque de soins de santé des ânes		
- Mauvaise organisation interne		

#### 2.4.6 Gestion intégrée de la fertilité

Dans le souci de mieux cibler les technologies disponibles, la recherche a également développé des approches méthodologiques permettant de prendre en compte les différentes catégories d'exploitations. Ainsi, le conseil de gestion de l'exploitation permet aux différents types d'exploitation d'analyser leur situation globale et d'apporter des améliorations à leur gestion.

##### 2.4.6.1 Approche Outil Gestion du Troupeau (OGT)

Elle met l'accent sur le système d'élevage, les objectifs de production des paysans (traction, fumier, lait, viande) en relation avec le système de culture (culture fourragère, gestion des résidus de récolte).

##### 2.4.6.2 Approche Amélioration de la Gestion de la Fertilité des Sols (AAGFS)

L'approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols tient compte des flux d'éléments nutritifs (apports et exportations d'éléments), des mesures d'amélioration de leur efficacité et des mesures de lutte anti-érosive.

## 2.5 Conclusions

La forte variabilité de la pluviométrie et le risque quasi permanent face à la sécheresse, l'extrême aridité pendant la saison sèche et la pauvreté chimique des sols constituent les principales contraintes du milieu physique.

Le fort taux de croissance démographique inhibe les efforts d'amélioration de la situation alimentaire, renforce la pression sur les terres à travers l'extension des surfaces cultivées (voire sur les terres marginales) et la "course à la terre" au détriment des zones de pâturage. Le départ massif des bras valide en exode ne favorise pas non plus les activités de recyclages des résidus et de gestion de la fumure organique pendant la saison sèche. On assiste ainsi à une inadéquation entre

l'évolution des superficies cultivées et les quantités produites de fumure organique. Contrairement aux cultures de rente qui reçoivent les engrais minéraux, les mil et sorgho ne sont pratiquement pas fumés.

L'expansion de l'élevage au sud avec des taux de croissance  $\geq 5\%$  pour les bovins et  $\geq 11\%$  pour les petits ruminants (Coulibaly & Kessler, 1991, cités par Brons *et al.*, 1994a) a renforcé la pression sur les terres, provoquant un dépassement de la capacité de charge animale dans certaines localités du nord et du centre du Mali-Sud.

Sur le plan institutionnel, le faible niveau d'intégration des structures paysannes dans la prise de décision, l'insuffisance d'alphabétisés dans les exploitations agricoles, l'insécurité foncière, l'inadaptation du système de crédit aux conditions locales, la faible performance du réseau d'approvisionnement en intrants, la faiblesse des systèmes de collecte, de transformation, de transport et d'écoulement des produits, l'inefficacité des systèmes de vulgarisation, les difficultés que connaît la recherche dans la génération et le transfert de paquets technologiques adoptables sur le plan écologique, socio-économique et culturel sont autant de facteurs qui limitent le succès des programmes de gestion de la fertilité.

Face à ces multiples contraintes, il faut noter la prise de conscience par les états soudano-sahéliens et par les populations locales de la nécessité de gérer les ressources naturelles qui sont diverses et qui se raréfient. Les plans nationaux de gestion de la fertilité des terres, élaborés ou en cours d'élaboration dans la plupart de ces pays prévoient la participation et la responsabilisation des différents partenaires aux différentes phases. Les paysans et éleveurs s'organisent et font de plus en plus entendre leur voix tant au niveau des organisations socio-professionnelles décentralisées qu'au niveau des institutions comme les chambres d'agriculture, les plates formes paysannes et même auprès du ministère chargé du monde rural. La recherche et la vulgarisation disposent également de nombreuses options techniques de restauration et d'amélioration de la fertilité des terres.

En plus de ces atouts d'ordre général, le Mali-Sud à cause du coton reçoit d'importantes quantités d'engrais minéraux. Il dispose d'un important cheptel pour la production de fumier et la valorisation des sous produits agricoles et agro-industriels. Il bénéficie d'une bonne couverture de la zone par la CMDT, de l'existence de banques et systèmes financiers décentralisés comme les caisses et banques paysannes et du service d'ONGs (Organisations Non Gouvernementales) intervenant dans la gestion de la fertilité des sols. En guise de la protection du potentiel productif, la CMDT a même créé la Division de Défense et Restauration des Sols (DDRS) qui s'occupe de la formation et de la sensibilisation des paysans en matière de lutte anti-érosive, de fertilité et fertilisation des terres. Elle travaille étroitement avec les équipes techniques qu'elle a formées au niveau des Associations Villageoises. Les rencontres périodiques institutionnalisées entre la recherche agricole (IER, IPR) et les structures de développement [CMDT, l'OHVN (Office de la Haute Vallée du Niger), ONG, OP (Organisations Paysannes)] favorisent la prise en compte des préoccupations des utilisateurs dans le montage de projets et le transfert de technologies.

### 3 Présentation des villages d'étude

#### 3.1 Introduction

*"Lorsque la pression démographique augmente, les sociétés agraires inventent des solutions techniques adaptées" (Boserup, 1990, cité par Benoit-Cattin, 1991).*

L'étude a lieu dans les villages de M'Peresso et de Noyaradougou localisés respectivement dans la région CMDT de Koutiala et de Sikasso. Le premier est situé à environ 20 km au sud de Koutiala, tandis que le second se trouve à environ 28 km au nord-nord-ouest de Sikasso. Les caractéristiques des deux villages se trouvent dans le Tableau 3.1. Les populations des deux villages sont principalement des agriculteurs. Cependant, le développement de la culture attelée et la capitalisation de l'argent du coton dans le bétail, a permis à ces agriculteurs de se constituer un noyau d'élevage et de se transformer progressivement en agro-pasteurs. A M'Peresso, l'ethnie dominante est Minianka et constituée principalement par les familles Coulibaly et Dembelé. A M'Peresso, on rencontre également des Peuls qui se sont sédentarisés et des Dogons. Noyaradougou est un village Senoufo, constitué par les familles Diamouténé, Coulibaly et Koné. Ces deux villages sont dans des environnements démographiques distincts du point de vue croissance démographique et densité de la population (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 Situation géographique et population des villages d'étude.

Caractéristique	M'Peresso	Noyaradougou
Coordonnées géographiques*	12°17'141"N; 5°20'561"O	11°29'023"N; 5°49'943"O
Altitude (m)*	1297	1531
Zone climatique	Semi-aride	Sub-humide
Région CMDT	Koutiala	Sikasso
Ethnie dominante	Minianka	Senoufo
Famille fondatrice	Coulibaly	Diamouténé
Nombre d'habitants présents	977	557
Nombre d'habitants en exode	114	453
Nombre d'exploitations	64	29
PAT en 1994**	1,47 (région CMDT Koutiala)	3,65 (région CMDT Sikasso)
Capacité de charge (UBT/ha)***	0,14 (région CMDT Koutiala)	0,14 (région CMDT Sikasso)
Charge en 1994 (UBT/ha)***	0,36 (région CMDT Koutiala)	0,12 (région CMDT Sikasso)

\* Il s'agit des coordonnées du Marché I de M'Peresso et du hangar en tôle (lieu de réunion) de Noyaradougou;

\*\* PAT - Potentiel agro-démographique des terres = nombre d'hectares cultivables encore en réserve pour chaque ha cultivé; Source: Schrader & Wennik (1996);

\*\*\* Source: CMDT/DDRS (1995), UBT: Unité de Bétail Tropical (bovin ayant un poids standard de 250 kg).

Les deux villages se trouvent dans des environnements différents du point de vue pression sur les terres. M'Peresso est dans un environnement saturé où se combinent des densités humaines et animales relativement élevées (zone B de la Figure 2.5). Les possibilités d'extension des surfaces sont très limitées, les zones de pâturage et les jachères se font de plus en plus rares. La capacité de charge est dépassée à M'Peresso (région CMDT Koutiala), tandis qu'elle n'était pas encore atteinte

à Noyaradougou (région CMDT Sikasso) (Tableau 3.1). Toutefois, M'Peresso, qui est l'un des plus vieux villages de cet environnement saturé, dispose également des réserves modestes de terre par rapport aux villages voisins. Noyaradougou est dans un environnement relativement moins saturé, où des zones de pâture (jachères) sont souvent rencontrées (Zone D de la Figure 2.5). Ainsi, le nombre d'hectares cultivables encore en réserve pour chaque hectare cultivé (PAT) dans l'environnement de Noyaradougou est 2,5 fois supérieur à celui de M'Peresso. L'exode est assez marqué à Noyaradougou et concerne pratiquement la moitié de la population (Tableau 3.1). Ceci, comme on le verra plus tard, joue négativement sur les activités de gestion des résidus, de la fumure, du troupeau, bref de l'exploitation. Ce chapitre a pour objectif de mieux cerner les réalités des villages d'étude, tant du point de vue sol, système de culture que système d'élevage. Il doit permettre d'identifier les stratégies de gestion des terres, de la fumure et des résidus de récolte en fonction du niveau de pression sur les ressources.

## 3.2 Méthodologie

Les données bibliographiques disponibles sur les zones et villages d'étude ont été exploitées et complétées par des enquêtes informelles. En plus de ces enquêtes, la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) a été utilisée pour vérifier la pertinence des critères de classification et gestion paysanne des terres.

### 3.2.1 Données bibliographiques

#### *Superficies équivalentes*

Dans les villages d'étude, 2-16% des parcelles sont en culture mixte. La méthode de calcul des superficies équivalentes de la FAO (FAO, 1982) a été utilisée (Annexe 3.1). Dans le souci de cerner la superficie de chaque culture dans l'association, les données issues de 96 parcelles dont 60 de Traoré & Martiné (1987), et 36 du SEP (1996, 1997 et 1998) et de Kébé *et al.* (1998a, 1998b), ont été analysées pour déterminer les superficies équivalentes des cultures associées (Tableau 3.2). Les associations mil/niébé, maïs/niébé, maïs/mil/sorgho étaient très peu représentées.

#### *Rapport tige<sup>1</sup>/graines*

Les données de 173 parcelles issues des travaux de l'ESPGRN de 1990 à 1992 et du document de Traoré & Martiné (1987) ont été combinées et analysées (Tableau 3.3). Les moyennes issues de l'analyse ont été utilisées pour déterminer les quantités de résidus des différentes cultures. Elles se trouvent dans la limite des variations citées dans Bosma *et al.* (1996), Allard *et al.*, 1983), et Savadogo (2000) (Tableau 3.3). Ces variations sont liées aux variétés et aux conditions de cultures (fertilité, fertilisation des parcelles, *etc.*)

---

<sup>1</sup> Dans le document, les termes tiges, pailles et résidus sont utilisés pour désigner la même chose.

Tableau 3.2 Superficies équivalentes (SE) des cultures associées sur 1 ha d'association.

Zone	Association	Nombre de parcelles	Culture	Variation SE sur 1 ha	SE sur 1 ha	Std Dev
* Sikasso	Maïs/mil	60	Maïs	0,21-0,93	0,6	0,17
			Mil	0,07-0,78	0,4	0,17
♪♪ Koutiala et Bougouni	Maïs/sorgho	20	Maïs	0,15-1	0,6	0,27
			Sorgho	0-0,85	0,4	0,27
	Sorgho/niébé	12	Sorgho	0,75-1	0,9	0,08
			Niébé	0-0,25	0,1	0,08
	Mil/niébé	2	Mil	0,89-1	0,9	0,08
			Niébé	0-0,11	0,1	0,08
	Maïs/niébé	1	Maïs	0,7	0,7	-
			Niébé	0,3	0,3	-
Maïs/mil/sorgho	1	Maïs	0,4	0,4	-	
		Mil	0,4	0,4	-	
			Sorgho	0,2	0,2	-

\* Source: Traoré *et al.* (1987); \*\* Source: SEP (1996, 1997, 1998). Les données obtenus par Bosma *et al.* (1995) ont été utilisées pour calculer les superficies équivalentes du maïs et de la dolique dans l'association maïs/dolique.

Tableau 3.3 Rapport tige/grain dans les zones de Fonsebougu et Koutiala.

Cultures	Nombre de cas	Variation	Moyenne	Std Dev	Autres sources bibliographiques		
					Bosma <i>et al.</i> , 1996	Savado, 2000	Allard <i>et al.</i> , 1983
Maïs	38	1 - 3,2	1,6	0,46	-	2	1,6 -2,4
Sorgho	39	1,3 - 7,1	3,8	1,40	2,6 - 12	3	2,9 - 3,5
Mil	8	4,1 - 6,1	5,1	0,86	1,6 - 7	3	3,5 -5,5
Coton	60	0,6 - 1,6	0,9	0,19	-	1,2*	-
Arachide**	14	0,7 - 1,8	1,2	0,36	-	1,5	-
Niébé**	14	0,4 - 13,2	4,7	4,50	-	1,5	-

Sources modifiées: DRSPR (1990, 1991, 1992), Traoré & Martiné (1987), \*Guyotte cité par Dugué (1999).

\*\* Les données sur l'arachide concernent les moyennes des zones de Tomonian, Cinzana, Koporo, Kita et Sotuba, tandis que celles du niébé sont les moyennes des zones de Tomonian, Cinzana, Koporo. A Kadiolo, les résultats du test lutte contre le striga donnent une moyenne de 1,6 comme rapport fane/graine du niébé en 1998/99.

Les données bibliographiques relatives à la population des zones concernées (croissance démographique, densité population), roches mères, le système d'élevage ont été utilisées.

### 3.2.2 Enquêtes semi-structurées

#### *Enquêtes semi-structurées classiques sur les types de terre*

Des enquêtes semi-structurées ont été menées auprès des paysans Minianka (Koutiala) et Senoufo (Sikasso) pour déterminer les paramètres relatifs aux noms vernaculaires, critères de classification et potentialités/contraintes des terres. Les enquêtes se sont déroulées en deux phases:

- 1) Des discussions individuelles à l'aide d'un guide d'entretien ont eu lieu dans les champs avec 55 paysans, dont 23 à Koutiala, 32 à Sikasso. Les exploitations suivies par le projet SEP (Suivi-Evaluation-Permanent) et celles suivies dans le cadre du projet gestion de la fertilité sur plusieurs années ont été prioritairement choisies.
- 2) Différentes toposéquences (unités morphopédologiques) se trouvant dans différentes exploitations voire différents terroirs villageois ont été visitées avec un groupe de paysans d'un village donné. Pendant ces visites collectives la parole a été donnée d'abord aux jeunes et les conclusions ont été tirées par les vieux, et cela à chaque arrêt. La visite collective par village a permis d'éclaircir certains points du guide d'entretien sur lesquels les avis des paysans étaient partagés. Les paysans non suivis par le SEP, mais intéressés par l'étude ont également pris part à la visite collective.

### ***Enquêtes semi-structurées à l'aide d'outils participatifs***

#### *Diagnostic participatif sur les types de terre*

Dans le souci de vérifier la pertinence des premiers résultats obtenus en milieu Minianka et de cerner la diversité des noms au sein d'un même groupe ethnique, un diagnostic participatif rapide a eu lieu en deuxième année dans un village situé à environ 50 km du premier.

#### *Utilisation des données des cartes d'exploitation*

Les données collectées à l'aide des cartes d'exploitation, élaborées dans le cadre de la mise au point d'une approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols ont été exploitées. Il s'agit des données relatives aux superficies des différentes cultures, à la production et à l'utilisation de la fumure organique par exploitation, aux rendements des cultures. Les données ont été collectées auprès de 40 exploitations en raison de 20 par village sur une période de 3 et 4 ans respectivement à M'Peresso et Noyaradougou. Les données de 1239 parcelles dont 613 à M'Peresso et 626 à Noyaradougou ont été considérées.

### **3.2.3 Mesures**

Ici, les mesures ont porté sur le poids moyen des unités locales telle que celui d'une charretée de fumure organique ou de graines de différentes cultures en fonction des villages (Annexe 3.2).

### **3.2.4 Prise d'échantillons et analyses de sol**

#### ***3.2.4.1 Type de terre***

Des échantillons de sols ont été pris aux profondeurs 0-20 et 20-40 cm sur les principaux types de terre des villages d'études. A M'Peresso, la prise d'échantillon a été faite selon l'occupation des terres par le coton (échantillons pris dans le cadre de l'étude Identification des Facteurs de Blocage de l'Intensification du Coton, IFBIC). A Noyaradougou, il fallait avoir 4-5 répétitions par type de terre (Tableau 3.4).

Tableau 3.4 Nombre d'échantillons par type de terre et par village

Type de terre	Milieu Minianka Milieu Senoufo	Tawogo Moura type	Guechien Titien	Kankoungo Kankoungo	Niangtion Guaguaga	Nianga Nianga
Echantillons	M'Peresso	11	22	3	-	1
	Noyaradougou	5	5	4	2	4

### 3.2.4.2 Fertilisation des terres

En vue de comparer la fertilité des parcelles devant recevoir la fumure organique (Figure 3.1; P1) et celles situées tout autour sur un rayon de 25 m (P2), 10 échantillons composés ont été pris aux profondeurs 0 – 20 cm en raison de 5 par traitement (P1 et P2) et 6 à 20 – 40 cm en raison de 3 par traitement. Les points noirs sur la Figure 3.1 représentent les points de sondages distants de 10 m. L'échantillon composé est constitué de 10 points de sondage. Le premier sondage dans le P1 a eu lieu à 10 – 20 m de ses extrémités.

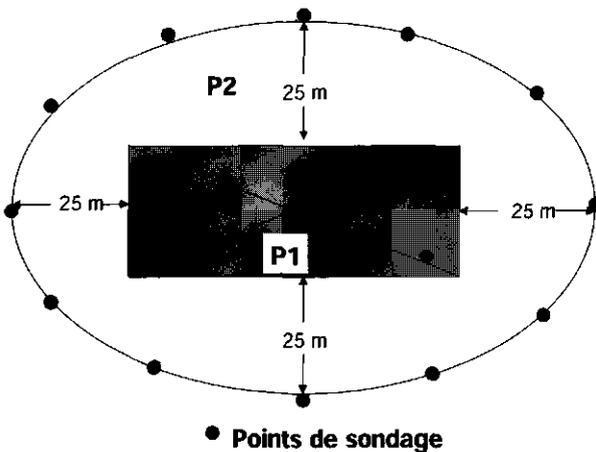


Figure 3.1 Schéma de prise d'échantillon de sol.

### 3.2.4.3 Analyses de sol

Les résultats d'analyse de sol de l'étude IFBIC ont été exploités pour caractériser les terres de la zone de Koutiala. Afin d'avoir des informations similaires dans la zone de Sikasso, des échantillons de sol ont été pris sur les principaux types de terre de la zone aux profondeurs 0-20 et 20-40 cm. Les analyses de sol ont été effectuées par le laboratoire de sol de Sotuba. Ainsi, le pH est déterminé à l'aide de la méthode potentiométrique dans une suspension de terre en utilisant l'eau distillée ou le KCl. La méthode Anne modifiée est utilisée pour déterminer le carbone organique (Keita & Van der Pol, 1986). Le carbone est oxydé par un mélange de dichromate de

potassium ( $K_2CrO_7$ ) et d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ). Le pourcentage de matière organique dans le sol est calculé sur la base du taux de carbone dans la matière organique. L'azote totale est déterminé par la minéralisation du sol par l'acide sulfurique porté à ébullition en présence d'un catalyseur. L'ammonium issu de la transformation de l'azote de la matière organique est déterminé à l'aide de l'autoanalyseur. Le phosphore assimilable est extrait du sol selon la méthode Bray II par une solution d'acide chlorhydrique (HCl) et de fluorure d'ammonium ( $NH_4F$ ). La Capacité d'Echange Cationique (CEC) et les bases échangeables sont déterminées en utilisant l'acétate d'ammonium. Ainsi l'autoanalyseur est utilisé pour déterminer l'ammonium. Du percolat, le potassium et le sodium échangeables sont déterminés à l'aide d'un spectromètre à flamme, tandis que l'absorption atomique est utilisée dans le cas du calcium et du magnésium. Pour l'analyse granulométrique, une solution dispersante de pyrophosphate de sodium ( $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ ) est utilisée pour séparer les particules les unes des autres. Les groupes de diamètre supérieur à 0,05 mm sont séparés à l'aide de tamis de mailles différentes. Les particules à diamètres  $<0,05$  mm, sont séparées sur la base de la différence de temps de dépôt dans l'eau. Le logiciel SPSS a été utilisé pour les analyses statistiques.

### 3.3 Milieu physique

#### 3.3.1 Climat et relief

Les villages de M'Peresso et Noyaradougou sont situés respectivement dans les zones semi-aride (nord soudanien) et sub-humide (sud soudanien). La durée de la saison pluvieuse est de 5 et 6 mois respectivement pour les zones semi-aride et sub-humide (Bosma *et al.*, 1996). La moyenne pluviométrique des 7 dernières années (1994-2000) est de 968 mm pour M'Peresso et 1043 mm pour Noyaradougou. Durant la campagne 2000/2001, M'Peresso a reçu moins de 650 mm (Figure 3.2). Cette figure dénote encore de la grande variabilité pluviométrique de la zone. Les températures moyennes varient entre 22 (minimum) et 35 °C (maximum).

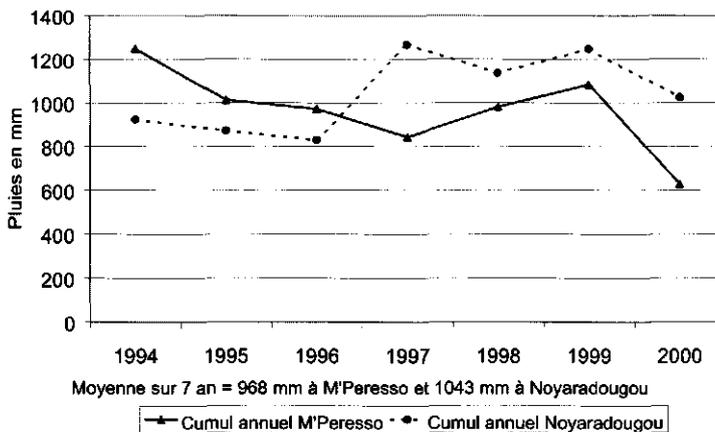


Figure 3.2 Pluviométrie de M'Peresso et Noyaradougou.

Les villages d'étude, comme le reste du Mali-Sud, ont un relief peu élevé. Les terres cuirassées et gravillonnaires (plateau et versants) occupent les sommets et les parties amonts du relief. Les terres des parties basses (bas glacis) sont en général plus sableuses (sableuses à sablo-limoneuse) à M'Peresso qu'à Noyaradougou (sablo-limoneuse à limoneuses). Dans la toposéquence, les paysans de ces villages distinguent des unités de niveau supérieur ou type de terrain et des unités de niveau inférieur ou type de terre.

### 3.3.2 Types de terrain et de terre en milieu Minianka et Sénoufo

Les types de terre et de terrain ont été déterminés à l'aide d'enquêtes semi-structurées (section 3.2). La vérification des critères paysans de classification a eu lieu à l'aide d'outils participatifs en exécutant une MARP (Méthode Active de Recherche Participatif).

#### 3.3.2.1 Type de terrain

La différenciation des unités de ce niveau repose principalement sur la topographie/géomorphologie et la présence ou non d'éléments grossiers. Les unités de niveau supérieur ou types de terrain sont:

Le *Niangua* (plateau ou colline) occupe le sommet d'une toposéquence donnée et se caractérise par un sol gravillonnaire (65% de gravillons) parsemé de cailloux ou de blocs de cuirasse. Le sol n'est généralement pas profond, cependant sa profondeur peut atteindre par endroit les 80 cm. Le sommet de Niangua est appelé Niang-pou. Le Niangua en fonction de l'altitude et de son étendu se divise en *Niang-tongo* (grande colline), *Niang-guirè* (petite colline) et *Nianè* (très petite colline). Le Niang-guirè est souvent cultivé tandis que le Niang-tongo l'est rarement. Le Niangua peut-être dominé par certaines espèces végétales comme *Combretum glutinosum*, *Detarium microcarpum*, *Burkea africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Entada africana*, *Combretum micranthum*, *Afrormosia laxiflora*, etc. Jadis avec la bonne pluviométrie et l'absence de la culture attelée, le Niangua était exploité en agriculture (sous sorgho), malgré la présence des blocs de cuirasse.

Le *Niang-fèrèguè* (alentour de la colline ou versant) ou bas de colline est la zone de raccordement entre le Niangua et le Moura. Le Niang-fèrèguè peut-être court avec escarpement (le vrai Niang-fèrèguè selon certains paysans) ou long et rectiligne. Le sol est gravillonnaire avec de rares cailloux et blocs de cuirasse. Toutefois de nombreux blocs de cuirasse éboulés sont rencontrés au niveau des escarpements. Les arbres et arbustes rencontrés sur le Niangua sont également présents sur le Niang-fèrèguè. Autrefois le Niang-fèrèguè était également exploité. Il fut cependant abandonné suite à la faible pluviométrie des dernières décennies. Mais de nos jours avec la pression démographique et l'insuffisance de terres dans la zone d'étude, on note une exploitation croissante du Niang-fèrèguè.

Le *Moura* (bas glacis) occupe dans la toposéquence une position plus basse que le Niangua et le Niang-fèrèguè. La principale caractéristique du Moura est l'absence (taux négligeable) de gravillons, de bloc de cuirasse ou de grès. Les arbres et herbes sur le Moura sont généralement bien développés. On rencontre ici de gros pieds de *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, et *Daniellia Oliveri*. Le Moura est actuellement le domaine d'agriculture par excellence; toutes les spéculations y trouvent leur place.

Le **Fâa** (bas fond) de part sa position topographique occupe les parties basses inondables du relief. Le Fâa est souvent traversé par un cours d'eau. Le Fâa est peu boisé et ses abords sont occupés par des végétaux hydrophiles comme *Mitragyna inermis*, *Daniellia oliveri*, *Piliostigma reticulata*, *Sarcocephalus esculentus*, *Terminalia macroptera*, etc. La superficie de Fâa dans la zone de Koutiala n'est pas élevée. Cependant 45% de cette unité est exploité en agriculture, en arboriculture et en horticulture.

Le **Dou-fèrèguè** (berge) sert souvent de zone de transition du Moura au **Dougou** (marigot). Il s'agit en effet de la berge. La plupart des Dou-fèrèguè de la zone est dégradée et pauvre en végétation.

### 3.3.2.2 Types de terre

Les critères de distinction des unités de niveau inférieur sont ceux qui influent beaucoup l'aptitude d'une terre d'être travaillée après une fine ou grande pluie (texture, éléments grossiers) et ceux qui indiquent la fertilité du sol (couleur, végétation). Sur les unités de niveau inférieur, les principaux types de terre sont: le Guechien, le Tawogo, le Niang-tiôn, le Tatio, le Katiagua et le Fâa-pourou. Le Niang-guaguaye, le N'Guinguè, le Guaguaye et le Lodmi (Lodimahô) sont d'autres types de terre peu rencontrés et peu ou pas exploités dans le village de M'Peresso. Les caractéristiques physico-chimiques des types de terre figurent dans le Tableau 3.5

Les **Guechien** sont des terres perméables caractérisées surtout par leur texture sableuse en surface (Guechien = sable) et leur aptitude d'être travaillés juste après une pluie (indépendamment de la quantité d'eau tombée). Très souvent les premiers travaux champêtres commencent au niveau de Guechien. L'enracinement sur le Guechien est bon. Les contraintes au niveau du Guechien sont limitées. Cependant la basse fertilité, la présence de nombreux *logogo* (passages d'eau), le tassement après une forte pluie et l'hydromorphie de profondeur en année pluvieuse sont des contraintes non négligeables. Aussi le striga est fréquemment rencontré sur le Guechien. En fonction de la fertilité, le Guechien est subdivisé en *Guechien gniè* (sable rouge) et *Guechien wo* (sable noir). Le Guechien gniè est généralement en position plus haute que le Guechien wo. Les Guechien sont fréquemment rencontrés sur le Moura.

Le **Tawogo** (terre noire du bas glacis) est surtout caractérisé par sa couleur noirâtre (brun, brun-grisâtre, brun-blanchâtre). Ces terres sont généralement profondes et l'altérite rouge se trouve plus en profondeur (au-delà des 50 cm selon les paysans). De tous les types de terre rencontrés à M'Peresso, le Tawogo est selon les paysans le meilleur du point de vue potentialité (développement des herbes et arbres). Ces terres du point de vue texture sont plus lourdes (généralement limono-sableuse ou limono-argilo-sableux en surface) que les Guechiens et demandent un certain taux d'humidité (état de la maturité physique) pour être travaillées (labour, semis). Toutefois un excès d'eau provoque une adhésivité et un engorgement soit de surface ou de profondeur. Une contrainte non négligeable est l'enherbement excessif sur le Tawogo. Le Tawogo occupe les surfaces planes et proches du réseau hydrographique. Ce type de terre est rencontré sur le Moura et le Fâa. Cependant sur le Fâa, il est très souvent appelé Fâa-pourou.

Tableau 3.5 Caractéristiques des types de terre de M'Peresso et Noyaradougou (0-40 cm).

Caractéristiques	M'Peresso (Milieu Mianka)				Noyaradougou (Milieu Senoufo)				
	Niang-tiôn (2)	Kankoun (3)	Guechien (16)	Tawogo (11)	Niangua (8)	Guaguaga (4)	Kankoun (8)	Titien (10)	Moura (10)
PH eau	5,8	5,7	5,7	5,7	5,4	5,1	4,9	5,33	5,13
C %	0,62	0,33	0,38	0,36	0,69	0,57	0,3	0,32	0,47
N total %	0,05	0,016	0,015	0,022	0,039	0,038	0,024	0,024	0,035
P total ppm	131	95	119	144	219	223	161	124	167
P ass ppm	16	7	18	15	6,4	3,0	2,4	5,1	5,6
K éch	0,35	0,35	0,20	0,30	0,28	0,22	0,19	0,20	0,27
CEC méq/100g	4,4	2,3	3,2	3,2	7,4	9,3	6,4	5,0	6,7
Sable %	59	71	71	64	50	37	41	52	37
Limon %	32	22	23	29	37	39	35	32	42
Argile %	9	7	6	7	13	24	24	16	21

NB: Les données de M'Peresso sont de 1990 tandis que celles de Noyaradougou sont de l'an 2000.

Entre parenthèses: nombre d'échantillons.

Le *Tiôn* en Mianka est une herbe semblable au pois sucré. Selon certains paysans, le *Niang-Tiôn* veut dire étymologiquement, des gravillons ayant la taille du pois sucré. Selon d'autres paysans, le Niang-Tiôn veut dire des gravillons propices au développement du pois sucré ou autrement dit des gravillons mélangés au sable. Certains sont partis plus loin en disant que dans le Niang-tiôn, les dimensions des gravillons n'excèdent pas les 2,5-3 cm. Dans tous les cas il s'agit de gravillons fins mélangés à la terre fine. La principale contrainte est le faible volant hydrique dû aux taux de gravillons élevés (30-75%), à la faible profondeur, et au fort ruissellement. Cependant, la verse (suite à l'enracinement superficielle) et l'usure rapide des instruments de travail sont également des contraintes à considérer. Toutefois, le Niang-tiôn a l'avantage d'être moins exigeant en sarclage à cause de son "faible niveau de fertilité". Le Niang-tiôn est généralement rencontré sur le Niang-fèrèguè et le Niangua. Cependant, de petites tâches de Niang-Tiôn peuvent être également rencontrées sur le Moura.

Le *Tatio* (altérite rouge), encore appelé par certains paysans Tiognigua (argile rouge) se caractérise par sa couleur rouge, son taux d'argile élevé et sa grande adhésivité à l'état humide. Le sol est profond, argileux, compact et à infiltration médiocre. Ces terres ne peuvent pas être travaillées après une fine pluie en début d'hivernage (trop sèches) ou après une grande pluie (car elles collent aux pieds et aux instruments de travail). Ces terres sont assez sensibles à l'érosion hydrique et présentent de nombreux logogos (passages d'eau). Les plantes sur le Tatio souffrent plus d'une rupture temporaire des pluies que celles sur le Guechien. Le Tatio se trouve généralement en position élevée (versants) ou sur les surfaces ayant un certain pendage (berges) et apparaît après décapage de l'horizon superficiel.

Le *Katiagua* est caractérisé par l'absence de gros arbres (rares bouquets d'arbustes), par la présence d'une cuirasse à faible profondeur et par un engorgement de surface en année de bonne pluviométrie. Le Katiagua est moins gravillonnaire en surface, peu profond et de couleur noirâtre (semblable au Tawogo) ou blanchâtre. Le Katiagua est souvent colonisé par les termitières noires en chapeau (termitière en champignon). La végétation herbacée est surtout dominée par *Loudetia*

*logoensis*. Les paysans distinguent **Katiagua waga** (sec) et **Katiagua gniguè** (humide). Le **Katiagua waga** se trouve généralement au sommet du Niangua et à l'amont du Niang-fèrèguè. Tandis que le **Katiagua gniguè** peut-être rencontré sur les parties avales des versants.

Le **Fâa-pourou** (terre de bas fond) est aussi appelé Tawogo cependant il se distingue du Tawogo du Moura par sa couleur plus sombre, son taux d'argile plus élevé (présence de fissure en saison sèche) et son taux d'humidité plus élevé (inondation temporaire). Aussi selon les paysans, le Fâa-pourou se distingue du Tawogo du Moura par l'ordre de succession des horizons. Sur le Fâa-pourou, l'horizon Tawogo est suivi de l'horizon *Po-fien* (terre blanche) et enfin de l'horizon *Karè* (nodules, concrétions et tâches nodulaire), tandis que Tawogo du Moura est suivi de Tatio (l'altérite rouge).

Le **Guaguaye** est une terre hétérogène surtout caractérisée par une succession de terres incultes et cultivables (zones d'appointements de grès). Le **Niang-guaguaye** est selon certains paysans une succession de kafayes (blocs de cuirasse ou grès) et de Niang-tiôn.

Pour beaucoup de paysans, les termes **N'Guinguè** et Tatio (villages Try et M'Pérésso) sont synonymes. Toutefois tous les paysans sont unanimes que le terme **N'Guinguè** désigne des terres sans couverture herbacée. Pour beaucoup de paysans **N'Guinguè** correspond aux terres dégradées des berges. Les contraintes sur **N'Guinguè** sont nombreuses: mauvais régime hydrique (faible perméabilité), mauvaises propriétés physiques (assez adhésif à l'état humide, très sec et compact à l'état sec), basse fertilité (couche humifère érodée).

Le terme **Lodmi** (ou Ladimahô) veut dire "mangé par l'eau". Il s'agit donc des sols hydromorphes, alimentées par une nappe (généralement profonde). Avec la baisse de la pluviométrie, les anciens lodmi sont considérés par beaucoup de paysans comme des Tawogo. La principale contrainte sur le lodmi actuel est l'excès d'eau qui fait que les plantes sont "mangées par l'eau". Le Lodmi se trouve généralement sur le Moura.

Du diagnostic participatif, il est ressorti que le nom de type de terre peut varier au sein du même groupe ethnique. Ainsi le **Guechien** est à 50 km au nord de M'Peresso appelé **Dasiguè**. Toutefois, les critères de classification restent les mêmes.

### 3.3.2.3 Caractéristiques physico-chimiques des terres

Les critères de classification des sols sont les mêmes en milieu Minianka et Senoufo et un certain recoupement peut être fait entre les sols rencontrés dans les villages d'étude (Tableaux 3.6 et 3.7). Il faut toutefois noter que les sols de M'Peresso sont formés sur le grès de Koutiala, qui est plus grossier et moins homogène que celui de Sikasso (Bah, 1992). Ce dernier est très fin et plus tendre. Les sols de Noyaradougou sont formés à partir du grès de Sikasso et dans certains cas d'une combinaison de grès de Sikasso et de schistes. Ainsi, le sable de Noyaradougou est plus fin que celui de M'Peresso. Les sols de Noyaradougou sont moins sableux et plus argileux que ceux de M'Peresso (Tableau 3.5). Ainsi, 44% des terres exploitées à M'Peresso sont sableuses contre 13% à Noyaradougou (Tableau 3.6). Dans ce dernier, les terres sablo-limoneuse à limono-sableuses occupent 41% des terres exploitées. De même, la Capacité d'Echange Cationique varie de 5 à 9,3

méq/100 g à Noyaradougou contre une valeur comprise entre 2,6 et 4,4 méq à M'Peresso. Les quantités totales d'azote et de phosphore sont plus élevées à Noyaradougou, tandis que les quantités assimilables et échangeables de phosphore et de potassium sont plus élevées à M'Peresso. Les sols sont plus acides à Noyaradougou qu'à M'Peresso (Tableau 3.6). Des terres exploitées, les "bonnes" (Guechien, Tawogo, Titien, Moura) constituent 69% à M'Peresso contre 54% à Noyaradougou. En effet, les terres gravillonnaires (Niang-tiôn, Guagaga) ou celles proches des sommets (Kankoungo) sont plus exploitées à Noyaradougou où l'altitude est plus élevée qu'à M'Peresso (Tableau 3.1).

Tableau 3.6 Principaux types de terre exploités sous culture et leur correspondants dans la classification française.

M'Peresso (milieu Minianka)		Noyaradougou (milieu Senoufo)		Classification Français (CPCS)
Nom	Superficie %	Nom	Superficie %	
Guechien	44	Titien	13	Sol ferrugineux tropicaux lessivé à hydromorphie de profondeur; Sol ferrugineux tropicaux appauvri ou modal
Tawogo	25	Moura	41	Sol ferrugineux tropicaux lessivé à hydromorphie de profondeur; Sol hydromorphe
Kankoungo	9	Kankoungo	16	Sol ferrugineux tropicaux appauvri ou modal
Niang-tiôn	16	Guagaga	21	Régosol et Lithosol
Autres	6	Autres	9	Sol peu évolué d'apport colluvial

CPCS: Commission de Pédologie et de Classification des Sols.

### 3.4 Système de production

Le village de M'Peresso est situé dans le bassin cotonnier (zone B de la Figure 2.5). Cette zone cumule l'ensemble des problèmes: forte densité démographique, taux de croissance soutenue, généralisation du système de production à base du coton, utilisation intensive de la culture attelée, occupation maximale des terres, saturation du terroir villageois par les troupeaux autochtones grâce aux revenus du coton. Le village de Noyaradougou se trouve à la limite des espaces hétérogènes de Sikasso (zone D), de l'auréole d'extension du bassin cotonnier (zone C) et de la zone B (Figure 2.5). L'environnement démographique est caractérisé par des zones peuplées qui alternent avec des espaces en repli. La culture cotonnière est largement pratiquée et en forte progression. L'élevage autochtone est important et la transhumance est présente. Les conditions vont dans le sens d'une exploitation intense des ressources naturelles, mais de façon plus hétérogène que dans le bassin cotonnier. Le système de production dans les villages de M'Peresso et Noyaradougou est de type coton - céréale - élevage. Le coton est la principale culture de rente, les sorgho, mil et maïs constituent les principales cultures alimentaires. L'élevage fournit les animaux de trait et sert en même temps de "banque paysanne".

Tableau 3.7 Caractéristiques des types de terrain et de terre en milieu Mianianka et Senoufo.

Type de terrain	Nom morphologique		Plateau		Versant		Bas glacis				
	Nom Mianianka	Nom Senoufo	Niangua	Niang-tioon	Katiagua	Niangua	Katiagua	Niang-fèrèguè	Moura	Moura	
Type de terre	Niangua (Niang-guaguaye)	Niangua	Niang-tioon	Katiagua	Niang-tioon	Katiagua	Niang-tioon	Katiagua	Kankoungo	Guechien	Tawogo
Éléments grossiers	-	Nombréux blocs de cuirasse	Gravillons + rares blocs	Gravillons avec terre fine	Gravillons + rares blocs (40%)	Gravillons avec terre fine	Gravillons + rares blocs (40%)	Gravillons avec terre fine	Néant ou rares	Néant	Néant
Texture de Surface	-	Tendance limoneuse	Tendance limoneuse	Limoneuse à LS	Tendance limoneuse	Limoneuse à LS	Tendance limoneuse	Limoneuse à LS	Limoneuse à LA	Sableuse**	Limono-sableuse
Adhésivité	-	Pas-peu adhésive	Pas-peu adhésive	Pas-peu adhésive	Pas-peu adhésive	Pas-peu adhésive	Pas-peu adhésive	Pas-peu adhésive	Adhésive	Pas adhésive	Pas adhésive
Couleur fréquente	-	Rougeâtre	Rougeâtre	Noirâtre	Rougeâtre	Noirâtre	Rougeâtre	Noirâtre	Rougeâtre (Jaunâtre)	Brunâtre noirâtre rougeâtre	Brunâtre noirâtre Blanchâtre
Hydrologie (Volant hydrique)	-	Assèchement rapide	Assèchement rapide	Engorgement	Assèchement rapide	Engorgement	Assèchement rapide	Engorgement	Engorgement possible	Pas	Engorgement temporaire
Induration	-	Cuirasse, profond par endroit	Cuirasse, profond par endroit	Cuirasse toujours présente	Cuirasse, profond par endroit	Cuirasse toujours présente	Cuirasse, profond par endroit	Cuirasse toujours présente	Profond (>50 cm)	Profond	Profond

Ls: limono-sableuse; LA: limono-argileuse. Les terres sableuses sont rares à Noyaradougou et le sable est plus fin qu'à M'Peresso.

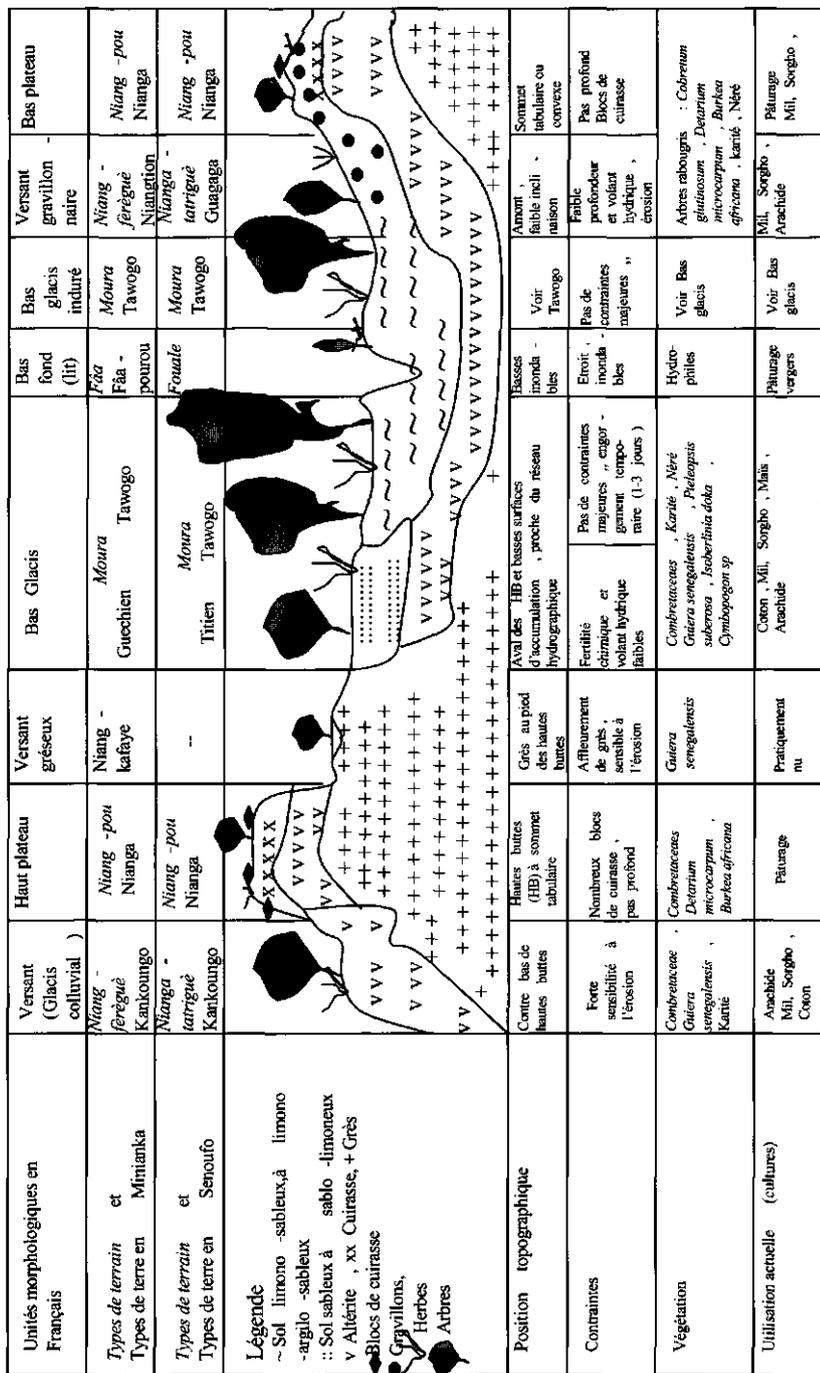


Figure 3.3 Caractéristiques des unités morphologiques, types de terrain et de terre.

### 3.4.1 Ressources en terre

M'Peresso se trouve dans un environnement où le PAT est inférieur à 1,5 tandis qu'il est de 3,65 autour de Noyaradougou (Tableau 3.1). Pour mieux cerner le niveau de pression sur les terres, nous avons réalisé un diagnostic en utilisant la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARF) en 2000 et suivie d'enquête en 2001. Les résultats obtenus figurent dans le Tableau 3.8. Les exploitations des deux villages possèdent en moyenne les mêmes superficies (jachères + cultivées). Une exploitation moyenne possède environ 20 ha de terre. Cependant la superficie des jachères ayant plus de 5 ans fait en moyenne 9 ha à Noyaradougou contre 6 à M'Peresso (Tableau 3.8). Par rapport aux jachères de moins de 5 ans, on peut dire que Noyaradougou en possède 2 fois plus que M'Peresso. Cependant, il faut signaler que contrairement à M'Peresso, les paysans de Noyaradougou à cause de la grève n'ont pas fait de coton en 2000. Ainsi une partie des superficies habituellement cultivées a été laissée en jachère.

Tableau 3.8 Estimation de la disponibilité des terres par exploitation et par village en 2000/2001.

Villages	Jachère en ha				Superficie cultivée en ha (S)	Population présente (P)	Total UBT (A)	J/A	J/P	J/S
	<5 ans	5-10 ans	>10 ans	totale (J)						
M'Peresso n = 27	1,6	2,2	4	7,8	13	18	12	0,7	0,4	0,6
Noyaradougou n = 26	3	2	7	12	8,6	20	7	1,8	0,6	1,4

n: nombre d'exploitations ayant fournies toutes les informations.

A Noyaradougou, à chaque UBT revient 1,8 ha de jachère contre 0,7 à M'Peresso. En considérant la superficie totale de l'exploitation, il revient à chaque UBT 1,7 ha de terre à M'Peresso contre 3 ha à Noyaradougou. En 2000, le nombre d'hectare de jachère en réserve pour chaque hectare cultivé était de 1,4 à Noyaradougou contre 0,6 à M'Peresso (Tableau 3.9). Pour la même année, il revenait à chaque habitant présent de Noyaradougou 0,6 ha (0,45 pour les jachères >5 ans) contre 0,4 ha (0,3 pour les jachères >5 ans) à M'Peresso. Ainsi, la tendance observée à partir de l'estimation de la pression sur les terres dans ces deux villages va dans le même sens que le PAT (Tableau 3.1) pour les zones de Koutiala et Sikasso.

### 3.4.2 Caractéristiques des exploitations

Les exploitations des deux villages se ressemblent beaucoup en terme d'actifs, cependant, elles sont mieux équipées en matériel de transport (ânes, charrettes) à M'Peresso qu'à Noyaradougou; et leur nombre d'UBT est 1,5 fois plus élevé dans le premier village que dans le second (Tableau 3.9).

Tableau 3.9 Caractéristiques structurelles des exploitations (moyenne de 20 exploitations) par village.

Villages	Total actifs	Actifs hommes	Anes	Charrettes	Total Bovins	Bœufs	Ovins	UBT
M'Peresso 1995-1997	7	4	1,1	1,05	15	4	12	12
Noyaradougou 1994-1997	8	4	0,96	0,85	8	4	7	8

### 3.4.3 Système de culture

#### 3.4.3.1 Toposéquence et superficie des cultures

Tout au tour de M'Peresso, environ 80% des superficies cultivées se trouvent sur les bas glacis (Tableaux 3.6 et 3.7) qui sont des terres basses, profondes, sans ou avec très peu éléments grossiers (Kanté *et al.*, 1993). Environ 16% des terres cultivées se trouvent sur les plateaux et versants gravillonnaires. A Noyaradougou, environ 70% des terres cultivées se trouvent sur bas glacis contre 30% sur les terres gravillonnaires (Tableaux 3.6 et 3.7). L'occupation des différentes unités de la toposéquence est fonction de l'aptitude de la culture par rapport à ces unités. Ainsi, les terres gravillonnaires à faible volant hydrique et à pente supérieur à 1,5% sont dominées par les rotations céréale-céréale (sorgho-mil), contre coton-céréale (sorgho, mil, maïs) sur les bas glacis. Dans la localité de Noyaradougou, on rencontre relativement plus de coton sur les terres gravillonnaires qu'à M'Peresso. Du Tableau 3.10, il ressort que le système de culture est centré sur la rotation coton-céréale.

Tableau 3.10 Superficie moyenne (moyenne de 20 exploitations) par village (ha).

Villages	Jachère*	Coton	Maïs	Sorgho	Mil	Arachide	Cultivée**
M'Peresso (1995-1996)	5,8	4,3	0,9	3,2	2,6	1,0	12,2
Noyaradougou (1994-1997)	5,4	4,4	2,9	1,0	0,7	0,3	11

\* Jachères déclarées entre 1994-1997; \*\* Les autres cultures comme le niébé, la patate, le gombo, le voandzou sont comptabilisées dans les superficies cultivées.

Le coton est la principale culture de rente du Mali-Sud. Il occupe plus de 35% des superficies cultivées dans les 2 villages (Figures 3.4 et 3.5). A M'Peresso, le sorgho et le mil constituent les principales cultures céréalières, tandis que la première place est occupée par le maïs à Noyaradougou (Figures 3.4 et 3.5). Les associations de culture occupent 16% des 626 parcelles suivies à Noyaradougou contre 2% des 613 suivies à M'Peresso. Il a été constaté une réduction des associations céréales/ céréales au profit de la culture pure avec l'acroissement de la pression sur les terres et la tendance vers une intensification, timide soit-elle (Manyong et Makinde, 2000). L'objectif essentiel de ces associations est de procurer un rendement complet de la principale

culture et un rendement complémentaire de l'espèce qui lui est associée (DRA-DRSPR, 1985). Selon la même source, ces associations permettent une:

- production plus stable et rentable d'année en année;
- sécurisation de la production avec une réduction des risques;
- utilisation plus efficace du capital sol et de la main d'oeuvre.

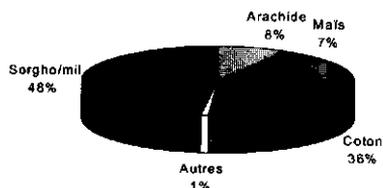


Figure 3.4 Assolement à M'Peresso.

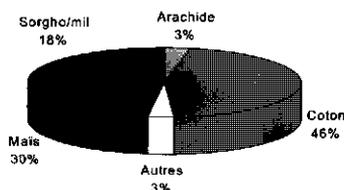


Figure 3.5 Assolement à Noyaradougou.

L'association dominante à Noyaradougou est le maïs/mil (54%), suivie du maïs/dolique (16%). D'autres associations comme maïs/sorgho, maïs/niébé, sorgho/niébé, mil/niébé, maïs/mil/niébé sont également pratiquées. A M'Peresso, les associations de culture sont de type céréale/légumineuse, parmi lesquelles le maïs/dolique occupe 64% des surfaces, suivi du maïs/niébé (14%). A M'Peresso, les paysans font également du mil/niébé, arachide/voandzou et arachide/voandzou/niébé. L'importance de l'association maïs/dolique à M'Peresso montre l'intérêt que les paysans de cette localité accordent à la production fourragère. Les associations céréales/légumineuses constituent 78 et 38% des associations de cultures respectivement à M'Peresso et Noyaradougou. En effet, M'Peresso a non seulement un cheptel important (Tableau 3.14), mais aussi un sérieux problème d'alimentation des animaux tant en hivernage qu'en saison sèche (Tableau 3.15).

### 3.4.3.2 Gestion des fumures

#### *Quantités et stratégies d'utilisation de la fumure organique*

La fumure organique regroupe les types suivants: le fumier (présence de litière), la poudrette, les fientes de volaille, les composts, les ordures ménagères. La quantité moyenne de fumure organique (FO) utilisée par exploitation à M'Peresso est 2 fois supérieure à celle de Noyaradougou. La même tendance est constatée quant à la quantité de FO utilisée par exploitation sur coton. Aussi la dose moyenne de fumure sur coton à M'Peresso est 1,5 fois supérieure à celle de Noyaradougou. Le maïs reçoit pratiquement les mêmes doses dans les deux villages (Figure 3.6). Ces différences s'expliquent par le fait que les exploitations de M'Peresso face à la saturation de leur environnement mettent plus d'accent sur la production de fumure organique, tant dans les parcs

qu'au niveau des tas d'ordure. Ainsi, elles produisent en moyenne 2 fois plus de fumure de bovins et petits ruminants, de fientes de volaille et 4 fois plus d'ordure que celles de Noyaradougou. En effet, M'Peresso possède 1,5 fois plus d'UBT que Noyaradougou (Tableau 3.9). Une pareille tendance a été constatée par van der Pol & Giraudy (1993) et Bosma *et al.* (1996), dans les zones transitoire (M'Peresso) et sub-humide (Noyaradougou). Ainsi, van der Pol & Autissier (1997), diront que les paysans semblent utiliser des techniques de culture plus durables là où la pression sur les terres est plus élevée.

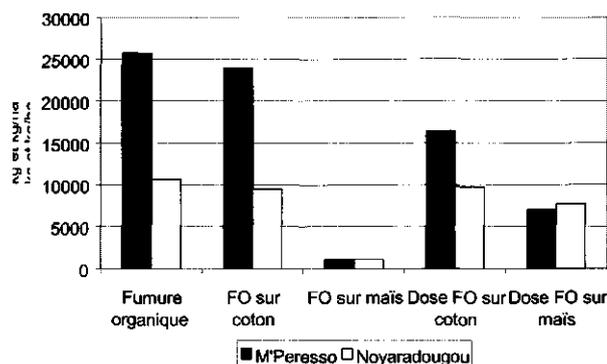


Figure 3.6 Quantités et doses de fumure organique moyennes par an et par village.

Face à la nécessité de se maintenir sur les mêmes terres, les paysans de M'Peresso ont en plus des types de fumure couramment produits, développé une stratégie de production "d'ordure" basée sur le recouvrement d'une importante quantité d'herbe par assez de terre (sableuse). Ce type de fumure riche en terre sableuse est utilisé pour améliorer la fertilité physique et chimique des parties basses limoneuses ou limono-argileuses du champ. Une telle fumure est produite et vendue sur place par de jeunes exploitants. A M'Peresso, certains paysans qui ne possèdent pas beaucoup d'animaux vont à la rencontre des transhumants et deviennent leur logeur. Les transhumants sont servis en eau, en thé et reçoivent souvent un peu d'arachide en échange du parcage des animaux sur les parcelles. D'autres paysans du même village se promènent avec des sacs et collectent les bouses de vache déposées autour des points d'abreuvement.

Indépendamment du village, les quantités et doses de fumure utilisées sur coton sont supérieures à celles du maïs. Cette culture reçoit 89 et 93% des fumures organiques utilisées respectivement à Noyaradougou et M'Peresso. Ceci s'explique par le fait que le coton est la principale culture de rente du Mali-Sud. Le maïs vient en seconde position en ce qui concerne la fertilisation organique dans les deux villages. Ainsi, il reçoit 10,6 et 4% des fumures organiques appliquées respectivement à Noyaradougou et M'Peresso. Cela est dû à son utilisation comme principale culture céréalière à Noyaradougou, mais aussi au fait qu'il est vendu à l'état frais dans les deux villages. Les sorgho et mil purs reçoivent rarement de la fumure organique.

La gestion paysanne de la fumure organique se fait en fonction de l'importance économique de la culture (cas du coton), des potentialités des terres ou des risques que peut présenter son utilisation sur tel ou tel type de terre (Kanté, 1988; Kanté *et al.*, 1999). Ainsi, sur les terres s'asséchant très vite, les ordures sont préférées au fumier de parc, tandis que sur les sols à tendance hydromorphe,

le fumier et la bouse de parc sont préférentiellement choisis. Les fumures organiques sont en général utilisées sur les parties pauvres, voire dégradées du champ afin de remonter la fertilité de ces endroits à un niveau satisfaisant. Pour mieux cerner cette stratégie paysanne, des échantillons de sols ont été pris à Noyaradougou, aux profondeurs 0-20 et 20-40 cm sur les parcelles devant recevoir de la fumure organique et sur des témoins, situés dans un rayon de 25 m tout autour (Figure 3.1). Les données d'analyse de sol confirment cette tendance, même si les différences ne sont pas significatives. Ainsi, les propriétés chimiques du témoin sont plus favorables que celles de la parcelle devant être fertilisée (Tableau 3.11). Le taux de sable est plus bas sur le P1 que sur le P2. Ceci peut être dû au décapage des couches sableuses de surface de P1 et l'apparition progressive des couches de profondeur (limons, argiles) en surface.

Tableau 3.11 Caractéristiques des parcelles à fertilisées et des témoins sur Kankoungo à Noyaradougou (voir Figure 3.1).

Paramètres	0 - 20 cm (5 cas)		20 - 40 cm (3 cas)	
	P1	P2	P1	P2
pH (eau)	4,38	4,68	4,10	4,38
N%	0,04	0,04	0,033	0,023
P ass ppm	3,65	5,92	1,94	13,20
K ech méq/100g	0,21	0,30	0,16	0,21
CEC méq/100g	6,63	8,51	9,70	8,01
Mg méq/100g	0,91	1,04	0,77	1,05
Ca méq/100g	2,05	2,11	1,74	2,16
Sable %	35	38	22	29
Limon %	48	46	48	43
Argile %	17	16	30	28

Par rapport aux types de terre, on constate que les terres ayant une fertilité naturelle plus élevée reçoivent moins de fumure et sont moins fréquemment fertilisées. Ainsi, les terres noires limoneuses (Tawogo) en position basse qui reçoivent les sédiments sont moins fertilisées (quantités et fréquences) que les terres sableuses (Guechiens) à faible fertilité chimique et volant hydrique. En effet, étant bien conscient des différents niveaux de valorisation des engrais sur les différents types de terre, la plupart des paysans (plus de 80%) fertilisent en priorité les terres pauvres. Ainsi le Tawogo qui est reconnu comme étant le plus fertile reçoit moins de fumure que le Guechien (Tableau 3.12).

Tableau 3.12 Fertilisation du coton par type de terre dans la zone de Koutiala (M'Peresso)

Type de terre	Nombre de parcelles	% de parcelles fertilisées en:		Doses moyennes (kg/ha)	
		Ordure	Fumier	Urée	Complexe coton
Tawogo	11	45	45	31	95
Guechien	16	75	69	48	132
Kankoungo	3	67	0	42	141
Niang-tion	2	50	50	31	118

Le Tawogo est également moins fertilisé par souci de minimiser le risque de dessèchement pouvant être lié à l'épandage de quantités importantes de fumure organique en cas d'insuffisance d'eau. En effet, le déficit hydrique devient de plus en plus une contrainte qui limite la valorisation de la fumure organique sur le Tawogo. La fréquence d'apport de fumure organique peut dépendre aussi de la durée de l'arrière effet qui est supérieur à 3 ans sur Tawogo, et qui fait à peine 3 ans sur Guechien (Kanté & Defoer, 1994; Kanté *et al.*, 1999). Cela se comprend aisément dans la mesure où la fraction annuellement décomposée de la fumure, et même la vitesse de minéralisation (pour la même fumure) est plus élevée sur les terres très sableuses (4-5% de la teneur par an) que sur celles qui sont limono-sableuses ou argileuses (2-3% par an) (Berger, 1991; Janssen, 1999; Murwira *et al.*, 1993). Selon Smirnov *et al.* (1977), le fumier se décompose plus lentement sur les terres argileuses, et son action se fait encore sentir 6-7 ans après l'épandage. Sur les limons sableux, la décomposition est plus rapide et son arrière effet ne dure que 3 ou 4 ans. Aussi l'enherbement constitue une contrainte sur Tawogo et la fertilisation de ce dernier ne fera qu'accentuer cette contrainte. Dosso *et al.* (1996) ont également trouvé que l'apport de fumier dépend du type de sol et que les paysans de Mayahi (Niger) ont tendance à fumer les parcelles où le sol est de type *Jigawa*. Le type *Jigawa* est de faible fertilité et est plus de 90% sableux jusqu'à 1,20 m. Selon De Grandi (1996), les terres qui reçoivent le plus d'engrais sont en effet les moins fertiles, qui, cependant répondent de manière significative à de faibles doses.

#### Utilisation de fumure minérale

Comme dans le cas de la fumure organique, les parcelles de coton et de maïs sont les plus fertilisées. Toutefois, même sur ces cultures, les doses utilisées sont légèrement inférieures aux normes vulgarisées par la CMDT, excepté l'urée sur le coton (Tableau 3.13). Il s'agit pour le coton de 150 kg/ha de complexe coton (14-22-12-7-1) et de 50 kg/ha d'urée contre 100 kg/ha de complexe céréale (15-15-15) et 150 kg/ha d'urée sur le maïs. L'arachide, le niébé et même le mil pur sont peu ou pas fertilisés. Les doses d'engrais sur coton, maïs, sorgho et mil à Noyaradougou sont supérieures à celles de M'Peresso. Cela peut être dû à une substitution partielle des engrais minéraux par les organiques à M'Peresso et par la prise en compte de la durée de l'arrière effet de ces derniers par les paysans.

Tableau 3.13 Doses moyennes de fumure minérale par culture et par village.

Villages	Cultures	Dcco		Dcce		Durée	
		kg/ha	*cas	kg/ha	*Cas	kg/ha	*Cas
M'Peresso (1995-1996)	Coton	123	58	-	-	53	58
	Maïs	91	19	98	25	84	39
	Sorgho	72	6	-	-	36	6
Noyaradougou (1994-1997)	Coton	149	70	130	5	73	70
	Maïs	135	9	100	68	89	68
	Sorgho	-	-	98	8	52	11
	Mil	142	6	85	26	64	29
	Dolique	-	-	159	10	183	12

\*Nombre de parcelles. Seuls les cas  $\geq 5$  sont considérés dans ce Tableau, D: dose; cco: complexe coton; cce: complexe céréale. Norme vulgarisée  $\approx$  150 kg/ha de cco sur coton et 100 kg/ha de cce sur céréales

### 3.4.3.3 Rendements des cultures

Les rendements moyens des cultures exceptés ceux du coton et du mil sont plus élevés à M'Peresso qu'à Noyaradougou (Figure 3.7). Le rendement du coton stagne présentement autour 1000 kg/ha à M'Peresso, tandis qu'à Noyaradougou, une baisse progressive (1860; 1400; 1370; 1170 kg/ha respectivement en 1994, 1995, 1996 et 1997) est constatée (Figure 4.13). Le rendement de l'arachide à M'Peresso est pratiquement le double de celui de Noyaradougou.

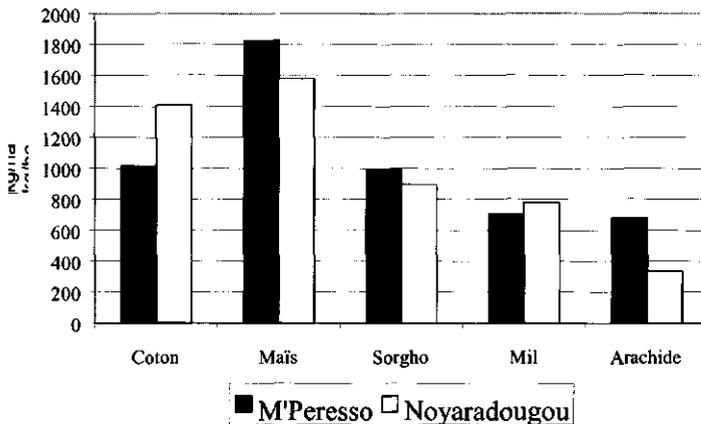


Figure 3.7 Rendements des principales cultures par village.

Le rendement moyen du coton est plus bas à M'Peresso (zone de Koutiala) qu'à Noyaradougou. En effet ce constat est valable pour toute la zone de Koutiala considérée comme le vieux bassin cotonnier. Les meilleurs rendements du coton étaient obtenus dans cette zone. Ils ont cependant baissé avec le temps et sont stabilisés autour d'une tonne. Les raisons de cette baisse, voire cette stagnation, sont multiples:

- fluctuation des doses des engrais complexes au dessous de la norme vulgarisée;
- l'inéquation entre l'évolution des quantités de fumure organique produites et les superficies cultivées;
- non respect des messages vulgarisés en matière de techniques culturales.

La différence de rendement du maïs entre les deux villages peut être due à la différence d'objectifs de production et partant des superficies. Le maïs à M'Peresso est plus produit pour la vente que pour la consommation. Les petites superficies en maïs sont bien entretenues dans ce village, contrairement à Noyaradougou où elles sont plus grandes et où la production est principalement auto-consommée. Ce constat est aussi valable pour l'arachide qui est assez commercialisé à M'Peresso. Quant aux mil et sorgho, les différences entre les deux villages ne sont pas marquées.

### 3.4.4 Système d'élevage

Ici l'accent sera mis sur la conduite des troupeaux qui influence la gestion des résidus de récolte et la production de la fumure. La conduite de l'élevage regroupe l'ensemble des opérations techniques effectuées par l'homme vis à vis des animaux: gardiennage, soins portés à leur habitat et à l'abreuvement, soins sanitaires et complémentation alimentaires (Bosma *et al.*, 1996). Contrairement aux parcs bovins, les enclos des petits ruminants et des ânes ne reçoivent généralement pas de litière. L'appartenance des animaux et les objectifs que se sont fixés les paysans sont assez déterminants dans leurs conduite. Les animaux sont gérés par le chef d'exploitation qui possède 86 à 91% des bovins respectivement en milieu Senoufo et Minianka (De Groote & Coulibaly, 1995). Les animaux dans la plupart des cas sont conduits sur les parcours par un membre de l'exploitation. Les grands troupeaux sont en général confiés à un berger spécialisé (éleveur traditionnel). Les animaux sont gardés du début d'hivernage à la fin des récoltes afin de protéger les champs contre leurs dégâts. Ils sont parqués la nuit et sortent du parc le matin aux environs de 8 à 9 h. Ainsi, les bovins sont conduits sur les pâturages, tandis que les ovins, caprins et ânes sont attachés au piquet si l'effectif de l'exploitation ne dépasse pas 5-10 têtes (Bosma *et al.*, 1996). Les bœufs de traits sont conduits sur les jachères près des champs. La vaine pâture commence juste après les récoltes. Pendant cette période, les animaux de l'exploitation aussi bien que ceux étrangers à celle ci peuvent librement accéder aux résidus de récolte. Beaucoup d'animaux ne sont pas surveillés pendant la saison sèche. Durant cette période d'insuffisance fourragère, les pertes de poids des animaux sont accompagnées de perte de fumure. Toutefois, on assiste de plus en plus à une complémentation des bœufs de labour et même de certaines vaches en fin de saison sèche. A cet effet, les résidus de récolte, poudres de néré, sel et concentrés sont distribués.

#### 3.4.4.1 Objectifs de l'élevage

Les principaux objectifs de l'élevage dans ces villages sont la traction, le fumier et l'épargne. Les productions de lait et de viande ne sont pour l'instant pas prioritaires. Le lait est surtout auto-consommé. Cependant à M'Peresso l'objectif de production de lait devient de plus en plus important à cause de la présence de la mini-laiterie de Koutiala à laquelle le village est affilié pour la fournir quotidiennement du lait. Aussi, le rôle socio-culturel de l'élevage est sorti comme objectif lors des discussions avec les personnes interviewées. En effet la volaille et les petits ruminants sont beaucoup sacrifiés lors des fêtes rituelles annuelles. Souvent quelques animaux de réformes sont engraisés et vendus aux bouchers des centres urbains pour la production de viande. La consommation de viande au niveau villageois est limitée essentiellement aux animaux accidentés et à la viande des petits ruminants.

#### 3.4.4.2 Taille et conduite du troupeau

Le Village de M'Peresso possède 4 fois plus de bovins et 2,9 fois plus de petits ruminants que celui de Noyaradougou (Tableau 3.14). A Noyaradougou, les bœufs de labour constituent 56% du troupeau bovins contre 37% à M'Peresso.

Tableau 3.14 Taille du troupeau par village en 2000.

Villages	Bovins	Bœufs de labour	Petits ruminants	Anes
M'Peresso	686	247	595	68
Noyaradougou	165	93	208	33

L'élevage à Noyaradougou comme à M'Peresso est de type sédentaire. Les animaux ne sont pas stabulés; cependant à Noyaradougou, ils sont toujours conduits par des jeunes sur les pâturages pour éviter des dégâts sur les cultures pluviales en hivernage, sur les cultures maraîchères en saison sèche et pour échapper aux pièges (pouvant les blesser) posés autour des bas fonds. A M'Peresso, certains animaux ne sont pas gardés en saison sèche. Contrairement à M'Peresso où les pâturages sont quasi inexistant, ils sont abondants à l'est du terroir de Noyaradougou, où dominant les terres gravillonnaires (versants et plateaux). Ces abondants pâturages sont même exploités par les troupeaux transhumants qui traversent le village. L'abondance du pâturage dans ce village est relative et est en partie liée au decimage des troupeaux du village par la péri-pneumonie en 1995-1996, ce qui fait que présentement le village n'a pratiquement pas de contrainte fourragère en saison sèche. La période déficitaire à Noyaradougou ne dépasse pas deux mois. Cependant, avant cette épidémie deux troupeaux partaient en transhumance dans les terroirs voisins, car le fourrage disponible était insuffisant pour nourrir tous les animaux. A M'Peresso certains propriétaires de bovins envoient leur troupeau en transhumance sur le terroir des villages voisins. Dans ce village, on note également la présence de 4 exploitations peuls résidant dans les hameaux et dont une partie du troupeau est envoyée en transhumance aux abords du fleuve Bafing vers Koro-barrage. A Noyaradougou comme à M'Peresso, le terroir villageois est traversé par une piste de transhumance suivant l'axe Gongasso-Sikasso pour le premier et Nampossela-Farakoro pour le second. A Noyaradougou, 100% des parcs bovins sont au village, tandis qu'environ 50% des parcs à M'Peresso se trouvent dans les hameaux (au champ), ce qui atténue les contraintes liées au transport des résidus et de la fumure à M'Peresso. L'utilisation des parcs améliorés reste encore timide. Le taux d'adoption de ces parcs par les exploitations du Mali-Sud est de 37 et 19% respectivement dans les villages Lutte Anti-Erosive (LAE) et non LAE (CMDT/DDRS, 1995).

#### 3.4.4.3 Contraintes de l'élevage

L'insuffisance, voire l'absence de bergers qualifiés est une contrainte dans les deux villages. A Noyaradougou, les actifs capables de bien conduire les animaux sont tous en exode. A M'Peresso, les rares "bergers types" (bergers peuls) sont trop chargés par le fait qu'ils ont beaucoup de troupeaux à conduire. Les deux villages manquent d'infrastructures adéquates de stockage du fourrage contre les intempéries (Tableau 3.15). Bien que l'absence de point d'eau aménagé pour l'abreuvement soit soulignée à Noyaradougou, les animaux des deux villages sont abreuvés au puit. A Noyaradougou, le point intarissable du marigot est inaccessible à cause de la boue et de la présence de multitudes de champs dans les bas fonds en saison sèche.

Tableau 3.15 Contraintes de l'élevage à M'Peresso et Noyaradougou.

Village	Contraintes
M'Peresso et Noyaradougou	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manque d'infrastructure adéquate de stockage du fourrage</li> <li>- Insuffisance/absence de bergers qualifiés</li> <li>- Manque de point d'eau aménagé pour l'abreuvement</li> </ul>
M'Peresso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difficulté d'accès aux aires pastorales en saison des pluies</li> <li>- Insuffisance du fourrage en saison sèche</li> <li>- Divagation des animaux en saison sèche</li> </ul>
Noyaradougou	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Péri – pneumonie contagieuse bovine</li> <li>- Feux de brousse</li> <li>- Mortalité asine</li> <li>- Exode rural des actifs</li> </ul>

Une des principales contraintes signalées pour la non satisfaction des objectifs de l'élevage par les agro-éleveurs à Noyaradougou est l'épidémie de Péri-Pneumonie Contagieuse Bovine (PPCB) qui a frappé les bovins entraînant une forte mortalité. Ainsi, à cause de cette maladie, le nombre moyen de bovins exploitation est passé de 11 en 1994 à 7 en 1997. Cette mortalité bovine se poursuit malgré le suivi rapproché fait par un vétérinaire privé. L'alimentation du bétail en saison sèche est rendue difficile à cause des feux de brousse qui détruisent les parcours à cette période et de la non-insertion des cultures fourragères dans le calendrier cultural de la plupart des exploitations agricoles. Le démarrage précoce des activités agricoles est rendu difficile souvent à cause du mauvais conditionnement des bœufs de labour. Les ânes malgré leur rôle dans le transport des récoltes, des résidus et de la fumure ne reçoivent pratiquement pas de soins.

A M'Peresso, la difficulté d'accès aux aires pastorales en saison des pluies à cause de la disposition des champs sur le terroir et l'insuffisance du fourrage en saison sèche constituent les principales contraintes du système d'élevage. Les problèmes liés aux maladies du bétail et à la disponibilité de liquidité en saison sèche pour l'achat complément sont limités grâce à la possibilité d'obtention du crédit spécial élevage.

La divagation des animaux en saison sèche constitue également une contrainte non négligeable du système d'élevage, car en plus de ses conséquences comme des pertes d'animaux (mortalités, vols de petits ruminants), elle entraîne aussi une perte de fumure indispensable pour les champs.

### 3.4.5 Gestion des résidus par village

Les quantités de résidus de céréale produites en Afrique de l'Ouest varient de 1000 à environ 4000 kg/ha (Allard *et al.*, 1983; Powell & Williams, 1993 cités par Bationo *et al.*, 1993). Selon, Ganry (1991), les rendements en pailles (MS) varient de 5,0 à 6,0 t/ha pour le mil et 2,5 à 3,0 t/ha pour le maïs. Au Mali-Sud, les quantités produites de résidus des mil et sorgho varient entre 2,7 à 6,3 t/ha et celles de l'arachide oscillent entre 0,4 et 4 t/ha (DRSPR, 1989, cité par Bosma *et al.*, 1996). Une exploitation moyenne dispose d'environ 13 et 38 t de résidus de récolte, respectivement dans la province du Zoundwéogo au Burkina Faso (Savado, 2000), et dans le cercle de Koutiala au Mali-Sud (Camara, 1996). Toutefois, il existe diverses utilisations concurrentielles de ces résidus. Les résidus sont utilisés pour l'alimentation des animaux, pour la production de compost et de

fumier, pour la construction des habitations et la cuisson des aliments. Ils sont également brûlés, utilisés pour la production de potasse ou enfouis dans le sol. Une partie des résidus est consommée par la faune du sol (termites, fourmis, *etc.*). Dans beaucoup de cas, les résidus ne retournent pas au sol. Cela conduit à la baisse de la matière organique avec comme conséquence fréquente, la baisse des productions ou de la productivité du sol (Woomer & Ingram, 1990 cités par Bationo *et al.*, 1998a). Il a été constaté que la Capacité d'Echange Cationique (CEC) en zone soudano-sahélienne, dépend plus de la matière organique que de l'argile (Bationo & Mokwunye, 1991). Ainsi, la baisse du taux matière organique s'accompagne d'une réduction de la capacité de rétention des éléments nutritifs du sol. Or, selon de Ridder & Van Keulen (1990), la différence d'1 g/kg de matière organique engendre une différence de CEC de l'ordre de 4,3 mmol/kg. Selon Ganry & Badiane (1998), 25-40% des pailles sont en partie dérivées pour les besoins domestiques, 10-15% pour les animaux stabulés et le restant (25-60%) pour la vaine pâture.

#### 3.4.5.1 Gestion du stock

Le degré de valorisation et le type de résidus influencent beaucoup leurs modes d'utilisation. Les résidus peuvent être transportés et stockés ou utilisés sur place sans trop de manipulation. Le stock concerne les quantités de résidus utilisées comme fourrage, litière ou intrant des compostières (Figure 3.8). En fonction des réalités de la localité, le stockage peut être orienté essentiellement sur l'alimentation des animaux, sur la production de fumure organique, ou sur les deux.

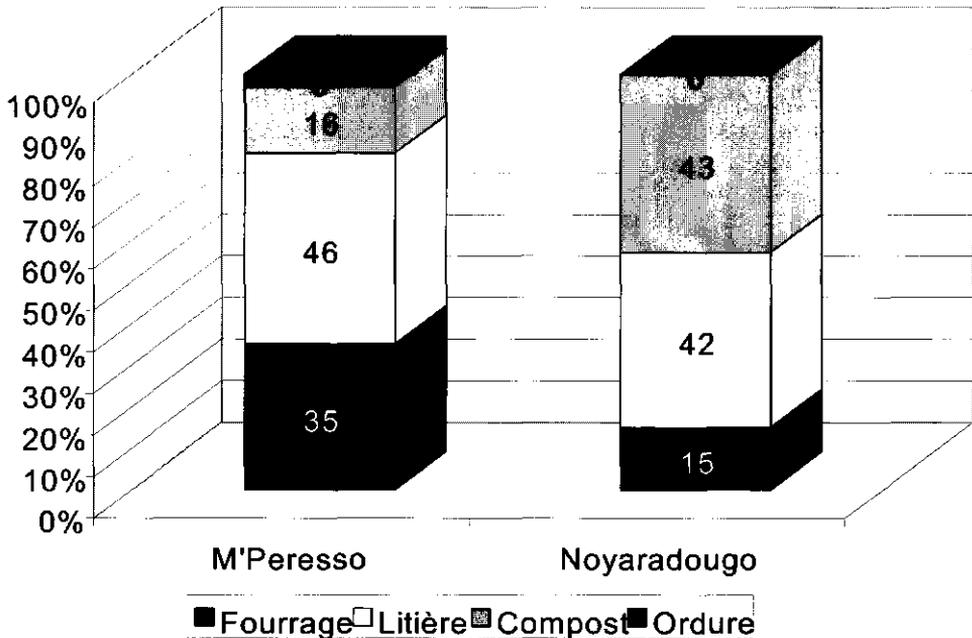


Figure 3.8 Différentes utilisations des résidus par rapport au stock (en %).

Ainsi à M'Peresso, la taille du troupeau et les contraintes liées à son alimentation poussent les paysans à mettre plus d'accent sur le fourrage. Contrairement à M'Peresso, les paysans de Noyaradougou mettent plus d'accent sur le compostage des résidus que sur l'alimentation du bétail. Cela se comprend dans le mesure ou la pression animale et la contrainte alimentaire en saison sèche est plus forte à M'Peresso qu'à Noyaradougou.

#### *Composition du stock de fourrage*

A M'Peresso comme à Noyaradougou, les paysans font des efforts de stockage des résidus. Indépendamment du village, le stock de fourrage est principalement constitué de maïs et de petit mil. Ainsi, le maïs constitue 44 et 79% du stock respectivement à M'Peresso et Noyaradougou. En effet, certains éleveurs considèrent les pailles de maïs comme un fourrage de qualité moyenne bien consommé par le bétail (Dugué, 1999). Le stock est constitué à 40 et 11% de petit mil respectivement à M'Peresso et Noyaradougou (Tableau 3.16).

#### *Composition du stock de litière*

La litière est constituée à plus de 90% de coton et de maïs à Noyaradougou, tandis qu'à M'Peresso, le stock est 59% constitué de coton et sorgho (Tableau 3.16). Il est à noter que les fanes d'arachide constituent 21% du stock de litière à M'Peresso. Le coton n'étant pas collecté comme fourrage est surtout destiné à l'alimenter la litière et les compostières. En effet, à M'Peresso, l'arachide est vendue à frais et les fanes qui ont perdu leur qualité fourragère sous l'action des pluies sont utilisées comme litière dans les parcs. Ainsi 60% des fanes d'arachide alimentent la litière (Tableau 3.17).

#### *Stock de résidus pour le compostage*

Après la priorité donnée au troupeau (fourrage et litière), une partie des résidus est utilisée comme intrant pour le compostage. Il s'agit essentiellement du sorgho et du mil à M'Peresso, du coton et du maïs à Noyaradougou (Tableau 3.16). A M'Peresso, où la taille du troupeau est importante, le stock est essentiellement constitué de fourrage et de litière, tandis qu'il est dominé par le compost et la litière à Noyaradougou.

### **3.4.5.2 Autres utilisations des résidus**

#### *Vaine pâture*

A M'Peresso, toutes les cultures sont soumises à la vaine pâture, tandis que les légumineuses sont pratiquement épargnées à Noyaradougou. Cela peut être dû au fait que dans le premier village, les superficies en cultures fourragères sont plus importantes que dans le second. Aussi, les légumineuses semées après les céréales ne parviennent pas souvent à boucler leur cycle et face à des productions aléatoires certains paysans ne sentent plus la nécessité de fournir d'énormes efforts pour l'entretien des parcelles pratiquement échouées. La dolique à Noyaradougou est cultivée surtout chez les paysans tests qui prennent le soin de la récolter. Des études faites au Niger ont

montré que 2-3,5% de la production totale des résidus étaient collectés par les exploitations et que 21-39% restaient encore sur les parcelles au moment des premières pluies. La partie perdue durant la saison sèche a été en grande partie attribuée à la vaine pâture, bien que les effets de la décomposition microbiologique et des termites n'ont pas été mesurés (ICRISAT, 1993, cité par Bationo *et al.*, 1993). Cependant, Penning de Vries & Van Keulen (1982), trouvent que les termites sont très actives en fin et début d'hivernage et peuvent détruire beaucoup de pailles. Powell (1985) cité par Bationo *et al.* (1993) trouvait que jusqu'à 49% des résidus de sorgho et 57% de ceux du petit mil disparaissaient sous l'action de la vaine pâture dans la zone sub-humide du Nigeria.

Tableau 3.16 Stratégies de gestion du stock de résidus des différentes cultures.

Villages	Utilisation (fonction)	Total stock kg	Contribution par rapport au total résidus de la fonction (%)						
			Coton	Maïs	Sorgho	Mil	Arachide	Dolique	Niébé
M'Peresso	Fourrage	1782	0	44	7	40	4	5	0
	Litière	2294	30	4	29	16	21	0	0
	Compost	783	19	8	46	21	6	0	0
	Ordure	136	17	0	83	0	0	0	0
	Total stock (kg)	4995	870	939	1270	1224	600	86	6
	Stock (%)	100	17	19	25	25	12	2	0
Noyara-dougou	Fourrage	726	0	79	0	11	3	5	0
	Litière	1965	66	26	5	2	1	0	0
	Compost	2004	50	28	12	9	1	0	0
	Total stock (kg)	4695	2308	1647	350	305	42	39	4
	Stock (%)	100	49	35	7	7	1	1	0

#### Action des termites

Les résidus broyés par les animaux lors de la vaine pâture sont attaqués par les termites. Selon les estimations paysannes (ordre de grandeur), plus de la moitié des résidus de certaines cultures est soumise à l'action des termites. Cette action concerne surtout les mil, sorgho et est plus marquée à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Les fanes d'arachide pourries et non utilisées dans les parcs comme litière font aussi l'objet de dégradation par les termites (Tableau 3.17). Penning de Vries & Van Keulen (1982), ont estimé que la moitié de la biomasse aérienne des paturages qui reste après la saison sèche, peut être récoltée par les termites. En effet, ces derniers dégradent les résidus de récolte et le fumier tout en apportant de la terre fine (limon et argile) en surface (Herrick & Lal, 1996, cités par Achard *et al.*, 2000). Les termites affectent la disponibilité en éléments nutritifs en transportant le sol et la matière organique vers la termitière et d'autre structures à partir desquelles la ré-distribution se fait par érosion et par décomposition. Les termites influencent également la structure, la capacité de rétention des sols en eau, les espaces entre les pores et la stabilité des agrégats. Selon Lee & Wood (1971), certaines termitières contiennent relativement plus d'azote, de carbone, de calcium que le sol environnant. Pour ces auteurs, il faut 5-10 ans ou même plus pour qu'il y ait une redistribution des éléments nutritifs consommés par les termites dans le sol environnant. A cause de la forte activité microbiologique et de celle des termites, 40 à 99% des résidus sont décomposés pendant l'hivernage (Bationo *et al.*, non publié dans Bationo *et al.*, 1993).

Selon Van der Pol (1992) cité par Ndoumbe & Van der Pol (1999), il est supposé que sous l'action des termites, 30% (10-50%) de l'azote des résidus est incorporé dans le sol avant les brûlis.

Tableau 3.17 Utilisation des résidus par culture.

Village	Culture	Fraction du total résidus de la culture (%)						Quantité Totale	Total Stock	Stock/ Total culture (%)	
		Fourrage	Litière	Com-post	Vaine pâture	Termites	Cendre				Brûlis
M'Peresso	Coton	0	18	4	20	54	1	2	3800	847	22
	Maïs	41	4	3	17	34	1	0	1947	940	48
	Sorgho	1	6	4	29	57	2	0	10809	1269	12
	Mil	8	4	2	28	50	5	3	8590	1224	14
	Arachide	9	66	7	12	6	0	0	739	600	81
	Dolique	82	0	0	18	0	0	0	95	78	82
	Niébé	8	0	0	91	1	0	0	69	6	9
Noyara-dougou	Coton	0	24	18	17	20	5	16	5457	2308	42
	Maïs	8	7	8	22	39	0	16	7038	1647	23
	Sorgho	0	4	10	23	43	1	19	2588	350	14
	Mil	3	2	6	29	45	0	15	2790	305	11
	Arachide	19	9	8	2	62	0	0	118	42	36
	Dolique	100	0	0	0	0	0	0	39	39	100
	Niébé	100	0	0	0	0	0	4	4	100	

NB: Environ 1% des résidus de sorgho et de coton sont utilisés sur les tas d'ordure à M'Peresso. Une certaine quantité de sorgho et mil est utilisé pour l'ombrage (hangar).

### Brûlis

Selon Lompo (1983), cité par Bationo *et al.* (1993), jusqu'à 90% des résidus sont brûlés au champ ou pour la cuisine dans la zone soudanienne du centre du Burkina Faso. Le brûlis des résidus s'accompagne par une perte quasi totale de l'azote et de 10% du phosphore et potassium (W. Quak communication personnelle cité, par Camara, 1996). Le brûlis engendre une perte considérable en carbone et éléments nutritifs tels que l'azote et le soufre. Selon Charreau & Poulain (1964) cités par Bationo & Mokwunye (1991), 20-40 kg/ha d'azote et 5-10 kg/ha de soufre sont perdus lors du brûlis des champs. Le brûlis est considéré par les paysans comme un moyen de lutte contre les insectes, les maladies et les serpents. Cependant, le brûlis fréquent peut détruire les propriétés physiques et bio-chimiques du sol. Selon Greenland et Nye (1960), cités par Stangel (1993), au moins 60% de l'azote et du soufre se perdent dans l'atmosphère quand les résidus sont brûlés. A M'Peresso, où la pression animale est forte et où le déficit fourrager est marqué (5 mois), les résidus sont moins brûlés. En effet 2-3% des résidus des principales cultures sont brûlés dans ce village contre 15-19% à Noyaradougou où la pression animale est moins forte et où la période de déficit fourrager oscille autour de 3 mois (Tableau 3.17). Selon Dugué (1999), les feux sont circonscrits dans les zones à forte pression humaine et animale et touchent des parcelles en jachères ou des portions de parcours; tandis qu'ils touchent la quasi totalité des zones de parcours, des jachères isolées et même les résidus de culture dans les zones à faible pression. Si dans le premier cas, les populations se mobilisent pour éteindre le feu, dans le dernier cas, les populations n'interviennent que quand leurs biens (récoltes au champs, habitations et greniers) sont menacés. Cette tendance est assez valable pour M'Peresso (forte pression sur les ressources) et Noyaradougou (faible pression).

### *Fabrication du "sel de potasse"*

Le "sel de potasse" ou "sèguè" est obtenu des cendres des résidus. Les cendres sont transportées et transformées en sel de potasse devant servir dans la préparation d'une pâte appelée "tô".

## **3.5 Conclusions et suggestions**

Le village de M'Peresso est dans un environnement plus saturé que celui de Noyaradougou, ceci se traduit dans le premier village par la rarefaction sinon la disparition des associations céréale/céréale au profit des cultures pures ou des rares associations céréales/légumineuses. A M'Peresso, le système de culture est basé sur le coton et les mil-sorgho, tandis que celui de Noyaradougou est axé sur le coton et le maïs qui sont des cultures généralement fertilisées.

A M'Peresso où l'environnement est saturé et où les terres sont cultivées en permanence, les exploitations utilisent 2 fois plus de fumure organique que ceux de Noyaradougou. Contrairement à Noyaradougou où tous les parcs bovins sont au village, plus de 50% de ceux de M'Peresso sont aux hameaux et les paysans de ce village nouent avec les transhumants des contrats de type "fumure contre résidus, thé, arachide et logeur". Des jeunes commencent même à produire de la fumure organique pour la vente à M'Peresso. Ainsi, lorsque la pression démographique augmente, les sociétés agraires inventent des solutions techniques adaptées (Boserup, 1990 cité par Benoit-Cattin, 1991). Cependant les quantités fumures minérales épandues à l'hectare sont plus élevées à Noyaradougou qu'à M'Peresso. Les stratégies paysannes de fertilisation des terres tiennent compte de la culture (rentabilité) et des potentialités des terres. Les terres pauvres voire en voie de dégradation, ne présentant pas des contraintes de valorisation de la fumure organique sont fertilisées en priorité. Les données d'analyse de sol confirment cette tendance même si les différences ne sont pas significatives.

Les paysans de M'Peresso face à la forte pression sur les terres mettent plus d'accent sur le stockage des résidus comme fourrage et litière. A Noyaradougou, où le problème d'alimentation des animaux est moins crucial, les exploitations mettent plus d'accent sur le compostage des résidus, suivi de leur utilisation comme litière. A Noyaradougou, au moins 16% des résidus des principales cultures sont brûlés contre un maximum de 3% à M'Peresso.

En matière de durabilité des systèmes de production de la zone d'étude, beaucoup d'espoirs reposent sur le développement de systèmes d'exploitation valorisant au mieux l'intégration agriculture-élevage. Or une intégration réussie n'est possible en absence d'infrastructures adéquate de stockage du fourrage, de soins sanitaires des animaux y compris les ânes, de manque chronique de fourrage et d'actifs. Force est de constater qu'il s'agit là des principales contraintes des deux localités.

Face à ces contraintes, il revient aux populations locales de s'organiser afin d'aménager des zones de passage des animaux en direction des pâturages d'hivernage, de lutter contre les feux de brousse. Dans le souci de lever certaines contraintes soulignées ci dessus, la recherche (ESPGRN), de commun accord avec l'IFDC Afrique ont mis en juin 2001 un fond de roulement en test. Ce fond devra permettre aux populations concernées de résoudre les petits problèmes de production de fourrage ou d'achat d'aliment bétail, de construction d'aire de stockage du fourrage, de soins de santé des animaux, de réparation du matériel de transport, etc.

## 4 Gestion de la fertilité par classe d'exploitation

### 4.1 Introduction

*Les organisations paysannes ne doivent pas être considérées comme des caisses de résonance auxquelles, on fait appel au moment de la validation des projets et technologies. Elles doivent être impliquées dans toutes les étapes de la démarche méthodologique: de la conception à l'évaluation.*

En matière de gestion de la fertilité des sols, il faut noter qu'assez de technologies ont été générées par la recherche, mais que les résultats sont faiblement intégrés au développement (Section 2.4, Bationo *et al.*, 1998a; Nandwa & Bekunda, 1998; Lompo *et al.*, 2000). Les raisons d'adoption ou de non adoption par les bénéficiaires de techniques disponibles doivent être recherchées afin de combattre l'épuisement des sols. Pour cela, un accent doit être mis sur les approches participatives qui tiennent compte du point de vue des paysans, de leurs connaissances traditionnelles, des réalités socio-économiques et politiques de leur environnement (De Grandi, 1996; Bationo *et al.*, 1998a; Defoer *et al.*, 1998; Scoones & Toulmin, 1998; Dembelé *et al.*, 2000; Lompo *et al.*, 2000). La disparité entre les ménages s'accroît par suite d'intensification du système agro-pastoral. Au Mali-Sud, les grandes exploitations constituées de plusieurs ménages sont entrain de s'éclater suite à des problèmes socio-économiques. Certaines exploitations issues de cet éclatement sont fragilisées sur le plan structurel (terres marginales, insuffisance de matériel agricole, manque d'actifs, de cheptel, *etc.*). Cette différence structurelle crée aussi des différences en terme de stratégies de gestion des ressources disponibles (Defoer *et al.*, 1995; Dembelé *et al.*, 2000; Elias, 1998). Pour mieux cerner ces stratégies et pour mieux orienter les actions d'amélioration, il s'est avéré nécessaire de caractériser et de catégoriser toutes les exploitations des villages d'étude. Ce chapitre a pour objectifs d'identifier les capacités de réactions des différentes exploitations en les regroupant en classes de gestion de la fertilité, de suivre l'évolution de leurs pratiques de gestion des fumures et des résidus et d'identifier les principales contraintes. Ainsi, il sert de base pour le suivi de l'évolution des apports et exportations de NPK, mais aussi pour l'élaboration de l'outil d'aide à la décision. Pour atteindre ces objectifs, des outils visuels comme les cartes d'exploitations ont été utilisées pour une meilleure implication des paysans dans le diagnostic de leur situation, dans la planification d'actions, l'exécution, le suivi et l'auto-évaluation de leurs stratégies de gestion de la fertilité des sols. Les résultats relatifs au diagnostic (niveau terroir) et aux actions planifiées et leurs niveau d'exécution ne seront pas abordés ici, car ayant déjà été présentés ailleurs (Defoer, 2000). L'accent sera surtout mis sur les stratégies de gestion et l'évolution au fil des ans, des superficies des cultures, des quantités des fumures et des résidus, des rendements de coton par classe d'exploitation et par village.

## 4.2 Méthodologie

### 4.2.1 Approche amélioration de la gestion de la fertilité

#### 4.2.1.1 Exécution de l'approche

L'approche s'articule autour de 4 phases (Defoer *et al.*, 1995; Kanté *et al.*, 1997; Defoer, 2000). L'exécution de ces différentes phases consiste à mener des discussions et actions au niveau du terroir villageois, des groupes (classes) d'exploitations à contraintes similaires et des exploitations individuelles représentatives de chaque classe. Le *diagnostic/analyse* est la première phase de l'approche. C'est à ce niveau que l'analyse et la recherche de solutions aux contraintes sont faites tant au niveau terroir qu'au niveau exploitations individuelles. Le diagnostic est suivi par la phase de la *planification des actions*. A ce niveau, les paysans reçoivent des formations sur les possibilités de conservation et d'amélioration de la fertilité des sols. Des visites inter-paysannes sont organisées pour faciliter les échanges d'expérience entre les paysans. A la suite des connaissances échangées à travers les formations et visites, les paysans planifient des actions d'amélioration. La planification est suivie par la troisième phase qui est celle de la *mise en place des actions* (exécution). La mise en place de certaines actions est appuyée par des démonstrations et des conseils. La quatrième et dernière phase de l'approche est l'*évaluation des actions planifiées* (Figure 4.1). Le degré d'exécution des actions planifiées et les contraintes rencontrées en cours d'exécution sont cernés à ce niveau. Dans le cadre de la recherche de solutions à ces nouvelles contraintes, on aboutit finalement à un cycle annuel de planification, exécution et évaluation (Figure 4.1).

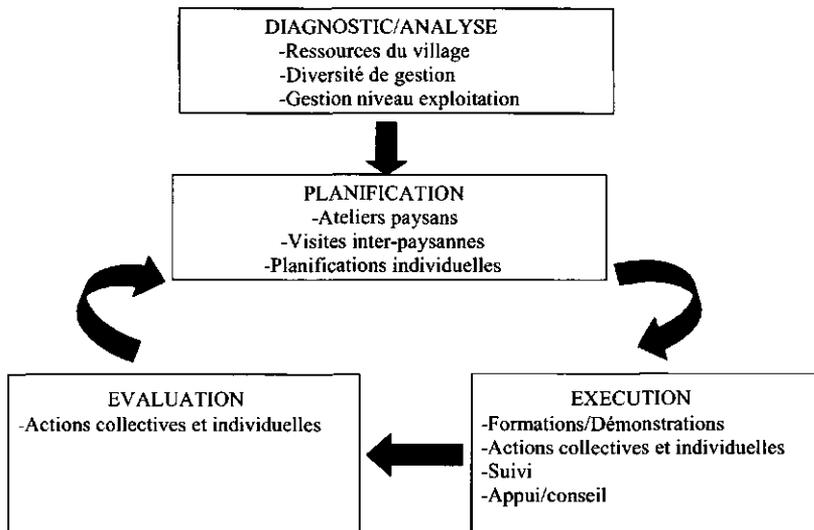


Figure 4.1 Phases de l'approche méthodologique.

### *Phase 1: Diagnostic/analyse*

La phase diagnostic/analyse comprend 5 étapes. Il s'agit de: (1) réunion d'introduction au village, (2) diagnostic/analyse au niveau du terroir villageois, (3) diagnostic/analyse de la diversité de gestion de fertilité de l'ensemble des exploitations, (4) diagnostic/analyse au niveau des exploitations individuelles représentatives de chaque classe d'exploitations (hommes et femmes) et enfin (5) restitution des résultats du diagnostic.

#### *Etape 1: Réunion d'introduction*

La réunion commence par les salutations d'usage, la présentation des membres de l'équipe et des responsables du village. Elle a pour but de:

- informer les villageois sur l'objectif général de l'approche gestion de la fertilité et les objectifs spécifiques de chaque phase;
- expliquer et avoir le consensus sur le déroulement et la durée du travail.

Dans le cadre du diagnostic/analyse, il est demandé à l'assemblée villageoise de choisir 6-10 villageois (hommes et femmes) à la fin de la réunion d'introduction, pour l'élaboration de la carte paysanne du terroir. Les autres villageois présents en assemblée, seront regroupés en 3 sous-groupes (vieux; jeunes hommes; femmes) qui seront chargés de l'analyse de la diversité de gestion entre exploitations. Un rendez-vous est fixé pour la réunion villageoise de restitution.

#### *Etape 2: Carte des ressources naturelles du terroir*

Cette carte permet de visualiser les potentialités en ressources naturelles (RN) du terroir, d'analyser leur utilisation et leur gestion actuelle. Elle permet d'identifier les contraintes et les potentialités et de planifier des actions communes pour une meilleure gestion des ressources naturelles. Les *objectifs* de cette carte sont de:

- identifier et localiser les différentes unités du terroir villageois;
- analyser l'utilisation, les contraintes et les potentialités du terroir liées à la fertilité et à la dégradation des terres;
- réfléchir sur les actions de lutte contre la dégradation des terres à l'échelle terroir;
- localiser les champs communs sur les différents sous-terroirs pour analyser l'occupation des terres.

La carte des RN du terroir est faite par un groupe restreint, composé de vieux, de jeunes hommes et de femmes. Pendant la réunion d'introduction, les membres du groupe sont choisis par les villageois, sur la base de leur connaissance du terroir.

#### *Etape 3: Diversité des stratégies de gestion*

Dans le souci de réduire au minimum le biais pouvant être lié au genre, l'analyse de la diversité des stratégies paysannes de gestion de la fertilité des sols est faite dans 3 sous-groupes (*jeunes hommes, femmes, vieux*) et comporte les points suivants:

- Identification des critères clefs de distinction des exploitations par sous-groupe;
- Regroupement des exploitations en classes de gestion de la fertilité;
- Choix des exploitations représentatives des différentes classes pour approfondir l'analyse des stratégies par classe.

### Identification des critères clefs de distinction des exploitations

Les objectifs sont d' :

- identifier les critères paysans de différenciation entre les exploitations relatifs à leurs pratiques de gestion de la fertilité, selon les vieux, les jeunes et les femmes;
- identifier les causes (sous-jacentes) de ces différences par sous-groupe.

L'identification se fait simultanément dans les sous-groupes des femmes, des vieux et des jeunes hommes. La participation des paysans est catalysée par 2 animateurs (chercheurs et/ou vulgarisateurs). Après explication des objectifs par les animateurs, des questions ayant trait à la baisse de la fertilité sont posées pour mieux imprégner les paysans du problème. Ensuite des discussions ont eu lieu sur les critères qui permettent de distinguer les exploitations les unes des autres. Chaque critère est écrit en langue vernaculaire ou symbolisé sur un carton par un paysan. Le symbole, avant d'être retenu doit faire l'objet d'un consensus au sein du sous-groupe. La mise en commun est assurée par les animateurs qui se chargent de passer les critères identifiés d'un groupe à l'autre. Les critères communs (reconnus) aux 3 sous-groupes doivent servir de base pour le classement; ensuite viennent ceux reconnus par 2 sous-groupes.

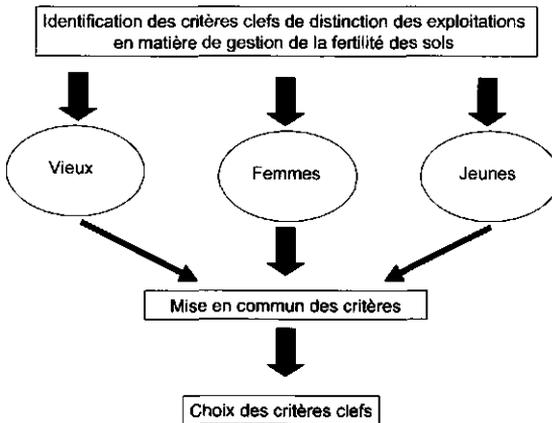


Figure 4.2 Identification et choix des critères de distinction des exploitations.

### Classement des exploitations

Les objectifs du classement sont de:

- regrouper les exploitations en classes de gestion de la fertilité;
- comprendre comment les paysans se classent, par rapport à la gestion de la fertilité.

Le classement est aussi fait simultanément dans les sous-groupes et par les mêmes acteurs. Les animateurs doivent insister sur le but final du classement qui est de mieux cibler le message en fonction des spécificités (possibilités) des classes et non une simple comparaison des exploitations en meilleures et mauvaises. Après explication des objectifs du classement, les animateurs font un rappel des critères qui permettent de différencier les exploitations. Les critères communs aux 3, voire à 2 sous-groupes (critères clefs) sont utilisés pour le classement. Sur la base de ces critères, il

sera demandé aux paysans de regrouper toutes les exploitations du village en un certain nombre de classes. Le nombre de classes dépend des paysans (Defoer, 2000). Cependant, pour alléger la procédure, l'équipe de chercheurs/vulgarisateurs propose de se limiter à 3 classes (bonne gestion, gestion moyenne, gestion faible) avec des possibilités de subdivision. Pour chaque classe, une feuille entière ou un carton de la taille d'une feuille entière est utilisé comme entête et déposé à terre. Du lot de cartons avec les noms des chefs d'exploitation, l'animateur tire un carton et demande aux participants de le déposer dans la classe correspondant à son niveau de gestion (Figure 4.3 et 4.4a).

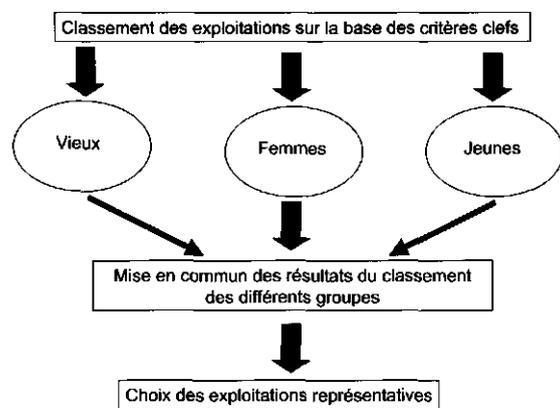


Figure 4.3 Classement et choix des exploitations représentatives.

Cet exercice se poursuit pour toutes les exploitations du village. Ensuite, les résultats du classement fait par les sous-groupes des vieux, des jeunes et des femmes sont mis ensemble par l'équipe de chercheurs/vulgarisateurs (Figure 4.4b, cadre 4.1).

### Choix des exploitations

Il s'agit là de choisir des exploitations représentatives des différentes situations de gestion de la fertilité des sols, en vue d'approfondir les discussions sur leurs stratégies de gestion de la fertilité des sols. Le choix est fait par l'équipe de chercheurs/vulgarisateurs en présence de l'agent chargé de l'encadrement du village, des membres de l'AV (association villageoise) ou autres paysans du village pouvant donner des informations sur l'ensemble des exploitations. Le nombre d'exploitations à choisir par classe est déterminé en fonction de la taille moyenne de chaque classe et de la capacité (taille) de l'équipe de chercheurs et/ou vulgarisateurs. Les exploitations qui sont classées dans les mêmes classes par les 3 sous-groupes (Figure 4.4a, b, c) sont retenues de préférence par l'équipe chercheurs/vulgarisateurs. Cependant, la représentativité de l'exploitation par rapport au degré d'occupation des différents sous-terroirs et à la diversité des terres sont souvent pris en compte dans le choix définitif. Après le choix des exploitations sur lesquelles les 3 sous-groupes sont unanimes quant à leur appartenance à une classe donnée, d'autres reconnues par 2 sous-groupes sont ensuite sélectionnées.

## CLASSEMENT DES EXPLOITATIONS PAR LES FEMMES

## CLASSEMENT EXPLOITATIONS PAR LES GROUPES

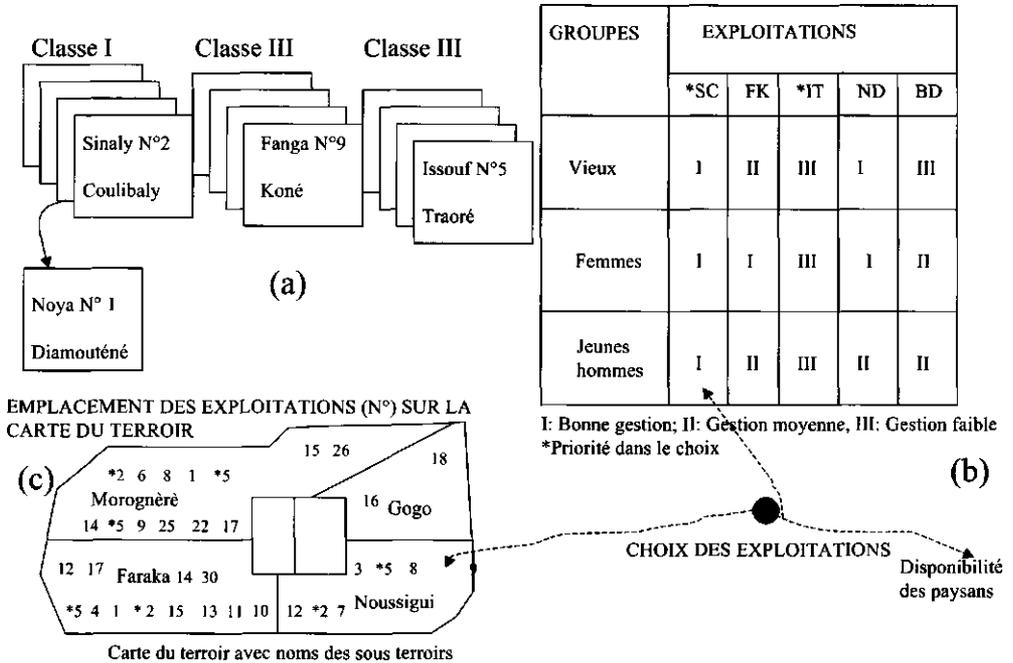


Figure 4.4 Classement et choix des exploitations.

Les cas particuliers sont éliminés de commun accord avec les membres de l'association villageoise et l'agent CMDT chargé de l'encadrement du village. Les chefs des exploitations choisies sont informés et leur accord est demandé. Un rendez vous est fixé de commun accord avec les responsables (chefs et/ou principaux actifs) de l'exploitation pour l'élaboration de la carte. Ainsi par cette procédure un échantillon de 20 exploitations fut choisi par village pour la suite de l'étude.

*Etape 4: Carte de l'exploitation*

Les entretiens avec le chef de l'exploitation et/ou le chef de travaux (voire autres actifs: hommes et femmes) sont centrés sur les champs communs. Les champs privés sont pris en compte dans les localités où leurs superficies sont assez importantes. La carte de l'exploitation autrement dit la carte des flux d'éléments nutritifs a pour *objectifs* de:

- Visualiser la gestion de la fertilité des sols;
- Comprendre les stratégies de gestion de la fertilité de l'exploitation en fonction des potentialités et contraintes des champs/parcelles;
- Comprendre les stratégies de gestion de la fertilité en fonction des moyens et objectifs de l'exploitation;
- Identifier les possibilités d'amélioration de la gestion de fertilité des sols.

## CARTE D'EXPLOITATION

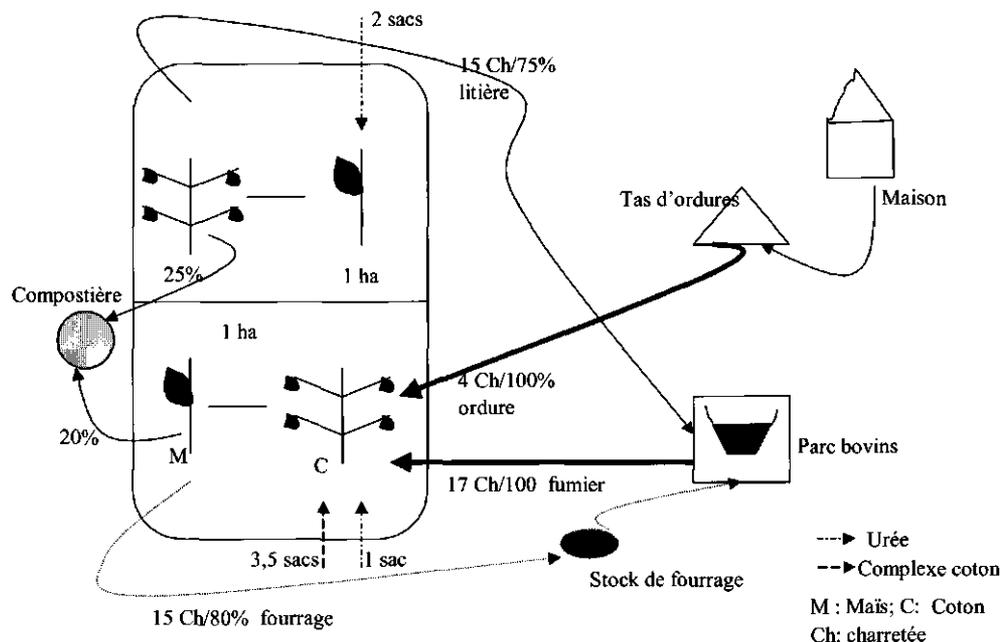


Figure 4.5 Carte d'exploitation.

Le travail commence par une brève présentation de l'équipe et des membres de l'exploitation. Ensuite, les objectifs de la visite sont expliqués. Une fois les présentations et l'explication des objectifs terminées, des guides d'entretien sont utilisés pour collecter les informations. En principe, l'entretien se déroule sur le champ, mais les parcs, compostières, *etc.*, pourraient être visités. L'entretien est animé par une équipe de 2 personnes dont une chargée de la prise de notes. L'équipe accompagnée des membres de l'exploitation fait le tour du champ le plus important de l'exploitation pour apprécier la réalité sur le terrain. Durant le tour, l'inventaire du troupeau, des actifs et du matériel est fait. Ensuite, il est demandé aux paysans de faire la carte de leur exploitation en matérialisant :

- toutes les parcelles;
- les composantes (parcs, compostières, tas d'ordure, lieux de stockage du fourrage);
- les flux de sorties de résidus des parcelles;
- les flux des entrées de fumure dans les parcelles;
- les flux des entrées d'aliments pour le troupeau
- les flux d'entrées d'autres produits (herbes et autres articles) dans les composantes.

La carte est ensuite analysée pour voir les contraintes et les possibilités d'amélioration de la gestion de l'exploitation.

Les données sur la gestion de l'exploitation (rotation, sorties de résidus et entrées de fumure) sont enregistrées sur des fiches de collectes et sont par la suite saisies et analysées. Les quantités sont évaluées en mesures locales (charretées, sacs, remorque) et même en pourcentage par les paysans.

#### *Etape 5: Restitution des résultats*

La restitution a pour *objectifs* de discuter et de valider avec les populations, tous les résultats obtenus lors du diagnostic. Les propositions d'actions d'amélioration sont discutées par classe et les actions futures sont programmées

#### *Phase 2: Planification des actions*

La phase planification a généralement lieu quelques temps après la phase diagnostic. Ce qui permet aux paysans de réfléchir et de discuter ensemble des résultats du diagnostic et de voir les possibilités d'amélioration de la gestion de la fertilité des sols. Contrairement au diagnostic qui dure 3 jours de suite, la planification peut s'étaler dans le temps sur une à deux semaines. Les membres de l'équipe s'accordent avec les villageois sur les dates et le programme de la planification. Les activités de planification peuvent être regroupées en 4 étapes:

- 1) ateliers de formation;
- 2) visites inter-paysannes;
- 3) élaboration de cartes de planification (prospection des flux de produits auprès des hommes et femmes);
- 4) restitution des actions planifiées au village.

Il faut souligner que toutes les 4 étapes commencent par une brève présentation des participants.

#### *Phase 3 Mise en place des actions*

La mise en place des actions n'est autre que l'exécution des activités planifiées. Elle a pour *objectif* de concrétiser sur le terrain les actions planifiées. Les actions sont en général ciblées par classe d'exploitation et concernent: le stockage des résidus de récolte et leur utilisation comme litière, fourrage, compost; les cultures fourragères, la production d'ordures ménagères; les travaux de lutte anti-érosive; l'amélioration des jachères, *etc.* Toutefois, face à des contraintes communes, comme la dégradation des terres le long d'une toposéquence par les eaux de ruissellement, des actions communes peuvent être envisagées. Les paysans peuvent sur demande être appuyé techniquement. Des séances de démonstration/formation sont organisées à leur intention.

#### *Phase 4 Evaluation des réalisations*

Les activités planifiées sont évaluées environ un an après le diagnostic. L'évaluation comporte principalement 2 étapes:

- 2) Evaluation de l'état d'exécution du plan;
- 3) Restitution des résultats d'évaluation par classe et en assemblée villageoise.

Les étapes 1 et 2 sont précédés d'une brève réunion d'introduction villageoise (cf phase 1, étape 1).

### *Cycle planification, exécution et évaluation*

Après l'évaluation de l'état d'exécution des actions planifiées, les paysans planifient à nouveau les actions à mener durant la campagne suivante. Ceci nous conduit à un cycle de planification, exécution et évaluation (Figure 4.6). Ce cycle planification-exécution-évaluation permet non seulement de suivre les quantités de fumure organique (par type) et minérale utilisées par culture, par exploitation, par classe et par an, mais aussi d'évaluer annuellement les sorties d'éléments nutritifs par les graines et les résidus de récolte. Ainsi, l'évolution des apports et des exportations de NPK au fil des ans par classe et par type d'exploitation est suivie à travers ce cycle.

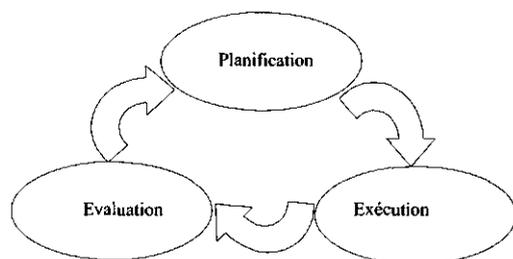


Figure 4.6 Cycle de planification/ exécution/ évaluation.

L'organisme de développement qui a été co-organisateur d'un diagnostic a bien apprécié l'approche et pense qu'il s'agit là d'un puissant outil d'animation en matière de diagnostic et de sensibilisation pour une meilleure gestion de la fertilité. Les paysans furent assez intéressés par les cartes d'exploitation qui leur permettent non seulement de voir sur papier les principales contraintes de l'exploitation en matière de gestion de la fertilité, mais aussi de planifier sur carte les solutions appropriées.

## **4.2.2 Méthodes de collecte et d'analyses des données**

### **4.2.2.1 Outils participatifs**

Les données sur les superficies des parcelles, les quantités de fumure, le recyclage des résidus, bref, toutes les entrées et sorties des parcelles, des parcs, des compostières, des tas d'ordure, *etc.*, ont été collectées à l'aide de cartes d'exploitation (cartes de planification, cartes de réalisation).

### **4.2.2.2 Enquêtes semi-structurées classiques**

Les informations sur la structure des exploitations (actifs, cheptel, matériel agricole, nombre de fosses, *etc.*) ont été collectées lors d'enquêtes informelles à l'aide de fiches préétablies. Après la restitution des résultats obtenus de l'analyse des données de 1994 à 1997, une enquête a eu lieu dans les deux villages en 2000, afin d'approfondir les raisons de la hausse ou de la baisse des quantités recyclées de résidus ou produites de fumure organique. Les exploitations du suivi approfondi ont été concernées par cette enquête et parmi elles, 8 et 10 exploitations ont été interviewées respectivement à Noyaradougou et M'Peresso. En 2000, une autre enquête a lieu à Noyaradougou auprès des 20 exploitations suivies (suivi léger) sur le transport, les modes d'épandage et les catégories sociales (âge, sexe, place dans l'exploitation) impliquées dans ces activités de gestion de la litière.

### 4.3.3 Caractéristiques des classes

#### 4.3.3.1 Caractéristiques structurelles

Les 3 classes se distinguent nettement en terme de possession de bovins et de petits ruminants, d'ânes et d'actifs. Cependant, à Noyaradougou, la classe II a légèrement plus d'actifs que la classe I. Indépendamment du village, et contrairement à la classe III, chaque exploitation de la classe I a au moins une charrette et un âne (Tableau 4.2). Le taux d'équipement en moyen de transport (charrettes et ânes) est plus élevé à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Les caractéristiques liées à la gestion, telles que la production et l'utilisation de la fumure sont traitées dans la partie fertilisation.

Tableau 4.2 Caractéristiques structurelles des classes (nombre par exploitation)\*.

Paramètres	M'Peresso			Noyaradougou		
	Classe I (3)	Classe II (10)	Classe III (7)	Classe I (8)	Classe II (5)	Classe III (7)
Total actifs	13	7	4	10	11	5
Actifs hommes	7	4	3	4	5	2
Total bovins	27	13	5	13	8	3
Bœufs de labour	6	3	3	5	4	3
UBT bovins	25	11	7	10	6	3
Ovins et caprins	24	11	8	10	6	4
Anes	2	1	0,7	1	0,9	0,6
UBT total	29	12	8	11	7	4
Charrettes	1,6	1	0,9	1,2	0,6	0,6

\*Il s'agit là des moyennes de la classe de 1994 à 1997 excepté le nombre de bœufs de labour (1996 à 1997). Entre parenthèses: le nombre d'exploitations par classe.

#### 4.3.3.2 Correspondance types et classes

Très souvent les vulgarisateurs demandent de faire le point entre les 3 classes de gestion et la typologie (A, B, C, D, section 2.4) vulgarisée depuis les années 1980. Il faut dire que la typologie vulgarisée est basée sur la structure de l'exploitation (troupeau bovins et matériel agricole) et concerne celle-ci dans son entité. Cette typologie a un caractère universel et peut être appliquée partout où le troupeau bovin et le matériel agricole peuvent être des sources de différenciation entre les exploitations agricoles. Contrairement à cette typologie, la classification paysanne présentée ci dessus a un caractère local et est centrée uniquement sur la gestion de la fertilité des sols. Cette classification est basée non seulement sur des critères structurels mais aussi de gestion (Tableau 4.1). Elle tient compte des spécificités de chaque localité. En effet, un paysan de type A se trouvant dans une zone à forte pression sur les terres ne gère pas la fertilité des sols de la même façon que son homologue habitant une zone vierge. Cependant, ces deux façons de regrouper les exploitations similaires ont des points communs (Tableaux 4.3 et 4.4).

Tableau 4.3 Constitution des classes par rapport aux types.

Classe	Type		
	A	B	*CD
I	75 - 100%	0-25%	0%
II	29 - 36%	57-61%	3-14%
III	0 - 13%	64-70%	17-36%

\*NB: Il s'agit de C ou de D. Toutefois ces types sont rares; ce qui nous a poussé à les regrouper en CD. Des 86 exploitations considérées pour cette comparaison, 31% est de type A, 56% de type B et 13% de CD.

La classe I est constituée essentiellement (75 à 100%) des exploitations de type A. La classe II est dominée par les exploitations de type B, tandis que la classe III est à dominance B et CD (Tableau 4.3).

Tableau 4.4 Constitution des types par rapport aux classes.

Type	Classe		
	I	II	III
A	32-75%	25 - 53%	0 - 15%
B	0 - 13%	27 - 52%	48 - 60%
*CD	0%	18 - 20%	80 - 82%

\*NB: Il s'agit de C ou de D. Toutefois ces types sont rares; ce qui nous a poussé à les regrouper en CD. Des 86 exploitations considérées pour cette comparaison, 31% est de type A, 56% de type B et 13% de CD.

Du Tableau 4.4, il ressort que les exploitations de type A sont essentiellement réparties entre les classe I et II; celles du type B sont surtout logées dans les classe II et III, tandis que les CD sont classées à plus de 80% dans la classe III. De la synthèse des Tableaux 4.3 et 4.4, on peut conclure qu'une exploitation de type CD ne peut pas être de la classe I et que la possibilité de rencontrer une exploitation de ce type dans la classe II ou vis versa varie de 3 à 20%. Aussi, 0 à 15% des exploitations de la classe III sont de type A ou vis versa. Il faut noter que 0 à 25% des exploitations de type B sont rangées dans la classe I vis versa.

#### 4.3.3.3 Superficies cultivées et leur évolution par classe

Les superficies cultivées, ne sont pas citées comme critère de distinction des exploitations. Cependant, comme le bétail, la classe I a plus de surface cultivée que la classe II, qui en a plus que la classe III (Tableau 4.5). A Noyaradougou, il n'existe pas de différence entre les classes en terme de superficie des légumineuses.

Tableau 4.5 Superficies moyennes cultivées par classe et par village (ha).

Paramètres	M'Peresso (1995 à 1997)			Noyaradougou (1994 à 1997)		
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe I	Classe II	Classe III
Superficie cultivée	19,8	12,3	8,4	12,8	9,4	6,4
Superficie coton	7,5	4,3	2,8	6	4	2,8
Superficie maïs	1,5	0,9	0,5	3,8	2,7	2
Superficie céréales	10,4	6,8	4,8	6,2	5	3,2
Superficie légumineuses	1,9	1,2	0,8	0,6	0,6	0,6
Jachères						

NB: La superficie du maïs est incluse dans celle des céréales.

De 1994 à 1997, les superficies totales cultivées ont d'une manière générale augmenté et cela indépendamment du village et même de la classe. Le coton qui est la principale culture de rente de la zone n'a pas échappé à cette évolution (Figures 4.7). L'augmentation des superficies est plus marquée dans la classe I que dans les deux autres. Elle est également plus marquée dans les classes II et III de Noyaradougou que dans les classes correspondantes à M'Peresso.

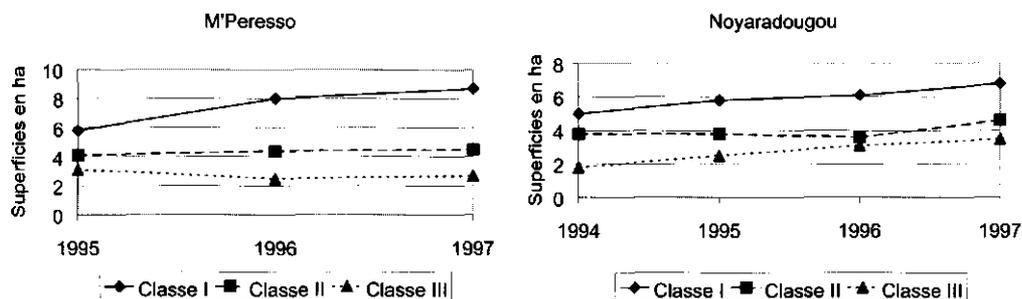


Figure 4.7 Evolution des superficies de coton à M'Peresso et à Noyaradougou.

Une telle situation peut être due au fait que la classe I de M'Peresso possède plus de ressources (jachères, bœufs de labour, actifs, etc.) que les autres classes du village.

A Noyaradougou, la contrainte en terre est moins marquée qu'à M'Peresso et pratiquement toutes les classes ont la possibilité d'étendre leurs superficies.

### 4.3.4 Gestion des résidus par classe

#### 4.3.4.1 Utilisation des résidus

##### *Fourrage*

L'enquête menée en 2000, a montré que 90% et 25% des exploitations enquêtées, respectivement à M'Peresso et Noyaradougou utilisent les résidus comme fourrage. Les raisons évoquées par les paysans sont: 1) soutien des animaux pendant la saison sèche, 2) réduction de la mortalité causée par le déficit fourrager à M'Peresso, 3) réduction des quantités d'aliment bétail à acheter, 4) bon conditionnement des animaux de trait. Une seule exploitation de la classe III ne stocke pas de résidus comme fourrage, car ses animaux sont confiés en saison sèche.

Les résidus de céréales devant servir de fourrage sont transportés entre décembre et janvier par plus de 60% des exploitations, tandis que celui des fanes d'arachide a lieu en novembre par 50% des exploitations. Le fourrage stocké est distribué journalièrement par 50% des exploitations, contre 19% pour chaque 2 jours. Le fourrage est déposé en vrac dans le parc par 13% des exploitations. Les autres distribuent de façon irrégulière.

Des exploitations ayant répondu à la question relative à la hausse ou baisse de la quantité de fourrage stocké entre 1998 et 1999, une régression a été constatée chez 56% (5/9) à M'Peresso et 71% (5/7) à Noyaradougou. Les principales contraintes évoquées par ces dernières sont: 1) manque de main d'œuvre principalement dans la classe III, 2) surcharge du calendrier pendant la période de transport du fourrage (récolte et pesée du coton, confection des maisons), 3) difficulté de stockage au champ (dégâts des animaux transhumants ou manque de berger), 4) richesse des pâturages à Noyaradougou. Les facteurs ayant favorisés l'augmentation du stock chez les 44% (4/9) à M'Peresso sont: l'augmentation des superficies maïs/niébé, la réconciliation dans la famille, et enfin l'inquiétude face à l'obtention d'aliment bétail.

Les quantités de tige de céréale qu'il faut comme fourrage par UBT/jour ne sont pas connues des paysans. Indépendamment du village et de la classe, plus de 85% des exploitations n'ont aucune idée de ces normes. Les quantités de résidus stockés sont fonction des moyens de l'exploitation et de l'allure de la campagne. Pour 10-14% des exploitations, 2 charretées/bovin/4 mois et 3 charretées/bovin/an de tige suffisent respectivement, comme fourrage et litière. Ces normes peuvent selon le poids de la charretée être très proches de celles proposées dans l'outil (*Chapitre 7*): 5,5 kg/j/UBT comme fourrage et 0,5-3,5 kg/j/UBT comme litière.

##### *Litière*

Dans le souci d'améliorer la qualité et d'augmenter la quantité de fumure organique, d'éviter la boue dans les parcs, de réduire les maladies des animaux et d'obtenir de bonnes productions des cultures, 100% (10/10) et 75% (6/8) des exploitations enquêtées respectivement à M'Peresso et Noyaradougou en 2000, utilisent de la litière sous les animaux. Cependant, une exploitation de la classe III de M'Peresso préfère les tiges de coton à celles des céréales pour la simple raison que ces dernières ont une forte capacité de rétention de l'eau (humidité) et qu'elles peuvent rendre les animaux malades. A Noyaradougou, les 25% des exploitations qui n'utilisent pas la litière sont toutes de la classe III. Ceci a pour raison, la méconnaissance du rôle de la litière ou le manque d'animaux.

Le transport de litière a eu lieu de novembre à juin. Toutefois la période où le maximum de transport a eu lieu diffère selon les cultures (Tableau 4.6). Les fanes d'arachide sont transportées en grande partie en novembre pour éviter leur pourriture au champ et l'action des termites. Les tiges de céréales sont transportées après la vaine pâture avant qu'elles ne soient sur-piétinées par les animaux. Les tiges de coton qui sont moins consommées par les animaux sont transportées surtout entre janvier et avril.

Tableau 4.6 Périodes de transport de la litière à Noyaradougou.

Culture	Période de transport	Maximum transport	
		Période	% des exploitations
Coton	Décembre-juin	Janvier - avril	67%
Céréales	Novembre-juin	Décembre - février	83%
Arachide	Novembre	Novembre	100%

Le transport de la litière est assuré dans 32% des exploitations par les enfants de moins de 16 ans. L'essentiel du travail est fait par des personnes d'âge variant entre 17 et 35 ans. Cette tranche d'âge participe aux travaux dans 89% (17/19) des exploitations. Les personnes de plus de 35 ans ne participent à ces travaux que dans 11% des exploitations.

La litière est utilisée en hivernage par 89% (17/19) des exploitations contre 11% (tous de la classe I) qui l'utilisent en hivernage et en saison sèche. L'épandage se fait une fois par semaine par 41% des exploitations contre 32%, 11%, 11% et 5% respectivement en cas de boue dans le parc, par quinzaine, par semaine en hivernage et par quinzaine en saison sèche et enfin après broyage.

A Noyaradougou, l'épandage de la litière est fait surtout par les chefs de travaux qui interviennent dans 74% des exploitations. Cependant, dans ce lot, certains chefs d'exploitations sont aussi chefs des travaux (2/19 soit 11%). Il est assuré par de simples actifs dans 26% des exploitations. L'épandage est fait dans 11% des exploitations par des jeunes de moins de 16 ans. Les personnes âgées de 17-35 ans font l'épandage dans 58% des exploitations contre 26% pour celles de plus de 35 ans. Les femmes interviennent dans 10% des exploitations. La quantité de litière épandue est fonction du nombre des animaux dans 11% des exploitations. Les autres exploitations ne tiennent pas compte de la taille du troupeau: 37% épandent la litière dans le parc pour couvrir la boue, tandis que 42% dont une moitié cherche à couvrir la surface du parc et l'autre les "lits des animaux" (lieux de repos préférés par les animaux dans le parc). Les autres exploitations (10%) n'ont donné aucune précision quant au mode d'épandage. La quantité de litière stockée est considérée comme insuffisante par 79% (15/19) des exploitations.

Par rapport à l'application de la litière, il a été constaté une augmentation des quantités utilisées chez 78% des exploitations de M'Peresso contre 17% à Noyaradougou. Les facteurs ayant favorisés cette hausse sont: l'acquisition des bœufs (classe III), transfert du parc au champ, sensibilisation par rapport aux effets positifs de FO, augmentation des superficies de coton, démarrage tardif des pluies en 2000 (plus de temps libre), réconciliation au niveau de l'exploitation et la présence d'un responsable pour le ramassage des résidus. La baisse des quantités stockées a été constatée dans les classes I et II à M'Peresso et dans toutes les classes à Noyaradougou. Les causes évoquées à M'Peresso sont les suivantes: possession de jachère (défrichage), blocage du transport au profit d'autres activités économiques et la consommation du stock de tige de coton par les animaux. A Noyaradougou, en plus de la principale cause qu'est

le manque de main d'œuvre familiale (exode et mariage des filles) ou salariée, il faut noter les problèmes liés à la santé des ânes et l'exécution d'activités privées rémunératrices au détriment du commun (classe I). Le manque de main d'œuvre, de charrette constitue la principale contrainte dans la classe III. Indépendamment du village et de la classe, 85 à 100% des exploitations ne connaissent pas les quantités de résidus qu'il faut comme litière par UBT/jour.

#### Compost des résidus

Le compostage, par le fait qu'il demande assez de courage selon les paysans, est pratiqué par environ 40% des exploitations ayant répondu à la question relative à cette activité à M'Peresso et 71% (5/7) à Noyaradougou. Toutefois, la hausse des quantités produites à la maison en 1999 par rapport à 1998 est notée chez seulement 38% des exploitations de Noyaradougou. Dans ce village, les quantités produites au champ ont baissé chez 100% (8/8) des exploitations enquêtées. Les principales raisons de la baisse à Noyaradougou sont: le manque de main d'œuvre, le brûlis des tiges par les enfants ou les feux de brousse, la durée plus longue du compostage au champ (2 ans). En plus du compostage, une bonne partie des résidus est utilisée à M'Peresso comme intrant des ordures.

#### 4.3.4.2 Disponibilité et évolution du stock

Du point de vue quantité totale de résidus disponible, la hiérarchie entre les classes est respectée. Les quantités moyennes de résidus disponibles à M'Peresso sont: 45,3, 26,2 et 14,7 tonnes respectivement pour les classes I, II, et III. A Noyaradougou, les quantités respectives pour les classes I, II et III sont: 24,8, 17,4 et 11,1 t. De ces quantités, la portion stockée comme fourrage, litière et compost représente en moyenne 27, 14 et 17% pour les classes I, II et III à M'Peresso, contre 34, 22 et 11% pour les mêmes classes à Noyaradougou. Il en est pratiquement de même quant au pourcentage de résidus stockés par rapport à la quantité totale. Indépendamment du village, les quantités stockées au départ (1994/95) sont supérieures à celle de 1997 (Figures 4.8).

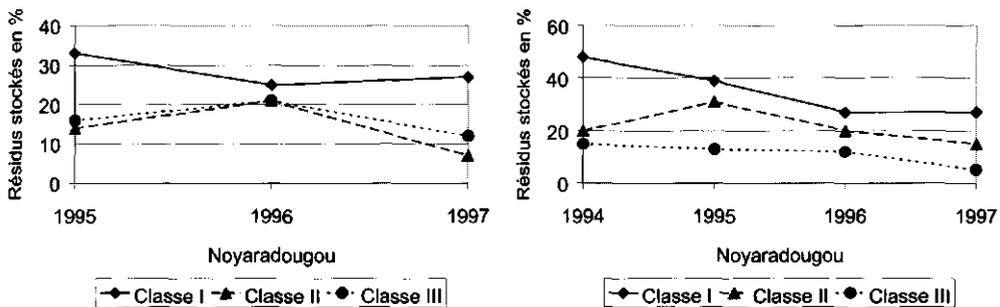


Figure 4.8 Evolution du stock de résidus à M'Peresso et à Noyaradougou.

De là, on comprend aisément que des efforts doivent être faits afin d'augmenter le taux de recyclage des résidus comme fourrage, litière ou compost. L'augmentation du stock est possible selon 68% des exploitations. Les solutions proposées sont:

- l'utilisation de la main d'œuvre temporaire;

- dédoublement d'effort;
- transport progressif (sur une période plus longue);
- stockage des tiges au champ.

#### 4.3.4.3 Stratégies de gestion du stock

Les paysans de M'Peresso qui se trouvent dans un milieu quasi saturé mettent plus d'accent sur le stockage comme fourrage et litière. Dans ce village, la portion stockée comme fourrage croît de la classe III vers la classe I, autrement dit avec la taille du troupeau, tandis que la part de la litière diminue dans le même sens (Figure 4.9). La quantité de résidus stockés pour le compostage varie entre 14 et 22% soit entre 0,5 et 2 t. La quantité de fourrage stocké par exploitation varie entre 0,4 et 7,6 t).

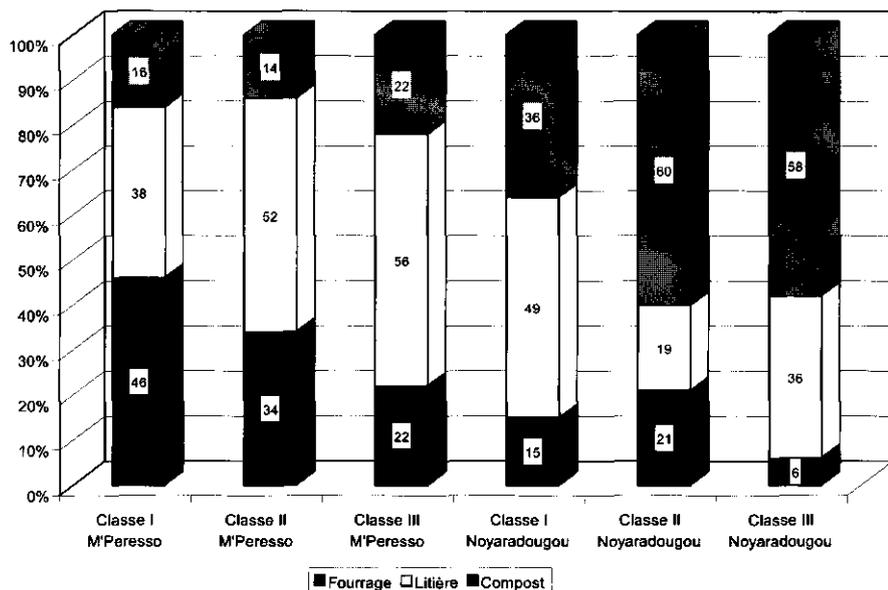


Figure 4.9 Stratégies d'utilisation des résidus par classe et par village.

A Noyaradougou, où le problème d'alimentation des animaux est moins crucial, les exploitations mettent plus d'accent sur le compostage des résidus, suivi de leur utilisation comme litière. Ainsi, par classe, 36 à 60% (0,7-3 t) des résidus sont compostés contre 19 à 49% (0,4-4 t) qui sont utilisés comme litière dans les parcs et 6 à 21% (soit 0,08-1,3t) comme fourrage. Les quantités maximales de résidus stockés sont 7,6 pour le fourrage et la litière et 4 t par exploitation pour le compost. A Noyaradougou, le fourrage et la litière constituent plus de 60% du stock dans la classe I contre environ 40% pour les classes II et III. Ces dernières utilisent environ 60% de leur stock pour le compostage.

Plus de 60 (5/8) et 80% (6/7) des paysans, respectivement de M'Peresso et Noyaradougou se disent incapables d'appliquer les normes de gestion des résidus soit par manque de main d'œuvre, de charrette, soit pour raison de surcharge du calendrier, de non maîtrise des pratiques ou pour des problèmes d'organisation au sein de l'exploitation. Aussi atteindre ces normes ne semble pas être un objectif pour certaines exploitations.

#### 4.3.5 Gestion des fumures par classe

##### 4.3.5.1 Fumure organique

###### *Stratégies de production*

Toutes les classes, sans exception, produisent et utilisent différents types de fumure organique. Les quantités totales varient selon les classes et les localités (zones). Ainsi, la classe I à M'Peresso utilise plus de 50 t de fumure organique contre 14 t pour la même classe à Noyaradougou. Face à la saturation de leur environnement en terme de terres cultivables disponibles et à la nécessité de se maintenir sur les mêmes terres, les exploitations de la classe III de M'Peresso utilisent autant de fumure organique que celles de la classe I de Noyaradougou (Tableau 4.7).

Tableau 4.7 Types de fumure organique utilisée par classe en tonne.

Village	Classe	Fumier	Poudrette + parcage	Excrément petits ruminants	Fumure animale totale	Ordures	Compost	Total FO
M'Peresso (59 cas)	I	18,6	1,8	0,3	20,7	33,9	4,8	59,4
	II	7,6	2,4	0,2	10,2	10,9	2,5	23,6
	III	5,0	0,6	0,1	5,7	7,0	1,3	14
Noyaradougou (72 cas)	I	6,5	0	0,2	6,7	4,0	3,5	14,2
	II	2,6	0	0,03	2,7	1,8	2,7	7,2
	III	2,4	0	0,1	2,5	2,7	3,6	8,8

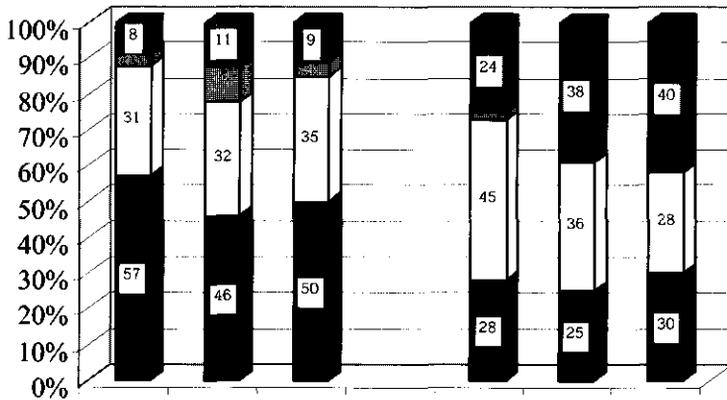
Les quantités de fientes de volaille varient entre 0 et 150 kg/exploitation. Elles n'ont pas été comptabilisées

Les exploitations de M'Peresso ont, en plus des quantités importantes de fumure animale produite, mis un accent particulier sur la production d'ordures. Indépendamment de la classe, 46 à 57% de la fumure produite à M'Peresso est constitué d'ordures. Entre 1998 et 1999, la quantité d'ordures a augmenté chez 80% (8/10) et 100% (5/5) des paysans enquêtés, respectivement à M'Peresso et Noyaradougou. La hausse est de 100%, 75% et 66%, respectivement pour les classes II, III et I à M'Peresso. Les raisons de cette hausse sont: augmentation des superficies de coton (tiges de coton comme intrant), bon état de l'âne (jeune et en bonne santé), augmentation du nombre d'actifs, sensibilisation par rapport à l'effet des ordures sur la production, réconciliation au sein de l'exploitation, disponibilité de temps suite au démarrage tardif (pluies) de la campagne. Les raisons évoquées pour la baisse sont: le délaissement de la collecte des ordures au profit de la vente du bois pour subvenir aux besoins financiers et la concurrence entre production d'ordures et confection de maison. De l'analyse des données du suivi-évaluation-permanent et de celles issues

de l'approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols, il ressort que la corrélation entre la production d'ordure et la population de l'exploitation est très faible. Des enquêtes menées en 2000, il ressort que la quantité d'ordures ménagères dépend plus de la volonté d'améliorer la fertilité, de la sensibilisation par rapport au problème de fertilité, du courage des actifs, des mesures incitatives au sein de l'exploitation que de la population de l'exploitation.

Le parage des animaux au champ est également pratiqué à M'Peresso, où même certains paysans de la classe III qui n'ont pas assez d'animaux, fréquentent les axes de transhumance et négocient avec les transhumants afin que ces derniers passent quelques jours dans leurs champs. De tels contrats peuvent être appelés "fumure contre résidus, thé, arachide et logeur".

Dans les deux villages, la proportion de la fumure d'origine animale est inférieure à 50% de la quantité totale de Fumure Organique (FO). A Noyaradougou, contrairement à la proportion de compost dans la FO, qui augmente de la classe I vers la classe III, celle du fumier décroît. A M'Peresso, une telle tendance (de la classe I vers la classe III ou vis versa) n'est pas constatée (Figure 4.10). A Noyaradougou, la faible proportion du fumier en relation avec la taille du troupeau est compensée dans les classes II et III par une plus grande production de compost.



■ Ordure □ Fumier ▨ Poudrette/parcage ▩ Fumure PR ■ Compost ■ Fientes

Figure 4.10 Stratégies de production de la fumure par classe et par village.

#### *Evolution de la production*

Si les superficies cultivées ont augmenté au fil du temps, les quantités et les doses de FO ont évolué en dent de scie au fil des années. En terme de quantité totale de fumure organique utilisée,

la différence entre les classes était nette au départ (1994 et 1995) dans les deux villages et elle augmentait de 1,6 à 2 fois lorsqu'on passe de la classe III à la II ou de la classe II à la classe I (Figures 4.11). Cependant, au fil du temps, si la classe I a pu maintenir l'écart entre elle et les autres, la classe II a légèrement régressé, tandis que la classe III a fait d'énormes progrès passant pratiquement du simple au double. La baisse générale de la quantité de fumure organique à Noyaradougou en 1996 est surtout liée au décimage du troupeau bovin par la péri-pneumonie en 1995 et le découragement général qui a suivi.

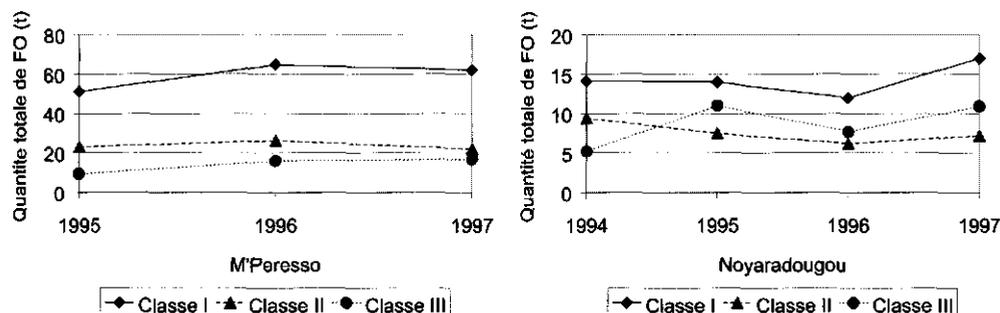


Figure 4.11 Evolution de l'utilisation de FO à M'Peresso et à Noyaradougou.

#### Stratégie d'utilisation et évolution des doses par classe

Le coton est la culture la plus fertilisée. Elle est suivie par le maïs. Indépendamment de la classe, les paysans utilisent des doses variant entre 6 et 25 t/ha sur coton à M'Peresso contre 4 et 19 t/ha à Noyaradougou. La classe I dans les deux villages ne fertilise généralement pas le maïs. Cette culture reçoit en moyenne 4,2 et 13,4 t/ha, respectivement dans les classes II et III de M'Peresso contre 2,2 et 14,1 t/ha dans les classes respectives de Noyaradougou. En effet, si la classe I produit le maïs surtout pour la vente, l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire constitue le principal objectif de production du maïs dans la classe III. Les mil et sorgho sont rarement fertilisés. Ils bénéficient des arrières effets de la fumure organique.

A M'Peresso, en 1995, il existait une légère différence entre les classes du point de vue dose de fumure sur le coton. La dose était de 15, 9 et 6 tonnes, respectivement pour les classes I, II et III. Cependant, au fil du temps, cette différence a disparu avec l'évolution en dent de scie des quantités de fumure produite par les classes I et II. Au niveau de la classe III, les quantités de fumure ont progressivement augmenté entre 1995 et 1997 (Figure 4.12). Contrairement à M'Peresso, les doses de FO sur coton en 1994 étaient pratiquement égales dans les 3 classes à Noyaradougou. Toutefois, de 1995 à 1997, la classe III a atteint, voire dépassé les doses de fumure organique utilisées sur coton par les autres classes (Figure 4.12). Cette performance de la classe III, tant du point de vue quantité totale que dose est due au souci des exploitations de cette classe d'égaliser les autres voire les dépasser. Aussi, il est plus facile de gérer les petites surfaces (classe III) en terme de dose de fumure que les grandes superficies des classes II et I. Indépendamment du village et malgré les fluctuations inter-annuelles, on constate une évolution positive des doses entre 1994/1995 et 1997.

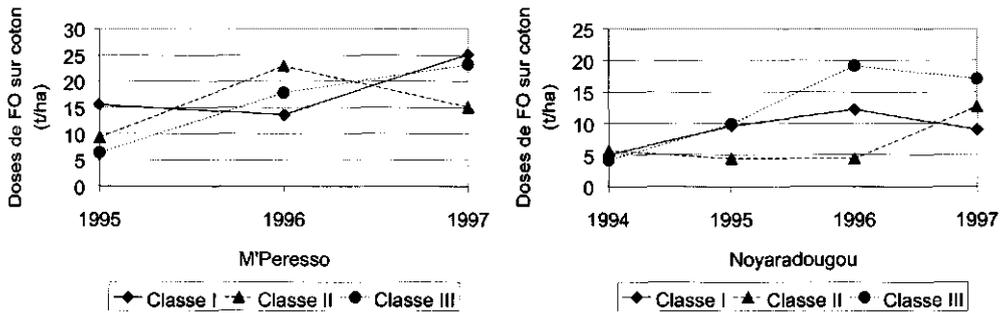


Figure 4.12 Evolution des doses de FO à M'Peresso et à Noyaradougou.

#### Appréciation et amélioration de la qualité des fumures

A M'Peresso, la qualité de la fumure organique est appréciée par les paysans à différents niveaux: du lieu de production jusqu'au rendement des cultures fertilisées. Les critères d'évaluation sont: couleur, chaleur, levée et rendement des cultures, taux de sable (Tableau 4.8).

Tableau 4.8 Méthodes paysannes d'appréciation et d'amélioration de la qualité de la fumure.

Critère	Appréciation de la qualité		Amélioration de la qualité
	Bonne	Médiocre	
- Couleur	- noire	- blanchâtre	- Ajout d'intrants: tiges, feuilles, herbes, déchet de battage, fientes de volaille, PNT - Arrosage en saison sèche - Retournement
- Chaleur	- avec chaleur	- sans chaleur	
- Infiltration d'eau	- lente	- rapide	
- Taux de sable	- faible	- élevé	
- Levée/rendement	- bon	- médiocre	
- Décomposition tige	- décomposées	- peu décomposées	

Certains paysans font le test de qualité des ordures sur sol sableux en utilisant la vitesse d'infiltration de l'eau.

#### 4.3.5.2 Fumure minérale

Tout comme la fumure organique, le coton et le maïs reçoivent l'essentiel des fumures minérales épandues. Les normes vulgarisées sont de 50 kg/ha d'urée et 150 kg/ha de complexe coton sur le coton contre 150 kg/ha d'urée et 100 kg/ha de complexe céréale pour le maïs. Sur le coton, les normes d'urée sont pratiquement respectées voire dépassées par les paysans des deux villages. Ceci est dû au fait que certains paysans pensent que des doses élevées d'urée permettent d'avoir de bons rendements. Les doses de complexe coton utilisées sur coton sont en générale inférieures à la

dose vulgarisée; toutefois, elles sont plus élevées à Noyaradougou qu'à M'Peresso (Tableau 4.9). La faiblesse des doses utilisées à M'Peresso par rapport à Noyaradougou peut être due à la substitution partielle des engrais minéraux par les quantités importantes d'engrais organiques utilisés dans le premier village (Figures 4.11). Indépendamment du village, la classe II utilise moins de fumure organique à l'hectare et plus d'urée et de complexe coton que les deux autres.

Tableau 4.9 Doses moyennes (kg/ha) de fumure minérale par classe à M'Peresso et Noyaradougou.

Villages	Classes	Coton		Maïs		
		Urée	*CCO	Urée	*CCE	*CCO
M'Peresso 1995-1997	I	48	108	69	85	43
	II	56	136	72	95	80
	III	51	112	100	110	121
Noyaradougou 1994-1997	I	69	148	84	98	129
	II	89	150	89	98	100
	III	67	149	98	104	146

\*CCO: Complexe coton (14-22-12-7-1 de NPKSB), CCE: Complexe céréale (15-15-15 de NPK).

Sur le maïs, les doses d'urée sont inférieures à la norme vulgarisée, tandis que celles du complexe céréale sont indépendamment du village, proches voire supérieures à la norme vulgarisée dans les classes II et III. Aussi indépendamment du village, les normes d'urée et de complexe céréale augmentent de la Classe I vers la Classe III. Ceci renforce l'idée que la classe III cherche à résoudre son problème de soudure ou d'autosuffisance alimentaire à travers le maïs. Une partie du complexe coton est détournée sur le maïs dans certaines exploitations, tandis que d'autres préfèrent le complexe coton sur le maïs à celui des céréales.

Les autres cultures comme le mil, sorgho, dolique et niébé sont en générale peu ou pas fertilisées. Cependant, elles sont directement (pur) ou indirectement (associations) plus fertilisées à Noyaradougou qu'à M'Peresso. En terme d'évolution des doses au fil des ans, une tendance croissante ou décroissante n'est pas rencontrée. Les doses fluctuent d'année en année.

De l'analyse de la fertilisation organique et minérale, il ressort que les exploitations de M'Peresso utilisent plus de fumure organique que celles de Noyaradougou et que ces dernières épandent plus de fumures minérales à l'hectare que les premières.

#### 4.3.6 Rendements par classe

La logique existante entre les classes I (bonne), II (moyenne) et III (faible) en terme gestion de la fertilité des sols, n'est pas respectée du point de vue rendement (Tableau 4.10). Cela peut être du au fait que le classement est beaucoup basé sur la quantité totale, le volume, plutôt que les rapports quantité/ha, quantité/UBT et/ou quantité/actif (Annexe 4.3). Le rendement dépend aussi d'une multitude de facteurs, autres que les apports et exportations d'éléments nutritifs.

Tableau 4.10 Rendement des cultures par classe et par village (kg/ha).

Village	Classes	Coton	Maïs	Sorgho	Mil	Arachide
M'Peresso (1995-1997)	I	1234	1969	1027	819	704
	II	1012	1626	940	769	659
	III	922	2034	1040	568	704
Noyaradougou (1994-1997)	I	1477	1687	817	778	432
	II	1510	1472	908	750	204
	III	1266	1529	961	699	283

Les rendements moyens du coton ont progressivement diminué par classe entre 1994/95 et 1997 dans les deux villages. Les rendements du coton à Noyaradougou étaient assez bons en 1994, cependant au fil du temps, ils se sont également stabilisés entre 1 et 1,3 t/ha en 1997 pour toutes les classes (Figures 4.13). En 1997, les rendements du coton étaient indépendamment de la classe inférieurs à 1 t/ha à M'Peresso. Ce constat est général pour les zones concernées par l'étude. La stagnation, voire la baisse des rendements du coton occupe le centre des débats tant au niveau des producteurs qu'au niveau de la recherche et la vulgarisation.

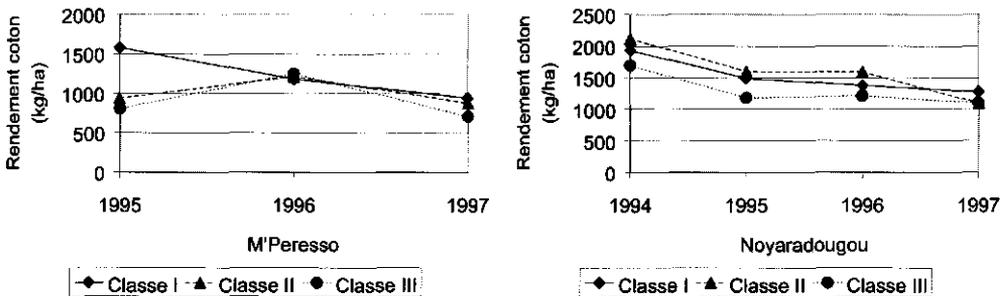


Figure 4.13 Evolution des rendements coton à M'Peresso et à Noyaradougou.

#### 4.4 Conclusions et suggestions

L'utilisation d'outils visuels comme les cartes d'exploitation permet une meilleure implication des paysans dans le diagnostic de leur situation, dans la planification d'actions, l'exécution et l'auto-évaluation de leurs stratégies d'amélioration de la fertilité des sols. Le regroupement des exploitations en classe de gestion de la fertilité des sols par les paysans a, contrairement à la typologie vulgarisée, un caractère local et tient compte des spécificités de chaque localité. Cette classification est basée non seulement sur des critères structurels mais aussi de gestion. Ce classement est beaucoup plus basé sur les quantités totales, le volume, que sur les rapports quantité/ha, quantité/UBT, quantité/actif (Annexe 4.3).

De 1994 à 1997, les superficies totales cultivées ont d'une manière générale augmenté et cela indépendamment du village et même de la classe. Indépendamment du village et de la classe, plus

de 85% des exploitations n'ont aucune idée sur les normes de fourrage ou de litière qu'il faut par UBT/jour. L'essentiel des travaux de recyclage des résidus et de manutention de la fumure organique est assuré par des personnes d'âge variant entre 17 et 35 ans. Indépendamment du village, les quantités de résidus stockées au départ (1994/95), sont supérieures à celle de 1997. De là, on comprend aisément que des efforts doivent être faits afin d'augmenter le taux de recyclage des résidus comme fourrage, litière ou compost.

Les principales contraintes à la gestion des résidus sont selon les paysans enquêtés liées au manque de main d'œuvre, de charrette, surcharge du calendrier, à la non maîtrise des pratiques ou aux problèmes d'organisation au sein de l'exploitation.

Face à la saturation de leur environnement en terme de terres cultivables disponibles et à la nécessité de se maintenir sur les mêmes terres, les exploitations de M'Péresso utilisent 2 fois plus de fumure organique que ceux de Noyaradougou. Ainsi, la classe III de M'Peresso produit autant de fumure organique que celles de la classe I de Noyaradougou. De 1995 à 1997, la classe III a atteint, voire dépassé les doses de fumure organique utilisées sur coton par les autres classes. Cette performance de la classe III, tant du point de vue quantité totale que dose est due au souci des exploitations de cette classe d'égaliser les autres voire les dépasser. Aussi, il est plus facile de gérer les petites surfaces (classe III) en terme de dose de fumure que les grandes superficies des classes II et I. Indépendamment du village et malgré les fluctuations inter-annuelles, on constate que les doses de FO utilisées en 1997 sont supérieures à celles de 1994/1995. Les doses de fumure minérale fluctuent d'année en année et il est difficile de dégager une tendance. Indépendamment du village et contrairement aux classes II et III, la classe I dans sa stratégie de gestion de la fumure organique ne fertilise généralement pas le maïs. En effet, si la classe I produit le maïs surtout pour la vente, l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire constitue le principal objectif de production du maïs dans la classe III.

Les rendements moyens du coton ont progressivement diminué à Noyaradougou en passant de 1,8 en 1994 à 1,1 t/ha en 1997, tandis que la moyenne 1995-1997 oscille autour de 1 t à M'Peresso.

## 5 Bilans d'éléments nutritifs par classe d'exploitation

### 5.1 Introduction

*La fertilité du sol dans un système intensif peut être maintenue seulement à travers une gestion intégrée des éléments nutritifs des plantes avec un recyclage efficient des matières organiques comme les résidus de culture, le compost ou le fumier en combinaison avec les engrais minéraux et en incluant les légumineuses dans les rotations (Bationo et al., 1998a). Bref, une telle gestion consiste en une manipulation judicieuse des stocks et flux qui favorisent l'apport d'éléments nutritifs, l'amélioration de leur recyclage et leur protection contre les pertes inutiles comme l'érosion et le lessivage (Smaling, 2000).*

Le problème de stagnation, voire de baisse des rendements devient de plus en plus préoccupant dans les zones pionnières de la production cotonnière du Mali-Sud. Beaucoup de parcelles dans ces zones sont exploitées en permanence depuis plus de 10 ans. Les paysans de ces zones fournissent de gros efforts pour se maintenir sur les mêmes parcelles en produisant des quantités non négligeables de fumier, de compost et d'ordures ménagères (Dembélé, 1994). Grâce au coton, ces zones, reçoivent également d'importantes quantités d'engrais minéraux. Le maintien de la fertilité du sol, à savoir la protection de sa capacité productive, est déterminé dans une large mesure par les bilans des éléments chimiques servant de nutriments pour les plantes. Les bilans n'ont pas pour objectifs de proposer immédiatement des solutions pratiques, mais de décrire de façon rigoureuse les effets de l'agriculture sur le sol, soubassement de toute production agricole. Au Mali-Sud, des bilans partiels ou complets d'éléments nutritifs ont été faits par principales rotations (van der Pol, 1992; Traoré, 1993; Cretenet, 1996), par cultures (van der Pol, 1992; Camara, 1996), selon l'emplacement du groupe ethnique (Ramisch, 1999) et pour l'exploitation entière (Defoer et al., 1998), pour la zone (van der Pol, 1992; Smaling, 1993). La conclusion générale qu'on peut tirer de la plupart des études sur les bilans d'éléments nutritifs au Mali-Sud est que malgré les multiples efforts fournis, les paysans de cette zone ont longtemps produit et produisent encore au détriment du capital sol (Tableau 1.2). En fonction du système de culture, le bilan en N variait entre -27 et -34, entre 0 et 1 pour P et entre -18 et -28 kg/ha pour K (van der Pol, 1993) et autour de -71 kg/ha pour K (Cretenet, 1996). Ces quantités d'éléments ont ensuite été converties par van der Pol (1991) en valeur monétaire sur la base des prix des engrais minéraux et en considérant le coût du déficit d'éléments nutritif en relation avec la valeur de la récolte (Harris, 1998). Alors, van der Pol trouva que la valeur du déficit d'éléments nutritifs était égale à 40% de la valeur du produit récolté, ce qui est de l'ordre de 15 000 F CFA/ha (van der Pol, 1991; Camara, 1996). Smaling (1993) a trouvé au Mali-Sud des pertes très proches de celles de van der Pol (1993); soit -25, 0 et -20 kg/ha/an pour l'azote, le phosphore et le potassium. Defoer et al. (1998) ont trouvé que le bilan est positif pour l'exploitation (système de culture, d'élevage et le ménage compris), soit 34, 5 et 32 kg/ha respectivement pour N, P, K. L'analyse du bilan obtenu par ces derniers montre qu'un tel résultat est surtout dû aux apports extérieurs: engrais minéraux achetés et fumure organique en provenance des pâturages communs. A Lanfiala (Mali-Sud/Kadiolo), le bilan pour le phosphore et le potassium était positif, tandis que celui de l'azote était de -3,2; -4,7; -21,4 et +23,3 kg/ha respectivement pour le centre du village, des hameaux, la périphérie du village et le campement peul (Ramisch, 1999). Cette grande variabilité du bilan au

Mali-Sud, au sein d'un village ou même entre les cultures d'une exploitation doit, comme évoqué par van den Bosch *et al.* (1998), Scoones & Toulmin (1998) et Ramisch (1999), pousser à les traiter avec prudence et d'un œil critique afin d'éviter des généralisations abusives sur l'ampleur des pertes.

Ces bilans sont des indicateurs précieux d'ordre général, qui ne donnent cependant pas l'impact des techniques mises en œuvre par différentes catégories d'exploitations sur la fertilité de leur terre. Bien qu'il existe encore peu d'informations sur le bilan NPK pour différentes catégories d'exploitations, il faut souligner les efforts récents en la matière. Ainsi, en utilisant des approches participatives et en intégrant plusieurs sources de données, Baijukya & De Steenhuijsen Piter (1998), Defoer *et al.* (1998), Elias *et al.* (1998) et Dembelé *et al.* (2000) ont fait des bilans d'éléments nutritifs respectivement en fonction de la possession et de la gestion des races bovines (Tanzani), des classes de gestion de la fertilité du sol (Mali-Sud), du niveau de richesse des paysans (Ethiopie) et des classes de gestion dans la région de Ségou (Mali). Ce chapitre a pour objectif d'analyser la gestion des flux d'éléments nutritifs par les différentes classes d'exploitations situées dans les localités distinctes en terme de pression sur les terres, de cerner les grandes tendances d'évolution au fil des ans et de voir les possibilités d'amélioration. Ainsi, l'accent est surtout mis sur les flux mesurés et en partie estimés avec les producteurs.

## 5.2 Méthodologie

En matière de gestion de la fertilité des sols, le bilan permet d'avoir une vision global des apports et exportations d'éléments nutritifs du sol et d'apprécier l'impact des techniques agricoles sur la fertilité. Selon Smaling *et al.* (1996), les flux entrant dans le calcul des bilans sont présentés dans la Figure 2.7. Le bilan peut être partiel ou complet. Dans le premier cas, les flux d'éléments nutritifs facilement mesurables sont considérés. Dans le second cas, en plus des flux du bilan partiel, ceux qui sont difficiles à mesurer sont pris en compte. Les données utilisées dans le bilan sont donc de types: 1) données primaires obtenues à partir des mesures au champ et des interviews des paysans et 2) données estimées qui sont des combinaisons des mesures au champ, de données sur les sites et les fonctions de transfert, autrement dit, des coefficients issus des études précédentes (van den Bosch *et al.*, 1998). Le bilan partiel au niveau exploitation est fait sur la base des données primaires et reflète surtout la pratique de l'exploitation.

### 5.2.1 Bilans partiels de N, P et K de l'exploitation

Dans la zone d'étude, l'analyse du système coton/céréales/élevage qui est le principal système de production, montre qu'il est difficile de maîtriser certains flux comme celui des résidus. En effet, le système est ouvert juste après les récoltes et des échanges de fourrage et de fumure ont lieu au sein de l'exploitation, entre les exploitations, entre les exploitations et le terroir voire avec d'autres terroirs (Figure 5.1). Dans le calcul des bilans partiels, l'accent est mis sur les flux en gras (Figure 5.1). Il s'agit des apports d'éléments nutritifs à travers les fumures minérales (IN1) et organiques (IN2) et des exportations à travers les graines (OUT1) et résidus (OUT2). Dans le calcul, pour mieux cerner les flux, nous avons subdivisé les apports de fumures organiques en celles apportées par l'élevage (IN2e: fumier, poudrette des parcs et du parcage direct dans le champ, les excréments

de petits ruminants et crottins d'ânes, fientes) et par le ménage (IN2m: ordures, composts) (Figure 5.1).

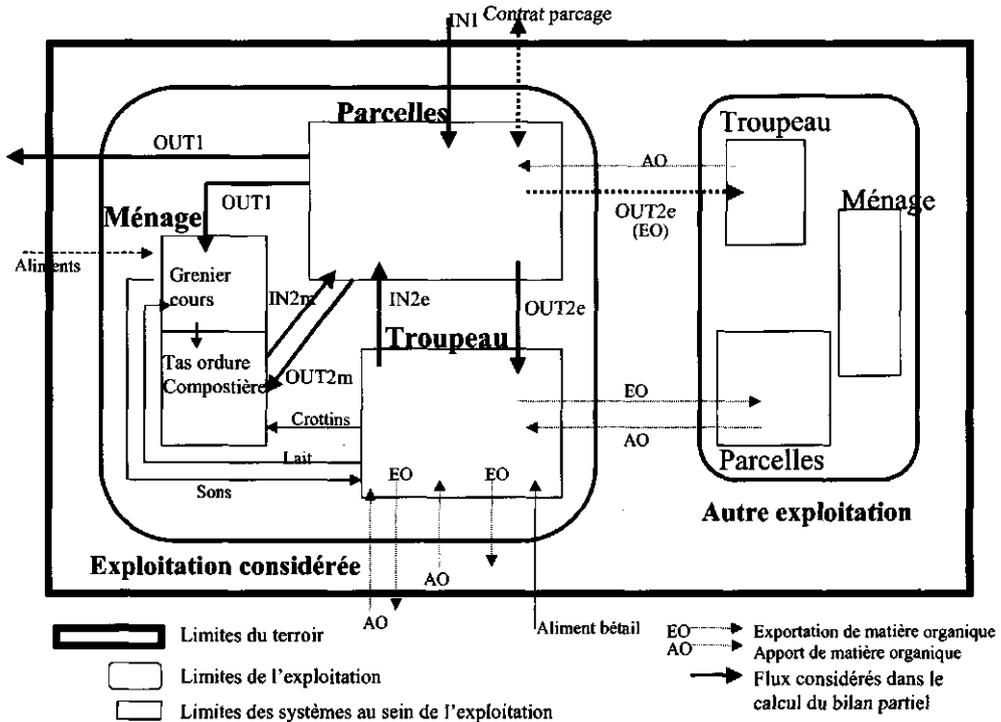


Figure 5.1 Echanges de flux d'éléments nutritifs entre une exploitation et son environnement au Mali-Sud.

Les exportations de résidus ont de même été subdivisées en ceux exportés par l'élevage (OUT2e: fourrage, litière, vaine pâture), par le ménage (OUT2m: intrant des compostières, des tas d'ordure, du sel de potasse) et par les brûlis (OUT2b). Les autres apports et exportations de matière organique (AO et EO) n'ont pas été directement considérés dans les calculs. Les quantités de résidus laissés sur place, piétinés par les animaux, en partie dégradés par les termites et enfouis au moment du labour ont été considérées comme des éléments neutres du bilan (ni perte, ni apport, mais juste un recyclage interne). Penning de Vries & Van Keulen (1982), après avoir constaté que les termites ne sélectionnent pas les meilleures parties des résidus qui se trouvent sur le sol, ont décidé de ne pas tenir compte de ces insectes pour le calcul des taux d'azote. En effet, le taux d'azote de la biomasse restante après le passage des termites était égal à celui de la biomasse des terrains sans termites et à celui de la paille stockée dans les termitières. Dans le calcul des bilans (tous cas confondus), il a été considéré que l'azote des résidus brûlés est totalement perdu et que 10% du phosphore et du potassium sont perdus par la même occasion (W. Quak cité par Camara, 1996). D'autres sources indiquent 90 à 95% de pertes d'azote par brûlis (Roose, 1979 cité par Ndoumbe & van der Pol, 1999; Brand & Pfund, 1998). Les échanges de flux d'éléments nutritifs

des plantes ont lieu à travers la vaine pâture à différents niveaux: 1) entre les systèmes de l'exploitation (cultures, élevage, ménage), 2) entre l'exploitation agricole et ses voisines, 3) entre elle et le terroir et 4) des échanges de flux avec d'autres terroirs (Figure 5.1). A ces échanges, il faut ajouter la vente de produits et l'achat d'engrais minéraux et d'aliments.

Les données ont été collectées en utilisant l'approche décrite dans la sous-section 4.2.1. Ainsi, le nombre de sacs d'engrais, de charretées de fumure organique, de graine, de litière, de fourrage utilisés/produits/transportés par parcelle et par culture ont été obtenus en utilisant les cartes d'exploitations et les guides d'entretien. La vaine pâture et les quantités de résidus laissées sur place ont été estimées du total de résidus produit en pourcentage. Les données des 40 exploitations suivies, dont 20 à Noyaradougou (1994-1997) et 20 à M'Peresso (1995-1997) (sous-section 4.2.2) et celles des Tableaux 3.2, 3.3 et 3.4 ont été considérées dans le calcul du bilan. D'autres coefficients issus de la bibliographie ont ensuite été utilisés pour convertir les quantités mesurées de fumure, de graines et de résidus en NPK. Ainsi, les coefficients utilisés pour convertir les apports de différents types de fumure et les exportations de NPK des graines et tiges sont mentionnés dans les Tableaux 5.1 et 5.2. Les exportations d'éléments nutritifs varient selon les espèces, mais aussi à l'intérieur de l'espèce (Tableau 5.2, Deat *et al.*, 1976, Annexe 5.1). Les variations au sein de l'espèce sont liées aux conditions climatiques, nutritionnelles (fertilité du sol et fertilisation), phytosanitaires ou au facteur génétique (variétés).

Tableau 5.1 Teneur en éléments nutritifs (NPK) des fumures (%) utilisée dans les calculs.

IN	Fumure	Types de fumure	N	P	K
IN1	Minérale	Complexe coton	14	9,57	10
		Complexe céréale	15	6,52	12,5
		Urée	46	0	0
IN2	Organique	Fumier	1,08	0,17	1,52
		Poudrette	1,21	0,2	1,55
		Compost	0,93	0,15	1,27
		Ordures ménagères	0,52	0,13	0,7
		*Fèces de petits ruminants	2	0,65	2,49
		*Fientes de volaille	3	1,09	1,08

Source: modifiée N'Tarla (1987), \* Memento de l'Agronome (1980).

Tableau 5.2 Teneur en éléments nutritifs (NPK) des graines et résidus de récolte (tiges et fanes) en % de matière sèche utilisée dans les calculs.

OUT	Partie	Élément	Coton	Maïs	Sorgho	Mil	Arachide	*Niébé	*Voandzou	•Patate	◆Dolique
OUT1	Graines	N	2,4	1,37	1,7	2,37	3,34	2,56	3,5	4,8	-
		P	0,29	0,22	0,2	0,28	0,17	0,3	0,3	0,79	-
		K	0,65	0,21	0,3	0,85	0,7	0,07	1,2	7,3	-
OUT2	Tiges ou Fanes	N	1,35	1,19	0,83	2,13	1,06	1,9	1,3	2,1	1,8
		P	0,07	0,15	0,05	0,21	0,1	0,11	0,09	1,18	0,21
		K	1,2	1,87	4,6	4,6	1,4	1,1	0,68	3,24	

Source modifiée: SRCFJ (1984) et SRCVO (1974, 1984, 1985) cités par IER/CMDT (1987), \* van Duivenbooden (1996), • Stoorvogel & Smaling (1990a), ◆ ESPGRN (1994a).

Les bilans ont été calculés par village, par classe d'exploitation et par an pour chaque culture de l'exploitation. Ce qui a donné un bilan B1 (kg/ha/an) par culture. En vue de prendre le poids de chaque culture dans l'exploitation, le bilan B1 a été multiplié par la superficie de la culture, ce qui a donné un bilan B2 (kg/an). Les bilans B2 des différentes cultures ont été mis ensemble et divisés par la somme des superficies cultivées pour avoir le bilan de l'exploitation.

$B1 = IN12 - OUT12$  (kg/ha/an);

IN12 = Somme des fumures organique et minérale apportées sur une culture donnée;

OUT12 = Somme des exportations de graines et de résidus de cette culture.

$B2 = B1 * S$  (kg/an), S= superficie d'une culture donnée (ha)

$Bex = \Sigma B2 / \Sigma S$

Dans le calcul des bilans, les jachères n'ont pas été prises en compte.

## 5.2.2 Bilans complets de N, P et K de l'exploitation

En plus des variables du bilan partiel (IN1, IN2, OUT1 et OUT2), les dépôts atmosphériques (IN3), la fixation biologique de N (IN4), les pertes par lessivage (OUT3), les pertes gazeuses (OUT4) et par érosion (OUT5) ont été considérées. Pour le calcul des flux difficiles (IN3, IN4 et OUT5), les informations et régressions de Stoorvogel & Smaling (1990a et b) ont été utilisées. Pour les pertes comme OUT3 et OUT4, les formules utilisées par Ndoumbe & Van der Pol (1999) ont été utilisées.

### 5.2.2.1 Dépôts atmosphériques (IN3)

Les éléments nutritifs apportés par les pluies et poussières (dépôts atmosphériques), varient selon les localités. Toutefois, les quantités d'azote varient entre 0,5 et 12,5 kg/ha. Les dépôts de P oscillent entre 1,3-2,09 contre 3,4-4,06 kg/ha pour le K (Pieri, 1985 et Villecourt, 1975, cités par Stoorvogel & Smaling, 1990b). Les valeurs considérées pour la zone d'étude figurent dans le Tableau 5.3. Ces dépôts bien qu'étant un apport au bilan sont faibles et ne peuvent pas couvrir les exportations engendrées par les graines.

### 5.2.2.2 Fixation biologique de N (IN4)

Les voies de fixation biologique:

1. Les légumineuses peuvent par symbiose satisfaire 60% de leur besoin en azote.
2. Toutes les cultures bénéficient de l'azote fixé par voie non-symbiotique à travers l'*Azotobacter*, le *Clostridium*, etc., ou des espèces ligneuses fixatrices d'azote présentes dans les champs comme certains *Acacia* (Tableau 5.3).
3. Le riz en condition d'inondation naturelle ou d'irrigation peut grâce aux algues (*Azola* et autres) satisfaire 80% de son besoin en azote, jusqu'à 30 kg/ha/an.

Dans les villages d'études, la contribution des ligneux et de la fixation non-symbiotique à la fixation biologique de l'azote est estimée à 4 et 5 kg/ha respectivement à M'Peresso et Noyaradougou (Stoorvogel & Smaling, 1990a).

Tableau 5.3 Villages d'étude et données correspondantes utilisées dans les calculs des bilans nutritifs complets.

Paramètre	Village	
	M'Peresso	Noyaradougou
Zonage pluviométrique (Land/water Class: LWC)	Pluviométrie incertaine	Bonne pluviométrie
Pluviométrie moyenne (mm)	900	1300 *(1100)
Base de dénitrification par LWC (kg de N/ha/an)	5	8
Fixation biologique de l'azote: contribution des ligneux et de la fixation non-symbiotique par LWC (kg de N/ha/an)	4	5
Classe de fertilité des sols	2	2
Concentration d'éléments nutritifs dans le sol érodé (%) pour la classe de fertilité des sols = 2		
N	0,1	0,1
P	0,022	0,022
K	0,08	0,08
Déposition atmosphérique (kg/ha)		
N	5,4	5,4
P	2,09	2,09
K	3,4	3,4

Sources adaptée de Stoorvogel & Smaling (1990a et b); Pieri (1985) et Villecourt, (1975) cités par Stoorvogel & Smaling (1990a et b), \*Pluviométrie moyenne à Noyaradougou

### 5.2.2.3 Sédimentation (IN5)

Elle concerne surtout les zones inondées et irriguées. Elle n'a pas été prise en compte dans cette étude qui est surtout axée sur les zones exondées non-irriguées.

### 5.2.2.4 Pertes par lessivage (OUT3)

Les pertes par lessivage concernent N et K. Ces pertes dépendent de la perméabilité du sol (texture et structure), de l'importance des engrais azotés et potassiques utilisés, du pouvoir de rétention de certains éléments par le sol, de la plante, de la pluviométrie et de sa distribution (IER/CMDT, 1987). Il ressort des résultats préliminaires des travaux d'Oliver *et al.* (2000), réalisés au centre sud du Burkina Faso, que les pertes annuelles par lessivage varient entre 5 et 52, et entre 8 et 99 kg/ha respectivement pour l'azote et le potassium. Ces grandes différences sont en partie liées aux conditions environnementales (pluviométrie, drainage, taux de matière organique du sol). Ainsi pour le même site, ces différences sont un peu atténuées. Sédogo *et al.* (2000), ont trouvé pour la période 1960-1978, que les pertes d'azote par lessivage et érosion combinées sont fonction du niveau de la fertilisation minérale et étaient égales à 5, 15 et 55 kg/ha respectivement en cas d'absence d'engrais, de faible dose (37N, 10P, 12K) ou de forte dose (60N, 15P, 42K, Sédogo, 1993). Ces pertes étaient de 13 et 184 kg/ha respectivement avec la dose faible associée à 5

t/ha/2ans de fumier et la dose forte combinée avec 40t/ha/2ans de fumier. Ainsi avec l'intensification, le lessivage augmente avec un effet plus ou moins marqué sous l'action de la fumure organique ou du chaulage. Selon Sédogo (1993), les fortes doses de fumier, au fil des ans augmentent le stock de matière organique, la CEC (Capacité, d'Echange Cationique) et s'opposent à la lixiviation des cations. Au Niger, sur sol très sableux, Brouwer & Bouma (1997) ont constaté aux profondeurs 1,5 – 2 m, l'augmentation de 91 kg/ha de N, 19 kg/ha de P et 1070 kg/ha de carbone organique après 1 an d'application d'1 t/ha de fumier de bétail. Les pertes totales de nitrates par lessivage à partir de la couche arable varient de 4 à 42% de l'azote appliqué (Murwira *et al.*, 1993). Des pertes totales difficilement mesurables, le pourcentage imputable au lessivage était de 5 et 7% respectivement pour l'azote et le potassium (Ndoumbe & Van der Pol, 1999), ce qui donne un rapport  $K/N = 7/5 = 1,4$  (Annexe 5.2). Aussi, dans les régressions de Stoorvogel & Smaling (1990a), le rapport K/N de la fraction des fumures perdues par lessivage est égale à  $0,5/0,3 = 1,66$ . Ces deux résultats étant très proches, la valeur 1,5 sera considérée pour cette étude. L'analyse des travaux de Ndoumbe & Van der Pol (1999) montre que le rapport pertes gazeuses/lessivage de N oscille autour de 3 (Annexe 5.2). En considérant que 25% de l'azote des fumures sont perdues par voie gazeuse (van der Pol, 1992, cité par Ndoumbe & Van der Pol, 1999), les pertes par lessivage de N seront:  $25/3 = 8\%$ . En considérant le coefficient K/N comme étant égale à 1,5, alors la perte de K par lessivage des engrais sera:  $8 * 1,5 = 12\%$ . En résumé, dans le calcul des pertes par lessivage, nous considérons que 8% de l'azote et 12% du potassium des fumures totales appliquées sont perdus. La méthode utilisée est celle de Ndoumbe & Van der Pol (1999).

#### Cas de l'azote

$Out\_leac = Out\_leacfix + Out\_leac\_inpix$  (voir exemple en Annexe 5.3)

où,

$Out\_leacfix$ : perte fixe (perte de base à partir de la matière organique du sol) par lessivage d'élément nutritif d'une localité kg/ha/an;

$Out\_leac\_inpix$ : perte par lessivage d'élément nutritif à partir des apports kg/ha/an (pour 1 saison de culture).

#### 1) Calcul de $Out\_leacfix$

$Out\_leacfix = F\_leac\_area * st\_leac\_loss$

où,

$F\_leac\_area$ : coefficient de correction relatif à la localité;

$st\_leac\_loss$ : perte standard de lessivage par type de sol en kg/ha/an.

$F\_leac\_area = A + (rain\_mm/B)$ ,

où,

$A = 0,5$  et  $B = 2000$ ,  $rain\_mm$  = pluviométrie en mm

## 2) Calcul de *Out\_leac\_inpix*

$$\text{Out\_leac\_inpix} = 0,01 * \% \text{inp\_loss\_by\_leachingix} * \text{F\_leac\_area} * \text{IN\_fertix (or Orgix)}$$

où,

*Inp\_loss\_by\_leachingix*: pourcentage d'éléments nutritifs appliqué perdu par lessivage pour chaque culture/type de sol (%).

*IN\_fertix (or Orgix)*: élément nutritif appliqué kg/ha (où i: apport, x: élément nutritif)

### *Cas du potassium*

Pour le potassium, les mêmes formules ont été utilisées. Seulement, dans le calcul de *F\_leac\_area*, une régression entre l'azote et le potassium a été introduite comme suite:

$\text{F\_leac\_area K} = 0,3015 * \text{F\_leac\_area N}$ . En effet, en mettant dans une régression les pertes de N et de K par culture selon Ndoumbe & Van der Pol (1999) (Annexe 5.4), on obtient une telle relation avec  $R^2 = 0,97$ .

### 5.2.2.5 *Pertes gazeuses (OUT4)*

Il s'agit des pertes d'azote par volatilisation et dénitrification. Les pertes par volatilisation concernent l'ammoniac dans des conditions alcalines ou en cas d'application superficiel d'engrais en sol sableux. Il faut souligner que les sols alcalins sont rares dans la zone d'étude. La dénitrification est beaucoup plus liée aux conditions d'aération et d'humidité. Les pertes par dénitrifications bien que considérées comme faibles peuvent atteindre 30 à 40% de l'azote minéral du sol dans des conditions de forte acidité du sol (IER/CMDT, 1987). Les pertes d'azote par volatilisation et dénitrification sont estimées à 15% de celles difficilement mesurables (Ndoumbe & Van der Pol, 1999). Les pertes gazeuses à partir des fumures varient de 17-36% et celles de l'azote de la matière organique du sol entre 15-25 kg/ha (Pieri, 1986 et Gigou, 1986, cités par Ndoumbe & Van der Pol, 1999) (Annexe 5.5). La méthode de Ndoumbe & van der Pol (1999) a été utilisée.

$$\text{Out\_deni} = \text{Out\_deni\_fix} + \text{Out\_deni\_inp}$$

où,

*Out\_deni\_fix*: perte gazeuse fixe (ou de base) pour chaque culture (kg/ha/an);

*Out\_deni\_inp*: perte gazeuse de chaque fumure (kg/ha/an).

*Out\_deni\_fix* n'est pas calculé. On considère généralement *Out\_deni\_inp* qui se calcul comme:

$$\text{Out\_deni\_inp} = 0,01 * \% \text{inp\_gas\_loss} * \text{In\_ferti (or In\_orgi)}$$

où,

*%inp\_gas\_loss*: pourcentage de perte gazeuse de chaque fumure (%);

*In\_ferti (or In\_orgi)*: azote appliqué kg/ha.

Pour notre étude, les valeurs des pertes d'azote utilisées par van der Pol au Mali-Sud sont considérées. Il s'agit de 25% des pertes à partir des engrais et 12 kg/ha/an comme perte de base (Ndoumbe & Van der Pol, 1999).

### 5.2.2.6 Erosion (OUT5)

Les pertes par érosion et ruissellement sont fonction de l'agressivité et de l'intensité des pluies, de la pente, de la perméabilité du sol et de sa richesse en éléments minéraux. Les régressions de Stoorvogel & Smaling (1990a) ont été utilisées pour calculer ces pertes:

$$\text{OUT 5 (N)} = \text{EF} * \text{Nc} * \text{Pe}$$

$$\text{OUT 5 (P)} = \text{EF} * \text{Pc} * \text{Pe}$$

$$\text{OUT 5 (K)} = \text{EF} * \text{Kc} * \text{Pe}$$

où,

EF: Facteur d'enrichissement

Nc: Concentration de N (%) dans le sol érodé selon la classe de fertilité de la FAO

Pc: Concentration de P (%) dans le sol érodé selon la classe de fertilité de la FAO

Kc: Concentration de K (%) dans le sol érodé selon la classe de fertilité de la FAO

Pe: Perte de sol par érosion (tonne/ha/an) selon les Systèmes d'Utilisation des Terres (LUS: Land Use Systems) de la FAO

Tableau 5.4 Concentration d'éléments nutritifs dans le sol érodé à trois niveau de fertilité des sols (%).

Classe de fertilité du sol	N	P	K
1	0,05	0,009	0,04
2	0,1	0,02	0,08
3	0,2	0,04	0,16

Source: Stoorvogel & Smaling (1990a)

Le facteur d'enrichissement (EF) sera considéré comme étant égale à 2 pour N, P et K en considérant que le rapport concentration des éléments dans le sol érodé par rapport au matériel original est égale à 2. Dans le calcul de l'érosion, nous sommes basés sur les travaux de Bah (1992) et de Vlot & Traoré (1995). Ces auteurs qui ont respectivement mené leurs études dans les zones de Sikasso et Koutiala ont trouvé des pertes variant entre 0,02 et 22 t/ha/an. Ceci montre toute la diversité de situation. Cependant, pour la zone cultivée, les pertes moyennes sur deux ans (1987 et 1988) pour Bah (1992) et (1993 et 1994) pour Vlot & Traoré (1995) donnent 7,41 t/ha/an pour le premier et 7,43 t/ha/an (exclus M'Pessoba) pour les derniers. Ainsi, dans nos calculs, la perte de sol par érosion a été considérée comme étant égale à 7 t/ha/an. En effet, les sites d'expérimentation (cas de Koutiala) avaient des pentes un peu plus marquées que celles de la plupart de nos exploitations suivies. Il faut toutefois souligner qu'il s'agit là des données obtenues sur de petites parcelles expérimentales.

### 5.2.2.7 Excréments humains (OUT6)

Dans la Figure 2.7, une partie des récoltes est auto-consommée (FI4). Cette partie consommée est généralement destinée aux profondes latrines sous forme d'excréments humains et perdue pour l'exploitation (OUT6). Cependant, une telle fumure en provenance des latrines commence à être considérée chaque fois que celles-ci sont vidées. Elle retourne sur les parcelles ou sur d'autres unités (jachère, pâturage) sous forme d'apport. Le paysan AB a une fois loué un camion pour transporter dans son village situé à 12 km de la ville, le contenu d'une latrine des citadins. Cette entrée de fumure qui est encore timide en zone rurale n'est pas prise en compte dans le calcul du bilan.

## 5.3 Résultats

### 5.3.1 Bilans partiels

#### 5.3.1.1 Bilans partiels du coton

Le coton est la culture la plus fertilisée et reçoit plus de NPK qu'elle n'exporte (Tableau 5.5). Ainsi, indépendamment du village et de la classe, ses bilans partiels en N, P et K sont positifs et la valeur de N ou K est au moins 2 fois plus élevée à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Cela peut être dû au fait que le premier village utilise plus de fumure et produit (rendements) moins de coton que le second. A M'Peresso, la classe I a un bilan en potassium supérieur à celui des autres classes, tandis qu'à Noyaradougou, la classe III domine légèrement les autres en terme de bilan. En effet, les exploitations de la classe I de M'Peresso utilisent plus de fumure organique par unité de surface que les classes II et III. La classe III de Noyaradougou utilise pratiquement les mêmes quantités de fumure que les 2 autres classes et exporte moins que celles-ci. A M'Peresso, les exportations à partir des résidus de coton sont faibles et varient entre 5 et 7 kg/ha de N, 0,2 et 0,3 kg/ha de P et entre 4 et 6 kg/ha de K en comparaison avec des apports de matière organique variant entre 47 et 68 kg/ha de N, 9 et 13 kg/ha de P et 63 et 93 kg/ha de K. Ainsi il est clair que le coton reçoit de la matière organique en provenance d'autres cultures. Il s'agit là d'un transfert de fertilité entre cultures au sein de la même exploitation, qui n'a généralement pas d'inconvénient sur le bilan de l'exploitation. Il peut toutefois défavoriser les parcelles qui reçoivent rarement le coton. Une pareille tendance est constatée à Noyaradougou: bien que la différence entre les apports de fumure organique et les exportations de résidus soit moins marquée. De là, il ressort que les éléments nutritifs des résidus de coton sont mieux recyclés à Noyaradougou (Tableau 3.16 et Tableau 5.5) par le bétail et le ménage sous forme de litière, de compost et d'ordure.

#### 5.3.1.2 Bilans partiels du maïs

Des superficies emblavées au Mali-Sud, celles du maïs viennent en deuxième position en terme de fumure reçue. Contrairement au coton, le bilan du maïs est meilleur à Noyaradougou qu'à M'Peresso. Indépendamment du village, il ressort que les bilans N, P et K du maïs s'améliorent progressivement de la classe I vers la III. Comme expliqué dans la sous-section 4.3.4, cette tendance peut être liée aux objectifs de production. La classe I étant autosuffisante met plus

d'accent sur le coton, tandis qu'en plus de l'importance accordée à cette culture de rente, la recherche de l'autosuffisance alimentaire reste une priorité de la classe III, qui utilise plus de fumure organique sur maïs que les autres. Ainsi, 52-74% de l'apport en potassium de la classe III vient de la fumure organique. Ceci explique aussi le meilleur bilan en potassium de cette classe (-6, +1) par rapport aux 2 autres où le déficit en cet élément varie entre -14 et -48 kg/ha (Tableau 5.6). Donc, le bilan en potassium est négatif pour toutes les classes exceptée la classe III de Noyaradougou. Le bilan en azote du maïs est en général positif, sauf dans les classes I et II de M'Peresso. Ces dernières utilisent 1,5 à 2 fois moins de fumure minérale (azote) que les classes correspondantes de Noyaradougou, mais aussi exportent autant, sinon plus de graines et de résidus que les autres. Le bilan en phosphore est positif ou oscille autour de 0 dans toutes les classes sauf dans la classe I de M'Peresso où il atteint -4 kg/ha. Indépendamment du village, la classe I exporte au moins 20 fois plus de résidus de maïs qu'elle n'apporte de la fumure organique sur la même culture. Cette différence est inférieure à 3 pour la classe III qui cherche à atteindre l'autosuffisance alimentaire à travers le maïs.

### 5.3.1.3 Bilans partiels du sorgho

Le sorgho ne reçoit généralement pas de fumure. Cependant, en cas de semis tardif ou de mauvaise levée, certaines parcelles reçoivent de petites quantités d'engrais. Les quantités de N, P et K utilisées sur cette culture dépassent rarement 3-5 kg/ha, or les exportations en ces éléments varient de 25 à 35, de 2,4 à 3 et de 55 à 90 kg/ha respectivement. Ainsi, les bilans N, P et K sont indépendamment du village et de la classe négatifs. Le déficit est plus marqué à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Ceci s'explique en partie par les apports relativement élevés et les exportations moins marquées dans le second village. A M'Peresso, la classe II a le meilleur bilan. En effet, cette classe utilise autant, sinon plus de fumure que les autres classes, produit moins de graines et exporte moins de résidus. A Noyaradougou, contrairement aux apports qui décroissent de la classe I vers la III, les déficits en azote et en phosphore croissent dans le même sens. Ceci est dû au fait que les exploitations des classes II et III exportent pratiquement les mêmes quantités que la classe I.

### 5.3.1.4 Bilans partiels du mil

Le petit mil, comme le sorgho a indépendamment du village et de la classe des bilans N, P et K négatifs. Le déficit est plus marqué à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Cela est dû au fait que le petit mil cultivé en pur dans le premier village ne reçoit pratiquement pas de fumure, tandis que dans le second village, il est fertilisé à travers l'association maïs/mil. Aussi, les tiges de mil sont plus exportées à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Indépendamment du village, les déficits en éléments nutritifs croissent de la classe III vers la classe I, parallèlement avec la taille du troupeau (Tableau 5.8 et Tableau 4.2). Cette tendance s'explique surtout par le fait que les classes II et III utilisent autant, sinon plus de fumure que la classe I et exportent moins de résidus. Les résidus de mil sont très souvent stockés comme fourrage (Tableau 3.16).

Les exportations des résidus par le ménage et le bétail sont assez élevées pour le sorgho et le mil qui malheureusement ne reçoivent pas de fumure organique, ni du côté du bétail ni du ménage. Alors où sont partis ces résidus? Logiquement, on déduit des Tableaux 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 (coton, maïs, sorgho, mil) qu'en plus des pertes de fumure sur les parcours, lors des transports et des

transformations des ordures et composts, une bonne partie de la fumure utilisée sur coton provient de ces cultures.

#### **5.3.1.5 Bilans partiels de l'arachide**

L'arachide est la légumineuse la plus cultivée dans les villages d'étude. Cette culture est rarement fertilisée et les doses reçues sont insignifiantes (Tableau 5.9). Les bilans en N, P et K de l'arachide sont de loin moins déficitaires que ceux du mil et du sorgho. Les déficits sont plus marqués à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Ceci est dû surtout aux exportations en NPK par les graines et fanes qui sont plus élevées à M'Peresso. De l'analyse des bilans, il ne se dégage aucune tendance nette entre les classes.

#### **5.3.1.6 Bilans partiels de N, P et K de l'exploitation et leurs évolution**

En plus des principales cultures mentionnées, la dolique, le niébé, la patate et le voandzou rencontrés dans les exploitations ont été pris en compte dans le calcul des bilans au niveau exploitation. Des bilans partiels de l'exploitation (Tableau 5.10), il ressort que l'azote est positif à Noyaradougou, tandis qu'il oscille entre 0,7 et -2,5 kg/ha/an à M'Peresso. Indépendamment du village et de la classe, le bilan du phosphore est positif et varie entre 2,9 et 6,6 kg/ha/an. Le bilan partiel du potassium est déficitaire dans toutes les classes exceptée la classe III de Noyaradougou. En terme des bilans de l'exploitation, aucune tendance nette ne se dessine entre les classes. Cependant, à Noyaradougou, le bilan de l'azote croit de la classe I vers la classe III. En effet, le rapport IN/OUT (apport/exportation) croit dans le même sens. Ce qui veut dire que l'azote est légèrement mieux valorisé dans la classe I. Cela peut être dû à plusieurs facteurs, parmi lesquels le niveau d'équipement et la disponibilité en main d'oeuvre.

Les bilans partiels de N, P et K sont en général plus déficitaires à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Cela peut être dû au fait qu'à Noyaradougou le système de culture est basé sur le coton-maïs (76% des superficies) qui sont fertilisés, tandis qu'à M'peresso, ces cultures occupent 42% des superficies contre 48% pour les mil et sorgho (Figures 3.4 et 3.5). Le petit mil et le sorgho sont généralement très peu ou pas fertilisés et sont de gros exportateurs d'azote et surtout de potassium (Tableaux 5.2, 5.7 et 5.8). Ainsi, il va de soit qu'à égale production, les bilans de M'Peresso soient moins bons que ceux de Noyaradougou. En effet, Noyaradougou utilise 2,5 à 3 fois plus de fumure minérale que M'Peresso, soit 25-27 kg/ha d'azote de plus. Cependant, M'Peresso aussi utilise 1,2 à 2 fois plus de fumure organique que Noyaradougou soit 2,7-12,3 kg/ha d'azote de plus. Dans le suivi-évaluation-permanent de l'ESPGRN, on parle d'une substitution partielle des fumures minérales par les organiques à M'Peresso.

Tableau 5.5 Bilans partiels de N, P et K du coton (moyenne de 3 ans pour M'Peresso et de 4 ans pour Noyaradougou) (kg/ha/an).

Éléments des bilans partiels	M'Peresso									Noyaradougou								
	Classe I			Classe II			Classe III			Classe I			Classe II			Classe III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale	36	10	11	44	13	13	37	9	10	50	14	15	57	13	14	51	14	15
Fumure organique	68	13	93	47	9	63	48	9	65	22	4	29	18	3	24	21	4	28
FO des animaux	35	6	49	26	4,3	35,6	24,9	4	35	12,7	2,1	17,7	9,4	1,5	13,2	8	1,4	11
FO du ménage	33	7	44	20	4,6	27,5	21,7	4,9	29	8,6	1,7	11,6	7,8	1,5	10,6	12,5	2,5	17
FO volaille	0	0	0	1	0,3	0,3	1,3	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1	0,5	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2
<b>Apport total</b>	<b>104</b>	<b>23</b>	<b>104</b>	<b>91</b>	<b>22</b>	<b>76</b>	<b>85</b>	<b>18</b>	<b>75</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>44</b>	<b>75</b>	<b>16</b>	<b>38</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>43</b>
Graines et fibres	30	4	8	24	3	7	22	3	6	35	4	10	36	4	10	30	4	8
Résidus	7	0,3	6	6	0,2	5	5	0,2	4	15	1	12	15	1	11	14	0	7
R des animaux	6	0,3	5,4	4,5	0,2	4	3,9	0,2	3,5	8,9	0,5	7,9	5,3	0,3	4,7	6,2	0,2	3,3
R du ménage	0,9	0	0,8	0,8	0	0,7	1,0	0	0,9	4	0,2	3,5	6,5	0,3	5,8	3,4	0,2	3,0
R brûlé	0,3	0	0	0,4	0	0	0,4	0	0	1,5	0	0,1	3,2	0	0,3	4,6	0	0,4
<b>Exportation totale</b>	<b>37</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>51</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>15</b>
<b>Bilan</b>	<b>68</b>	<b>19</b>	<b>90</b>	<b>61</b>	<b>19</b>	<b>64</b>	<b>58</b>	<b>15</b>	<b>64</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>28</b>

FO des animaux: fumier + crottins + poudrette de parc et du parcage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le tô";

NB: Les résidus laissés sur place et partiellement dégradés par les termites ont été considérés comme les éléments neutres du bilan.

Tableau 5.6 Bilans partiels de N, P et K du maïs (moyenne de 3 ans pour M'Peresso et de 4 ans pour Noyaradougou) (kg/ha/an).

Éléments des bilans partiels	M'Peresso																	
	Classe I			Classe II			Classe III			Classe I			Classe II			Classe III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale	29	4	7	21	3,7	5,6	44	5,5	7,7	44	5,7	10	45	5,1	10	48	5,6	9,6
Fumure organique	0	0	0	12	2	15,7	17	3	22,7	1	0,1	1	3	0,6	1	8	1,4	10,7
FO des animaux	0	0	0	9,9	1,6	13,6	10,7	1,8	13,8	0,3	0	0,4	1,5	0,3	0,4	3,8	0,6	5,3
FO du ménage	0	0	0	1,6	0,4	2,1	6,5	1,2	8,9	0,2	0	0,3	1,3	0,3	0,3	4	0,8	5,4
FO volaille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,2	0	0
<b>Apport total</b>	<b>29</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>33</b>	<b>5,7</b>	<b>21,3</b>	<b>61</b>	<b>8,5</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>5,8</b>	<b>11</b>	<b>48</b>	<b>5,7</b>	<b>11</b>	<b>56</b>	<b>7,0</b>	<b>20</b>
Graines et fibres	27	4	4	22	3,6	3,4	28	4,5	4,3	23	3,7	3,5	20	3,2	3,5	21	3,4	3,2
Résidus	32	4	51	20	2,5	32,2	20	2,6	32	20	2,2	27,5	15	1,8	27,5	21	1,4	15,9
R des animaux	32,3	4,1	50,9	19,4	2,4	30,5	20,4	2,6	32	14,4	1,8	22,6	11,2	1,4	22,6	7,7	1	12,2
R du ménage	0	0	0	1,0	0,1	1,7	0	0	0	2,7	0,3	4,3	3,1	0,4	4,3	1,2	0,2	1,9
R brûlé	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2	0	0,5	0,7	0	0,5	11,8	0,2	1,8
<b>Exportation totale</b>	<b>59</b>	<b>8</b>	<b>55</b>	<b>42</b>	<b>6,1</b>	<b>35,7</b>	<b>48</b>	<b>7,1</b>	<b>36</b>	<b>43</b>	<b>5,9</b>	<b>31</b>	<b>35</b>	<b>5,0</b>	<b>31</b>	<b>42</b>	<b>4,8</b>	<b>19</b>
<b>Bilan</b>	<b>-30</b>	<b>-4</b>	<b>-48</b>	<b>-9</b>	<b>-0,4</b>	<b>-14</b>	<b>13</b>	<b>1,4</b>	<b>-6</b>	<b>2</b>	<b>-0,1</b>	<b>-20</b>	<b>13</b>	<b>0,7</b>	<b>-20</b>	<b>14</b>	<b>2,2</b>	<b>1</b>

FO des animaux: fumier + crotins + poudrette de parc et du parage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le 10";

NB: Les résidus laissés sur place et partiellement dégradés par les termites ont été considérés comme les éléments neutres du bilan.

Tableau 5.7 Bilans partiels de N, P et K du sorgho (moyenne de 3 ans pour M'Peresso et de 4 ans pour Noyaradougou) (kg/ha/an).

Éléments des bilans partiels	M'Peresso									Noyaradougou								
	Classe I			Classe II			Classe III			Classe I			Classe II			Classe III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale	0,6	0,2	0,4	1	0,3	0,3	1,3	0,4	0,5	13,3	1,7	3,3	5,3	0,5	1	2,4	0,5	0,9
Fumure organique	0,7	0,2	1	0,7	0,1	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FO des animaux	0,1	0	0,2	0,5	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FO du ménage	0,6	0,2	0,8	0,2	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FO volaille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Apport total</b>	<b>1,3</b>	<b>0,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>13,3</b>	<b>1,7</b>	<b>3,3</b>	<b>5,3</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>2,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>
Graines et fibres	17	2,1	3,1	16	1,9	2,8	18	2,1	3,1	14	1,6	2,5	15	1,8	2,7	16	1,9	2,8
Résidus	16	1	86,9	12	0,7	64,5	14,5	0,8	79,4	16	0,8	70,5	10	0,6	52,3	19	0,6	58
R des animaux	10,9	0,7	60,4	10,6	0,7	58,6	13,7	0,82	75,7	7,7	0,5	42,9	7,8	0,6	43,1	9,6	0,6	53
R du ménage	4,8	0,3	26,5	1,1	0	5,9	0,7	0	3,7	4,6	0,3	25,4	1,6	0	8,8	0	0	0
R brûlé	0,2	0	0	0	0	0	0,1	0	0	3,8	0	2,1	0,5	0	0,3	9,0	0	5
<b>Exportation totale</b>	<b>33</b>	<b>3</b>	<b>90</b>	<b>28</b>	<b>2,6</b>	<b>67</b>	<b>32,5</b>	<b>2,9</b>	<b>83</b>	<b>30</b>	<b>2,4</b>	<b>73</b>	<b>25</b>	<b>2,4</b>	<b>55</b>	<b>35</b>	<b>2,5</b>	<b>61</b>
<b>Bilan</b>	<b>-32</b>	<b>-2,6</b>	<b>-89</b>	<b>-26</b>	<b>-2,2</b>	<b>-66</b>	<b>-31</b>	<b>-2,5</b>	<b>-82</b>	<b>-17</b>	<b>-0,7</b>	<b>-70</b>	<b>-20</b>	<b>-1,9</b>	<b>-54</b>	<b>-33</b>	<b>-2,0</b>	<b>-60</b>

FO des animaux: fumier + crottins + poudrette de parc et du partage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le 10";

NB: Les résidus laissés sur place et partiellement dégradés par les termites ont été considérés comme les éléments neutres du bilan.

Tableau 5.8 Bilans partiels de N, P et K du mil (moyenne de 3 ans pour M'Peresso et de 4 ans pour Noyaradougou) (kg/ha/an).

Eléments des bilans partiels	M'Peresso						Noyaradougou												
	Classe I		Classe II		Classe III		Classe I		Classe II		Classe III								
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K							
Fumure minérale	0,3	0	0	0,1	0,04	0,1	0,2	0,03	0,03	0,03	22	3,1	5,7	19	3	5,3	29	3,2	5,3
Fumure organique	0	0	0	0,6	0,2	0,7	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0,2	1,8	3	0,6	3,8
FO des animaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	1,4	0	0	0
FO du ménage	0	0	0	0,53	0,2	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0,4	2,7	0,6	3,8
FO volatile	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
<b>Apport total</b>	<b>0,3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>22</b>	<b>3,1</b>	<b>5,7</b>	<b>20</b>	<b>3,2</b>	<b>7,1</b>	<b>32</b>	<b>3,8</b>	<b>9,1</b>
Graines et fibres	19	2,3	7	18	2,2	6,5	13	1,6	4,8	19	2,3	6,8	18	2,1	6,4	17	2,0	5,9	
Résidus	65	6,1	135	35	3,1	69,9	28	2,7	59	53	3,5	78,1	40	3,6	78,5	45	2,2	48,7	
R des animaux	42,6	4,2	92	31,4	3,1	67,8	21,2	2	45,8	33,7	3,3	72,7	24,4	2,4	52,6	18,3	1,8	39,6	
R du ménage	19,4	1,9	42	0,7	0	1,5	6,1	0,7	13	0,6	0	1,4	11,6	1,2	25	1,8	0,2	3,8	
R brûlé	2,9	0	0,6	2,6	0	0,6	1,1	0	0,2	18,9	0,2	4	4	0	0,9	24,5	0,2	5,3	
<b>Exportation totale</b>	<b>84</b>	<b>8,4</b>	<b>142</b>	<b>53</b>	<b>5,3</b>	<b>76</b>	<b>41</b>	<b>4,3</b>	<b>64</b>	<b>72</b>	<b>5,8</b>	<b>85</b>	<b>58</b>	<b>5,7</b>	<b>85</b>	<b>62</b>	<b>4,2</b>	<b>54,6</b>	
<b>Bilan</b>	<b>-84</b>	<b>-8,4</b>	<b>-142</b>	<b>-52</b>	<b>-5,1</b>	<b>-75</b>	<b>-41</b>	<b>-4,3</b>	<b>-64</b>	<b>-50</b>	<b>-2,7</b>	<b>-79</b>	<b>-38</b>	<b>-2,5</b>	<b>-78</b>	<b>-30</b>	<b>-0,4</b>	<b>-46</b>	

FO des animaux: fumier + crottes + poudrette de parc et du parcage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le tô";

NB: Les résidus laissés sur place et partiellement dégradés par les termites ont été considérés comme les éléments neutres du bilan.

Tableau 5.9 Bilans partiels de N, P et K de l'arachide (moyenne de 3 ans pour M'Peresso et de 4 ans pour Noyaradougou) (kg/ha/an).

Éléments des bilans partiels	M'Peresso									Noyaradougou								
	Classe I			Classe II			Classe III			Classe I			Classe II			Classe III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale IN1	0	0	0	0,07	0,03	0,06	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Fumure organique IN2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Apport total IN1 + IN2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
Graines et fibres OUT1	23,5	1,2	4,9	21,8	1,1	4,6	23,5	1,2	4,9	14,4	0,7	3	6,8	0,4	1,4	9,4	0,5	2
Résidus OUT2	8,9	0,8	11,7	7,7	0,7	10,2	7,9	0,7	10,5	3,2	0,3	4,3	0,8	0	1,2	0	0	0
R des animaux Out2a	7,6	0,7	10	7,4	0,7	9,8	7,0	0,6	9,3	2,8	0,3	3,7	0,8	0	1,1	0	0	0
R du ménage Out2m	1,3	0,1	1,7	0,3	0,03	0,4	0,9	0,09	1,2	0,4	0	0,6	0	0	0,1	0	0	0
R brûlé Out2b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Exportation totale OUT1 + OUT2</b>	<b>32,4</b>	<b>2</b>	<b>16,6</b>	<b>30</b>	<b>1,8</b>	<b>14,8</b>	<b>31,4</b>	<b>1,9</b>	<b>15,4</b>	<b>17,6</b>	<b>1,0</b>	<b>7,3</b>	<b>7,6</b>	<b>0,4</b>	<b>2,6</b>	<b>9,4</b>	<b>0,5</b>	<b>2</b>
<b>Bilan IN-OUT</b>	<b>-32,4</b>	<b>-2</b>	<b>-16,6</b>	<b>-30</b>	<b>-1,8</b>	<b>-14,8</b>	<b>-31,4</b>	<b>-1,9</b>	<b>-15,4</b>	<b>-13,4</b>	<b>-1,0</b>	<b>-7,3</b>	<b>-7,6</b>	<b>-0,4</b>	<b>-2,6</b>	<b>-9,4</b>	<b>-0,5</b>	<b>-2</b>

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le fô";

NB: Les résidus laissés sur place et partiellement dégradés par les termites ont été considérés comme les éléments neutres du bilan.

Tableau 5.10 Bilans partiels de N, P et K de l'exploitation (moyenne de 3 ans pour M'Peresso et de 3 ans pour Noyaradougou) (kg/ha/an).

Eléments des bilans partiels	M'Peresso									Noyaradougou								
	Classe I			Classe II			Classe III			Classe I			Classe II			Classe III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale	15,9	4,1	4,4	16,4	4,6	4,9	13,4	3,2	3,4	42,9	9,1	11,3	42,1	7,6	9,7	40,6	8	9,9
Fumure organique	23,8	4,6	32,7	16,4	3,2	22	14,5	2,9	19,4	11,5	2,1	15,7	8,1	1,5	11	11,8	2,2	15,9
FO des animaux	12,0	1,9	16,8	9,7	1,7	13	8	1,4	10,6	6,97	1,2	9,5	4,5	0,8	6	4,8	0,9	6,4
FO du ménage	11,8	2,7	15,9	6,7	1,5	9	6,5	1,5	8,8	4,56	0,9	6,2	3,6	0,7	5	7,0	1,3	9,5
<b>Apport total</b>	<b>39,8</b>	<b>8,7</b>	<b>37,1</b>	<b>32,8</b>	<b>7,8</b>	<b>26,9</b>	<b>27,9</b>	<b>6,0</b>	<b>22,8</b>	<b>54,5</b>	<b>11,2</b>	<b>27</b>	<b>50,2</b>	<b>9,1</b>	<b>20,7</b>	<b>52,4</b>	<b>10,2</b>	<b>25,8</b>
Graines et fibres	21,6	2,5	5,4	18,8	2,2	4,8	17,3	2,0	4,2	28,2	3,7	7,3	24	3,1	5,8	22,6	2,9	5,4
Résidus	19,4	1,6	50,3	13,3	1,1	33,3	13,1	1,1	35,7	17,3	1,3	23,8	15	1,1	22,6	17,3	0,8	17
R des animaux	14,9	1,3	36,9	12	1,0	31,2	10,9	0,9	31,3	11,7	1,0	18,1	7,8	0,7	14,6	6,2	0,6	13,1
R du ménage	4,1	0,3	13,3	0,7	0,06	1,9	1,9	0,2	4,3	3,4	0,25	5,2	5	0,4	7,7	1,9	0,14	2,3
R brûlé	0,4	,003	0,09	0,6	,006	0,1	0,25	,002	0,06	2,3	0,02	0,5	2,2	0,02	0,3	9,2	0,09	1,6
<b>Exportation totale</b>	<b>40,9</b>	<b>4,1</b>	<b>55,7</b>	<b>32,1</b>	<b>3,3</b>	<b>38,1</b>	<b>30,4</b>	<b>3,1</b>	<b>40</b>	<b>45,5</b>	<b>5</b>	<b>31,1</b>	<b>39</b>	<b>4,2</b>	<b>28,4</b>	<b>39,9</b>	<b>3,7</b>	<b>22,4</b>
<b>Bilan</b>	<b>-0,3</b>	<b>4,7</b>	<b>-18,6</b>	<b>0,7</b>	<b>4,5</b>	<b>-11,2</b>	<b>-2,5</b>	<b>2,9</b>	<b>-17,2</b>	<b>9</b>	<b>6,2</b>	<b>-4,1</b>	<b>11,2</b>	<b>4,9</b>	<b>-7,7</b>	<b>12,5</b>	<b>6,5</b>	<b>3,4</b>
<b>R Incorporés</b>	<b>11,7</b>	<b>0,9</b>	<b>35</b>	<b>16,8</b>	<b>1,4</b>	<b>47,6</b>	<b>15,3</b>	<b>1,2</b>	<b>47,2</b>	<b>8,8</b>	<b>1</b>	<b>16,5</b>	<b>10</b>	<b>1,0</b>	<b>22,8</b>	<b>8,2</b>	<b>0,7</b>	<b>18</b>

FO des animaux: fumier + crottins + poudrette de parc et du parage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le tô;

R incorporés: résidus laissés sur place, piétinés par les animaux, en partie dégradés par les termites et enfouis au moment du labour. Cette partie a été considérée comme élément neutre du bilan.

### *Evolution du bilan par village*

L'analyse de l'évolution du bilan partiel, montre qu'il s'est d'une manière générale amélioré au fil des ans (Figures 5.2-5.7). En effet, indépendamment du village et de la classe, le constat général est que les bilans NPK de 1997 sont meilleurs à ceux de 1995.

Le bilan de N est pratiquement positif à Noyaradougou tandis qu'il est négatif à M'Peresso pendant les deux premières années du suivi. Ainsi, comme mentionné ci dessus, Noyaradougou apporte 1,2 à 1,8 fois plus de N par an que M'Peresso. Par rapport à 1995, le bilan de N s'est amélioré dans toutes les classes en 1997. Ceci est dû non seulement à l'augmentation des apports de 1997 par rapport aux années précédentes, mais aussi à la légère baisse des exportations (graines et résidus) dans toutes les classes exceptée la classe I de Noyaradougou (Annexes 5.6.1, 5.6.2 et 5.6.3).

Le bilan du phosphore est positif dans les deux villages et dans toutes les classes. Sa valeur à M'Peresso fluctue entre 1,7 et 5,5 contre 3,9 et 7,8 kg/ha/an à Noyaradougou. En effet, non seulement, les prélèvements de phosphore par les plantes sont moins élevés (Tableau 5.2) que les apports faits par les paysans, mais aussi, les pertes sont assez limitées. Déjà, dans ce bilan partiel, les pertes de phosphore par brûlis ont été considérées comme étant égale à 10% du phosphore total des résidus brûlés contre 100% pour l'azote.

Durant la période de suivi, le bilan du potassium a été négatif dans toutes les classes à M'Peresso. Cependant, il s'est nettement amélioré au fil des ans dans ce village, sans pour autant atteindre l'équilibre. A Noyaradougou, c'est la classe II qui a un bilan négatif en potassium en 1995 et 1996. Cela peut être du non seulement à l'apport relativement faible de K par cette classe, mais aussi à la relative importance des superficies de mil et de sorgho, qui sont de 2,2 contre 1,8 pour la classe I et 1,1 ha pour la classe III.

De 1994/95 (période de diagnostic) à 1997, on constate une évolution positive des bilans de N, P et K, quelque soit le village ou la classe. Cela peut être du à :

- réduction des rendements et par conséquent des exportations (cas de 1997);
- augmentation de la technicité suite aux multiples formations;
- nécessité de se maintenir sur les mêmes terres avec les mêmes niveaux de rendement, ce qui exige des investissements (fumure organique et minérale, lutte contre l'érosion, etc.).

Ainsi au bout du rouleau, le bilan s'améliore, mais le paysan fournit plus d'efforts pour produire les mêmes quantités (rendements). Donc, le système tend vers une durabilité écologique, mais pas forcément économique. Ceci nous amène à nous demander si "durabilité écologique fait bon ménage avec durabilité économique".

### *Evolution du bilan par classe d'exploitation*

A M'Peresso, le bilan de N s'améliore de façon linéaire au fil des ans dans la classe I. Il s'est également amélioré de 1995 à 1997 dans la classe III. Cela est dû à l'augmentation des apports en 1996 et 1997, mais aussi à la réduction des exportations de résidus en 1996 et à la baisse des exportations en graine et en résidus en 1997. La classe II a connu une légère baisse en 1996 à cause de la baisse des apports de N et de l'augmentation des exportations probablement due à l'arrière effet des fumures organiques dont les quantités en 1995 étaient relativement supérieures à celles de 1996 et 1997.

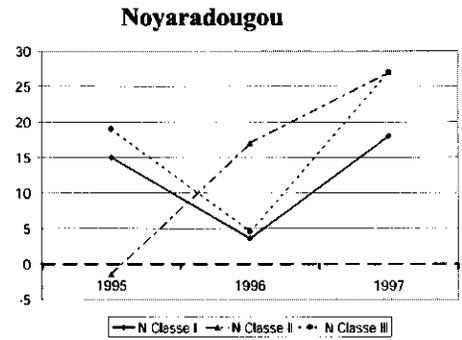
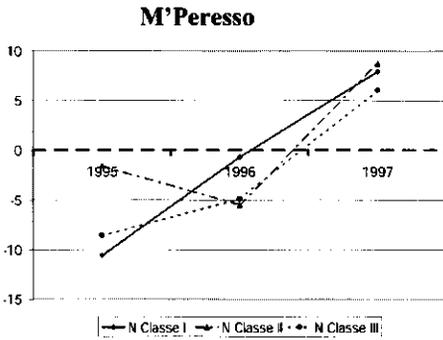


Figure 5.2

Figure 5.3

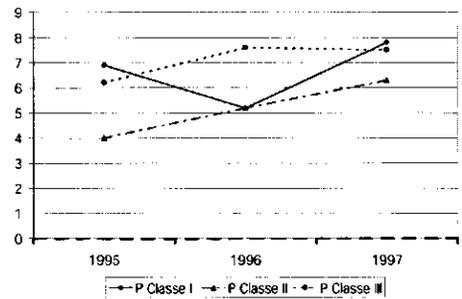
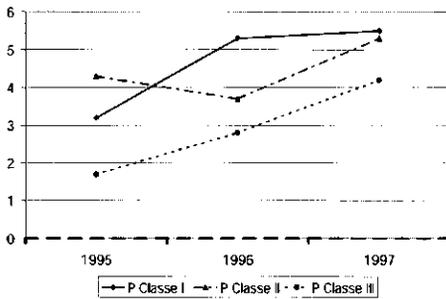


Figure 5.4

Figure 5.5

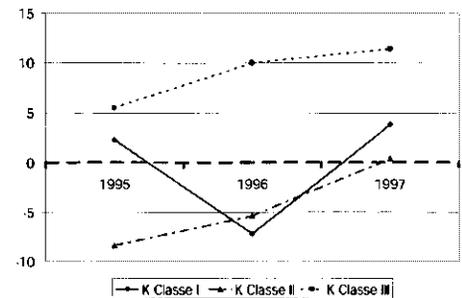
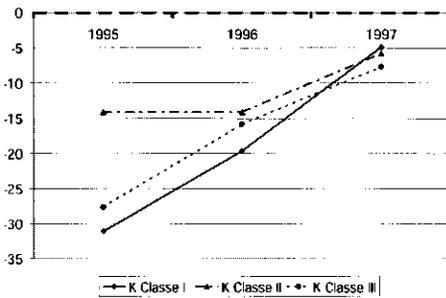


Figure 5.6

Figure 5.7

Figures 5.2-5.7 Evolution des bilans NPK par classe d'exploitation à M'Peresso et Noyaradougou.

A Noyaradougou, par rapport à l'azote, le bilan de la classe II s'est amélioré au fil des ans, tandis que les classes I et III ont connu une baisse marquée en 1996. En effet, les 3 classes ont connu une baisse des apports de fumure organique et surtout d'origine animale. Cette baisse est la conséquence de la peri-pneumonie bovine qui a décimé une partie du troupeau en 1996. Ainsi, à cause de cette maladie, le nombre de bovins par exploitation entre 1994 et 1997 est passé de 17 à 11 dans la classe I et de 13 à 6 dans la classe II. La classe III a en moyenne été moins frappée par cette épidémie et le nombre de bovins par exploitation fluctuait autour de 3. En conséquence, exceptée la classe II, les pertes par le brûlis de résidus ont doublé et sont passés de 1,5 à 3,1 dans la classe I et 2,4 à 19,2 kg/ha dans la classe III. Il faut également noter que la baisse des quantités de fumure organique fut compensée par la classe II en apportant 17 kg/ha d'azote d'engrais minéraux de plus en 1995 contre 0 et 7,5 kg/ha respectivement pour les classes I et III. La même tendance est valable pour le P et K de la classe I de Noyaradougou. La classe III à Noyaradougou est la seule classe à avoir un bilan positif en potassium entre 1995 et 1997. Cela est dû au fait que cette classe apporte autant sinon plus de potassium que les autres et exporte moins qu'elles car ayant moins de main d'œuvre et moins d'animaux pour l'entretien de ses parcelles.

### 5.3.2 Bilans complets de N, P et K de l'exploitation

Les bilans complets tiennent compte des pertes difficiles à mesurer et des apports d'éléments nutritifs à travers les poussières, pluies et végétaux (Tableau 5.11). Ces pertes, qui existent effectivement, peuvent rendre les efforts fournis en terme d'apport de fumure moins rentables, d'où la nécessité de leurs prise en compte.

Le bilan complet de l'azote est indépendamment du village et de la classe négatif. Cependant, contrairement au bilan partiel, le bilan complet de l'azote à M'Peresso est meilleur à celui de Noyaradougou. Ceci est surtout dû à la forte mobilité de l'azote dont une certaine portion est perdue par lessivage et voie gazeuse tant au niveau du sol que des fumures utilisées. Les quantités lessivées augmentent avec le niveau de la fertilisation (Sédogo *et al.*, 2000). Or les exploitations de Noyaradougou utilisent plus d'azote que celles de M'Peresso (Tableau 5.11). Le lessivage est aussi influencé par la fertilité du sol et la pluviométrie. Les sols cultivés de Noyaradougou avec 0,03% d'azote sont relativement plus fertiles que ceux de M'Peresso qui contiennent à peine 0,02%. La pluviométrie est plus élevée à Noyaradougou (1000 mm) qu'à M'Peresso (800 mm). Or selon van der Pol & Autissier (1997), il existe une forte corrélation entre les pertes par lessivage, érosion et la pluviométrie. Ainsi, à cause des facteurs cités ci dessus, les pertes de l'azote minéralisé du sol et de celui des fumures appliquées est plus élevée à Noyaradougou qu'à M'Peresso. La différence entre le bilan partiel et complet oscille entre 26 et 30 kg/ha d'azote à M'Peresso et entre 43 et 46 kg/ha à Noyaradougou. Cependant, la différence entre les deux villages pourrait être moins importante si la texture des sols avait été prise en compte. En effet, les sols sont plus sableux à M'Peresso qu'à Noyaradougou (Tableau 3.6). Le bilan en azote est indépendamment du village plus déficitaire dans la classe I que dans les 2 autres. En effet, la classe I, bien qu'utilisant relativement plus d'azote que les autres, exporte plus par les cultures et par les pertes non-utiles. Comme, il vient d'être constaté pour Noyaradougou et pour les classes I, les pertes par lessivage et par voie gazeuse sont plus marqués pour le coton et le maïs qui sont fertilisés que pour les mil et sorgho.

Tableau 5.11 Bilans complets de N, P et K de l'exploitation (kg/ha/an).

Éléments des bilans partiels	M'Peresso									Noyaradougou								
	Classe I			Classe II			Classe III			Classe I			Classe II			Classe III		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale	15,9	4,1	4,4	16,4	4,6	4,9	13,4	3,2	3,4	42,9	9,1	11,3	42,1	7,6	9,7	40,6	8	9,9
Fumure organique	23,8	4,6	32,7	16,4	3,2	22	14,5	2,9	19,4	11,5	2,1	15,7	8,1	1,5	11	11,8	2,2	15,9
Apport atmosphérique	5,4	2,1	3,4	5,4	2,1	3,4	5,4	2,1	3,4	5,4	2,1	3,4	5,4	2,1	3,4	5,4	2,1	3,4
Apport biologique	5,8	-	-	5,5	-	-	5,9	-	-	5,3	-	-	5,1	-	-	5,4	-	-
<b>Apport total</b>	<b>51,0</b>	<b>10,8</b>	<b>40,5</b>	<b>43,7</b>	<b>9,8</b>	<b>30,3</b>	<b>39,2</b>	<b>8,2</b>	<b>26,2</b>	<b>65,2</b>	<b>13,3</b>	<b>30,4</b>	<b>60,7</b>	<b>11,2</b>	<b>24,1</b>	<b>63,2</b>	<b>12,3</b>	<b>29,2</b>
Graines et fibres	21,6	2,5	5,4	18,8	2,2	4,8	17,3	2,0	4,2	28,2	3,7	7,3	24	3,1	5,8	22,6	2,9	5,4
Résidus	19,4	1,6	50,3	13,3	1,1	33,3	13,1	1,1	35,7	17,3	1,3	23,8	15	1,1	22,6	17,3	0,8	17
Perte par lessivage	9,9	-	6,1	9,3	-	5	9	-	4,6	16,3	-	6,9	16	-	6,1	16,2	-	6,7
Perte gazeuse	16,9	-	-	15,2	-	-	14	-	-	25,6	-	-	24,6	-	-	24,1	-	-
Perte par érosion	14	2,8	11,2	14	2,8	11,2	14	2,8	11,2	14	2,8	11,2	14	2,8	11,2	14	2,8	11,2
<b>Exportation totale</b>	<b>OUT1-OUT5</b>	<b>81,8</b>	<b>7</b>	<b>73</b>	<b>6</b>	<b>54,3</b>	<b>67,4</b>	<b>5,9</b>	<b>55,7</b>	<b>101,5</b>	<b>7,8</b>	<b>49,2</b>	<b>93,6</b>	<b>7</b>	<b>45,7</b>	<b>95,2</b>	<b>6,5</b>	<b>40,3</b>
<b>Bilan</b>	<b>IN-OUT</b>	<b>-30,8</b>	<b>3,8</b>	<b>-32,5</b>	<b>-26,9</b>	<b>3,8</b>	<b>-24</b>	<b>-28,2</b>	<b>2,3</b>	<b>-29,5</b>	<b>-36,3</b>	<b>-18,8</b>	<b>-32,9</b>	<b>4,2</b>	<b>-21,6</b>	<b>-32</b>	<b>5,8</b>	<b>-11,1</b>
<b>R Incorporés</b>		<b>11,7</b>	<b>0,9</b>	<b>35</b>	<b>16,8</b>	<b>1,4</b>	<b>47,6</b>	<b>15,3</b>	<b>1,2</b>	<b>47,2</b>	<b>8,8</b>	<b>1</b>	<b>16,5</b>	<b>1,0</b>	<b>22,8</b>	<b>8,2</b>	<b>0,7</b>	<b>18</b>

R incorporés: résidus laissés sur place, piétinés par les animaux, en partie dégradés par les termites et enfouis au moment du labour. Cette partie a été considérée comme élément neutre du bilan.

Le bilan complet du phosphore respecte les mêmes tendances que celui du bilan partiel. Il est positif dans les 2 villages et dans toutes les classes. Comme au niveau du bilan partiel, sa valeur est relativement plus élevée à Noyaradougou qu'à M'Peresso. En ce qui concerne le phosphore, la différence entre les deux bilans n'est que de 0,7 kg/ha. Ceci est dû à la faible mobilité du phosphore et aux exportations relativement faibles de P par les cultures comparativement à l'azote et au potassium.

Le bilan complet du potassium comme celui de l'azote est indépendamment du village et de la classe négatif. Comme dans le cas du bilan partiel, le déficit en cet élément est moins marqué à Noyaradougou qu'à M'Peresso. Ceci peut être dû à la différence de système de culture entre les deux villages. Les mil et sorgho qui dominent à M'Peresso exportent beaucoup de potassium à travers leur résidu (Tableaux 5.2 et 5.11). La différence de potassium entre les 2 bilans oscille entre 10 et 14 kg/ha.

Ainsi, le bilan partiel donne une image en général plus positive que le bilan complet. Le passage du bilan partiel au complet touche plus l'azote que le potassium, qui aussi est plus affecté que le phosphore. Cela est beaucoup plus lié au degré de mobilité de ces éléments. Les valeurs du bilan complet sont très proches de celles obtenues au Mali-Sud par van der Pol (1993) et Smaling (1993). En effet, les valeurs obtenues se trouvent pratiquement dans la limite des scénarios optimistiques et pessimistiques de van der Pol (1993). Ces valeurs allaient être davantage proche si les jachères avaient été prises en compte dans les calculs.

## 5.4 Conclusions

Les bilans partiels du coton en N, P et K sont indépendamment du village et de la classe positif dans les villages d'études, tandis que ceux du maïs sont fonction des objectifs de production et s'améliorent de la classe I vers la III quelque soit le village. Le coton, grâce au transfert de fertilité entre cultures au sein de la même exploitation, reçoit assez de matière organique en provenance d'autres cultures. Les bilans partiels de N, P et K du sorgho et du mil sont négatifs pour toutes les classes. Pour le sorgho, aucune tendance nette des "bons gestionnaires" (classe I) vers les "faibles gestionnaires" (classe III) ou vis versa n'apparaît à M'Peresso. Cependant, à Noyaradougou, les apports diminuent de la classe I vers la III, tandis que les déficits en azote et en phosphore croissent dans le même sens. Indépendamment du village, les déficits en N, P et K du mil croissent de la classe III vers la classe I. Le bilan du mil associé au maïs (cas de Noyaradougou) est meilleur à celui du mil pur (cas de M'Peresso).

Le bilan partiel de l'exploitation en azote est positif à Noyaradougou, tandis qu'il oscille entre 0,7 et -2,5 kg/ha/an à M'Peresso. Indépendamment du village et de la classe, le bilan du phosphore est positif et varie entre 2,9 et 6,6 kg/ha/an. Le rapport exportations et apports de potassium par les animaux (OUT<sub>2e</sub>/In<sub>2e</sub>), montre qu'ils exportent 2 à 3 fois plus de potassium qu'ils n'apportent au système. Ainsi, en matière de conduite des animaux, des efforts doivent être fournis pour une meilleure récupération des éléments nutritifs exportés par les animaux. Les bilans partiels en N, P et K de l'exploitation se sont d'une manière générale améliorés au fil des ans grâce à l'augmentation des apports de 1997 par rapport aux années précédentes, mais aussi à la légère baisse des exportations (graines et résidus) dans toutes les classes exceptée la classe I de Noyaradougou.

Le bilan complet de l'exploitation en azote est indépendamment du village et de la classe négatif. Le déficit est plus marqué dans la classe I que dans les deux autres et plus marqué à Noyaradougou

qu'à M'Peresso. Bref, il semble que plus les quantités d'azote appliquées sont élevées, plus les pertes gazeuses et par lessivages sont élevés et plus le bilan en azote est affecté négativement. Contrairement à l'azote, le bilan complet de l'exploitation en phosphore est indépendamment du village et de la classe positif et suit la même tendance que le bilan partiel. En effet, le phosphore, à cause de sa faible mobilité est faiblement influencé par les processus qui sont à la base des pertes difficiles à mesurer. Le bilan complet du potassium comme celui de l'azote est indépendamment du village et de la classe déficitaire. Comme, dans le cas du bilan partiel, ce déficit est moins marqué à Noyaradougou où le système de culture est basé sur le coton-maïs qu'à M'Peresso où les mil-sorgho occupent 48% de l'assolement avec des rotations de types coton-mil, coton-sorgho . Le passage du bilan partiel au bilan complet affecte les éléments nutritifs selon leur degré de mobilité et les différences sont plus élevées pour l'azote, suivi du potassium et enfin du phosphore.

## 6 Coûts et bénéfices de la valorisation des résidus

### 6.1 Introduction

*L'application de fumier ou de compost, de même que leur combinaison avec les engrais minéraux donne généralement un effet positif (de Ridder & Van Keulen, 1990). Cependant, pour qu'une innovation ou un investissement soit accepté économiquement par les paysans, le Taux Marginal de Rentabilité (TMR) doit être égal ou supérieur à 1 (CIMMYT, 1989).*

Les avantages tirés de l'utilisation de la fumure organique font l'unanimité tant au niveau des techniciens que des paysans. Cependant, on s'intéresse rarement au coût de production de cette fumure. Landais *et al.* (1991), dans leurs conclusions sur les systèmes d'élevage et de transferts de fertilité, ont mis l'accent sur le besoin en recherche d'une description fine des systèmes de gestion de la fumure animale et de leur efficacité agronomique, avec une attention particulière pour le facteur travail. La production de fumier (excréments plus litière), de compost et d'ordures ménagères nécessite un investissement tant humain, animal que matériel. Malheureusement la valeur monétaire de ces dépenses en énergie, matériel, et en temps n'existe pratiquement pas dans la littérature. Cependant des efforts ont été fournis par Bosma & Jager (1992) qui ont utilisé les courbes de régression de la production du coton, la régression de la marge brute du coton, la valeur des éléments nutritifs apportés par le fumier pour calculer l'équivalence monétaire du fumier. Les 3 méthodes qu'ils ont utilisées ont pratiquement donné le même résultat qui est de 4 F CFA/kg de matière sèche. Des récentes études au Kenya ont montré qu'1 kg de N et P des composts urbains coûtent 0,5 et 1,2 US\$ respectivement (soit 300 et 720 F CFA, si 1\$ = 600 F CFA) contre 0,42 et 0,18 US\$ pour N et P des engrais de type 20:9:0 (Palm *et al.*, 1997 cités par Nandwa & Bekunda, 1998). La fumure organique et plus précisément le compost donne un arrière effet de +400 kg/ha de mil et de +800 kg/ha de maïs (Ganry, 1991). L'apport de fumier à la dose de 8 t/ha/an soit 40 t/ha par 5 ans induit une amélioration sensible de la production des terres: +35% du rendement de la fertilisation à base d'engrais minéraux seuls (IER/N'Tarla, 1990). Selon DRSPR (1991), l'augmentation de rendement due à l'arrière effet de 10 t/ha de fumier varie de 238 à 550 kg/ha avec une moyenne de 409 kg/ha. Selon la même source, l'utilisation de 10 t/ha de fumier engendre un revenu additionnel de 43 605 F CFA, sur cotonnier en première année et de 11 580 F CFA sur maïs en deuxième année, soit un total de 55 185 F CFA sur 2 ans. Il faut toutefois souligner que le coût de production du fumier n'a pas été pris en compte dans ces analyses. Selon Bosma *et al.* (1996), le surplus obtenu grâce au fumier dans les essais réalisés par la DRSPR varie entre 2-14 F CFA par kg de fumier appliqué. Ce chapitre a pour objectif de déterminer les coûts et bénéfices de la valorisation des résidus de récolte et de la fumure organique. On tente de chiffrer les actions de recyclage des résidus et d'utilisation de la fumure produite (temps de manutention, nombre de personnes et matériels impliqués). Ceci facilitera la prise en compte de la "valeur" du kilogramme de fumier ou compost dans le calcul des coûts de production des cultures ayant reçu ces fumures.



Photo 1 Vaine pâture après récolte





Photo 3 Transport des résidus



Photo 4 Stockage des résidues comme fourrage

## 6.2 Méthodologie

### 6.2.1 Echantillonnage

La procédure d'échantillonnage est la même que celle évoquée dans la sous-section 4.2.1. Sur la base des 40 exploitations choisies pour l'étude (soit 20/village), 22 ont été retenues pour un approfondissement des aspects liés aux coûts et bénéfices de la gestion des résidus et de la fumure. Le choix des 22 exploitations a été effectué de la manière suivante:

- sur la base des rendements moyens et de la similarité de structure (nombre d'actifs, de bovins) un échantillon de 3 exploitations a été choisi dans chacune des 3 classes et par village.
- en plus de ces 18 exploitations choisies, 2 autres ont été ajoutées à la liste du village, en tenant compte de la taille de la classe et des particularités de l'exploitation (sans charrette, maximum de bovins, maximum d'actifs au sein de la classe, *etc.*).

En 2000, 12 paysans ont conduit à terme le test. Cependant, contrairement à 1999 où 95% de l'échantillon étaient sous coton, les paysans ont en 2000 mis divers céréales sur les parcelles suivies; ce qui a fortement réduit le nombre de répétitions par culture. Cependant, ce nombre reste relativement acceptable (6/village) dans le calcul des coûts et bénéfices où la valeur monétaire des produits est considérée. Il faut souligner que des 22 exploitations considérées pour le suivi approfondi, seules 10 (Tableau 6.1) ont été retenues pour l'analyse des coûts et bénéfices sur 2 ans (1999 et 2000).

Tableau 6.1 Evolution de l'échantillon choisi pour l'étude de l'effet et arrière effet de la fumure organique.

Villages	Echantillon au début (1999)	Echantillon analysé en 1999	Echantillon analysé en 2000	Echantillon analysé en 2 ans
M'Peresso	11	8	4	4
Noyaradougou	11	8	6	6

Certaines parcelles ont été abandonnées par manque de main d'œuvre, par suite de problèmes au sein de certaines exploitations, par apport non prévu de Fumure Organique (FO) ou de fumure minérale sur certaines parcelles, par le mélange de production des traitements, *etc.*

### 6.2.2 Enquête et suivi des activités de recyclages des résidus de récolte

Les enquêtes sur les activités de 1998-1999, liées à la gestion des résidus (coupe, chargement, transport, déchargement, distribution aux animaux, creusement et remplissage des compostières) en terme de temps de travaux et main d'œuvre impliquée ont eu lieu à l'aide de fiches pré-établies. Dans le souci d'avoir des données plus fiables, un suivi des activités de recyclage des résidus a eu lieu à l'aide de fiche de collecte. Ainsi les temps d'exécution des activités ont été chronométrés, les distances mesurées et le nombre d'actifs compté (Photos 2, 3, 4, 6, 10, 11 et 12).

### 6.2.3 Test de fumure

Chez chaque paysan retenu, la parcelle (culture) ayant reçu la FO a été visitée. La portion fertilisée a été identifiée et considérée comme étant le traitement avec FO (Figure 6.1). Une autre portion ayant un passé cultural proche de celui du traitement avec FO a été choisi comme témoin (sans FO). Pour réduire les différences de fertilité de base entre les 2 parcelles, leur position topographique a été prise en compte. Les parcelles sans et avec FO ont reçu les mêmes doses de fumure minérale car cette dernière a été épanchée de façon homogène sur toute la parcelle de coton. Les données sur les quantités de fumures organique et minérale utilisées ont été collectées auprès des paysans.

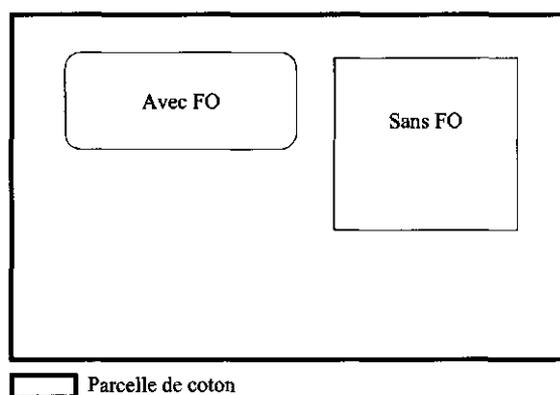


Figure 6.1 Test de la pratique paysanne de gestion de la fumure.

Les superficies du traitement avec FO furent mesurées dans les deux villages. Celles du témoin furent mesurées seulement à Noyaradougou où les paysans ont opté pour la récolte totale des traitements en 1999. La taille des parcelles était fonction de leur passé cultural (relation témoin et parcelle ayant reçu la FO), de la superficie de la portion fertilisée et variait de 0,12 à 1,29 et de 0,5 à 3,3 ha, respectivement à Noyaradougou et M'Peresso. Les superficies moyennes des parcelles étaient de 0,5 à Noyaradougou et de 1,5 à M'Peresso.

Deux méthodes ont été sur demande des paysans utilisées pour la récolte en première année. Ainsi, à M'Peresso, des carrés de rendement de 10 x 5 m ont été placés. Le nombre de carrés est fonction de la superficie totale de la parcelle. Ainsi, selon les normes du SEP de l'ESPGRN, toute la parcelle est récoltée, si sa superficie est inférieure à 0,1 ha. Deux, trois, quatre et cinq carrés sont placés respectivement pour les superficies variant de 0,11 à 0,5, 0,51 à 1,0, 1,01 à 1,5 et de 1,51 à 2,0 ha. Pour les superficies supérieures à 2 ha, six carrés de rendement sont placés. A Noyaradougou, les paysans ont opté pour la récolte totale du témoin et de la parcelle ayant reçu du FO. Les mêmes parcelles ont été suivies en deuxième année et des carrés de rendement ont été placés dans les 2 villages. La gestion du test était à la charge de l'exploitation.



Photo 5 Hachage des pailles pour l'alimentation des animaux



Photo 6 Utilisation des résidues comme litière dans les parcs



Photo 7 Apport des résidus sur les lieux de parcage des animaux par les exploitations ne possédant pas de parc

## 6.2.4 Calcul de coûts et bénéfices

### 6.2.4.1 Définitions des coûts et bénéfices

Ici, les définitions données sont celles de CIMMYT (1989).

#### *Coûts*

Les *coûts variables* sont les dépenses (par hectare) qu'impliquent l'acquisition de divers facteurs de production, l'emploi de la main d'œuvre et d'équipement, lesquelles varient d'un traitement à l'autre. Les coûts ont été calculés en utilisant les prix coton de 1998 et 1999, et en considérant la fumure organique avec 70 et 50% de matière sèche. Le *coût marginal* est l'augmentation des coûts variables autrement dit, la différence de coûts variables entre deux traitements. Le *coût d'opportunité* peut être défini comme étant la valeur d'une ressource dans son meilleur usage alternatif (exemple prix de la main d'œuvre familiale).

#### *Bénéfices*

Le *bénéfice brut au champ* obtenu de chaque traitement, est le prix au champ multiplié par le rendement ajusté. Le *bénéfice net* est le bénéfice brut au champ correspondant à chaque traitement déduit du total des coûts variables. Le *bénéfice net marginal* est l'augmentation des bénéfices nets autrement dit la différence de bénéfice entre deux traitements.

#### *Taux marginal de rentabilité*

Le Taux Marginal de Rentabilité (TMR) est le bénéfice net marginal divisé par le coût marginal.

### 6.2.4.2 Coûts de recyclage des résidus et de transport de la fumure

Pour le calcul des coûts, les temps et le nombre de personnes ayant participé à la coupe des résidus, au chargement, au transport, au déchargement, à l'épandage dans les parcs ou au remplissage de la compostière d'une charretée de résidus ont été calculés en minutes. Le rendement grain moyen des cultures, le rapport tige graine ont été utilisés pour avoir le rendement tige (kg/ha). Connaissant le poids moyen d'une charretée de résidus, le rendement tige et le temps mis pour couper un hectare de telle ou telle culture, le temps nécessaire à la coupe d'une charretée de tige a été calculé. Le temps de creusement de la compostière a également été pris en compte avec une possibilité d'exploitation sur 10 ans. La même procédure a été appliquée au fumier et au compost. Pour la fumure, les temps de vidange des compostières et d'épandage de la fumure ont aussi été pris en compte. Le salaire journalier de la main d'œuvre a été fixé à 750 F CFA. Les données sur le nombre d'homme/jour nécessaire pour le creusement et vidange des compostières ont été prises dans la littérature. Le temps d'exploitation et les dépenses d'entretien de la charrette, de l'âne, du petit matériel (daba, pique, pèle et autres) de la compostière ont été considérés. Il faut souligner que les résidus ont été considérés comme gratuits et leur valeur monétaire n'a pas été prise en compte.

### 6.2.4.3 Bénéfice de l'utilisation de la fumure organique

Les rendements du coton de la campagne 1999-2000 et ceux des céréales de 2000-2001 ont été utilisés pour le calcul des bénéfices. Pour l'évaluation des dépenses et bénéfices, les prix de vente actuel des produits des différentes cultures sur le marché (prix CMDT pour le coton et prix moyen annuel des marchés de Koutiala et Sikasso pour les autres cultures) et les prix de session des engrais par la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT) ont été considérés.

## 6.3 Résultats

### 6.3.1 Coût de production de la fumure organique

#### 6.3.1.1 Temps de recyclage d'une charretée de résidus en homme-minutes

Le temps de coupe, de chargement, transport et déchargement d'une charretée de résidus par une personne varie entre 139 et 147 minutes, soit une moyenne d'environ 143 minutes. Le temps de recyclage d'une charretée de résidus comme litière fait en moyenne 165 minutes contre 444 minutes si les résidus doivent être utilisés comme intrant des compostières (Tableau 6.2). Le temps de chargement contrairement à ceux du transport et de déchargement est plus élevé à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Ceci est dû au fait que les charrettes sont pratiquement 2 fois plus remplies dans le premier village. En effet à M'Peresso, à la place de la carrosserie, de longues branches sont utilisées pour transporter le maximum de résidus par voyage. Aussi la distance moyenne pour le transport des résidus était de 1 km à M'Peresso contre 2 à Noyaradougou. Il faut 8 hommes-jours pour remplir une compostière de dimension 2,5x2,5x1 (ou 2,5x2,5x1,5) (CTSPR, 1987). Une telle compostière demande 865 – 1124 kg de tige (CTSPR, 1986) soit une moyenne de 1000 kg. En considérant que le poids moyen d'une charretée de tige est égale à 120 kg, alors le nombre de charretées correspondant au 1000 kg sera de  $1000/120 = 8,33$ . Ainsi l'épandage de 8 charretées nécessitant 8 hommes-jours, celui d'une charretée nécessitera 1 homme-jour. La journée de travail est égale à 5 heures (soit 300 minutes). Ce temps semble trop élevé pour la coupe en morceau de 15 cm et l'épandage d'une charretée de résidus dans la compostière.

Tableau 6.2 Temps de recyclage d'une charretée de résidus comme litière et compost (homme-minutes).

Village	Chargement	Trans- port	Déchar- gement	Coupe	Epandage litière	Remplissage Compostière	Résidus en litière	Résidus en compost
Noyaradougou	46,92	28,25	4,67	57,07	12	300**	148,91	436,91
M'Peresso	71,67	16,05	2,2	57,07*	29,55	300	176,54	446,99
Moyenne des villages	62,67	20,77	3,13	57,07	21,65	300	165	443,64

\* Le temps de coupe n'a pas été évalué à M'Peresso. Il s'agit donc des données de Noyaradougou;

\*\* valeur correspondant à celle de 5 hommes-heures par charretée (CTSPR, 1987).



Photo 8 Compostière (au champ) remplie de résidus



Photo 9 Parcage des animaux sur le tas de compost



Photo 10 Chargement de la fumure produite



Photo 11 Transport de la fumure organique

Parmi les travaux de recyclage des résidus, la coupe des résidus, et leur chargement prennent plus de temps que les autres (Tableau 6.2). Du suivi des activités de recyclage, il ressort que le chargement de la charretée est assuré par 2-3 personnes en moyenne, tandis que le transport et le déchargement sont effectués en général par 2 personnes. La coupe des résidus est faite en moyenne par 4-6 personnes.

### 6.3.1.2 Temps des activités de transport d'une charretée de fumure en homme-minutes

Comme pour les résidus, et pour les mêmes raisons, le temps de chargement contrairement à ceux du transport et de déchargement est plus élevé à M'Peresso qu'à Noyaradougou (Tableau 6.3). Dans ce dernier village, le déchargement de la charretée se fait en 4-8 tas contre une moyenne de 3 tas à M'Peresso. Le nombre limité de tas à M'Peresso, le niveau de remplissage de la charrette font que le temps d'épandage d'une charretée de fumure par un actif est plus élevé dans ce village qu'à Noyaradougou

Tableau 6.3 Temps de manutention d'une charretée de fumure (homme-minutes).

Village	Chargement	Transport	Déchargement	Epandage	Temps total
Noyaradougou	12	22,56	4,11	5,6	44,27
M'Peresso	29,55	19,27	2,55	19,64	71,01
Moyenne des villages	21,65	20,75	3,25	11,54	57,19

Tableau 6.4 Temps de manutention d'une charretée de résidus et du fumier correspondant (homme-minute).

Village	Résidus	Fumure (250 kg)	Fumure (90 kg)	*Résidus et fumure correspondante	Excréments déposés sur litière	Résidus et fumier correspondant
Noyaradougou	148,91	44,27	15,94	164,85	10,62	175,47
M'Peresso	176,54	71,01	25,56	202,1	17,04	219,14
Moyenne des villages	165	57,19	20,59	185,59	13,7	199,3

\*Le temps de manutention d'une charretée de résidus et de la fumure correspondante sans les excréments

La perte de matière sèche lors du compostage est fonction du degré de broyage: paille tronçonnées de 15 à 25% de pertes (12, 15, 25% respectivement pour le maïs, le riz et le mil); paille hachée menue environ 60% de pertes (Ganry, 1991). Il a été supposé ici, que la masse des résidus après transformation en fumure est égale à 75% de la masse initiale. Donc une charretée de tige de 120 kg donnera 90 kg de résidus bien décomposé plus les excréments des animaux nécessaires pour broyer cette litière (120 kg). En partant sur la base qu'il faut 3 kg de résidus par nuit par UBT (toutes saisons confondues), alors il faudra 40 UBT par nuit pour la charretée. En considérant que la production moyenne d'excrément est de 2 kg de fèces/UBT/nuit, alors les 40 UBT donneront 80 kg. Le temps qu'il faut pour la manutention de 75% de cette masse initiale sera:  $57,19 \times 60 / 250 = 13,7$  minutes (Tableau 6.4). Donc le temps total pour l'obtention et l'utilisation du fumier correspondant à une charretée de litière est  $185,59 + 13,7 = 199,3$  minutes.

### 6.3.1.3 Coût de production d'un kg de fumier et de compost

#### Calcul de l'amortissement de l'équipement et de la compostière

L'amortissement a été calculé en considérant les prix actuels sur le marché et en donnant une durée d'exploitation au matériel utilisé (Tableau 6.5). L'entretien de l'équipement a été aussi pris en compte. Le taux d'utilisation a été estimé en tenant compte de l'utilisation annuelle de l'équipement pour les différentes activités de l'exploitation (récoltes, recherche bois, transport résidus et fumier, transport eau, briques, engrais, etc.).

Tableau 6.5 Amortissement de l'équipement (F CFA).

Equipement	Valeur (F CFA)	Durée d'utilisation (ans)	Amortisse- ment annuel (F CFA)	Taux d'utilisation (%)	Valeur d'utilisation annuelle en (F CFA)	Nombre de jours d'utilisation	Valeur par jour d'utilisation (F CFA)
Charrette	125000	10	12500	33	4166		
Ane	45000	5	9000	33	3000		
Petit matériel	7500	3	2500	33	833		
Entretien			12500	33	4167		
Total					12166	122	100

La durée d'exploitation de la compostière a été fixée à 10 ans. Pour creuser une compostière de dimension 2,5x2,5x1 m (ou 2,5x2,5x1,5), il faut en moyenne 4,5 hommes-jours (CTSPR, 1987), soit 3375 (4,5\*750) F CFA. Sachant qu'il faut en moyenne 1000 kg de résidus pour remplir une telle compostière, il a été calculé les dimensions qu'il faut pour une compostière ayant 120 kg (1 charretée) de tige comme intrant. Ainsi le creusement de la compostière pour les 120 kg (soit 0,75 m<sup>3</sup>) coûtera 405 F CFA (3375\*0,75/6,25). Donc l'amortissement annuel d'une telle compostière sera égal à 40,5 F CFA.

#### Coût de production d'un kg de fumier

Le temps de travaux de recyclage d'une charretée de résidus et de l'utilisation de la fumure obtenue nécessite en moyenne 3,35 homme-heures soit 0,67 homme-jours pour 5 heures de travail par jour (Tableau 6.6). Avec un coût d'opportunité de la main d'œuvre fixé à 750 F CFA/jour, un tel investissement humain coûtera 502,5 F CFA/jour. Le coût de "production" et d'utilisation de 150 kg de fumure (soit 60 kg d'excréments plus 90 kg issus de la décomposition des résidus) a été calculé comme étant la somme du prix de l'investissement humain et l'amortissement de l'équipement. Ainsi, il faut 602,5 F CFA pour produire et épandre 150 kg de fumier soit 4 F CFA par kg de fumier en considérant les résidus comme intrant gratuit.

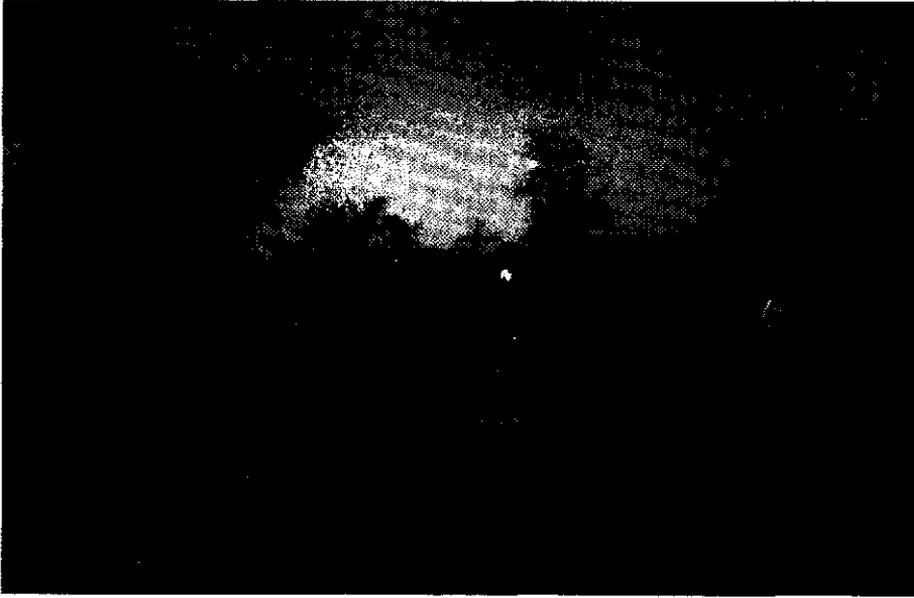


Photo 12 Mise en tas de la fumure sur le champ

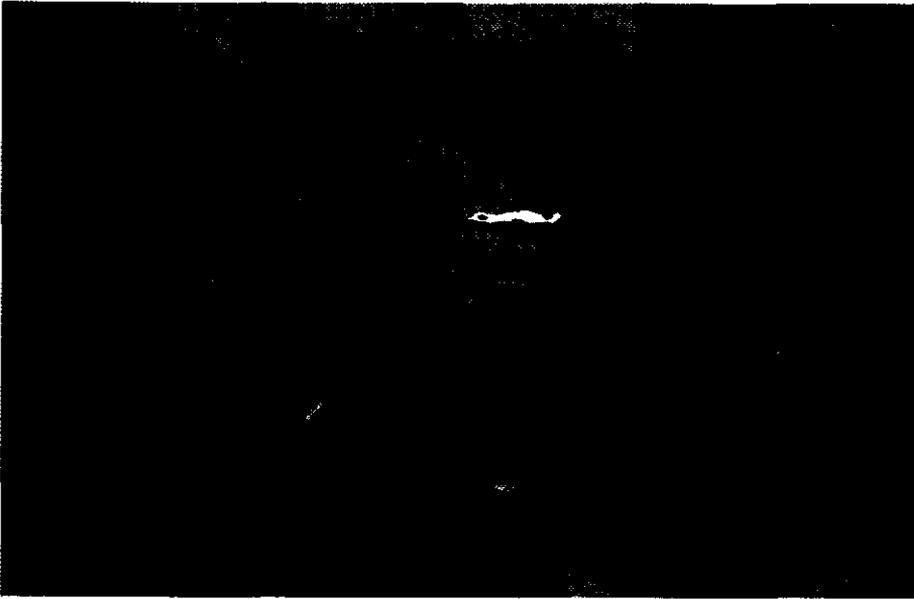


Photo 13 Tas de fumure au champ



Photo 14 Production du coton (effet fumure)



Photo 15 Production sorgho (arrière effet fumure)

Tableau 6.6 Coût de production d'un kg de fumier (F CFA).

Village	Temps en heure/personne	Journée de travail heure/jour	Temps Homme/jour	Coût d'opportunité de la main d'œuvre F CFA	Valeur total en F CFA*	Valeur d'1 kg de fumier en F CFA
Noyaradougou	3	5	0,6	750	550	3,66
M'Peresso	3,7	5	0,74	750	655	4,36
Moyenne des villages	<b>3,35</b>	5	0,67	750	602,5	<b>4</b>

\*Il s'agit de la valeur totale {(temps homme-jours \* coût d'opportunité)+ amortissement }; cette valeur correspond à celle de 150 kg de fumier.

### Coût de production d'un kg de compost

Le fumier d'amorce a été considéré comme étant égale à 18% de la masse d'une charretée de tiges ( $120 \times 0,18 = 21,6$  kg). En considérant que la quantité de fumure à la fin du compostage est égale à 75% de la masse de la fumure d'amorce, alors on obtient 16,2 kg de fumure dans le compost. Le temps de transport de cette fumure à Noyaradougou sera:  $44,27 \times 16,2/250 = 2,86$  homme/minute (Tableau 6.7)

Tableau 6.7 Temps de manutention d'une charretée de résidus et du compost correspondant (homme-minute).

Village	Résidus (compost)	Fumure (250kg)	Fumure (90kg) *	Compost sans fumure d'amorce**	Fumier d'amorce	Compost avec fumure d'amorce
Noyaradougou	436,91	44,27	15,94	452,85	2,86	455,7
M'Peresso	446,99	71,01	25,56	472,55	4,60	477,2
Moyenne des villages	443,64	57,19	20,59	464,23	3,70	<b>467,9</b>

\*Fumure obtenue de la décomposition de 120 kg de résidus; \*\*Le temps de manutention d'une charretée de résidus et de la fumure correspondante sans les excréments

Tableau 6.8 Coût de production d'un kg de compost.

Village	Temps en heure/personne	Temps de travail heure/jour	Temps homme-jours	Coût d'opportunité de la main d'œuvre F CFA	Valeur en F CFA*	Valeur totale en F CFA	Valeur d'1 kg de compost en F CFA
Noyaradougou	7,6	5	1,52	750	1140	1280,5	12
M'Peresso	7,95	5	1,6	750	1200	1340,5	12,6
Moyenne des villages	<b>7,8</b>	5	1,56	750	1170	1310,5	<b>12,3</b>

\*Valeur (temps homme-jours \* coût d'opportunité)

L'amortissement de l'équipement (100 F CFA) et de la compostière (40,5 F CFA) font 140,5 F CFA. Donc la valeur totale sera égale à la valeur monétaire du nombre d'homme-jours plus 140,5 F CFA (Tableau 6.8). Le poids total du compost est égal à 106,2 kg (soit 90 kg + 16,2 kg). Des tableaux 6.6 et 6.8, il ressort que le prix d'un kg de compost est en moyenne 3,5 fois plus élevé que celui de la même quantité de fumier.

### 6.3.2 Fertilisation

La fumure organique est utilisée sur coton dans 95% des exploitations choisies. Une seule exploitation de Noyaradougou a épandu sa fumure organique sur le maïs. Dans les deux villages, les paysans utilisent de fortes doses de FO. La dose moyenne sur coton est 22,6 et 24 t/ha (tous les types de FO confondus) pour les 8 et 11 exploitations retenues en début d'hivernage respectivement à Noyaradougou et M'Peresso (Tableau 6.9). Cependant 9-36% de la parcelle de coton (culture la plus fertilisée) reçoit les doses indiquées. Cette pratique paysanne a pour objectifs de:

1. remonter le niveau de fertilité de la portion concernée;
2. profiter des arrières effets sur une période de 3-6 ans avant que la portion ne soit de nouveau fertilisée.

Ces doses semblent élevées cependant, des travaux de IER/N<sup>o</sup>Tarla (1990), il ressort que l'apport de 15 t/ha/3 ans de fumier n'a pratiquement pas permis une amélioration du taux de matière organique.

Les doses d'urées sont autour de la norme vulgarisée à M'Peresso et sont de 1,5 fois supérieures à la norme vulgarisée (qui est de 50 kg/ha) à Noyaradougou. L'utilisation de doses d'urée supérieures à la norme est une pratique courante à Noyaradougou et permet, selon les paysans de ce village, d'obtenir de bons rendements. Les doses de complexe coton utilisées dans les deux villages sont légèrement inférieures à la norme vulgarisée (150 kg/ha). Ceci s'explique par le souci des paysans de réduire le niveau des dettes tout en assurant une production acceptable.

Tableau 6.9 Doses de fumure organique sur coton en 1999 (kg/ha).

Village	Nombre d'exploitations	Portion fertilisée (%)*	Traitement	Dose FO	Dose urée	Dose CCO
M'Peresso	11	36	Avec FO	24076	54	142
			Sans FO	0	54	142
Noyaradougou	8	9	Avec FO	22686	78	141
			Sans FO	0	78	141

\*Portion fertilisée du champ de coton qui est la culture la plus fertilisée. Cette portion diffère selon les classes. FO: fumure organique; CCO: complexe coton (14 -22-12-7-1).

La seule exploitation de Noyaradougou qui a utilisé la fumure organique sur maïs a épandu les doses suivantes: 100, 100 et 13046 kg/ha respectivement d'urée, de complexe céréale et de fumure organique.

Pour le calcul des coûts et bénéfices en 1999, 8/11 exploitations ont été retenues à M'Peresso. Les doses moyennes pour ces 8 exploitations sont de 22796, 51 et 135 kg/ha respectivement de fumure organique, d'urée et de complexe coton.

### 6.3.3 Rendements

De la Figure 6.2, il ressort que le rendement de la portion avec FO est dans les deux villages supérieur à celui du témoin sans FO, malgré les inquiétudes qu'on avait au départ concernant l'effet attendu de la fumure en milieu paysan et selon les stratégies paysannes. La différence de rendement entre le témoin et la portion avec FO est 748 kg/ha à M'Peresso, tandis qu'à Noyaradougou, elle se situe autour de 300 kg/ha. Selon, DRSPR (1992), l'effet de la fumure organique sur les rendements du coton est positif et la différence de rendement est de l'ordre de 500 kg/ha. La faible différence à Noyaradougou peut être due au fait que 25% des sols de l'échantillon étaient dégradés (décapage de la couche superficielle et apparition de l'altérite rouge). Ces 25% sont sur Kankoungo qui sont les sols les plus acides, les moins pourvus en azote, carbone, phosphore assimilable, en potassium échangeable, bref, les sols les plus pauvres du village (Tableau 3.5). Le rendement moyen du coton sur les Moura est de 1400 kg contre 1000 kg/ha sur Kankoungo à Noyaradougou. A Noyaradougou, 37%, soit 3/8 des exploitations suivies jusqu'en fin de campagne (1999-2000), n'ont pas pu épandre leurs tas de fumure. Ces exploitations constituent 100% de celles qui ont des rendements coton <1000 kg/ha et sont à 67% de la classe III. Aussi contrairement à Noyaradougou où la variabilité au sein de la portion avec FO a été prise en compte par sa récolte totale; à M'Peresso, les carrés récoltés, malgré leurs nombres, ne couvraient pas entièrement cette variabilité. Toutefois, la différence de rendement entre la portion avec et sans FO est significative chez certains paysans de Noyaradougou.

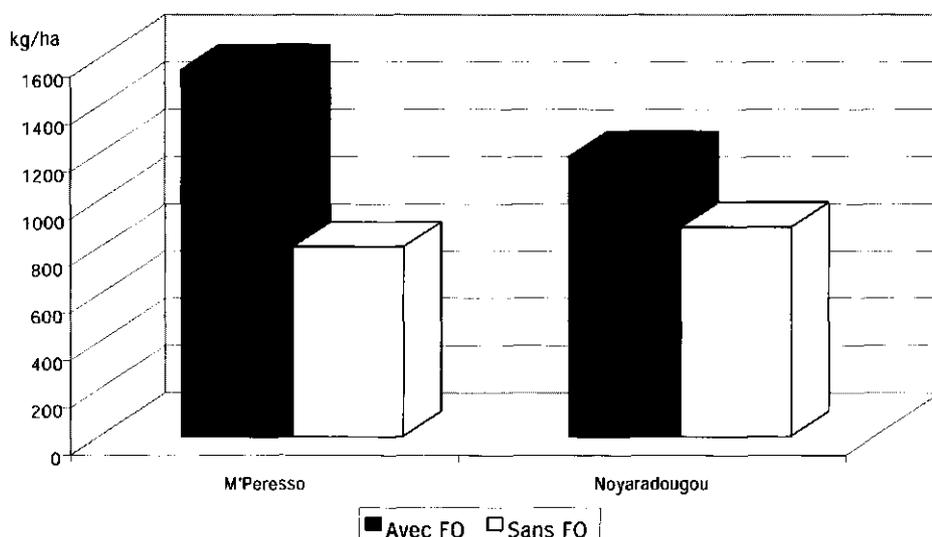


Figure 6.2 Rendement du coton par village en 1999.

En deuxième année (2000) 100% des parcelles suivies en 1999 étaient sous céréales purs (maïs, sorgho, mil) ou associés (maïs/sorgho, maïs/mil). Ceci a fortement réduit le nombre de répétitions par culture (Tableau 6.10). Cependant, dans tous les cas, il ressort que la différence de rendement varie de 96 à 480 kg/ha au profit des parcelles ayant reçu la fumure organique en première année. L'arrière effet (2<sup>ème</sup> année) de 10 t/ha de fumier sur les rendements du maïs varient de 238 à 550 kg/ha et de 27 à 284 kg/ha sur sorgho (DRSPR, 1991). Cela peut être dû à l'apport d'éléments nutritifs limitants ou aux conditions physiques et chimiques favorables créées par la fumure organique (De Ridder & Van Keulen, 1990).

Tableau 6.10 Rendements des cultures par village en 2000 avec et sans fumure organique (FO; kg/ha).

Village	Culture	Avec FO	Sans FO	Nombre de cas
M'Peresso	Maïs	2120	1846	1
	Sorgho	1285	1072	2
	Mil	1101	714-	3
Noyaradougou	Sorgho/	1444	1374	1
	Maïs	776	750	
	Maïs/	1050	650	1
	Mil	450	366	
	Sorgho	1995	1608	2
	Mil	998	608-	2

### 6.3.4 Coûts et bénéfices

Pour le calcul des coûts et bénéfices, les prix unitaires mentionnés au Tableau 6.11 ont été utilisés. Le coût de production de fumier a été considéré comme étant égale à 4 F CFA par kg de matière sèche (Tableau 6.6). Aussi, Bosma & Jager (1992) ont estimé que le coût d'opportunité du fumier contenant 50% de matière sèche comme étant égale à 4 F CFA/kg. Les échantillons de fumures organiques prises en milieu paysan et séchés à l'étuve à 85°C pendant 48 heures ont donné une perte en eau variant entre 30 et 50%. Ce qui donne des fumures ayant à 70 à 50% de MS. Ainsi, dans les calculs qui suivent, les taux de 50 et 70% de MS dans les fumures ont été considérés. A Sotuba, comme à Bambey, le taux de matière sèche du vrai "fumier de ferme" de parc produit par Boudet (1961) et Hamon (1972), cités par Landais *et al.*(1991), oscillait entre 45 et 50%. Selon Berger (1996) cité par Dugué (2000), le fumier de bonne qualité a un C/N variant entre 10 et 15 avec 1-1,5% de N, 0,35% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 1,5% de K<sub>2</sub>O. Il faut souligner que seules les dépenses relatives aux fumures ont été considérées dans le calcul des coûts et bénéfices.

Tableau 6.11 Prix unitaires (F CFA/kg).

Urée	Complexe coton	Complexe céréales	Matière sèche (FO)	Coton graine en 98 et 2000	Coton graine en 99	Maïs en 1999	Sorgho en 1999	Mil en 1999
176	211,2	203,5	4	185	150	75	88	93

### 6.3.4.1 Coton en 1999

Le bénéfice brut lié à l'utilisation des fumures organiques et minérales est comme les rendements plus élevé sur les parcelles ayant bénéficiées de la fumure organique (Tableau 6.12). Pour des prix fixes, cela se comprend aisément dans la mesure où le bénéfice brut est fonction des rendements.

Tableau 6.12 Coûts variables et bénéfice brut (F CFA/ha).

Village	Traitement	Coût				Total coûts variables		Bénéfice brut	
		FO 70%	FO 50%	Urée	CCO	FO 70%	FO 50%	Prix 98	Prix 99
M'Peresso	Avec FO	63828	45592	9020	28511	101359	83123	287097	232781
	Sans FO	0	0	9020	28511	37531	37531	164326	120581
Noyaradougou	Avec FO	63519	45371	13706	29461	106686	88537	219849	178256
	Sans FO	0	0	13706	29461	43167	43167	164226	133237

FO: Fumure organique (50 ou 70% de matière sèche), CCO: Complexe coton.

Si le bénéfice brut de la parcelle ayant reçu la fumure organique est indépendamment du village supérieur à celui du témoin (sans FO), il n'en est pas de même pour le bénéfice net. A Noyaradougou, le bénéfice net du traitement avec FO est plus élevé que celui du témoin uniquement quand les prix de 1998 sont considérés et lorsque la fumure ne contient que 50% de matière sèche (Tableau 6.13). A M'Peresso, quel que soit le cas, le bénéfice net du traitement avec FO est supérieur à celui du témoin. Cela est dû à la différence de rendement entre les deux parcelles. En effet à M'Peresso, le rendement coton de la parcelle avec FO est 1,9 fois plus élevés que celui du témoin contre 1,3 fois à Noyaradougou.

Tableau 6.13 Bénéfices nets des traitements avec 50 ou 70% de matière sèche dans la FO et utilisant les prix coton de 1998 et 1999 (F CFA/ha).

Village	Traitement	Bénéfice net	Bénéfice net	Bénéfice net	Bénéfice net
		(prix coton 98) FO 70%	(prix coton 98) FO 50%	(prix coton 99) FO 70%	(prix coton 99) FO 50%
M'Peresso	Avec FO	185737	203974	131421	149658
	Sans FO	111186	111186	83049	83049
Noyaradougou	Avec FO	113163	131312	71570	89718
	Sans FO	121159	121159	90071	90071

La différence de bénéfices entre les parcelles avec et sans FO, autrement dit, le bénéfice net marginal en première année varie de 74552 à 92788 F CFA/ha à M'Peresso respectivement pour des FO contenant 70 et 50% de matière sèche (Tableau 6.14). A Noyaradougou par contre, le bénéfice net marginal basé sur le prix coton de 1998 est de 10152 F CFA/ha pour une fumure contenant 50% de MS contre une perte de 7996 F CFA/ha si la fumure contient 70% de MS. Le taux d'augmentation du bénéfice en première année est supérieur à 60% à M'Peresso, tandis qu'il varie de 0 à 11% à Noyaradougou pour la même période. Cependant, certains paysans de

Noyaradougou ayant fertilisés des parcelles non-dégradées et ayant effectués un épandage correct ont profité des avantages immédiats de leur FO.

Tableau 6.14 Bénéfice net marginal et pourcentage d'augmentation des bénéfices en 1999 basés sur les prix coton de 1998 (F CFA/ha).

Village	Bénéfice net marginal FO 70%	Augmentation FO 70%	Bénéfice net marginal FO 50%	Augmentation FO 50%
M'Peresso	74552	67	92788	83
Noyaradougou	(-7996)	-	10152	11

De l'analyse du Taux Marginal de Rentabilité (TMR) de la fumure organique à M'Peresso, il ressort qu'en plus du franc investit dans la fumure organique, les paysans gagnent 0,74 à 2,59 F CFA (Tableau 6.15). Pour les exploitations suivies à Noyaradougou en 1999, il faut souligner que le traitement sans FO a dominé celui avec FO chez certains paysans.

Tableau 6.15 Taux Marginal de Rentabilité basé sur le prix du coton de 1998 .

Village	Exploitations suivies en 1999 (16)		Exploitations suivies en 1999 et 2000 (9)	
	FO 50%	FO 70%	FO 50%	FO 70%
M'Peresso	2,59	1,57	1,44	0,74
Noyaradougou	-	-	0,78	0,27

A Noyaradougou, le TMR pour les 5 exploitations considérées en 1999 et 2000 varie entre 0,27 et 0,78. Or pour qu'une innovation ou un investissement soit accepté économiquement par les paysans, le TMR doit être égale ou supérieur à 1 (CIMMYT, 1989). Cependant, il faut souligner que l'effet des doses utilisées de fumure organique s'étend sur plusieurs années (au moins 3 ans selon les paysans).

#### 6.3.4.2 Céréales en 2000 et coton-céréale sur 2 ans

En 2000, les parcelles suivies étaient en céréales et n'ont reçu ni fumure organique, ni minérale. Ainsi, en considérant qu'aucune dépense de fumure n'a lieu en 2000, le bénéfice net pour cette période, est indépendamment du village, plus élevé sur les parcelles qui avaient reçu de la FO en 1999 que sur celles sans FO. Il en est de même pour les parcelles retenues sur les 2 ans (Tableau 6.16).

Indépendamment du village, du prix de cession du coton et du taux de matière sèche de la fumure organique, le bénéfice net marginal est supérieur à 30000 F CFA en deuxième année et oscille entre 13276 et 97020 F CFA pour les deux ans pris ensemble (Tableau 6.17).

Etant donné qu'une innovation ou un investissement n'est accepté économiquement par les paysans, que si le TMR est égale ou supérieur à 1, il est évident que le prix du coton de 1998 est plus encourageant en terme d'investissement dans la fertilisation que celui de 1999 (Tableau 6.18).

## 7 Outil d'aide à la décision

### 7.1 Introduction

*Pour que les paysans s'associent à des actions d'amélioration, il faut que ce soit techniquement possible, qu'ils en aient le savoir-faire, qu'ils y soient incités et y trouvent un intérêt, qu'ils disposent des moyens nécessaires (Benoît-Cattin, 1991).*

Dans les zones à forte pression sur les terres, les résidus de récolte et les sous produits agro-industriels constituent l'essentiel de l'alimentation des animaux en saisons sèches (Savadogo, 2000). Les premiers, dominés par les tiges de céréales sont de pauvre qualité. Dans certaines localités du Mali-Sud, les animaux ne recevant pas de compléments en saison sèche perdent environ 20% de leur poids (Bengaly *et al.*, 1994). Selon Diarra & Bréman (1997), la perte de poids en saison sèche se situerait autour de 30 kg/an. Ces pertes sont accompagnées d'une mortalité de 2% (CTSSPR, 1988). Les jeunes bovins peuvent satisfaire leurs besoins sur les pâturages, lorsqu'il y a du fourrage disponible. Lorsque le pâturage est peu fourni, l'offre d'un complément médiocre (chaume de céréales) aux bovins pesant moins de 150 kg (âge <2 ans) permettra de les maintenir. Par contre, même avec une complémentation, les animaux lourds et en particulier les bœufs rencontrent une difficulté relative de maintien de leur poids sur les parcours en saisons sèche, où la consommation se fait de feuille en feuille, de tige en tige. Selon Bengaly *et al.* (1994), la restriction du temps de pâture est indiquée pour de tels animaux. Pour ces animaux, l'accent doit être mis sur l'utilisation d'une plus grande quantité de résidus (tiges et fanes) comme fourrage afin d'atténuer les pertes de poids des animaux en saison sèche. Les refus et une partie de l'excédent de résidus alimenteront la litière et les compostières. Ce chapitre a pour objectifs de 1) concevoir un outil d'aide à la décision, prenant en compte les disponibilités en résidus de récolte, en bétail, en main d'œuvre, en équipement, et en fumure pour différentes catégories d'exploitation, 2) déterminer les potentialités de production de la fumure organique par différentes catégories d'exploitation. Il se base essentiellement sur les données relatives aux pratiques des agriculteurs collectées à l'aide d'outils participatifs telles que les cartes d'exploitation (*Chapitre 4*). Les pratiques sont, selon Papy (1996), postulés être le résultat d'une intention de faire, elle-même fonction d'objectifs de l'agriculteur, dans un contexte de contraintes et d'opportunités. Selon Le Gal & Milleville (1996), l'agronomie, dans son évolution des 20 dernières années, s'est de plus en plus intéressée aux agriculteurs et aux raisons qu'ont ceux-ci de faire ce qu'ils font à travers l'analyse de leurs pratiques et du fonctionnement de leurs exploitations. Cependant, pour mieux comprendre le comportement des producteurs et surtout la variabilité de leur choix, il s'est avéré nécessaire de s'intéresser à leurs processus de décision (cheminement conduisant à tel ou tel choix) en tant que moteur de leur pratique.

L'élaboration de l'outil d'aide à la décision mentionné en objectif, consiste à concevoir un modèle intégrant les disponibilités en résidus de récolte, en main d'œuvre, en équipement, les besoins en fourrage et en litière des animaux et le potentiel de production de fumure organique pour différentes catégories d'exploitation. Elle a pour objectif, non pas de prescrire des solutions toutes faites ou de canaliser les agro-pasteurs dans leur prise de décision, mais d'enrichir leurs connaissances et leurs raisonnements afin de leur faciliter le choix d'options tactiques de gestion de leurs résidus de récolte. Il ne s'agit pas là d'un changement radical, mais d'une amélioration de

ce qui existe; et cela à partir d'une connaissance des pratiques quotidiennes des agro-pasteurs et des données techniques agronomiques et zootechniques. Un modèle, selon Molle & Valette (1994), peut être considéré comme une représentation d'un problème donné par un formalisme logico-mathématique. Les modèles qui nous intéressent sont de type mixte et spécifique (modèle décisionnel) qui intègrent les aspects humains, stratégies, expérience, organisation, interaction avec l'environnement, *etc.* Ces modèles aidant dans la prise de décision sont considérés par les uns comme des Systèmes d'Aide à la Décision (SAD) ou Outil d'Aide à la Décision (OAD). Selon van Duivenbooden *et al.* (2000), le SAD devra aider ses utilisateurs dans leur choix pour des résultats conséquents et cela non pas pour une année en cours, mais préférablement pour une période plus longue (10-20 ans). Pour les mêmes auteurs, les SAD sont désignés pour aider dans le processus de détermination des étapes d'action par la quantification ou la mesure de certains facteurs qui influencent la décision et qui sont souvent laissés à l'évaluation subjective des décideurs. Pour mieux cerner les objectifs, des scénarios sont souvent élaborés. Il existe deux types de scénarios. Les scénarios en perspective (futurs) et ceux en projectifs. Dans le premier cas, la situation future peut être décrite sur la base des buts (ou cibles) qui déterminent le sens du développement. Dans le second cas, il s'agit d'une extrapolation du développement sur la base des caractéristiques du présent et du passé. Cependant selon Schoonenboom (1995), cité par van Duivenbooden *et al.* (2000), les deux types de scénarios se caractérisent par: 1) la description de la situation présente; 2) l'identification et la description d'un certain nombre de possibilités futures; 3) les chemins possibles de liaison entre le présent et la situation future.

## 7.2 Méthodologie

L'outil a été élaboré en utilisant le logiciel Excel. Dans l'outil, on peut distinguer 3 parties (Annexe 7.1):

- Entrées: les informations indispensables au fonctionnement de l'outil sont saisies à ce niveau,
- Formules et leur signification: il s'agit d'une multitudes de régressions linéaires liées les unes aux autres et souvent accompagnées de la condition "si", ou de la double condition "si et si". La signification de chaque formule est également donnée. Il en est de même pour les résultats chiffrés.
- Résultats: les résultats obtenus de l'exécution des différentes formules sont présentés soit en texte (capable, non capable; disponible, non disponible), soit en chiffre.

### 7.2.1 Sources d'alimentation

#### 7.2.1.1 AAGFS

Les données obtenues lors de l'étude "mise au point d'une Approche Amélioration de la Gestion de la Fertilité des Sols" (AAGFS) constituent l'ossature de l'outil d'aide à la décision (Figure 7.1). Il s'agit des données collectées avec des outils participatifs pendant 2-4 ans sur la structure et les pratiques de gestion de la fertilité des sols des 40 exploitations suivies (20 à M'Peresso et 20 à Noyaradougou).

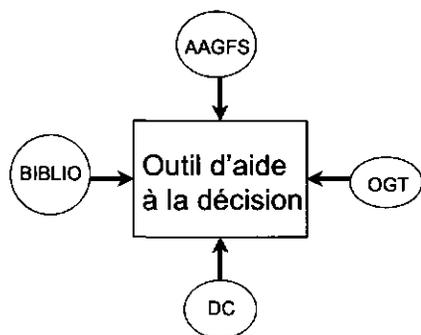


Figure 7.1 Sources d'alimentation de l'outil.

AAGFS: Approche Amélioration de Gestion de la Fertilité des Sols;

DC: Collecte de Données Complémentaires;

OGT: Outil de Gestion du Troupeau;

BIBLIO: Coefficients issus de la bibliographie.

Les données analysées par classe d'exploitation et utilisées dans l'outil sont:

- éléments structurels des exploitations (nombre d'actifs, de bovins, d'ovins/caprins, d'ânes, d'autres animaux, de charrettes),
- rendements actuels et production graine, paille.

### 7.2.1.2 Données complémentaires

Les Données Complémentaires (DC) collectées sont:

- poids de la charretée de résidus des différentes cultures,
- main d'œuvre et temps nécessaires aux activités de recyclage des résidus (coupe, chargement, transport, épandage/distribution, etc.),
- capacité et vitesse du matériel de transport,
- distance moyenne champ-lieu de stockage du fourrage ou du fumier.

Les données de l'AAGFS et celles de DC, ont été renforcées par celles de l'Outil Gestion du Troupeau (OGT), et par d'autres coefficients bibliographiques.

### 7.2.1.3 OGT et normes zootechniques

Des *normes/coefficients* agronomiques et/ou zootechniques obtenus au Mali-Sud ou dans des zones similaires en matière d'alimentation des animaux et de production de fumure organique dans les parcs et les compostières ont été utilisés. Il s'agit des données suivantes:

- besoins journaliers en fourrage par Unité de Bétail Tropical (UBT<sup>2</sup>),
- besoins journaliers en litière par UBT,
- rapport complément et grossier dans une ration à base de fourrage grossier
- excréments fécaux journalières par espèce.

#### 7.2.1.4 Autres coefficients bibliographiques

- rapport tiges/graines des cultures,
- normes confection et remplissage compostières,
- pourcentage de fumure d'amorce pour le compostage,
- pourcentage de compost obtenu par rapport à la masse initiale.

Ces différentes données ont été utilisées comme des critères de définition des activités de l'outil d'aide à la décision. Les caractéristiques d'une activité spécifique, souvent appelées "critères de définition" (EMS, 1995; Sissoko, 1998), représentent d'une part le milieu dans lequel l'activité est exécutée et d'autre part les techniques avec lesquelles elle est exécutée. Dans le cas de l'élaboration de l'outil d'aide à la décision, les critères ont été divisés en deux lots: ceux qui sont fonction de la classe d'exploitation (Annexe 7.2) et ceux qui sont indépendants de la classe (Annexe 7.3). Les critères dépendants de la classe sont: nombre de bovins (en UBT), d'ovins/caprins, d'ânes, de charrettes, d'actifs, de compostières et la production (graines et résidus) des différentes cultures.

#### 7.2.2 Structure de l'outil

L'outil est basé surtout sur les éléments de structure de l'exploitation: chef d'exploitation, chef de travaux, actifs, matériel agricole et animaux. Il tient compte aussi des productions de l'exploitation (Figure 7.2). La décision du chef d'exploitation dépend de 1) la situation socio-économique de l'exploitation, 2) l'environnement social et économique, mais aussi 3) la situation géographique (Gras *et al.*, 1989 cité par Delville, 1996). Selon ces auteurs, d'autres facteurs comme l'état du milieu naturel (sol, végétation) et la production peuvent indirectement influencer la décision des agriculteurs. Au Mali-Sud, la prise de décision en matière de gestion des résidus est influencée également par l'état des animaux (Figure 7.2). La logique de décision dépend des objectifs visés. Toutefois, les objectifs sont très souvent fixés en fonction de la situation socio-économique de l'exploitation, autrement dit en fonction des ressources disponibles en main d'œuvre, en matériel, en bétail, en terre, en production, voire en épargne de l'exploitation. L'organisation et l'entente au sein de l'exploitation jouent un rôle non-négligeable dans la prise de décision et influencent sérieusement l'exécution des décisions prises. L'environnement géographique tel que la pression sur les terres, la pluviométrie, la proximité d'un marché, *etc.*, compte beaucoup dans la logique de

<sup>2</sup> UBT = Unité de Bétail Tropical (un bovin pesant 250 kg de poids vif: poids standard). Les normes retenus pour convertir les nombres d'animaux en UBT sont les suivants: 1 bœuf de trait = 1 UBT; 1 bovin extensif = 0,7 UBT; 1 petit ruminant = 0,1 UBT (Kébé, 1989)

prise de décision. La politique des prix et le prix des intrants sont autant de facteurs qui jouent sur la décision des agro-pasteurs (Figure 7.2).

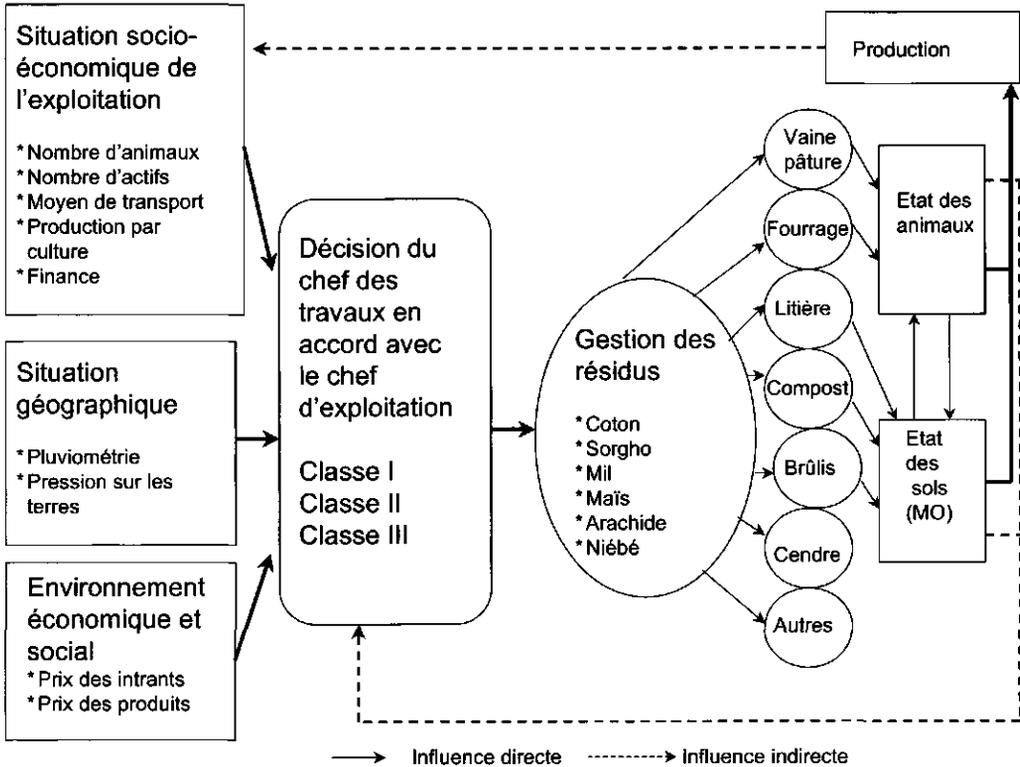


Figure 7.2 Structure de l'outil d'aide à la décision en matière de gestion des résidus (Source: adaptée de Gras *et al.*, 1989 cités par Delville, 1996). NB: Les prix n'ont pas été pris en compte dans l'outil.

Un outil basé sur les capacités et limites du troupeau, de la main d'œuvre et de l'équipement dont dispose l'exploitation aidera, sûrement les chefs appartenant à différentes catégories d'exploitation dans leur prise de décision en matière de valorisation des résidus de récolte.

### 7.2.3 Etapes d'exécution de l'outil

L'outil est construit autour des résidus en 6 étapes (Figure 7.3): 1) Formulation des objectifs par classe; 2) Evaluation des résidus disponibles; 3) Calcul des besoins en fonction des objectifs, 4) Comparaison des besoins aux disponibles; 5) Prise en compte des capacités de l'exploitation à satisfaire aux besoins; 6) Satisfaction objectif 1, ou proposition d'alternatives (voire d'objectif 2) en cas de non-satisfaction du premier objectif.

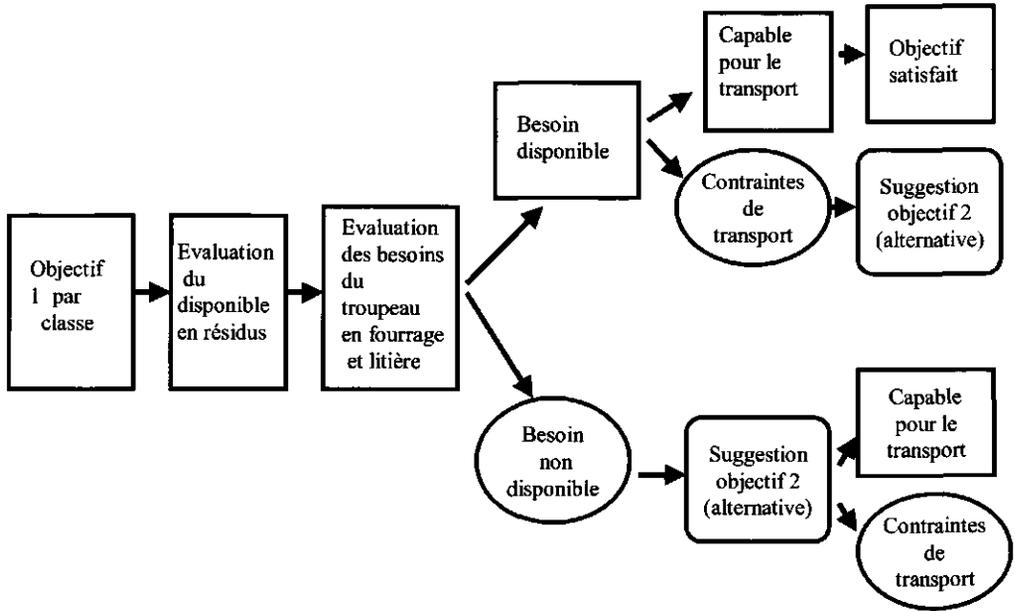


Figure 7.3 Etapes d'exécution de l'outil.

Les agriculteurs du Mali-Sud sont grâce à la culture attelée et à l'épargne du surplus de coton dans le bétail, devenus des agro-pasteurs. La nourriture et l'entretien des bœufs de labour occupent une place de choix dans les préoccupations des exploitations agricoles du Mali-Sud. Ce qui fait dire à Bengaly *et al.* (1994), que l'objectif principal des paysans sédentaires pour l'utilisation des sous-produits agricoles et agro-industriels comme compléments est le maintien et le conditionnement des bœufs de traction. Ces derniers reçoivent en saison sèche des résidus de récolte, des produits de cueillette (poudre de néré), de l'aliment bétail, *etc.* Cependant, dans les deux villages concernés par l'étude, les paysans distribuent les résidus de récolte à tous les animaux sans exception. Contrairement aux résidus, l'aliment bétail est donné aux bœufs de labour et aux vaches ayant fait leur mise bas dans des conditions alimentaires difficiles. Ainsi, sur la base des connaissances du milieu et selon les ressources (moyen de transport, main d'œuvre, finances) de la classe, les objectifs suivants peuvent être considérés simultanément:

- 1) Fourrage et litière pour tout le troupeau,
- 2) Production de compost à la maison et/ou au champ.

### **Etape 1: Formulation des objectifs par classe**

Dans cet outil d'aide à la décision, le premier objectif est de satisfaire les besoins du troupeau en fourrage et en litière. Cet objectif peut être valable pour toutes les classes. Cependant, les paysans ne possédant pas de bœufs de labour (classe III) et/ou de charrette (classe II et III) pourront se fixer

comme premier objectif, le recyclage d'une partie des résidus de récolte comme compost au champ. Les exploitations dont la disponibilité en résidus est supérieure aux besoins du troupeau ou celles ne pouvant pas satisfaire aux besoins du troupeau pour des problèmes de transport (charrette, ânes, actifs) peuvent également opter pour le creusement de compostières au champ comme second objectif. Pour mieux cadrer ces objectifs, 5 scénarios ont été proposés (Tableau 7.1).

Tableau 7.1 Scénarios de l'outil.

Scénario	Système (accès aux résidus)	Tiges céréales	Mode de conduite des animaux
Scénario 1 (S1) SOPESP	Ouvert	Entières	Stabulation du troupeau
Scénario 2 (S2) SOPHSP	Ouvert	Hachées	Stabulation du troupeau
Scénario 3 (S3) SOPEPR	Ouvert	Entières	Parcage de nuit du troupeau et pâture restreinte
Scénario 4 (S4) SOPHPR	Ouvert	Hachées	Parcage de nuit du troupeau et pâture restreinte
Scénario 5 (S5) SFPHSP	Fermé	Hachées	Stabulation du troupeau

Les scénarios peuvent être regroupés selon la conduite des animaux (stabulation permanente ou pâture restreinte), selon la nature des pailles (entières ou hachées) et en fonction du temps disponible pour le transport du fourrage (système ouvert ou fermé). Les scénarios 1-4 tiennent compte des réalités actuelles sur le terrain, c'est-à-dire l'accès libre aux résidus par tous les animaux de la localité juste après les récoltes; mais aussi la possibilité d'utiliser les hache-pailles en pré-vulgarisation pour une meilleure gestion du fourrage grossier. Le scénario 5 peut être considéré comme celui du futur dans la mesure où le système est fermé (accès aux résidus se fait sur autorisation de l'exploitation). Les disponibilités actuelles des différentes classes d'exploitation en main d'œuvre, moyen de transport, résidus, nombre d'UBT sont utilisées comme base d'exécution des différents scénarios. Il existe bien sûr d'autres types de conduite (troupeau passant toute la journée sur les parcours avec ou sans complémentation au retour) qui ne sont pas pris en compte dans l'outil. Les coefficients utilisés pour caractériser ces différents aspects figurent dans le Tableau 7.2.

Le scénario 1 (S1) est considéré comme scénario de base. Donc le passage de S1 à un autre scénario consiste à remplacer le coefficient du scénario de base par celui relatif au scénario en question (Tableau 7.2). Dans les scénarios, le nombre d'UBT et d'équipe (actifs, ânes et charrette) et les quantités de résidus (tiges, fanes) varient selon la classe et le village.

Tableau 7.2 Caractéristiques des scénarios (MS).

Paramètre	S1	S2	S3	S4	S5
Besoin journalier en fourrage (kg/UBT)	5,5	5,5	3	3	5,5
Coefficient consommation paille (-)	2,5	1,25	2,5	1,25	1,25
Refus (%)	60	20	60	20	20
Quantités litière SSC (kg/UBT)	0,8	0,8	0,5	0,5	0,8
Excrétion fécale journalière (kg/UBT)	2	2	1,5	1,5	2
Durée période transport fourrage (jours)	30	30	30	30	120

SSC: saison sèche chaude

### **Etape 2: Evaluation des disponibilités en résidus**

Les quantités disponibles de résidus sont estimées en utilisant les informations sur les productions de chaque culture et les coefficients  $z$  obtenu du rapport tige/graine.

$$z = T/G \Rightarrow T = z * G \quad (1)$$

T = Poids tiges

G = Poids graines

Les coefficients  $z$ , obtenus à partir de la synthèse des données de l'ESPGRN ont été utilisés (Tableau 3.3). Les résidus sont ensuite regroupés en tiges de céréales (maïs, sorgho et mil) et en fanes de légumineuses. Les quantités de tiges de coton qui ne sont pas utilisées comme fourrage sont ajoutées à ces deux lots, pour avoir la masse totale des résidus disponibles. Le constat est qu'il y a une préférence dans l'utilisation des résidus comme fourrage et cela se présente en général de la façon suivante: Fanes niébé > Fanes arachide > Tiges maïs > Tiges de sorgho > Tiges de petit mil. L'ordre d'utilisation est assez lié à l'appétabilité par les animaux. Par rapport aux mil-sorgho, il faut souligner que les paysans stockent plus de mil que de sorgho (Tableau 3.16).

### **Etape 3: Calcul des besoins en résidus**

Il s'agit là d'évaluer les quantités de résidus dont l'exploitation a besoin pour son troupeau (fourrage et litière) et pour ses compostières. Les coefficients utilisés sont ceux de Bosma *et al.* (1996) et de Berger (1996).

#### **Scénario 1: système ouvert, tiges entière et stabulation permanente**

##### **Besoins en fourrage**

Le besoin journalier en fourrage d'un bovin de 250 kg (UBT) est égale à 5-5,5 kg, soit 2,2-2,3% du poids vif de l'animal (Berger, 1996; Breman & De Ridder, 1991). Ainsi, dans l'outil d'aide à la décision la valeur 5,5 kg MS/UBT/j est considéré en cas de stabulation permanente (S1, S2, S5). Il est supposé que les animaux obtiennent 45% (2,5 kg/UBT/j) de leur besoin sur les pâturage de saison sèche et 55% (3 kg/UBT/j) au parc en cas de pâture restreinte (S3 et S4). Selon Bosma *et al.*

(1995), il est conseillé de ne donner en pâture restreinte que 3 kg/bovin adulte de paille enrichie au prémix. Les tiges de céréales et les fanes de légumineuses sont stockés comme fourrage en vue de palier au manque d'aliment en saison sèche. Beaucoup de paysans achètent en saison sèche de l'aliment bétail pour l'alimentation de leurs animaux. Ainsi, le besoin en fourrage durant cette période peut être représenté comme:

$$X = 5,5 * f = G + Co \quad (2)$$

$$Co = l + al \quad (3)$$

$$X = 5,5 * f = G + l + al \quad (4)$$

$$Co = 0,25 * X \quad (5)$$

où,  
 5,5 Besoin journalier d'un UBT en matière sèche (kg/j),  
 f Durée de la période du déficit en fourrage (j),  
 G Quantité de pailles de céréale apportée par UBT durant la période f (kg),  
 l Quantité de fanes de légumineuses apportée par UBT durant la période f (kg),  
 al Apport d'aliment par l'exploitant par UBT (hormis les résidus) durant la période f (kg),  
 Co Complément (légumineuse ou concentré, etc.) nécessaire pour le maintien du poids des animaux recevant de la paille de céréale durant la période f (kg),  
 0,25 Proportion du complément (légumineuse ou concentré, etc.) nécessaire à l'entretien des animaux dans une ration à base de grossier (Diarra & Breman, 1997).

En considérant que seulement 40% de la paille non-hachée est consommé par les animaux (Bosma *et al.*, 1996), alors la part du grossier devant assurer les 5,5 kg sera:

$$Xg = [X - (l + al)] * 2,5 \quad (6)$$

où,

Xg Quantité de paille de céréale corrigée (prenant en compte le refus) de la ration  
 2,5 Coefficient de correction de consommation (40%) des pailles entières

Ainsi, le besoin en fourrage du scénario 1 pour n UBT donne:

$$nX = n (Xg + Co) \quad (7)$$

En cas de non accès au complément ( $Co = 0$ ), le besoin sera satisfait à partir des pailles données en excès. La part du grossier refusé par les animaux dans ce premier scénario est:

$$RI = 0,6 * Xg \quad (8)$$

où,  
 0,6 Coefficient relatif au refus en cas de 40% de consommation des pailles entières (scénarios S1, S3).

Pour les scénarios S2, S4 et S5, on suppose que les animaux consomment 80% des pailles hachées et que seulement 20% est refusé (Bosma *et al.*, 1996). Dans ces scénarios, les coefficients 1,25 et 20% sont utilisés, respectivement pour le fourrage et le refus (Tableau 7.2).

#### Besoins en litière

Un bovin adulte broie 5 kg de tiges par nuit (Berger, 1996). Toutefois, une meilleure décomposition ( $C/N \leq 30$ ) des tiges en saison sèche nécessite une réduction de la quantité journalière de litière. La quantité de tiges ne doit pas dépasser 0,5 kg par jour par tête pendant la saison sèche chaude. La quantité de litière à apporter pendant la saison sèche fraîche pourrait être de 1 kg/tête/j (Bosma *et al.*, 1996). Ainsi, dans le calcul des besoins en litière, les durées des saisons sèche (chaude et fraîche) et pluvieuse sont prises en compte. Le besoin en litière par UBT/an peut se présenter sous la forme:

$$Y = 0,5*a + 1*b + 3,5*p*c = 0,5a + b + 3,5pc \quad (9)$$

où,

- a, b et c Durées respectives des saisons sèche chaude, sèche fraîche et pluvieuse (j),
- p Pluviométrie (m),
- 0,5 et 1 Quantités journalières de litière par UBT, respectivement pour les saisons sèche chaude, sèche fraîche (kg),
- 3,5 Quantité journalière de litière par UBT, pour la saison des pluies (voir 3,5p) (kg).

La formule ci dessus permet d'avoir pratiquement les mêmes quantités de litières que celles figurant dans le Tableau 7.3. Avec de telles quantités de litière, la décomposition des fibres est garantie et le rapport C/N se situera entre 15 et 20. Cependant, dans l'outil d'aide à la décision, la quantité de litière à apporter par jour a été considérée comme étant égale à 0,8 kg/UBT/j en saison sèche en cas de stabulation permanente (scénarios S1, S2, S5). A Cinzana, une telle quantité de litière par jour a permis d'avoir une fumure dont le rapport C/N était égal à 26 (Gakou *et al.*, 1996).

Tableau 7.3 Durée de la période de déficit fourrager et le besoin en litière par UBT selon les saisons et la zone (pluviométrie).

Durée saison et besoin en litière	Zone de Koutiala (800 mm)			Zone de Sikasso (1000 mm)		
	Hivernage	SSF	SSC	Hivernage	SSF	SSC
* Nombre de mois (j)	6 (184)	2 (61)	4 (120)	7 (214)	1 (31)	4 (120)
* Besoin en litière/UBT (kg)	500	60	60	750	30	60
Durée période déficit fourrage (j)	-	-	120	-	-	90

SSC: Saison sèche chaude; SSF: Saison sèche fraîche; \* Source: adaptée de Bosma *et al.* (1992) cités par Delville (1996).

Les besoins corrigés (Scénario 1) en fourrage et en litière (à transporter) du troupeau seront représentés respectivement par:

$$nXc = n(Xg + Co) \text{ et } nYc = n(Y - Rl)$$

où,

$$nY \text{ Besoin en litière pour } n \text{ UBT (kg)}$$

#### *Besoin en résidus pour le compostage*

Pour le remplissage des compostières ayant des dimensions variables entre 4x3x1 m ou 2x2,5-3x1,2-1,5 m avec un muret de 20-30 cm de haut, il faut environ 5 charretées de pailles pour une charrette de poudrette (ou fumier). Ce qui fait environ 750 kg de paille sèche pour 150-200 kg de poudrette (Delville, 1996). Une profondeur supérieure à 1 m (1,2-1,5 m) permet de réduire l'évaporation. Dans la littérature, pour une même dimension de compostière, les quantités de pailles varient (Tableau 7.4). Ainsi, il est difficile de trouver une bonne corrélation entre les dimensions de la compostière et la quantité de pailles nécessaire pour son remplissage.

Tableau 7.4 Besoin d'une compostière en paille (kg).

Dimension compostières	Besoin en paille	Source
6,25 m <sup>3</sup>	912,5 (avec PNT)*	Kanté, 1988
6,25 m <sup>3</sup>	1319 (sans PNT)	Kanté, 1988
9 m <sup>3</sup>	976 (avec PNT)	Kanté, 1988
6-9 m <sup>3</sup>	865 - 1125	CTSPR, 1986
9 m <sup>3</sup>	800 - 1200	Dugué, 1996
10 m <sup>3</sup>	1275 - 1700	Berger, 1996

\*PNT: Phosphate Naturel de Telemsi

Dans l'outil, les moyennes obtenues par Dugué (1996) et Berger (1996) ont été utilisées. Pour ces auteurs, il faut en moyenne 1000 kg de paille pour une compostière de 9 m<sup>3</sup> et 1500 kg pour 10 m<sup>3</sup>. Nous avons considéré une telle logique pour avoir une idée sur les besoins en pailles (minimum, moyen et maximum) d'une compostière de 11 m<sup>3</sup>. Ensuite une droite de régression nous permettant de prendre en compte les compostières de dimensions supérieures ou égales à 9 m<sup>3</sup> a été tracée. Ainsi, on obtient:

$$Yc = 496 x - 3464 \quad (10)$$

où,

x Dimensions de la compostière (m<sup>3</sup>),  
3464 Constante de regression, avec R<sup>2</sup> = 0,8.

Cette regression doit être considérée à titre indicatif, car comme souligné ci dessus, les données disponibles ne permettent pas d'avoir une bonne corrélation entre les quantités de pailles et les dimensions des compostières.

#### **Etape 4: Comparaison besoins et disponibilité en résidus**

Il s'agit là de voir si les besoins en résidus de l'exploitation peuvent être satisfaits à partir des quantités qu'elle dispose. Ainsi, la démarche suit son cours normal, si le besoin est inférieur ou égale au disponible, et des alternatives sont proposées si le premier est supérieur au second.

#### **Etape 5: Prise en compte des capacités de l'exploitation**

Il s'agit là de prendre en compte la disponibilité de l'exploitation en charrette, ânes (bœufs pour la charrette bovine) et en actifs. En plus des paramètres cités ci dessus, d'autres coefficients ont été utilisés (Tableau 7.5).

Tableau 7.5 Coefficients moyens mesurés et utilisés pour le calcul de la capacité journalière de transport de l'exploitation.

Coefficient utilisé	M'Peresso	Noyaradougou
Vitesse de la charrette asine (km/h)	4,8	4,8
Journée (durée) de travail (h/j) par rapport aux résidus	4	4
Poids charretée coton (kg)	135	65
Poids charretée maïs (kg)	100	50
Poids charretée sorgho (kg)	150	80
Poids charretée mil (kg)	250	105
Poids charretée légumineuse (kg)	50	50
Poids charretée tiges toutes cultures (kg)	170	75
Durée période transport fourrage (j)	30	30
Durée période transport litière (j)	120	120
Trajet maison – champ – maison (km)	2,8	4

Pour le transport des résidus, les paysans de M'Peresso chargent la charrette plus que ceux de Noyaradougou. En effet, les premiers augmentent la capacité de transport en utilisant de longues branches sur les côtés de la charrette. Dans les deux villages, la vitesse moyenne de la charrette asine est de 4,8 km/h, tandis qu'elle est 2 et 3 km/h respectivement, selon Berger (1996) et Camara (1996). A Noyaradougou, en matière de gestion des résidus, les paysans travaillent 4-5 heures en moyenne par jour. Selon Kébé (1993), cité par Bosma *et al.* (1996), la journée de travail varie de 3-6 h. Le poids d'une charretée de résidus a été estimé à 150 kg (Delville, 1996). Il est égale à 50, 60, 90 et 100 kg, respectivement pour le maïs, le coton, le sorgho et le maïs/dolique (Bosma *et al.*, 1995). Les résultats obtenus dans le cercle de Koutiala par Camara (1996) sur les distances des champs de culture montrent que l'écart-type est très élevé; ce qui signifie que les champs sont très dispersés. Les champs les plus éloignés sont ceux du coton, du sorgho et du mil qui sont situés à plus d'un kilomètre (1135-1170 m) du village (Camara, 1996). Le maïs et les légumineuses occupent une bonne partie des champs de case (600-830 m).

La capacité journalière de transport d'une équipe (1 charrette, 1 âne et 2 actifs) peut être calculée comme:

$$Ce = Te/ttr$$

(11)

où,  
 Ce Capacité journalière de transport d'une équipe en nombre de charretées (#/j),  
 Te Temps de travail de l'équipe (h/j),  
 ttr Temps total (temps chargement, déchargement et aller-retour).

$$ttr = tc + tv + tcd \quad (12)$$

où,  
 tc Temps de transport de la charrette chargée (h),  
 tv Temps de déplacement de la charrette vide (h),  
 tcd Temps pour le chargement et le déchargement d'une charretée (environ 35 minutes).

$$tc = d/Vc \quad (13)$$

où,  
 d Distance entre le champ et le lieu de stockage des tiges (km),  
 Vc Vitesse moyenne de la charrette (asine) chargée (km/h).

$$tv = d/Vv \quad (14)$$

où,  
 Vv Vitesse moyenne de la charrette (asine) vide (km/h).

$$Cex = Ce * ne \quad (15)$$

où,  
 Cex Capacité journalière de transport de l'exploitation en nombre de charretées (#/j),  
 ne Nombre d'équipes:  
 ne = 1, si le nombre d'actif homme = 1 et si l'exploitation possède 1 charrette, 1 âne.  
 ne = 1, si le nombre d'actif homme = 2 et si l'exploitation possède 1 charrette, 1 âne;  
 ne = 2, si le nombre d'actif homme  $\geq$  4 et si l'exploitation possède 2 charrettes, 2 ânes;  
 ne = 2, si le nombre d'actif homme  $\geq$  4 et si l'exploitation possède 1 charrette, 2 ânes (avec double usage de la charrette par jour).

Ces différents cas de figures sont proposés sur la base des réalités du milieu. En effet, les activités de transport (chargement, transport, déchargement) des résidus et de la fumure sont à plus de 95% assurés par les actifs hommes. La charrette équipée d'un âne est en général utilisée par 2 ou 3 actifs (exception faite des exploitations n'ayant qu'un seul actif). Ainsi en cas d'incapacité de transport, d'autres alternatives sont proposées; dans le cas contraire, l'objectif 1 sera satisfait et la même procédure sera faite pour l'objectif 2.

**Etape 6: Satisfaction objectif 1 ou suggestion objectif 2**

Il s'agit là de l'étape de la satisfaction de l'objectif principal. Cependant, si en cours d'exécution, des contraintes non-surmontables par l'exploitation apparaissent, alors, une autre alternative ou objectif 2 (secondaire) est proposée aux paysans. Pour atteindre ce nouvel objectif, les étapes précédentes sont encore exécutées.

*Production de fumier*

Au sein de la même espèce animale, l'excrétion fécale varie d'une saison à l'autre, d'un parcours à l'autre, en fonction du disponible alimentaire, du temps de séjour au pâturage, du mode de conduite des animaux et de l'état physiologique des animaux (Landais *et al.*, 1991). Ainsi, les excréments fécaux des bovins de 250 à 300 kg, peuvent varier de 0,7-0,8 à 7,2 kg/24 h (Fernández-Rivera *et al.*, 1993; Lhoste & Richard, 1993; Berger, 1996; Bosma *et al.*, 1996; Gakou *et al.*, 1996; Tableau 7.6). La norme souvent utilisée est de 1 kg de MS pour 100 kg de poids vif par jour, soit 2,5 kg/UBT/jour (Landais *et al.*, 1991).

Tableau 7.6 Production fécale et de fumier (bovin: kg/ UBT, kg/tête pour les autres espèces).

Mode de conduite	kg/24h	kg/an	Source
Bovin adulte en parcours permanent	2-4	800-1600	Berger (1996)
Bœuf de trait nourri à l'étable	3-6	1000-2000	
Bovin en parcours le jour et parqué la nuit	1,5-2,5/nuit	600-900 (nuit)	
Bovin sous condition <i>ad libitum</i>	0,7-7,2 (*2,4)	-	Adaptée de Fernández-Rivera <i>et al.</i> (1993)
Moutons sous condition <i>ad libitum</i>	0,04-0,9 (*0,34)	-	
Chèvres sous condition <i>ad libitum</i>	0,03-0,6 (*0,2)	-	
Ane sans litière	1,8●	-	Donnée dérivée
Bovins sur litière toute l'année	-	**910-1090	Bosma <i>et al.</i> (1996a)
Bovin sur litière toute l'année et stabulation en SSC	-	**1160	
Poule en élevage traditionnel (kg/mois)***	0,20-0,39		Diabaté (1987)
Poules (kg/tête/an)	5-6		Smirnov <i>et al.</i> (1977)

\* Quantité moyenne de fumure (poids moyen des bovins = 300 kg); \*\* Production annuelle sous pluviométrie 800-1200 mm; SSC = saison sèche chaude, \*\*\* Elevage traditionnel de poules au Mali-Sud (kg/tête/mois). ● Valeur dérivée de la relation excrétion fécale/UBT (Landais & Guerin, 1992) et poids de l'âne (100-185 kg selon Svendsen, 1986 et IEMVT, 1988).

Les valeurs utilisées dans l'outil d'aide à la décision sont de 1,5 kg/nuit et de 2 kg/24h respectivement pour les scénarios avec pâture restreinte (S3, S4) et avec stabulation permanente (S1, S2, S5). Dans les scénarios S3 et S4, la production de fumure organique (excrément plus litière) par exploitation et par an peut se présenter de la façon suivante:

$$F = [365 * 1,5 * \text{UBTy} + Y] + 365 * 0,9 * I + 365 * 0,15 U + 365 * 0,013 * Q$$

d'où,

$$F = 365[1,5 * \text{UBTy} + 0,9 * I + 0,15 * U + 0,013 * Q] + Y \quad (16)$$

où,

- F Production annuelle de fumure d'origine animale par exploitation (kg MS),  
 1,5 Production de fumure par bovin (kg MS/nuit),  
 0,9 Production de fumure par âne (kg MS/nuit),  
 0,15 Production de fumure par petit ruminant ( kg MS/nuit),  
 0,013 Production de fiente par poule (gestion traditionnelle) (kg MS/nuit),  
 365 Nombre de nuits/an,  
 UBTy Nombre UBT (bovins) considérés pour l'apport de litière,  
 I Nombre d'ânes de l'exploitation,  
 U Nombre de petits ruminants de l'exploitation,  
 Q Nombre de poules de l'exploitation,  
 Y Quantité annuelle de litière par UBT-bovin (kg MS).

La période de stabulation doit être prise en compte dans les scénarios à stabulation permanente (scénarios S1, S2, S5). Dans ces scénarios, la quantité de fumure organique en provenance des bovins, des ovins/caprins, des asins et de la volaille peut être représentée par:

$$F = 365 [(1,5 * UBTy) + (0,9 * I) + (0,15 * U) + (0,013 * Q)] + Y + 0,8 * ps * UBTx \quad (17)$$

où,

- 0,8 dont 0,5 et 0,3 respectivement en excrétion et litière complémentaire (kg MS/j)  
 UBTx Nombre d'UBT en stabulation  
 ps Période de stabulation (j)

#### *Production de compost*

Pour faciliter la décomposition des tiges et améliorer la qualité du produit, il faudra ajouter une fumure d'amorce dont la quantité est environ 18% de celle des tiges. Selon Berger (1996), la masse du compost en matière sèche sera égale à 75% de la quantité totale des intrants (ici tiges et fumure d'amorce, Tableau 7.7).

Tableau 7.7 Quantités de compost en fonction des quantités de paille et du fumier d'amorce.

Quantité de paille (kg MS)	1275	1500	1700	4000
Fumier d'amorce (kg)	225	250	300	750
Compost produit (matière sèche)	1125	1300	1500	3560

Source: Berger (1996).

Des travaux de Kanté (1988) et CTSPR (1986), il ressort qu'une certaine quantité de terre entre également dans la compostière. Cette quantité oscille autour de 26% de la masse totale du compost. Ainsi, dans l'outil, il a été considéré que les résidus, la terre et la fumure d'amorce constituent respectivement 56, 26 et 18% de la masse totale du compost. Les quantités de fumier d'amorce et de terre sont calculées sur la base des quantités de pailles (formule 10).

### *Production d'ordure*

Les données collectées lors de l'étude "mise au point d'une Approche Amélioration de la Gestion de la Fertilité des Sols" et celles du SEP n'ont pas permis d'identifier un lien étroit entre la population de l'exploitation et la production d'ordure. La taille de l'exploitation (population) expliquerait seulement 15% de la variation. La production selon les paysans dépend surtout de la motivation de l'exploitation à produire de la fumure organique. Ainsi, la quantité moyenne d'ordure produite dans le village par chacune des classes a été utilisée pour estimer la capacité de production de la classe.

#### **7.2.4 Validation de l'outil et participation paysanne**

Suite aux remarques de certaines personnes ressources, nous avons procédé à la validation des éléments clefs de l'outil tels que les quantités de litière à incorporer selon les saisons, l'excrétion fécale dans les conditions de gestion paysanne, la fumure organique obtenue à la fin de la chaîne. L'échantillon choisi à cet effet était assez restreint, non seulement pour des raisons logistiques, mais surtout parce que l'incorporation de litière en saison sèche était une nouveauté et les volontaires étaient rares. Ainsi, sur les 4 parcs choisis au départ, seuls les résultats de 2 ont été retenus pour les analyses. Les 2 autres n'ont pas été pris en compte parce que certains animaux ne passaient pas la nuit dans le parc. Ainsi, les données concernent uniquement le parcage nocturne. Les normes de litière testées étaient de 1 kg/UBT/j en saison sèche fraîche et de 0,5 kg/UBT/j en saison sèche chaude. Le stock de résidus n'était pas important pour tenir jusqu'en hivernage. D'ailleurs, pendant cette période, le problème d'eau ne se pose pas et la décomposition de la litière est facile. Au départ, l'incorporation était journalière, mais on s'est très vite inspiré de la pratique paysanne qui consiste à mener l'action chaque semaine ou chaque quinzaine. Ainsi, la quinzaine fut retenue. Avant chaque incorporation de litière, la quantité de bouse fraîche (nocturne) était mesurée à l'aide d'une balance romaine. Un échantillon d'1 kg de bouse était prélevé et séché à l'étuve à 85°C pendant 48 heures. A la fin du test, 1 kg de fumier fut également séché pour connaître la teneur en matière sèche. Les pluies précoces d'avril 2001, ont détérioré le stock de fourrage et ne nous ont pas permis de vérifier la validité des résultats de l'outil en terme d'estimation des besoins en fourrage.

### **7.3 Résultats**

#### **7.3.1 Centre de décision en matière de gestion des résidus**

Dans une exploitation agricole, les décisions, selon leur importance et la catégorie d'actif qui doit les exécuter, peuvent être prises par de simples actifs, par le chef des travaux ou par le chef d'exploitation (Figure 7.4). Les décisions en matière de gestion des résidus sont dans 65% des exploitations prises par le chef des travaux. Il informe le chef d'exploitation et mobilise les actifs pour la réalisation des objectifs. Il sert de trait d'union entre le chef d'exploitation et les actifs. Sa crédibilité auprès des uns et des autres est indispensable pour la bonne exécution des travaux de gestion des résidus. Dans les exploitations démunies en main d'œuvre (suite à un éclatement où à

l'exode des actifs), le chef d'exploitation est en même temps le chef de travaux. Les décisions sont rarement prises par de simples actifs.

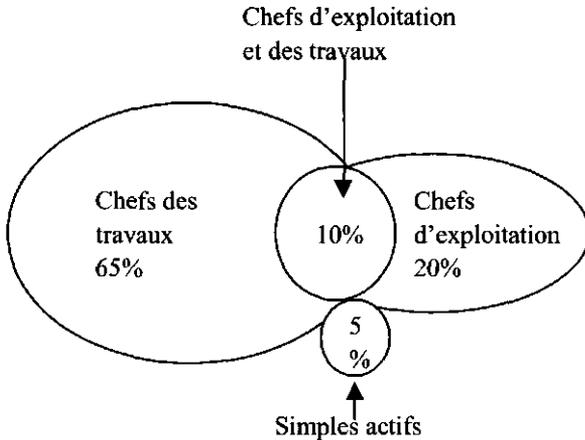


Figure 7.4 Poids des acteurs dans la prise de décision en matière de gestion des résidus: cas de Noyaradougou.

### 7.3.2 Disponibilité de résidus

Du point de vue quantités totales de résidus, la hiérarchie entre les classes est respectée (Tableau 7.8). En effet la classe I, produisant les mêmes cultures que les classes II et III et exploitant plus de surfaces (Tableau 3.3) que ces dernières, a une production totale plus élevée en graine et en résidus. Pour les mêmes classes, les quantités de résidus sont plus élevées à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Ceci peut être dû au fait que M'Peresso produit plus de mil et de sorgho que Noyaradougou où le maïs est la céréale dominante (Figures 2.3 et 2.4). En effet, les rapports tige/graine du sorgho et du petit mil sont de loin plus élevés que celui du maïs (Tableau 3.3). La part des fanes de légumineuses par rapport à la quantité totale de résidus est très faible et constitue 3-4% à M'Peresso contre 0,3-1,2% à Noyaradougou.

Tableau 7.8 Quantité de résidus disponible par culture, par classe et par village.

Village	Classe	Coton	Sorgho	Maïs	Mil	Arachide	Dolique	Céréales	Légumineuses	Total résidus
M'Peresso	I	7824	19019	3267	13556	1372	285	35842	1768	45433
	II	3908	9967	1846	10027	647	92	21840	782	26530
	III	1928	8185	1520	5702	656	0	15407	661	17996
Noyaradougou	I	7912	3139	10089	3096	96	93	16324	199	24435
	II	5013	3454	5837	3172	43	7	12463	50	17526
	III	2975	1497	4381	2106	140	0	7984	140	11100

### 7.3.3 Besoins en fourrage et litière

De la comparaison des quantités de fourrages disponibles (tiges de céréales et fanes de légumineuses) aux besoins actuels des animaux présents dans les exploitations, il ressort, malgré la majoration du besoin d'une UBT de 5,5 à 13,75 kg/j (40% des pailles entières consommées), qu'indépendamment du village et de la classe, toutes les exploitations peuvent nourrir leurs animaux pendant 3 mois (Figures 7.5 et 7.6). Cependant, au delà de 3 mois de stabulation, la classe I ne pourra plus nourrir tous ses bovins, à plus forte raison tous ses animaux. Les classes II et III disposent suffisamment de fourrage pour nourrir leurs bovins pendant les 4-5 mois de la période de déficit fourrager. Ainsi, en 120 jours de déficit fourrager, les classes I pourront profiter de l'excédent des classes II et III (Figures 7.5 et 7.6).

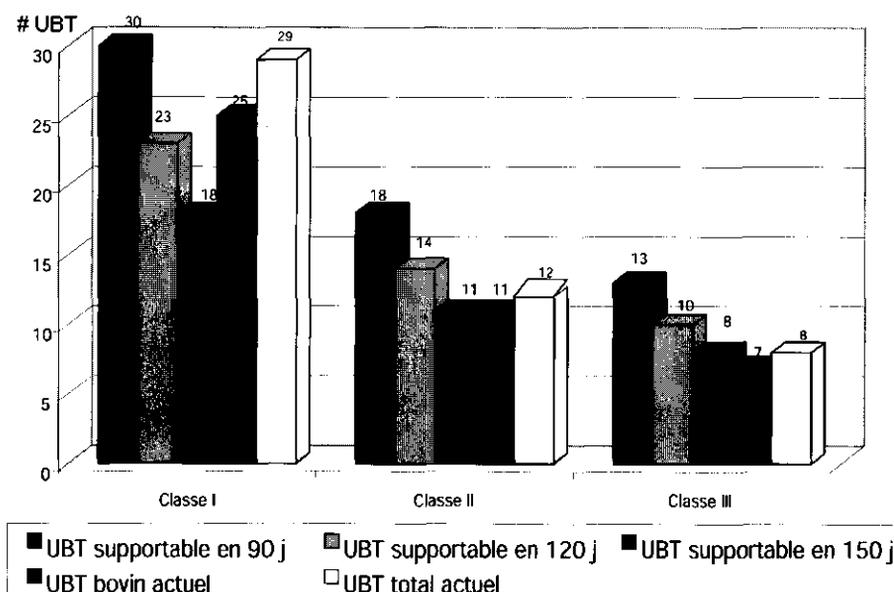


Figure 7.5 Nombre d'UBT supportable par le fourrage (résidus) disponible par rapport à l'effectif actuel de M'Peresso.

Les quantités de résidus de céréales (fourrage grossier) nécessaires pour satisfaire les besoins des bovins en fourrage et litière sont fonctions des scénarios. Pour le même type de conduite des animaux, contrairement à la quantité de litière à transporter, le besoin en stockage du fourrage grossier est plus élevé dans les scénarios à pailles entières que dans ceux à pailles hachées (Tableau 7.9).

Dans le scénario 1, si les paysans de M'Peresso parviennent à transporter les besoins en fourrage du troupeau, il ne sera plus nécessaire pour eux de transporter de la litière dans la mesure où la partie refusée (refus) du fourrage couvre entièrement le besoin en litière (Tableau 7.9). En tenant compte de la part du complément dans une ration à base de grossier (soit 25% de la ration), il ressort de l'outil d'aide à la décision, que les quantités de résidus de céréales suffisent pour

satisfaire les besoins des bovins en fourrage grossier et en litière. En effet, l'excédent de résidus après la satisfaction des besoins en fourrage grossier et litière varie de 6-11 tonnes par classe.

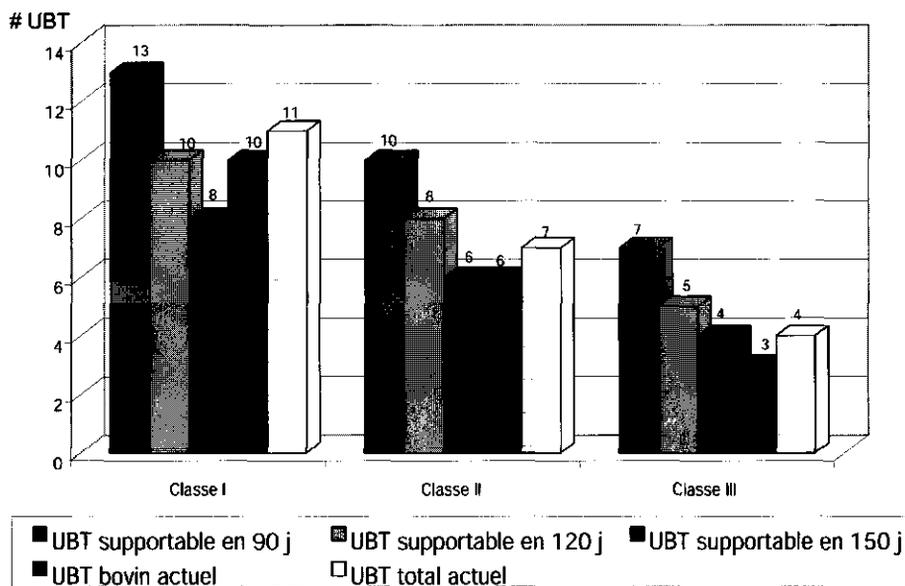


Figure 7.6 Nombre d'UBT supportable par le fourrage (résidus) disponible par rapport à l'effectif actuel de Noyaradougou.

Tableau 7.9 Besoin en fourrage et litière à transporter estimé par l'OAD par scénario, classe et par village (tonne).

Paramètre	Village	Classe	Scénario			
			S1	S2 et S5	S3	S4
Besoin en fourrage	M'Peresso	I	30,9	15,5	17,0	8,5
		II	13,6	6,8	7,5	3,7
		III	8,7	4,3	4,8	2,4
	Noyaradougou	I	9,3	4,6	5,1	2,6
		II	5,6	2,8	3,1	1,5
		III	2,8	1,4	1,5	0,8
Litière à transporter	M'Peresso	I	0	13,7	5,7	14,2
		II	0	6,0	2,5	6,3
		III	0	3,8	1,6	4,0
	Noyaradougou	I	3,1	7,7	5,3	7,9
		II	1,9	4,6	3,2	4,7
		III	0,9	2,3	1,6	2,4

### 7.3.4 Capacité de transport

La principale contrainte est la capacité de l'exploitation à transporter et à stocker les besoins en fourrages. En effet, la distance champ-lieu de stockage, le manque ou la présence d'un seul âne ou d'une charrette ne permettent pas à toutes les classes de stocker la quantité nécessaire et même la qualité souhaitée dans l'intervalle de temps entre la récolte et la vaine pâture. Du scénario 1, il ressort que les paysans de la classe I de Noyaradougou, malgré la taille relativement faible de leurs troupeaux bovins sont contrairement à ceux de M'Peresso incapables de transporter le fourrage nécessaire à l'alimentation de ces animaux (Tableau 7.10). Cela s'explique par la distance champs-lieu de stockage qui est relativement plus grande à Noyaradougou qu'à M'Peresso (Tableau 7.5). Aussi, la classe I de M'Peresso possède en moyenne 2 ânes et peut constituer deux équipes pour le transport, dont une équipe le matin et une équipe le soir. A cela s'ajoute le fait que la charrette est moins remplie à Noyaradougou qu'à M'Peresso (Tableau 7.5). L'achat ou le prêt d'un âne durant la période de transport permettra à la classe I de Noyaradougou de pouvoir transporter le besoin de son troupeau en fourrage. Il en est de même pour le stockage au champ (à 500 m des parcelles). Pour le maintien des animaux, la quantité de fanes de légumineuses est insuffisante et toutes les classes sans exception doivent compléter le fourrage disponible par des apports extérieurs pour satisfaire les besoins immédiats de la saison sèche chaude en cours en cas de stabulation permanente. Les quantités à apporter sont fonction de la classe et du village, autrement dit du nombre d'UBT à nourrir et des quantités de fanes disponibles. Les paysans, malgré leur intérêt pour les tiges de maïs, sont souvent obligés de se contenter de celles du sorgho et du petit mil (Tableaux 7.10). Cela est dû soit à l'insuffisance des pailles de maïs, soit à l'incapacité de transporter le besoin des animaux en paille de maïs. Ainsi, pour nourrir ses animaux dans le scénario 1, la classe I de M'Peresso est obligée de se contenter de ses résidus de sorgho qui seront complétés avec les tiges de petit mil, malgré l'appréciation et la disponibilité d'une certaine quantité de tiges de maïs (Tableau 7.8). En effet, le poids de la charretée de maïs est plus faible que ceux du sorgho et du mil. Donc la satisfaction du besoin en tiges de maïs demande assez de temps; or il a été supposé dans tous les scénarios excepté le 5 que le transport du fourrage doit être effectué dans les 30 premiers jours après les récoltes, autrement dit avant la vaine pâture. Les scénarios ont été élaborés en considérant qu'il n'y a pas de contrainte de stockage des besoins de l'exploitation en résidus. En réalité, la capacité de stockage des exploitations est assez limitée. Selon Bosma *et al.* (1996), les quantités de résidus stockés atteignent rarement 9-10 t dans les exploitations qui stockent le maximum de résidus comme fourrage.

### 7.3.5 Potentiel de production du fumier

Du point de vue des potentialités de production de fumier, les scénarios ont été regroupés selon le mode de conduite des animaux en stabulation permanente ou pâture restreinte. La comparaison des résultats des scénarios en stabulation (S1, S2, S5) à ceux en pâture restreinte (S3 et S4) montre une différence de 0,5-1,8 et de 0,2-0,5 kg de fumier au profit des scénarios où les animaux sont en stabulation, respectivement à M'Peresso et à Noyaradougou. Cette différence entre les villages et entre les classes s'explique essentiellement par la différence de taille du troupeau. En effet, dans l'outil d'aide à la décision, il a été considéré que de chaque UBT en stabulation on récupère 0,5 kg d'excrément de plus qu'en pâture restreinte. Bien sur la quantité de fumier récupérée à travers la stabulation peut dépasser ce coefficient. Cependant, vue la variabilité de la production fécale

journalière par UBT (Tableau 7.6) et vue la nécessité de ne pas trop s'éloigner des réalités du milieu, la valeur 0,5 kg est utilisée pour l'instant. La comparaison des résultats des scénarios S1-S5 à la quantité de fumier produit actuellement par les exploitations (Tableau 7.11) montre que la production peut encore être améliorée. Ainsi, la production de fumier peut être augmentée d'au moins 4 t dans les classes I et d'au moins 1 t dans les classes III.

Tableau 7.10 Combinaisons de résidus de culture permettant la satisfaction du besoin en fourrage par scénario, classe et par village (estimées par l'OAD).

Village	Classe	Scénario				
		S1	S2	S3	S4	S5
M'Peresso	I	SP	MS, MP, PM PS, S	MS, PS, MPS PMS, S	MS, MP, S P	M, S, P
	II	PS, MPS, SMP, MS	MS, MP, S P	MS, MP, S, P	MS, MP, S P	MS, MP, PM PS, S
	III	MS, SM, SP, PS, MPS, PMS	MS, MP, S	MS, MP, S, P	MS, MP, S, P	MS, MP, S, P
Noyaradougou	I	INCAPABLE	SM, SP, PM, PS	SM, SP, PM, PS	M, S, P	SM, SP, PM PS, M
	II	SM, SP, PM, PS	M, S, P	M, S, P	M, S, P	M, S, P
	III	SM, SP, PM, PS, M	M, S, P	SM, SP, M P	M, S, P	M, S, P

S: Sorgho, P: Petit mil, M: Maïs. Dans les combinaisons, la priorité est donnée à la première culture.

Tableau 7.11 Production de fumier estimée par l'OAD (par scénario) et stock actuel classe et par village (tonne)

Village	Classe	Scénario		Stock actuel
		S1, S2, S5	S3 et S4	
M'Peresso	I	24,9	23,1	20,7
	II	11,3	10,5	10,2
	III	7,3	6,8	5,7
Noyaradougou	I	11,6	11,1	6,7
	II	7,1	6,7	2,7
	III	3,7	3,5	2,5

### 7.3.6 Validation de l'outil et réaction des partenaires

De l'analyse des résultats obtenus dans les conditions paysannes, il ressort que le taux de matière sèche dans la bouse fraîche est presque constant et se situe autour de 25%, tandis que celui du fumier varie plus et oscille entre 50 et 80% en fonction de l'humidité existante au moment du transport (Tableau 7.12).

Tableau 7.12 Matière sèche dans la bouse et le fumier (%).

Paramètre	Nombre de cas	Variation	Moyenne	Std Dev
Bouse	6	20 - 28	25	2,56
Fumier	4	50 - 77	63	12,3

L'excrétion fécale nocturne en saison sèche, varie du simple au double. Cela est beaucoup plus lié aux conditions d'alimentation des animaux, à l'abondance et l'appétabilité du fourrage. La comparaison des Tableaux 7.2 et 7.13 permet de conclure que le coefficient utilisé pour l'excrétion fécale en cas de stabulation est très proche des réalités de la zone d'étude, si l'on considère que les quantités excrétées durant la période de parcage nocturne constituent pratiquement la moitié de celles pouvant être produites en 24 heures. Bien sûr, tout en ayant en tête que l'excrétion fécale (matière sèche) est de 0,15 fois supérieure le jour (7-19h) que la nuit (Schlecht *et al.*, 1998).

Tableau 7.13 Excrétion fécale et production de fumier en kg de matière sèche/UBT/nuit en saison sèche.

Paramètres	Nombre de cas	Variation	Moyenne	Std Dev
Excrétion fécale	21	0,5 - 1,3	0,9	0,26
Production fumier	2	2,7 - 3,2	2,9	0,33

Les normes de résidus semblent petites; toutefois, il faut noter que l'aridité du climat en saison sèche est telle qu'avec des doses élevées de litière, on risque d'avoir simplement un mélange d'excrément et de paille mal broyé et mal décomposé. Il faut souligner que pour le même nombre d'UBT, le degré de broyage en saison sèche dépend non seulement du type de culture, mais aussi de la taille des résidus (diamètre, longueur). Les données du Tableau 7.13 sont très proches de celles trouvées par Berger (1996), Fernández-Rivera *et al.* (1993) et Bosma *et al.* (1996). Ainsi, une production de 2,7 kg/UBT/nuit de fumier donne environ 980 kg de MS par an. Aussi, au Sénégal, 4 UBT en stabulation pendant 5 mois ont produit 2,6 t de fumier soit 4,3 kg /UBT/jour ou environ 2 kg/UBT/nuit (Hanon, 1972, cité par Ganry & Badiane, 1998).

L'outil a été conçu sur la base des réalités et des pratiques paysannes, perçues à travers les données collectées entre 1994 et 1997 et validées lors des différentes restitutions. Ainsi, en s'inspirant de la pratique paysanne, la norme de litière était incorporée une fois par semaine ou par quinzaine. Les paysans ont directement participé à l'élaboration de l'outil en proposant des changements par rapport à certains paramètres comme la durée de la période de déficit fourrager. Bien que la saison sèche dure 4 mois à Noyaradougou, les paysans de ce village ont demandé de ne considérer dans l'outil que 2 mois de déficit car disent-ils, notre pâturage est fourni durant 60 à 75 jours de la saison sèche. Par rapport au fumier produit en saison sèche, les paysans ont proposé que le fumier soit retourné et laissé sur place pendant 10 jours sans renouvellement de litière avant son enlèvement du parc. Ainsi, ce retournement permet d'améliorer le degré de broyage et de décomposition des résidus. Il faut noter que l'incorporation de litière en saison sèche est une nouveauté dans le milieu. Ce qui a fait dire à certains paysans qu'il s'agit là d'une "technique pour les démunis" qui peuvent ainsi produire assez de fumure à partir d'un petit nombre de têtes. Cependant, cette activité n'est pas à la portée de tout le monde, car elle est exigeante en travail

(actifs, âne, charrette). Toutefois 2 des 8 exploitations ayant participé à la visite inter-paysanne sont prêtes à mener l'action sans l'appui de la recherche durant la campagne 2001/2002. Une partie des résultats issus de l'outil d'aide à la décision a été simplifiée et présentée aux paysans sous forme d'un graphique à 4 quadrants ou les relations entre le nombre d'UBT, le besoin en fourrage, en litière ( Tableau 7.9) et la production de fumier de ces UBT (Tableau 7.11) sont données (Figure 7.7). Les paysans pensent qu'une petite formation est nécessaire pour la maîtrise du quadrant 4. Les responsables CMDT ont bien apprécié l'outil, mais ont demandé à ce qu'il soit simplifié pour faciliter son utilisation. L'organisme de développement apprécie bien le fait que l'accent soit mis sur la catégorie sociale à encadrer en matière de gestion des résidus et de la fumure. Ainsi cette catégorie, une fois bien formée pourra être d'un appui précieux dans le cadre de la diffusion des messages en matière de gestion de la fertilité des sols.

### **7.3.7 Atouts et faiblesses de l'outil**

#### **7.3.7.1 Atouts**

L'outil ainsi élaboré est simple et permet d'évaluer rapidement le disponible en résidus, les besoins de l'exploitation en fourrage (grossier et complément), litière et intrant pour les compostières. Il met l'accent sur la capacité de transport des exploitations, voire des classes d'exploitation en tenant compte de leur main d'œuvre, du matériel de transport et de l'âne. Il prend en compte les particularités des localités et des exploitations où il est exécuté. Il s'agit principalement de la pluviométrie, de la durée de la période du déficit fourrager, de la distance lieu de production-lieu d'utilisation des résidus et de la fumure organique, des pratiques des paysans de la localité, comme le niveau de remplissage (poids) de la charrette pour la localité et des productions des différentes cultures, du nombre d'UBT, de compostières pour l'exploitation. L'outil est assez flexible et des alternatives sont proposées chaque fois que des contraintes sont rencontrées. Les coefficients utilisés peuvent être facilement modifiés et réadaptés au besoin.

#### **7.3.7.2 Faiblesses**

L'insuffisance de données sur les dimensions des compostières et la quantité de paille qu'il faut pour les remplir, nous a amené à ne considérer que les compostières ayant entre 8 et 11 m<sup>3</sup> de volume. Ainsi, en terme de dimension des compostières, l'outil n'est pas très flexible. Les aspects liés à la combinaison des fumures organique et minérale ne sont pas abordés; de même que ceux liés à la lutte anti-érosive, à la prise en compte des caractéristiques des types de sol et à la capacité de stockage des résidus. Bien sûr cela est dû au souci d'avoir un outil simple, centré sur la gestion des résidus et des fumures organiques et manipulable par les utilisateurs des résultats de recherche (organisme de développement et agro-pasteurs).

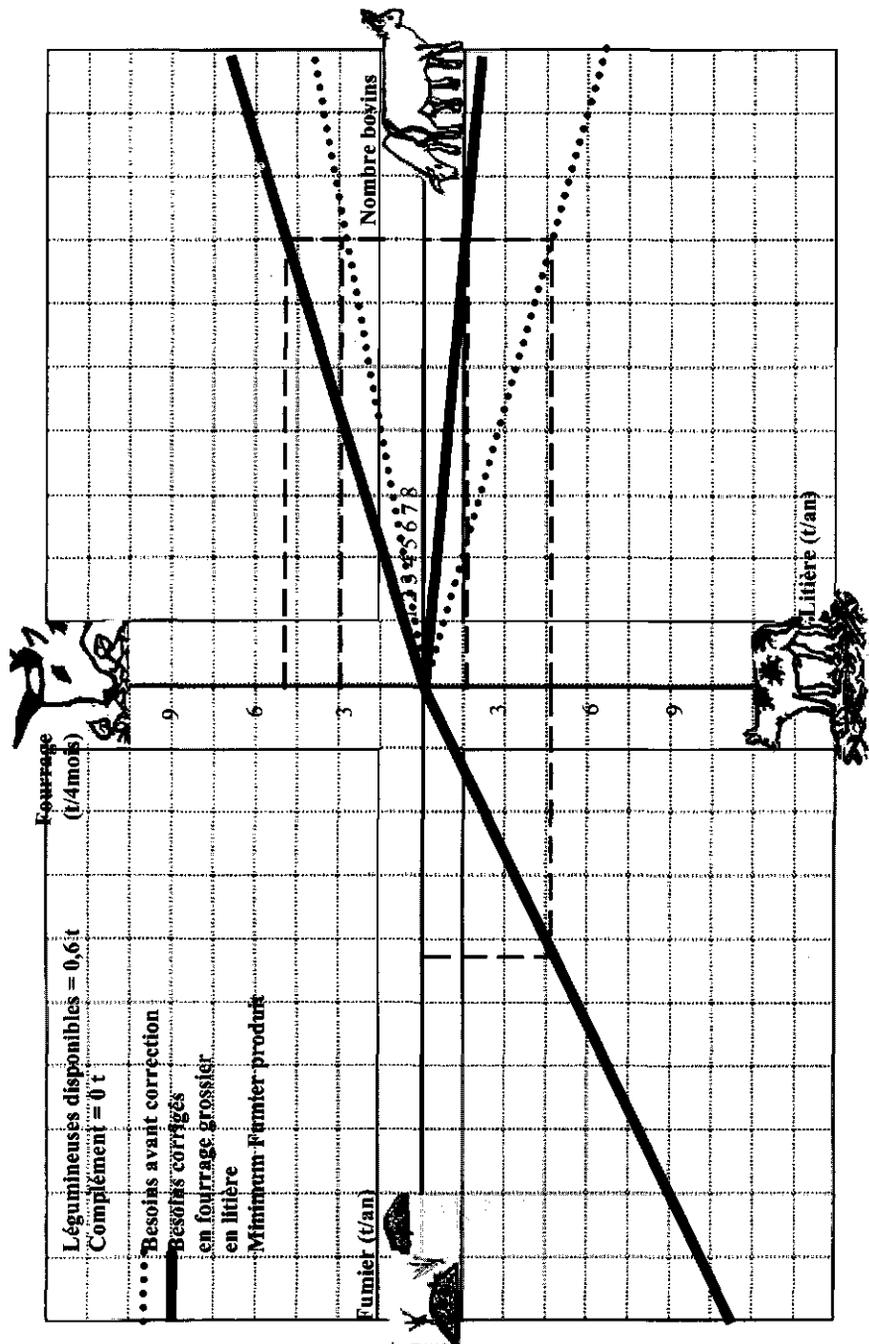


Figure 7.7 Estimation des besoins en fourrage, en litière et la production de fumier par l'OAD pour la classe III de M<sup>o</sup>Peresso(Système ouvert, paille entière, pâture restreinte: S3).

## 7.4 Conclusions

Les décisions en matière de gestion des résidus sont dans 65% des exploitations prises par le chef des travaux. Toutes les exploitations peuvent nourrir leurs animaux pendant 3 mois, période de déficit fourrager au-delà de laquelle, les classes I déficitaires seront obligées de profiter de l'excédent des classes II et III. Les fanes de légumineuses constituent 3-4 et 0,3-1,2% des résidus disponibles par classe d'exploitation, respectivement à M'Peresso et à Noyaradougou. Pour le maintien des animaux (en stabulation permanente), la quantité de fanes de légumineuses est insuffisante et toutes les classes sans exception doivent compléter le fourrage disponible par des apports extérieurs pour satisfaire les besoins immédiats de la saison sèche chaude en cours en cas de stabulation permanente.

Les activités de transport qui sont fonction de la distance champs-lieu de stockage, du nombre d'équipes (âne, actifs, charrettes) et du niveau de remplissage de la charrette, constituent la principale contrainte en matière de gestion des résidus. Dans l'outil, la capacité de stockage du fourrage des exploitations n'a pas été considérée. Cependant, la détérioration du fourrage par manque d'infrastructure adéquate de conservation du fourrage peut démotiver les paysans.

De l'outil d'aide à la décision, il ressort la production de fumier peut être augmentée d'au moins 4 t dans les classes I et de 1 t dans les classes II et III. L'outil conçu est simple et tient compte des besoins et des capacités de différentes exploitations en matière de gestion des résidus.

## 8 Discussions générales

*Construire sur la base des traditions plutôt que de remplacer l'existant est la clef du succès en matière de maintien du potentiel productif des terres (Scoones et al., 1996).*

Dans ce monde en voie de globalisation où la terre devient de plus en plus un gros village, l'Afrique de l'Ouest semble être un quartier dans lequel, la sous-alimentation, la pauvreté font partie des problèmes quotidiens auxquels ses populations sont confrontées. Les productions sont assez influencées par la forte variabilité de la pluviométrie avec son corollaire de sécheresse, et la pauvreté naturelle des sols. Des nations qui se suffisaient, il y a trente ans, dépendent aujourd'hui de l'aide alimentaire (Mokwunye et al., 1996). Cette dépendance est d'autant plus marquée par le fait que, les efforts d'amélioration de la situation alimentaire sont inhibés par le fort taux de croissance démographique. En effet, la population de l'Afrique sub-saharienne avec un taux de croissance de 2,8% a plus que doublé entre 1960 et 1990, tandis que la consommation de céréale par tête a baissé de 12 kg entre 1980 et 1990 (Makken, 1993). Face à la baisse des rendements et à l'augmentation du nombre de bouche à nourrir, l'extension des superficies devient le principal moyen pour augmenter la production. La conséquence est une réduction de la superficie et de la durée des jachères, qui permettaient la restauration et le maintien de la fertilité des sols. Alors la nécessité d'intensifier s'impose. Cependant, le faible profit engendré par le rapport coût-bénéfice des investissements ne draine pas les paysans dans la voie de l'intensification. Le devenir d'un écosystème déjà fragile, exploité de façon extensive devient alors inquiétant. Ainsi, les questions liées à la baisse de la fertilité et à la capacité des ressources disponibles de supporter une population humaine sans cesse croissante, tirant ses moyens d'existences principalement de l'agriculture et de l'élevage deviennent le point focal des débats en matière de durabilité tant au niveau sous régional, national que local. Il faut noter cependant que les politiques, les chercheurs et les producteurs tous à leur niveau tentent de trouver des solutions à travers différentes stratégies. Au niveau de la recherche au Mali-Sud et plus précisément au niveau de l'ESPGRN, notre recherche de solution a été faite à travers une approche participative de recherche action, impliquant les chercheurs, les vulgarisateurs et les paysans. L'objectif général était d'élaborer une méthode de recherche-action, qui fait participer les paysans à toutes les phases de la recherche de solutions (du diagnostic, aux actions) permettant d'améliorer la gestion de la fertilité des sols et d'assurer la durabilité des systèmes de production. Ensuite les résultats de l'approche ont été utilisés dans la conception d'un outil d'aide à la décision en matière de gestion des résidus et de la fumure (Section 1.2).

### 8.1 Approche utilisée

L'approche utilisée s'articule autour des 4 phases de la recherche système à savoir: 1) le diagnostic/analyse, 2) la planification des actions à mener, 3) l'exécution/mise en place des actions et 4) le suivi - évaluation. Cependant, pour une meilleure implication des paysans dans l'exécution de ces différentes phases, des outils participatifs et surtout visuels comme les cartes de terroir et d'exploitation (flux de base, flux planifiés et flux réalisés) accompagnées de guides d'entretien et de jeu de cartons ont été utilisés. La première phase, permet de cerner les contraintes au niveau du

terroir, mais aussi la diversité existante entre les exploitations et même au sein d'une exploitation donnée. Les critères identifiés par les paysans comme étant à la base de la diversité sont ensuite utilisés pour regrouper les exploitations en classes de gestion de la fertilité. Ces critères sont d'ordre:

- technique/gestion (production et utilisation de fumure organique, lutte anti-érosive, respect des doses d'engrais, travail du sol),
- structurel (nombre de bovins, nombre d'actifs, possession de charrette, type de terre dominant),
- socio-économique et culturel (moyens financiers, connaissance/technicité, courage/motivation).

De là, on se rend compte de la complexité du problème et de la diversité de cas qu'on peut rencontrer entre les exploitations en matière de gestion de la fertilité des sols. Dans les villages d'étude, les paysans se sont regroupés en 3 principales classes de gestion de la fertilité des sols: bons gestionnaires (classe I), les gestionnaires moyens (classe II) et les faibles gestionnaires (classe III). Ces classes ont souvent été subdivisées en sous-classes (Defoer, 2000). Dembelé *et al.* (2000) ont aussi regroupé les exploitations en 3 classes de gestion de la fertilité dans la région de Ségou (Mali), tandis qu'elles furent rangées par Elias (2000) en riches, moyenne, pauvre et très pauvre sur les terres de haute altitude, d'altitude moyenne et de basse altitude de l'Ethiopie. Ainsi, face à une telle diversité de conditions, les recommandations standards ont peu de chance d'être appliquées comme telles. Les meilleures solutions sont celles qui donnent la possibilité aux paysans de choisir et d'intégrer en fonction de leurs conditions, des options potentielles parmi tant d'autres (Ashby & Sperling, 1994, cités par Defoer, 2000). La prise en compte des spécificités locales explique en partie, le caractère local du regroupement des exploitations en classes de gestion de la fertilité des sols par les paysans. Ainsi, un paysan de la classe I dans un environnement où les ressources sont abondantes, ne sera probablement que de la Classe III voir IV dans un milieu où la pression sur les terres est forte. En effet, les efforts fournis par les paysans en matière de gestion de la fertilité sont fonction des réalités du milieu. Lors d'un diagnostic sur la fertilité des types de terre, un paysan d'une zone vierge s'exprimait ainsi: "*pourquoi, dois-je fournir tant d'efforts pour produire la fumure, sachant que j'ai des jachères de plus de 20 ans qui dorment encore et qu'il suffit juste de laisser les terres fatiguées se reposer pour avoir les mêmes productions*". Un tel comportement dans un tel environnement se justifie agronomiquement et économiquement. Les classes paysannes de gestion de la fertilité sont beaucoup plus basés sur le quantité totale, le volume, que sur les rapports quantité/ha, quantité/UBT et/ou quantité/actif (Annexe 4.3). Ces classes, comme les types vulgarisés évoluent dans le temps. Ainsi, 5 ans après la classification à Noyaradougou, 25% des exploitations de la classe I ont regressé et sont passées en classe II ou III, tandis que 77% de la classe III ont progressé et sont venues dans les classes I et II (Defoer, 2000).

L'approche, à cause de ses outils visuels, sensibilise les paysans et les incite à la mise en place d'actions d'amélioration de la fertilité. Ceci explique en grande partie, le succès réalisé par la classe III durant les années du suivi. Selon Defoer (2000), la carte d'exploitation avec les flux est l'outil principal d'apprentissage au niveau individuel. Les images permettent aux paysans d'analyser les points forts et faibles de leur gestion. La participation des vulgarisateurs aux différentes phases d'exécution de l'approche, permet à ces derniers de mieux l'apprécier et de faciliter son transfert. Ainsi, l'approche est considérée par la CMDT comme un puissant outil d'animation. A cet effet, un groupe de réflexion composé de chercheurs et vulgarisateurs a été mis en place pour la simplification de l'approche en vue de sa future vulgarisation. L'exécution

cyclique des phases de diagnostic, planification, mise en place des actions et suivi-évaluation permet aux chercheurs de suivre l'évolution dans le temps des actions d'amélioration de la fertilité des sols et de constituer une base de données. L'analyse de ces données permet d'améliorer les perceptions et connaissances des chercheurs et paysans sur la situation agricole (*Chapitres 3, 4 et 5*; Defoer, 2000).

Par rapport au test de fumure organique, il faut souligner que l'identification d'un témoin ayant un passé cultural proche de celui du traitement avec FO et soumis aux mêmes conditions topographiques, permet de réduire la différence de fertilité de départ entre les deux parcelles autrement de réduire l'effet de la stratégie paysanne qui consiste à fertiliser les portions les plus pauvres. A cause de cette pratique paysanne, il n'est pas rare de trouver une différence non significative entre le témoin et la parcelle fertilisée. Selon van der Pol & Giraudy (1993), c'est seulement avec plus de 5 t/ha de fumure que les paysans parviennent à retrouver le rendement de départ dans les zones très saturées ayant des problèmes de dégradation assez aigus.

## 8.2 Stratégies paysannes de gestion de la fumure organique

Les paysans du Mali-Sud, dans le choix des parcelles à fertiliser tiennent compte de la rentabilité de la culture (coton) et dans certains cas de sa sensibilité à la fertilisation (maïs). Ainsi, ces cultures sont fertilisées en premier lieu. Cependant, pour une culture donnée, les potentialités des terres sont déterminants dans le choix des portions à fertiliser. Les terres pauvres (portions pauvres), voire en voie de dégradation, ne présentant pas des contraintes de valorisation de la fumure organique sont fertilisées en priorité. Les données d'analyse de sol confirment cette tendance, même si les différences ne sont pas significatives. Ainsi, pour remonter le niveau de fertilité d'une partie de son champ et de profiter des arrières effets de la fumure organique sur une période de 3-6 ans, les paysans utilisent de fortes doses dépassant en moyenne 20 t/ha sur de petites portions (9-36% des superficies en coton). Une telle pratique de fertilisation est fréquente dans la sous-région. Ainsi les fortes doses de 17,5, 21 et 23 t/ha sont respectivement constatées au Nigeria par Harris (1998), au Sénégal par Badiane & Szempruch (2000), et au Niger par Achard *et al.* (2000). Selon ces derniers, les agriculteurs estiment qu'avec les doses élevées, l'effet de la fumure se prolonge pendant 4-5 ans. Pour Harris (1998), la fumure organique "Taki" ne se décompose pas complètement la première année après son application et les fortes doses appliquées en une année fourniront des éléments nutritifs sur plusieurs années. Cependant, la surface totale fumée varie d'un paysan à l'autre et représenterait 2-40% de la surface cultivée (Gandah, 1999). Dugué (1999) dira que les paysans préfèrent concentrer la fumure au lieu de la diluer. Alors on se pose la question de savoir, pourquoi, les paysans de différents horizons font-ils une telle pratique?

Selon Brouwer & Bouma (1997), Gandah (1999), Achard *et al.* (2000), Badiane & Szempruch (2000), il serait mieux de "diluer" la dose sur de grandes surfaces plus fréquemment plutôt que de la "concentrer" sur de petites surfaces moins fréquemment. En fait, de fortes pertes par lessivage ont eu lieu à partir de fortes doses de fumure organique utilisées annuellement (Sédogo *et al.*, 2000). Au Niger, aux profondeurs 1,5-2 m, Brouwer & Bouma (1997) ont constaté une augmentation de 91, 19 et 1070 kg/ha, respectivement pour les réserves en azote, en phosphore et en carbone organique après 1 an d'application de 10 t/ha de fumier bovin. Cependant, il ressort des travaux de ces derniers que les rendements sont plus stables (moins de variations) quand les doses sont élevées. Au Niger, Evéquoz *et al.* (1998), ont aussi constaté la "disparition" des importantes

reserves de nitrates au delà de 4 m de profondeur entre le début et la fin de la saison des pluies. Il faut cependant souligner qu'il s'agit de sol très sableux avec 89% de sable. Donc un tel résultat doit être considéré dans une situation où les conditions édaphiques sont très proches. Sur les terres argileuses, le fumier se décompose plus lentement et son action se fait encore sentir 6-7 ans après l'épandage (Smirnov *et al.*, 1977). Sur les limons sableux, la décomposition est plus rapide et son arrière effet ne dure que 3 ou 4 ans. Toutefois, plus grande est la dose de fumier apportée, plus son action est forte, plus son post effet est durable (Smirnov *et al.*, 1977). Au Mali-Sud, les essais fumier de l'ESPGRN ont montré qu'avec 5 t/ha de fumier et même avec 10 t/ha dans certains cas, qu'il n'y avait pas d'effet significatif sur les rendements (DRSPR, 1989; 1990; 1991). En effet, les parcelles pauvres étant fertilisées en premier lieu, il faudra plus de fumure pour que ces parcelles produisent autant qu'au départ. C'est dans le souci d'optimiser les faibles quantités disponibles de fumier que les paysans l'appliquent sur les parcelles infertiles du champ (Haigis & Heidhues, 1998). Ces derniers ont trouvé que, plus le matériel pour le paillage est rare, plus la dose appliquée est forte. Les faibles doses de fumure organique permettent d'avoir des rendements stables, or les doses fortes augmentent les rendements, le carbone organique du sol, la CEC, maintiennent le pH et s'opposent à la lixiviation des cations (Sédogo, 1993). Ainsi, le paysan avec sa forte dose gère ces paramètres sans pouvoir les expliquer. Du point de vue viabilité financière, Lamers & Bruntrup (1998), trouvent qu'il est plus rationnel agronomiquement et économiquement de concentrer le mulch de résidus sur de petites portions peu fertiles que de les diluer sur les grandes surfaces à cause de la haute productivité de la technique paysanne par unité de main d'oeuvre. En effet, cette technique permet d'augmenter la proportion de parcelle fertile et par la même occasion d'augmenter le profit de l'exploitation. Pour le paysan, il est clair qu'il peut encore avoir des rendements élevés sur une telle portion fertilisée, au moins pendant 3 ans. Alors, il revient à la recherche de mieux cerner le fondement scientifique de telles pratiques paysannes.

### 8.3 Saturation de l'environnement et gestion de la fertilité du sol

Les villages de M'Peresso et Noyaradougou, étant situés dans des environnements avec différents niveaux de saturation mènent différemment les activités de gestion de la fertilité. A M'Peresso où l'environnement est saturé et où les terres sont cultivées en permanence, les exploitations utilisent 2 fois plus de fumure organique et fertilisent environ 4 fois plus de surfaces que ceux de Noyaradougou. Bosma *et al.* (1996) ont également fait un tel constat entre les zones de Koutiala (M'Peresso) et Sikasso (Noyaradougou). Ceci est d'une part lié à la densité animale (UBT/exploitation) plus élevée dans le premier village, mais aussi aux différentes stratégies développées face à la disponibilité des ressources. Face à la nécessité de maintenir la fertilité des sols, les exploitations de M'Peresso recyclent assez de déchets sous forme d'ordure. Les ordures constituent environ 50% des fumures organiques produites dans ce village. Les exploitations de M'Peresso produisent au moins 2 fois plus d'ordures que celles de Noyaradougou. Dembelé *et al.* (2000) ont trouvé également que les paysans du village de Dilaba, qui ont en moyenne 0,5 ha de jachère produisent 3 fois plus de fumure organique que ceux du village de Siguiné qui disposent de 18,5 ha en moyenne de jachère. Les exploitations de Dilaba produisent au moins 6 fois plus d'ordures que celles de Siguiné. A Dilaba, certains paysans payent 300-500 F CFA aux enfants pour qu'ils collectent la bouse déposée sur les pâturages communs. Selon Williams (1999), chaque fois que les terres récemment laissées en jachère augmentent d'1%, la probabilité d'appliquer le fumier diminue de 0,21%. Ainsi la disponibilité de terre influence négativement l'application de

fumure organique et même des engrais minéraux (Manyong & Makinde, 2000). Pour réduire les contraintes de transport des résidus et du fumier, plus de 50% des parcs bovins sont aux hameaux à M'Peresso, tandis qu'ils sont à 100% au village à Noyaradougou. A M'Peresso, certains paysans vont à la recherche de transhumants et nouent avec eux des contrats de type "fumure contre résidus, thé, arachide et logeur". Ce type de contrat est beaucoup recherché par les exploitations ne possédant pas assez d'animaux. Ce n'est pas le cas à Noyaradougou, où les transhumants peuvent séjourner sur une partie de terroir sans même faire l'objet d'une attention particulière. Au Niger, Neef (1998) qualifie le contrat de parcage comme de la fumure pour les riches, car les bergers peuvent demander 3-4 bottes de mil (30-40 kg)/semaine ou 2300-3000 FCFA. A M'Peresso, face à la nécessité d'augmenter les quantités de fumure organique, des jeunes commencent même à produire et à vendre un type de compost à base de terre et d'herbes fraîches qu'ils appellent ordure. Une telle fumure, même si elle est de qualité médiocre augmente les apports d'éléments nutritifs et améliore les caractéristiques physiques et hydriques des parties qui les reçoivent. En effet, ces fumures riches en sables sont utilisées sur les parties basses et les dépressions à tendance hydromorphe de la parcelle. Boserup (1990), cité par Benoit-Cattin (1991) dira que "lorsque la pression démographique augmente, les sociétés agraires inventent des solutions techniques adaptées". Cependant, les quantités fumures minérales épandues à l'hectare sont plus élevées à Noyaradougou qu'à M'Peresso; comme ci, ce dernier faisait une substitution partielle des fumures minérales par des doses relativement élevées de fumure organique (FO), tandis que le premier compensait son insuffisance de FO par des doses plus fortes d'engrais minéraux..

Les paysans de M'Peresso face à la forte pression sur les terres mettent plus d'accent sur le stockage des résidus comme fourrage et litière (84% du stock). A Noyaradougou, où le problème d'alimentation des animaux est moins crucial, les exploitations mettent plus d'accent sur le compostage des résidus, suivi de leur utilisation comme litière soit 85% du stock. Ainsi, les résidus sont utilisés comme fourrage par 90% des paysans enquêtés en 2000 à M'Peresso contre 25% à Noyaradougou. Dugué *et al.* (1998), en comparant les zones d'abondance en biomasse du Nord Cameroun à celles du centre du Sénégal où elle est rare, ont trouvé que les pratiques de stockage des résidus comme fourrage sont généralisées au Sénégal et qu'elles se limitent à 10% de la biomasse produite au Cameroun. La saturation de l'environnement s'accompagne d'un certain niveau d'intensification et se traduit souvent par la rarefaction sinon la disparition des associations céréale/céréale au profit des cultures pures ou des rares associations céréale/légumineuse. A M'Peresso, où le cheptel est important et où de sérieux problèmes d'alimentation des animaux existent tant en hivernage qu'en saison sèche, les légumineuses entrent dans 78% des associations de cultures, contre 38% à Noyaradougou. Ainsi, dans les zones à forte pression, les paysans ont tendance à mettre plus d'accent sur les cultures fourragères pour résoudre les problèmes d'alimentation. Déjà en 1976, Dilaba qui se trouve dans un milieu saturé, avait 10% de ses terres sous légumineuses, contre 1% pour Siguiné qui a assez de jachères (IER, 1977 cité par Dembelé *et al.*, 2000).

A Noyaradougou, au moins 16% des résidus des principales cultures sont brûlés contre un maximum de 3% à M'Peresso. Le terroir de Noyaradougou (jachère plus résidus) est souvent dévasté par les feux de brousse, tandis que les feux sont circonscrits à M'Peresso. Un constat identique a été fait au nord du Cameroun par Dugué (1999) où les feux de brousse étaient plus fréquents dans le terroir de Ourolabo (faible pression) et interdits à Héri (forte pression). En cas de feu à Herri, le village se mobilisait directement pour l'éteindre, tandis qu'à Ourolabo, les paysans ne s'inquiétaient que lorsque leur récolte ou grenier étaient menacés.

Ainsi, avec l'augmentation de la pression sur les terres, les paysans fournissent plus d'efforts pour le maintien de la fertilité du sol et la gestion du troupeau. Selon Scoones & Toulmin (1998), plus la terre devient rare, plus les paysans prennent conscience de la nécessité de mieux gérer ce qu'ils ont. Ainsi, les animaux sont de plus en plus stabuler dans un tel contexte de rareté des pâturages et d'augmentation de la valeur du fumier. Selon De Grandi (1996), les réalités paysannes indiquent qu'un certain niveau de pression sur les terres est nécessaire pour que les paysans soient prêts à investir un supplément de travail pour l'intensification agricole. Selon Hilhorst *et al.* (2000b), la rareté des terres conduit à l'adoption de plus de techniques intensives et à l'utilisation d'une gamme de fumures organiques. Selon ces derniers, il est même possible que l'augmentation de la densité puisse générer plus d'opportunités pour une diversification économique. Une telle idée est également soutenue par Tiffen & Mortimore (1992), pour lesquels, l'augmentation de la population dans le district de Machakos au Kenya a été accompagnée d'un développement des marchés et de la diversification des sources de revenus.

#### **8.4 Classes d'exploitations et stratégies de gestion des résidus et des fumures**

Entre 1994 et 1997, les superficies totales cultivées ont d'une manière générale augmenté dans toutes les classes. Cette croissance est cependant plus marquée dans la classe I, qui est mieux équipée en boeufs de labour, mieux fournie en main d'oeuvre et dispose d'assez de terres en jachère. Ainsi, indépendamment du village, la classe I, grâce à sa forte capacité d'action exploite de façon croissante plus d'espace que les autres. L'analyse des données du suivi-évaluation-permanent de l'ESPGRN de 1994-1997 donne la même tendance et montre que les superficies ont augmenté d'environ 2 ha dans les exploitations mieux équipées de types A et B contre 0,1-0,7 ha dans les types C et D (section 2.4).

Les quantités de fumure organique utilisées n'ont pas subi la même tendance d'évolution que les superficies. En effet, les superficies ont augmenté au fil des ans, tandis que les quantités de fumure utilisée ont souvent évolué en dent de scie. Il est plus facile pour une exploitation de maîtriser l'évolution de ses superficies que les multiples facteurs influençant la production de fumure organique. L'exemple de la peri-pneumonie bovine de Noyaradougou en 1995 en est une illustration. Les quantités de fumure organique produites sont 4, 3 et 1,8 fois plus élevées, respectivement dans les classes I, II et III de M'Peresso que dans les classes correspondantes à Noyaradougou. Un tel effort fourni par les exploitations de M'Peresso est surtout due à la nécessité de se maintenir sur les mêmes terres dans une situation où l'expansion des terres devient de plus en plus difficile, voire impossible. Un tel constat est fait par van der Pol & Giraudy (1993), selon lesquels, l'envol de la production de fumure organique dans la zone de Koutiala (M'Peresso) semble avoir coïncidé avec la fin de l'extension des terres et le début de la dégradation. La hiérarchie entre les classes en terme de quantité totale de fumure produite est généralement respectée. La classe I, grâce à la taille de son cheptel, de sa main d'oeuvre et de son équipement produit plus de fumure que les classes II et III (Dembélé *et al.*, 2000; Kanté *et al.*, 1998a). Selon Elias (2000), en Ethiopie, la hiérarchie entre les riches et les pauvres est aussi respectée en terme de quantité totale (kg) de fumure produite. En effet, les plus riches produisent 4-5 fois plus de fumure organique que les plus pauvres. L'analyse du SEP montre la même tendance entre les types A, B, C et D. A Noyaradougou, on constate que contrairement au compost, le taux de fumier dans la fumure organique produite, croit de la classe III vers la classe I, autrement dit, avec la taille du troupeau. Ainsi, les classes II et III compensent leur insuffisance de bovin en produisant plus de

compost. En effet, Williams (1999) a trouvé que la taille du troupeau influence positivement l'application de la fumure. A M'Peresso, où la taille du troupeau est importante, une telle tendance n'est pas observée entre les classes. De l'analyse des doses de fumier, van der Pol & Giraudy (1993) ont conclu que les doses augmentent avec le nombre de bovins pour atteindre un plafond à partir d'environ 5 bovins par exploitation. Au delà de ce nombre, le bovin supplémentaire ne provoque pas une augmentation des doses à l'hectare. Ainsi, le nombre d'UBT bovins, relativement plus faible dans les classes I, II et III de Noyaradougou que dans les classes correspondantes de M'Peresso pourrait en partie expliquer la situation relative au taux de fumier dans la fumure organique. Selon, Elias (2000), les paysans pauvres, qui n'ont pas assez de fumier, utilisent tout une gamme de sources d'éléments nutritifs allant des composts jusqu'aux terres des termitières. Dans le souci de fertiliser leurs terres, certains paysans de la classe III du village de Signinè, mettent leurs animaux ensemble en saison sèche et les font parquer dans le champs d'un membre du groupe. Le parage a lieu l'année suivante dans le champ d'un autre membre du groupe et ainsi de suite (Dembélé *et al.*, 2000).

Le coton et le maïs sont les plus fertilisés et reçoivent 97 à 99% des fumures organiques appliquées. Si, la hiérarchie entre les différentes classes (catégories) est respectée en terme de quantité totale (volume) de fumure utilisée, il n'en est souvent pas de même pour les doses à l'hectare (sous-section 4.3.5, Elias, 2000; Kanté *et al.*, 1998a; Dembéle *et al.*, 2000). L'analyse des données SEP de 1994 à 1999 montre qu'il est difficile de dégager des tendances entre les différents types en terme de dose de fumure organique à l'hectare. De 1995 à 1997, la classe III a atteint, voire dépassé les doses de fumure organique utilisées sur coton par les autres classes. Cette performance de la classe III, tant du point de vue quantité totale que dose est due au souci des exploitations de cette classe d'égaliser les autres voire les dépasser. Aussi, il est plus facile de gérer les petites surfaces (classe III) en terme de dose de fumure que les grandes superficies des classes II et I. Contrairement aux classes II et III, la classe I dans sa stratégie de gestion de la fumure organique ne fertilise généralement pas le maïs. En effet, il s'agit là d'une question d'objectif. La classe III cherche à résoudre les problèmes de soudure et d'autosuffisance alimentaire à travers le maïs, tandis que la classe I qui est autosuffisante, produit surtout pour la vente. Autrement dit, la classe I cherche le maximum de profit en mettant l'accent sur la principale culture de rente, tandis que la classe III, en plus de profit qu'elle peut tirer du coton, gère aussi le risque de déficit alimentaire. Cette idée est davantage renforcée par le fait que, dans les deux villages, les quantités d'urée et de complexe céréale utilisées sur maïs augmentent de la Classe I vers la Classe III. Dans les deux villages, la classe II utilise plus d'urée et de complexe coton à l'hectare que les deux autres. Une telle tendance pourrait être due au souci de combler la relative faible dose de fumure appliquée sur coton par cette classe par rapport aux deux autres. Indépendamment du village et malgré les fluctuations inter-annuelles, on constate que les doses de FO utilisées en 1997 sont supérieures à celles de 1994/1995. Les doses de fumure minérale fluctuent d'année en année et il est difficile de dégager une tendance.

A M'Peresso, la portion du stock de résidus utilisée comme fourrage croit de la classe III vers la classe I, autrement dit avec la taille du troupeau, tandis que la part de la litière diminue dans le même sens. Ainsi, l'essentiel des résidus stockés par la classe I est utilisé pour l'alimentation du bétail, tandis que la classe III qui a 3,6 fois moins d'UBT utilise une bonne partie de son stock comme litière. A Noyaradougou, 64% du stock de résidus est utilisé comme fourrage et litière dans la classe I, tandis que les classes II et III possédant moins d'animaux utilisent environ 60% de leur stock pour la production de compost. Ainsi, comme observé par Dugué *et al.* (1998), la gestion des résidus varie beaucoup et est fonction des réalités vécues par les différentes classes

d'exploitation: taille du troupeau, situation fourragère de la localité, nécessité de maintenir la fertilité des terres. La hiérarchie est de nouveau respectée entre les classes en terme de quantités totales de résidus (kg). De ces quantités, la portion stockée comme fourrage, litière et compost représente en moyenne 27, 14 et 17% pour les classes I, II et III à M'Peresso, contre 34, 22 et 11% pour les mêmes classes à Noyaradougou. Bref, en terme de production et de stockage des résidus, la hiérarchie entre les classes semble respectée. En effet, les classes I ont besoin de plus de fourrage pour alimenter leurs animaux et/ou de plus de litière pour éviter la boue dans les parcs en hivernage et par conséquent produisent plus de fumier. La classe I dispose également plus d'actifs et est mieux équipée en matériel de transport que les autres. La part du fourrage dans le stock de résidus est dans la plupart des cas, fonction de la taille du troupeau. La classe III qui possède moins d'animaux que les deux autres, utilise l'essentiel de son stock comme litière et compost. A M'Peresso, aussi bien qu'à Noyaradougou, les taux de résidus stockés au départ (1994/95), sont supérieurs à ceux de 1997. De là, on comprend aisément que des efforts doivent être faits afin d'augmenter le taux de recyclage des résidus comme fourrage, litière ou compost.

Les rendements moyens du coton ont progressivement diminué à Noyaradougou en passant de 1,8 en 1994 à 1,1 t/ha en 1997, tandis que la moyenne 1995-1997 oscille autour de 1 t/ha à M'Peresso. L'exploitation progressive des terres marginales peut être une des causes. Dans tous les cas, cette stagnation, voire cette baisse des rendements du coton devient inquiétante et occupe actuellement le centre des débats dans la zone cotonnière (CMDT, 1997).

### 8.5 Gestion des flux d'éléments nutritifs par village et par classe

L'analyse du système coton/céréales/élevage qui est le principal système de production de la zone d'étude, montre qu'il est difficile de maîtriser certains flux comme celui des résidus. Le système est ouvert juste après les récoltes et des échanges de fourrage et de fumure ont lieu à différents niveaux. Ainsi, des échanges de flux d'éléments nutritifs ont lieu entre les différents sous-systèmes de l'exploitation (parcelles, troupeau, ménage), entre les exploitations, entre elles et le terroir et dans certains cas entre elles et les terroirs des villages voisins. Le rôle d'agent de redistribution des éléments nutritifs dans l'environnement est principalement assuré par le troupeau, qui est assez mobile. Cette libre circulation des animaux d'une exploitation à l'autre et sur le terroir rend difficile la quantification des résidus exportés par les animaux de l'exploitation ou par ceux appartenant à d'autres exploitations. Il en est de même quant aux apports d'éléments nutritifs lors de la vaine pâture. Les quantités de matière sèche fécale apportées sont de 200 – 300 kg/ha (3-5 kg de N et 0,5 kg de P) pour les ovins en vaine pâture jusqu'à la disparition des feuilles de petit mil (ILCA, 1992, cité par Powell *et al.*, 1996). Selon Harris (1998), les apports de fumure par la pâture des animaux au champ autour de Kano (Nigéria) ne dépassent pas 17 kg/ha (0,3% de N), soit 51 g/ha de N. Au Nord du Cameroun, les quantités apportées par les bovins sont: environ 0, 37 à 136, 86 à 140, 105 à 185 kg/ha de fumure, respectivement après le coton, le sorgho, le maïs et l'arachide (Dugué, 1999). Dans tous les cas, il faut dire qu'il est difficile de faire la part entre les quantités apportées par les animaux de l'exploitation et celles d'autres animaux. La fumure déposée lors de la vaine pâture n'a pas été considérée dans le calcul du bilan. Selon Elias *et al.* (1998), les bilans de N et P est fonction de la zone (hautes terres, basses terres), de la proximité du champ et de la culture dominante et enfin de la catégorie sociale. Dans plusieurs localités, il a été constaté que les champs proche des maisons (champs de case) reçoivent plus de fumure organique (Amoukou *et al.*, 1996; Dosso *et al.*, 1996), plus de soins et ont un bilan d'éléments nutritifs

meilleur à celui des champs de "brousse" (Dembélé *et al.*, 2000; Lompo *et al.*, 2000; Walaga *et al.*, 2000). Ainsi, selon Elias *et al.* (1998), la fertilité se maintient ou s'améliore sur les jardins de banane plantin contigus aux maisons, tandis qu'elle se dégrade sur les grands champs sous céréales qui reçoivent moins d'attention et de fumure de la part des paysans. Sur ces champs de céréales, les bilans de l'azote et du phosphore sont négatifs pour toutes les catégories d'exploitations. Sur terres hautes, le déficit est plus marqué chez les plus riches que chez les plus pauvres. Sur terres basses c'est le contraire, car le degré de pauvreté est tel que les très pauvres sont finalement obligés de vendre leur force de travail aux plus riches afin de pouvoir se payer des boeufs.

### 8.5.1 Flux dans le bilan partiel

Indépendamment du village et de la classe, le coton qui est la principale culture de rente de la zone d'étude, autrement dit le moteur du système coton/céréales/élevage, a un bilan partiel NPK positif. Les cultures de rente grâce aux importantes quantités appliquées de fumure ont un bilan moins négatif que les cultures de subsistance (Elias *et al.*, 1998; van den Bosch *et al.*, 1998; Scoones & Toulmin, 1999, cités par Hilhorst *et al.*, 2000). La valeur de N et K est au moins 2 fois plus élevée à M'Peresso qu'à Noyaradougou. Cette différence peut être due au fait que M'Peresso utilise plus de fumure et produit (rendements) moins de coton que Noyaradougou. Plus de 50% des apports d'éléments nutritifs de M'Peresso sont d'origine organique avec environ 50% d'ordures ménagères. Ces dernières sont les plus pauvres en éléments nutritifs (Tableau 5.1). Les sources organiques d'éléments nutritifs ont un taux de recouvrement plus bas que les sources inorganiques et par conséquent, les bilans sont plus favorables pour les premiers. Il se peut aussi que les fortes doses de fumure organique mal décomposée associées à de faibles doses d'engrais minéraux provoquent une immobilisation de l'azote sous cotonnier en début de cycle à M'Peresso, créant du coup des problèmes de synchronisation (Sédogo, 1993; Tanner & Mugwira, 1984 cités par Murwira *et al.*, 1993). Ibewiro *et al.* (1998) ont également trouvé que les matériaux de faible qualité en N (<0,7%), à C/N élevé (>30) et contenant assez de lignines se décomposent lentement et immobilisent l'azote.

Le bilan partiel du maïs est fonction des objectifs de production et s'améliore de la classe I vers la III quelque soit le village. La classe I étant autosuffisante met plus d'accent sur la recherche de profit à travers la culture de rente, tandis qu'en plus de l'importance accordée à la culture de rente, la recherche de la sécurité alimentaire reste une priorité de la classe III, qui utilisent plus de fumure organique sur maïs que les autres. Ainsi, le meilleur bilan en potassium de cette classe par rapport aux 2 autres est principalement dû aux apports organiques.

Contrairement au coton et au maïs dont les exportations de graines sont compensées par les apports d'engrais minéraux, le mil et le sorgho ne reçoivent pratiquement pas d'engrais. Ainsi, les bilans partiels de N, P et K du sorgho et du mil sont négatifs pour toutes les classes. Pour le sorgho, aucune tendance nette des "bons gestionnaires" (classe I) vers les "faibles gestionnaires" (classe III) ou vis versa n'apparaît. Pour le mil, le déficit croît de la classe III vers la classe I, parallèlement aux exportations de résidus par le troupeau qui croissent dans le même sens. Le bilan du mil associé au maïs (cas de Noyaradougou) est meilleur à celui du mil pur (cas de M'Peresso).

A part le coton, les exportations de résidus sont supérieures aux apports de fumure organique pour toutes les autres cultures; d'où la nécessité de mettre plus d'accent sur leur recyclage. De là, il ressort que le coton reçoit de la matière organique provenant d'ailleurs et principalement des autres cultures. Il s'agit là d'un transfert de fertilité entre cultures au sein de la même exploitation. Un

constat du genre a été fait par Wortmann & Kaizzi (1998) en Ouganda, où les bananeraies avaient le bilan le plus équilibré (autour de 0) grâce aux apports de résidus des cultures annuelles sur les parcelles de banane. Un tel transfert n'a généralement pas d'inconvénient sur le bilan de l'exploitation. Il peut toutefois défavoriser les parcelles qui reçoivent rarement le coton.

Si, aucune tendance nette ne se dessine entre les classes en terme de bilan de l'exploitation, il n'en est pas de même entre les deux villages. Le bilan partiel de l'exploitation en azote est moins alarmant. Il est positif à Noyaradougou, tandis qu'il est presque équilibré à légèrement déficitaire (0,7 et -2,5 kg/ha/an) à M'Peresso. Indépendamment du village et de la classe, le bilan du phosphore est positif et varie entre 2,9 et 6,6 kg/ha/an. Le bilan partiel du potassium est déficitaire dans toutes les classes exceptée la classe III de Noyaradougou. En regardant le rapport IN1/IN2 (fumure minérale/fumure organique) de l'azote, on se rend compte qu'il varie entre 0,7 et 1 à M'Peresso, tandis qu'il oscille entre 3,4 et 3,7 à Noyaradougou. Bien sûr, de tels rapports ne sont pas sans effet sur les caractéristiques du sol. Avec plus d'engrais azotés et moins de fumure organique, on tend vers une acidification des sols et son corollaire de baisse de rendement. Avec plus de fumure organique de qualité médiocre, on tend vers une immobilisation de l'azote. Alors, on se pose la question de savoir: quel est le meilleur rapport IN1/IN2 pour éviter l'acidification des sols et l'immobilisation de l'azote et pour quelle qualité de matière organique? Selon Webb (1998), il s'agit plutôt de savoir "où se trouve l'équilibre entre les deux?". Le rapport potassium exporté par les animaux et fumure organique apportée par eux (Out<sub>2e</sub>/In<sub>2e</sub>, Tableau 5.10) oscille indépendamment du village entre 2 et 3, autrement dit, les animaux exportent 2 à 3 fois plus de potassium qu'ils n'apportent au système. Cela demande une meilleure conduite des animaux afin de réduire les pertes d'éléments nutritifs. Par contre, le recyclage des résidus à travers le ménage doit être encouragé, car là, les apports sont supérieurs aux exportations. Il est clair que les résidus ne sont pas les seuls intrants des ordures et des composts.

Le bilan partiel de l'exploitation s'est d'une manière générale amélioré au fil des ans grâce à l'augmentation des apports de 1997 par rapport aux années précédentes, mais aussi une légère baisse des exportations (graines et résidus) dans toutes les classes exceptée la classe I de Noyaradougou. Ainsi, au bout du rouleau, le bilan s'améliore, mais le paysan fournit plus d'efforts pour produire les mêmes quantités (rendements). A un moment donné, le système peut atteindre un équilibre fragile entre les quantités d'éléments ajoutées annuellement et celles qui disparaissent du système pendant la même période (De Wit & Krul, 1982). Donc, le système tend vers une durabilité écologique, mais pas forcément économique. Ceci nous amène à nous demander si durabilité écologique fait bon ménage avec durabilité économique. En Ouganda, Walaga *et al.* (2000) posent le même problème pour le district de Pallisa, où le bilan NPK est positif mais avec de faibles productions.

### 8.5.2 Flux dans le bilan complet

Au niveau de l'exploitation, il faut noter qu'en plus des flux facilement mesurables, ceux difficiles à mesurer doivent être pris en compte pour mieux cerner les autres possibilités d'apport ou de perte d'éléments nutritifs par l'exploitation. Cependant, dans le calcul des flux difficilement mesurables, trop de données secondaires ("dérivées") sont utilisées. Ce qui peut créer de grandes différences entre les données obtenues au niveau de la même localité et rendre ces bilans complets moins fiables et moins attrayants. Aussi, des processus comme le lessivage dépendent de tout un lot de facteurs qui peuvent changer d'un point à l'autre et qui sont difficiles à maîtriser en raison de la

forte variabilité spatiale et de la diversité des stratégies de gestion de la fertilité par les paysans. Malgré ces insuffisances, le bilan peut être un moyen utile de faire comprendre aux paysans les problèmes de gestion de la fertilité des sols (Lynam *et al.*, 1998). En effet, si une légumineuse peut améliorer le bilan de l'azote de l'exploitation, l'érosion, le lessivage et la volatilisation peuvent réduire l'effet attendu des importants apports d'éléments nutritifs. Ainsi, en ayant une idée des gains ou pertes d'éléments nutritifs, liés aux flux difficilement mesurables, l'exploitation pourra faire des efforts d'amélioration de son bilan complet.

Le bilan complet de l'exploitation en azote est indépendamment du village et de la classe négatif. Le déficit est plus marqué dans la classe I que dans les deux autres. Contrairement au bilan partiel, le bilan complet de l'azote à M'Peresso est moins négatif que celui de Noyaradougou. La différence entre le bilan partiel et complet oscille entre 26 et 30 kg/ha d'azote à M'Peresso et entre 43 et 46 kg/ha à Noyaradougou. Ces différences sont essentiellement dues aux pertes d'azote par lessivage et par volatilisation. Les sols de M'Peresso sont plus sableux que ceux de Noyaradougou. Ainsi, la différence entre les deux villages pourrait être moins importante si la texture des sols avait été prise en compte. Bref, il semble que plus le sol est riche en azote, plus les quantités appliquées de cet élément et la pluviométrie sont élevées, plus les pertes gazeuses et par lessivages le sont aussi et plus le bilan en azote est affecté négativement. Il existe selon van der Pol & Autissier (1997), une bonne corrélation entre les bilans et la pluviométrie qui détermine dans une grande mesure les processus d'érosion, de lixiviation et aussi d'exportation par les cultures ( $N = -0,031 * \text{mm annuel}$ ,  $r^2 = 0,88$ ). Selon Sédogo *et al.* (2000), les pertes d'azote par lessivage et érosion étaient égales à 5 kg/ha sur le témoin non fertilisé et atteignaient 55 à 184 kg/ha selon qu'il s'agit d'une forte dose de fumure minérale (60N, 15P, 42K) ou d'une combinaison de celle-ci avec 40 t/ha/2ans de fumier. Selon Walaga *et al.* (2000), les pertes d'azote par lessivage sont supérieures à 100 kg/ha sur les terres fertiles du district de Kabarole, alors que les apports de cet élément ne dépassent pas 35 kg/ha. Selon De Wit & Krul (1982), plus la quantité de N dans la biomasse au moment de la floraison et absorbée du sol est élevée, plus l'est aussi la quantité de N qui disparaît annuellement du système. En effet, selon Ganry (en presse) cité par Ndoumbe & Van der Pol (1999), 17-36% des fumures utilisées sont perdues sous forme gazeuse.

Le bilan complet de l'exploitation en phosphore est indépendamment du village et de la classe positif et suit la même tendance que le bilan partiel. En effet, le phosphore, à cause de sa faible mobilité est faiblement influencé par les processus qui sont à la base des pertes difficiles à mesurer.

Le bilan complet du potassium est indépendamment du village et de la classe déficitaire. Comme, dans le cas du bilan partiel, ce déficit est moins marqué à Noyaradougou où le système de culture est basé sur le coton-maïs qu'à M'Peresso où les mil-sorgho occupent 48% de l'assolement avec des rotations de types coton-mil, coton-sorgho. En effet, les résidus de mil et de sorgho exportent 1,5-4 fois plus de potassium que ceux du maïs (IER/CMDT, 1987; Stoorvogel & Smaling, 1990a; van Duivenbooden, 1996).

Le passage du bilan partiel au bilan complet affecte les éléments nutritifs selon leur degré de mobilité et les différences sont plus élevées pour l'azote, suivi du potassium et enfin du phosphore. Par rapport au bilan, il faut souligner que la présence d'une culture de rente qui bénéficie des facilités de crédits pour l'achat d'intrants et qui assure aux paysans suffisamment de profits, joue favorablement sur le bilan d'éléments nutritifs (Defoer *et al.*, 1998; Hilhorst *et al.*, 2000; Lompo *et al.*, 2000). Le moteur de l'intensification agro-pastorale, selon De Grandi (1996), semble être une culture de rente ou la vente de produits de l'élevage avec un bon débouché. Les bilans complets de N et K sont négatifs dans les deux villages d'étude. Ainsi, des efforts doivent être fournis en

matière d'apport d'éléments nutritifs, mais aussi de leur protection contre les pertes inutiles. Le bilan positif en P, autrement dit, la formation du stock de P ne fait que augmenter, voire doubler l'efficacité de N, alors qu'une fertilisation en P à un niveau de 1,1 fois le niveau d'exportation entraîne une diminution de la disponibilité de P, et donc des rendements (Breman, 1998c).

## 8.6 Coûts et bénéfices de la gestion des résidus et des fumures

Des données obtenues quant à la valeur monétaire des dépenses en énergie, matériel, et en temps qu'il faut pour transformer les résidus en fumier ou en compost, il ressort qu'1 kg de fumier revient à 4 F CFA contre 12 F CFA pour le compost. Le coût du kg de compost est élevé à cause des temps de creusement et de remplissage de la compostière. Il s'agit là du coût de manutention qui n'inclue pas le prix des résidus. En attribuant, une valeur aux résidus, alors le prix du kg de fumier sera supérieur à 4 F CFA. A travers les régressions utilisées, Bosma & Jager (1992), ont également trouvé que le coût d'opportunité d'1 kg de fumier est égale à 4 F CFA.

Comme souligné par de Ridder & Van Keulen (1990), l'application de fumier ou de compost, de même que leur combinaison avec les engrais minéraux donne généralement un effet positif sur les rendements. Ainsi, à M'Peresso aussi bien qu'à Noyaradougou, la différence de rendement au profit de la portion ayant reçu la fumure organique varie de 300-750 kg/ha de coton graine en première année et de 90 à 480 kg/ha de céréale en deuxième année. Les résultats obtenus à Kolombada (Mali-Sud) en 1998 par le programme coton donne une différence de 766 kg/ha de coton graine en première année (CTR/coton, 1997). Ganry (1991) a trouvé que la fumure organique et plus précisément le compost donne un arrière effet de + 400 kg/ha de mil et de +800 kg/ha de maïs. En milieu paysan, l'augmentation de rendement de céréales due à l'arrière effet du fumier varie de 238 à 550 kg/ha avec une moyenne de 409 kg/ha (DRSPR, 1991).

Sur le plan économique, l'utilisation de la fumure organique en première année a permis de réaliser un bénéfice net marginal (basé sur les prix de 1998) supérieur à 70000 F CFA/ha à M'Peresso. A Noyaradougou, pour la même période et les mêmes prix, le bénéfice net marginal était de 10152 F CFA pour une fumure ayant 50% de matière sèche contre une perte de 7996 F CFA/ha si la fumure contient 70% de MS. En effet, à égal rendement, et à égale quantité de matière fraîche, la fumure contenant 70% de MS sera défavorisée en terme de bénéfice net marginal à cause de son coût élevé. Du modèle de Janssen (1993), il ressort que la quantité de matière organique du sol, après l'application annuelle de 200 kg/ha d'azote pendant 50 ans, est égale à 61 et 138 t/ha respectivement pour un fumier riche avec 21,5% de MS et un fumier pauvre avec 65% de MS. Cependant, la grande priorité à l'immobilisation de l'azote causée par l'application du fumier pauvre affecte négativement les rendements de départ. Il faut souligner qu'à Noyaradougou, 37% des exploitations suivies en 1999 (campagne 1999/2000), n'ont pas pu épandre leurs tas de fumure par insuffisance de main d'oeuvre. Donc, une bonne partie de la fumure n'a pas été incorporée au sol et est restée en surface. Or, selon Murwira *et al.* (1993), les pertes de N par volatilisation sont plus grandes du fumier seul que du système sol-fumier. Kirchmann (1985), cité par ces derniers a trouvé des pertes de l'ordre de 40% de  $\text{NH}_3$  à partir du fumier seul. Ainsi, les exploitations n'ayant pas pu incorporer leur fumure, constituent 100% de celles qui ont des rendements coton <1000 kg/ha. Ce faible rendement a négativement influencé le bénéfice net marginal du village. En deuxième année, autrement dit, en considérant l'arrière effet de la fumure organique, le bénéfice net marginal est indépendamment du village, supérieur à 25000 F CFA et oscille entre 13276 et 97020 F CFA pour les deux ans pris ensemble (effet plus

arrière effet). Si en première année chaque franc investi en fumure organique n'était pas récupéré, les 2 ans pris ensemble permettent aux paysans de récupérer en plus du franc investi 0,2 à 2 F CFA. L'effet des fortes doses de fumure organique va au delà de deux ans (Harris, 1998; Badiane & Szempruch, 2000; Achard *et al.*, 2000; Smirnov *et al.*, 1977), ce qui joue favorablement sur le TMR pris sur plusieurs années. En plus de son action sur les rendements, plusieurs propriétés du sol se trouvent également améliorées. Au vue des TMR, il ressort que le prix de vente du coton de 1998 (soit 185 F CFA/kg) est plus encourageant en terme d'investissement dans la fumure organique que celui de 1999 (150 F CFA/kg). Les politiques agricoles doivent tenir compte de cet aspect afin de permettre aux paysans de mieux profiter de leurs investissements et de les inciter à investir davantage dans la fertilité des sols. Selon van der Pol & Autissier (1997), l'augmentation des prix aux producteurs pourraient en effet stimuler les paysans à intensifier la production et la rendre plus durable. Cependant, selon ces derniers, une telle stimulation, non accompagnée de mesures de limitation de surface, pourrait entraîner une ruée sur les terres et leur exploitation extensive dans les zones où des terres en friche existent. Pour compenser le surplus de graines et résidus produit dans le traitement avec FO, d'autres éléments nutritifs venant hors du système doivent être apportés car les seuls résidus ne suffiront pas. Cependant, des efforts doivent encore être faits pour recycler le maximum de résidus comme fourrage, litière, compost et même comme intrant des ordures.

## **8.7 Outil d'aide à la décision et possibilité d'amélioration de la gestion actuelle**

Des points discutés ci-dessus, l'unanimité reigné quant aux avantages et à la nécessité du recyclage des résidus comme fourrage et fumure organique. Cependant, ces activités demandent une forte mobilisation de la main d'oeuvre, du matériel et des animaux de traction. Alors la question est de savoir à quels niveaux, les décisions pour une telle mobilisation sont prises. Des enquêtes sur les décideurs en matière de gestion des résidus et des fumures, il est ressorti que les décisions en la matière sont prises dans 65% des exploitations par le chef des travaux dont l'âge varie entre 17 et 35 ans. Ainsi, la crédibilité du chef des travaux aux yeux du chef d'exploitation et des autres actifs est essentielle pour la bonne exécution des décisions prises (Figure 8.1). Toutes les exploitations d'une manière où d'une autre gèrent la fertilité de leur sol. La gestion pouvant être considérée comme une prise de décision en fonction d'un objectif et en vue d'un résultat, il est alors certain que toutes les exploitations prennent des décisions (Marshall & Brossier, 1984). L'outil d'aide à la décision proposé ici, ne fait qu'enrichir les connaissances des exploitations afin de leur faciliter le choix d'options tactiques, voire stratégiques de gestion de leurs résidus de récolte comme fourrage, litière et/ou compost.

De l'outil, il ressort que toutes les exploitations peuvent nourrir leurs animaux pendant 3 mois, période de déficit fourrager au delà de laquelle, les classes I déficitaires seront obligées de profiter de l'excédent de résidus des classes II et III et des pâturages communs. Selon Bosma *et al.* (1996), la quantité de résidus à l'hectare au Mali-Sud suffit théoriquement pour 4-10 UBT pendant 100 jours et que seules les exploitations bien équipées de type A n'ont pas suffisamment de fourrage et de litière en année normale. Ces dernières avec leur grand troupeaux peuvent profiter du fourrage des petites exploitation, entraînant ainsi, un transfert de fertilité des petites vers les grandes (Bosma *et al.*, 1996). Selon De Grandi (1996), il s'agit d'une exploitation plus que proportionnelle aux ressources naturelles communales par les exploitations ayant beaucoup d'animaux. En effet, à

cause de la taille de leur troupeau, de la courte période de collecte du fourrage sur pied, des moyens relativement limités en main d'oeuvre et en matériel pour le transport, la classe I ne peut pas, au delà de 3 mois, nourrir ses animaux à partir de ses résidus de récolte.

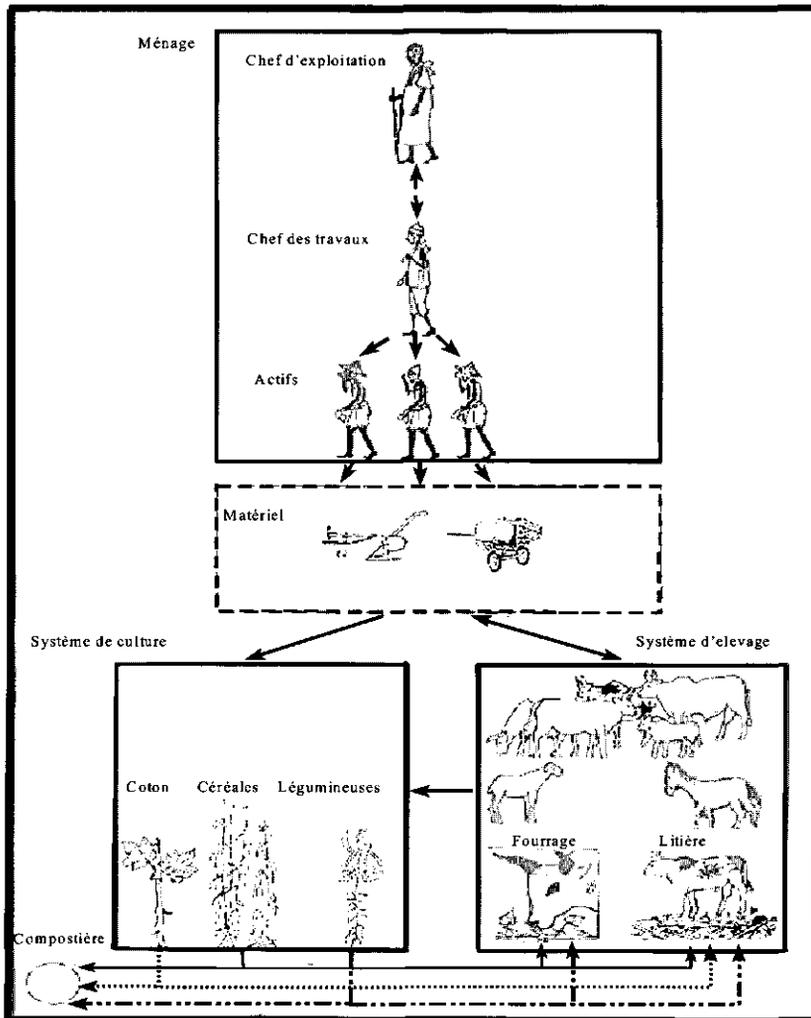


Figure 8.1 Eléments de l'outil d'aide à la décision (niveau utilisateur).

Les activités de transport qui sont fonction de la distance champs-lieu de stockage, du nombre d'équipes (âne, actifs, charrettes) et du niveau de remplissage de la charrette, constituent la principale contrainte en matière de gestion des résidus. A cela s'ajoute la faible capacité de stockage des exploitations et surtout le manque d'infrastructures adéquates de conservation des

résidus. En effet, en 1995 et 2000, des quantités importantes de fourrage stocké ont été détériorées par les pluies précoces du mois d'avril. Ceci n'encourage pas les paysans dans la collecte massive de résidus comme fourrage. L'importance des facteurs cités ci dessus dans la gestion des résidus a également été soulignée par De Grandi (1996) et Savadogo (2000). Les fanes de légumineuses constituent 3-4 et 0,3-1,2% des résidus disponibles par classe d'exploitation respectivement à M'Peresso et à Noyaradougou. De l'analyse des données de Camara (1996), il ressort également que les légumineuses ne constituent que 4,6% des résidus produits par exploitation dans le cercle de Koutiala. En considérant qu'il faut 25% de légumineuses dans une ration à base de grossier, il ressort de l'outil que la quantité de fanes de légumineuses est insuffisante pour le maintien des animaux et que pratiquement toutes les classes doivent compléter le fourrage disponible par des apports extérieurs pour satisfaire les besoins immédiats de la saison sèche chaude en cours. De l'outil d'aide à la décision, il ressort que la production de fumier peut être augmentée d'au moins 4 t dans les classes I et de 1 t dans les classes II et III. L'outil conçu est simple et tient compte des besoins et des capacités de différentes exploitations en matière de gestion des résidus. Cependant, sa faiblesse est qu'il n'est pas assez flexible en terme de dimension des compostières.

## 8.8 Principales contraintes à la gestion de la fertilité

Les principales contraintes à la gestion des résidus sont selon les paysans enquêtés liées au manque de main d'œuvre, de charrette, surcharge du calendrier, à la non maîtrise des pratiques ou pour des problèmes d'organisation au sein de l'exploitation. La contrainte en main d'oeuvre, déjà soulignée par De Grandi (1996) et Savadogo (2000) est accentuée à cause du départ massif des jeunes en exode (Hilhorst *et al.*, 2000; Lompo *et al.*, 2000). En effet, lors de la restitution des résultats sur le compostage à Noyaradougou en 2000, il s'est avéré que le nombre de compostières a augmenté les 2 premières années après le diagnostic, mais que la production du compost a diminué, car les compostières sont restées vides à cause de la migration des jeunes. Le départ massif des bras valides en exode ne favorise pas non plus les activités de recyclages des résidus et de gestion de la fumure organique pendant la saison sèche. A cause de l'insuffisance de la main d'oeuvre, 37% des exploitations suivies dans le cadre des coûts et bénéfices de la gestion des résidus et des fumures n'ont pas pu épandre leur fumure. Les exploitations concernées sont toutes de la classe III, qui a très peu d'actifs. Il faut également souligner que le manque d'entente au sein de l'exploitation joue négativement sur la bonne exécution et l'intégration des activités au niveau des différents sous-systèmes de l'exploitation (parcelles, le troupeau et le ménage).

Concernant le système d'élevage, il faut souligner que le déficit en fourrage devient de plus en plus chronique à M'Peresso, en saison sèche aussi bien qu'en hivernage. Le manque des zones de passage des animaux en direction des pâturages d'hivernage à M'Peresso et les feux de brousse qui ravagent la biomasse des pâturages et les résidus de récolte à Noyaradougou ne font qu'accentuer le problème du déficit fourrager et du faible recyclage des résidus. A Noyaradougou, la santé animale constitue la principale contrainte. Ainsi, il est clair qu'une telle situation ne favorise pas le développement de systèmes d'exploitation valorisant au mieux l'intégration agriculture-élevage. Indépendamment du village et de la classe, plus de 85% des exploitations n'ont aucune idée sur les normes de fourrage ou de litière qu'il faut par UBT/jour. En effet, bien que ces normes ne constituent pas une priorité pour la majeure partie des paysans, leur connaissance constitue un élément favorable à leur prise en compte.

## 8.9 Perspectives

Fâce a ces multiples contraintes, le Mali est entrain de ficeler au fil du temps son plan national pour la gestion de la fertilité des sols. Les ateliers régionaux de la phase consultative ont déjà eu lieu en septembre 2000. A ces ateliers ont pris part les représentants des organisations paysannes, des Organisations de Développement Rural (ODR) et des institutions de recherche.

Lors de la mise en place des grands projets de développement, l'état doit faire des contrat-plans avec les ODR et ONG chargés de leur exécution. Ces contrat-plans doivent inclure l'alphabétisation des jeunes ruraux, âgés de 17-35 ans et leur formation en gestion de la fertilité des terres, en alimentation et en santé animale, *etc.* La formation et la vulgarisation jouent un rôle important dans le processus de transfert de technologies (Huffman, 1977, cité par Haigis & Heidhues, 1998). Bref, "L'esprit, comme le sol, a besoin de sa dose d'engrais" (Webb, 1998). Un accent particulier doit être mis sur la santé des ânes qui est assez négligée. Ces formations sont de puissants moyens de sensibilisation des paysans pour un meilleur développement de l'agriculture et de l'élevage. Les efforts fournis par la CMDT en la matière sont à encourager.

Par rapport à l'alimentation des animaux, la production de semence de culture fourragère doit être confiée aux ODR ou aux organisations paysannes bien structurées autour des productions animales. Ainsi, la production et la commercialisation des semences de légumineuses fourragères pourront être subventionnées à 50% les deux premières années et à 25% la troisième années. A ce niveau, un accent pourra être mis sur l'utilisation du Phosphate Naturel de Telemsi (PNT). Les populations locales doivent s'organiser afin d'aménager des zones de passage des animaux en direction des pâturages d'hivernage et de lutter contre les feux de brousse. Les ODR et les banques doivent faciliter l'accès au crédit de type "élevage" pour la construction d'infrastructures de conservation de fourrage. Cependant, tant que le fourrage existe gratuitement dans la nature, ces actions n'auront de sens que si les graines de ces légumineuses ou les produits d'élevage sont vendus à des prix rémunérateurs.

L'état doit prôner une politique du genre "une exploitation, au moins une charrette" et faciliter l'accès de toutes les catégories d'exploitations et particulièrement celles de la classe III à ce précieux moyen de transport. Ainsi, il doit inciter les banques et les ODR à faire le "prêt charrette" avec un faible taux d'intérêt. Les paysans doivent également s'organiser en filière ou selon leur affinité afin de garantir le remboursement de ce prêt.

Par rapport au déficit du bilan complet en N et K, l'accent doit être mis sur l'augmentation des superficies des légumineuses, des doses et de l'efficacité des engrais importés et sur un recyclage accru des résidus de récolte. Les légumineuses comme *Mucuna pruriens* et *Lablab purpureus*, à travers uniquement leurs racines, apportent en 13 semaines, 7 à 10 kg/ha d'azote dont 65-69% est d'origine atmosphérique (Ibewiro *et al.*, 1998). L'augmentation de l'efficacité des engrais passe par leur protection contre les pertes inutiles comme la volatilisation, le lessivage et l'érosion. Pour cela, des mesures de lutte anti-érosive doivent être prises tant au niveau communal, qu'au niveau individuel. L'état doit fortement s'impliquer dans les aménagements. Les études peuvent être confiées à des ONG ou bureaux d'étude. La participation des villages se fera selon leur choix, soit à travers la fourniture de la main d'oeuvre soit en payant un pourcentage fixe du coût de réalisation des travaux. Le même concept sera valable au niveau exploitation. L'aménagement des champs semble, selon De Grandi (1996), le point de départ pour l'application des autres innovations techniques. Cependant, la clef du succès selon Scoones *et al.* (1996), réside dans le fait de construire sur la base des traditions plutôt que de remplacer l'existant. Ainsi, le processus par lequel les technologies seront développées et introduites sera déterminant pour le succès des

aménagements. Selon Defoer (2000), les connaissances et expériences des paysans doivent être prises comme point de départ au moment de l'introduction de nouvelles options techniques. Ce qui permet aux paysans de prendre la pleine responsabilité de leurs plans et actions. Ainsi, ils doivent être étroitement impliqués dans le développement, l'adaptation et le perfectionnement des technologies. Bref, selon Defoer (2000), l'implication des paysans dans les processus d'apprentissage pratique sera la force motrice du développement agricole. Dans la mise au point de nouvelles techniques de gestion de la fertilité des sols, les évolutions sociologiques doivent être prises en compte. Les grandes familles sont entrain de se morceler et il y'aura moins de main d'oeuvre pour l'exécution des travaux à hautes dépenses en énergie humaine. Ainsi, tant que les investissements en matière de gestion de la fertilité ne sont pas rémunérés à leur juste valeur, beaucoup de technologies disponibles dormiront encore longtemps dans les tiroirs. Ce même constat est valable pour l'utilisation des engrais minéraux.

La sécurisation foncière, bien que n'étant pas évoquée ici comme contrainte doit être prise en compte. En effet, quelle sera la motivation pour investir dans les lignes en cailloux, dans les arbres et arbustes, voire dans les engrais si la terre n'est louée/prêtée qu'à court terme? (Heidhues, 1998). Il s'agit là d'une question très sensible. Toutefois, l'état, de concert avec les responsables des communes rurales et des chefs coutumiers doit établir un code foncier rural qui pourra être révisé après quelques années de test.

Au niveau exploitation, il revient aux chefs d'exploitation de gérer de façon transparente le revenu et de créer les conditions pour une meilleure motivation des jeunes.

La recherche doit mettre plus d'accent sur la participation des utilisateurs de ses résultats dans les différentes phases de la mise en oeuvre des technologies. Un accent doit être mis sur les méthodes participatives et sur les coûts et bénéfices pouvant être tirés des nouvelles technologies. Les tests de faisabilité de crédit spécifique au niveau local (élevage ou des fonds de roulement pour les activités de gestion de la fertilité, etc.) doivent être encouragés par la Commission Nationale de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST). Il faut selon Heidhues (1998), faire plus de recherches sur les schémas innovatifs de crédits qui sont gérés localement. Le lien entre la recherche et ses partenaires du développement doit être renforcé à travers des rencontres périodes durant les différentes phases d'élaboration des projets. L'identification des avantages et inconvénients de l'utilisation de fortes doses de fumure organique sur de petites portions pourra être une piste pour les futures recherches. Ceci dans une certaine mesure permettra de renforcer les rares données disponibles sur les pertes difficiles à mesurer comme le lessivage, mais aussi d'éclairer les paysans, vulgarisateurs et chercheurs sur le bien fondé ou non de cette pratique.

L'outil d'aide à la décision renforcera l'approche et permettra aux différentes classes d'exploitations d'estimer facilement les besoins de leurs animaux en fourrage (pour le maintien) en litière et leur production de fumier. Cependant, la validation de l'outil doit être poursuivie en terme de normes de litière par saison et de résidus par compostière. La vulgarisation de l'approche passe par la rédynamisation du groupe de réflexion chargé de sa simplification et de l'élaboration de modules de formation à l'intention de l'encadrement de base.

## Bibliographie

- Achard, F., M. Banoïn & C. Bartholmey, 2000. Gestion de la fumure animale dans un terroir du Sud-Ouest du Niger. In: P. Dugué. *Fertilité et relation agriculture-élevage en zone de savane.*, Actes de l'atelier: Les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs, Montpellier, France, 5-6 mai 1998. Colloques Cirad, p 97-106.
- Allard, J.L., Y. Bertheau, J.J. Drevon, O. Seze & F. Ganry, 1983. Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal. *L'Agronomie tropicale* 38: 213-221.
- Amoukou, A.I., M. Ali, A. Awaïss, I. Soumana & M. Djerralar, 1996. Stratégies paysannes après la sécheresse de 1973, cas du village de Goumza au Niger. In: P. Jouve (ed). *Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel.* Actes du séminaire, Montpellier, France, 2-3 Avril 1996. Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes (CNEARC), p 95-99.
- Badiane, A.N. & B. Szempruch, 2000. Gestion et utilisation de la matière organique dans la zone centre du Bassin arachidier (Sénégal). In: P. Dugué. *Fertilité et relation agriculture-élevage en zone de savane.* Actes de l'atelier: Les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs, Montpellier, France, 5-6 mai 1998. Colloques Cirad, p 79-87.
- Bah, A.S., 1992. Les problèmes d'érosion hydrique et les stratégies de mise en valeur des sols au Mali-Sud: étude de cas d'une zone libérée d'onchocercose, le terroir de Fonebougou. Thèse pour l'obtention du doctorat de l'Université de Bordeaux III en Géographie des espaces tropicaux. Option: Milieu naturel et aménagement. Université Michel de Montaigne de Bordeaux III. Institut de Géographie Louis Papy, 637 p.
- Baijuyka, F.P. & B. de Steenhuijsen Piters, 1998. Nutrient balances and their consequences in the banana-based land use systems of Bukoba district, northwest Tanzania. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 147 - 158.
- Bationo, A. & A.U. Mokwunye, 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: With special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Fertilizer Research* 29: 117-125.
- Bationo, A., S.H. Hien & A.U. Mokwunye, 1987. Chemical characteristics and agronomic values of some phosphate rocks in west Africa. In: J.M. Menyonga, T. Bezuneh & A. Youdcowei. *Food grain production in semi - arid Africa.* p 339 - 407.
- Bationo, A., F. Lompo & S. Koala, 1998a. Research on nutrient flows and balances in west Africa: State-of-the art. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 19 - 35.
- Bationo, A., E. Rhodes, E.M.A. Smaling & C. Visker, 1996. Technologies for restoring soil fertility. In: A.U. Mokwunye, A. de Jager & E.M.A. Smaling. *Restoring and maintaining the productivity of West African soils: key to sustainable development.*, IFDC-Africa, LEI-DLO, SC-DLO. p 61-82.
- Bationo, A., M.V.K. Sivakumar, K. Acheampong & K. Harmsen, 1998b. Technologies de lutte contre la dégradation des terres dans les zones soudano-sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest. In: *L'intensification agricole au Sahel.* Breman, H. et K. Sissoko, p 709-725.
- Bationo, A., A. Buerkert, M.P. Sedogo, B.C. Christianson & A.U. Mokwunye, 1993. A critical review of crop-residue use as soil amendment in the West African semi-arid tropics. In: *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-saharan Africa.* Powell, J.M., S. Fernandez-Rivera., T.O. Williams and C. Renard., Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II, p 305-322.
- Bengaly, K., R. Bosma & S. Bagayoko, 1994. Utilisation des sous produits agricoles et agro-industriels pour l'alimentation des bovins. ESPGRN/Sikasso, document No 94/34, 42 p.
- Benoît-Cattin, M., 1991. Les dimensions économiques, sociales et institutionnelles de la gestion de la fertilité. In: *Savanes d'Afrique terres fertiles? Actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990.* Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 75- 84.
- Berger, M., 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. *Agriculture et Développement*, No hors-série 19.
- Berger, M., 1991. La gestion des résidus organiques à la ferme. In: *Savanes d'Afrique terres fertiles? Actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990.* Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 293-315.

- Berthé, A.L., A. Blokland, S. Bouaré, B. Diallo, M.M. Diarra, C. Geerling, F. Mariko, H. N'Djim & B. Sanogo, 1991. Profil d'environnement Mali-Sud, état des ressources naturelles et potentialités de développement. IER/KIT, 79 p.
- Bitchibaly, K. & L. Dioni, 1992. Zonage agro-climatique, Mali sud. Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineuses (SRCVO), IER, 7 p.
- Bitchibaly, K., 1996. Etude des toposéquences à Koutiala. In: W.A. Stoop, W.J. Brinkman & W.J. Veldkamp. The toposéquence concept. Methods for linking partners in on-farm research for rural development. Proc. Workshop, Sikasso (Mali) 21-25 août 1995. IER/Mali, KIT/Amsterdam.
- Bitchibaly, K., S. Kanté, B. Keïta, J.E. Vlot, Z. Diarra, L. Dioni, T. Defoer, S. Diarra, A. Kamara, L. Coulibaly, A. Bengaly & W.J. Veldkamp, 1994. Méthodologie de l'étude toposéquentielle au Mali-Sud. IER/KIT, 63 p.
- Blokland, A., M. Goïta & R. Joldersma (Eds), 1994. La recherche système au Mali. Un bilan. Bamako/Amsterdam, 132 p.
- Bosch, H., van den, J.N. Gitari, V.N. Ogaro, S. Maobe & J. Vlaming, 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). Monitoring nutrient flows and balances in tree districts in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 63 – 80.
- Bosma, R., 1993. Elevage du bétail dans la zone Siwaa. Stratégies pour une exploitation équilibrée des ressources fourragères. DRSPR/Sikasso, 23 p.
- Bosma, R. & B. Jager, 1992. Le fumier, production dans les parcs et valeur. Etude bibliographique. Rapport de recherche, 25 p.
- Bosma, R., I. Kanté & D. Diabaté, 1995. Fiche technique de recherche. La stabulation du bétail en saison sèche. ESPGRN/Sikasso, 25 p.
- Bosma, R., K. Bengaly, M. Traoré & A. Roeleveld, 1996. L'élevage en voie d'intensification. Synthèse de la recherche sur les ruminants dans les exploitations agricoles mixtes au Mali-Sud. Institut Royal des Tropiques/Amsterdam, Institut d'Economie Rurale/Bamako, 202 p.
- Bosma, R.H., M. Bos, S. Kanté, D. Kébè & W. Quak, 1999. The promising impact of ley introduction and herd expansion on soil organic matter content in southern Mali. *Agricultural Systems* 62: 1-15.
- Brand, J. & J.L. Pfund, 1998. Site-and watershed assessment of nutrient dynamics under shifting cultivation in eastern Madagascar. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 169 – 183.
- Breman, H., 1998a. Soil fertility improvement in Africa. A tool for or a by-product of sustainable production? *African Fertilizer Market, special issue on soil fertility*, 11: 2-10.
- Breman, H., 1998b. L'intensification agricole au Sahel: vouloir c'est pouvoir! In: H. Breman & K. Sissoko (eds). *L'intensification agricole au Sahel*. p 23-34.
- Breman, H., 1998c. Amélioration de la fertilité des sols en Afrique de l'ouest: Contraintes et perspectives. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen. *Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceeding of regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT sahelian c and INRAN, Niamey, Niger, 4 – 8 march 1997*, p 7-20.
- Breman, H. & N. de Ridder (eds), 1991. Manuel sur les pâturages des pays Sahéliens. ACCT-CTA-KARTHALA, 485 p.
- Breman, H. & K. Sissoko (eds), 1998. *L'intensification agricole au Sahel*, KARTHALA, IER, AB-DLO-DAN-UAW, Paris, 996 p.
- Brons, J., H. Djouara, T. Defoer & R. Joldersma, 1994a. Description et analyse des systèmes de production dans la région de Sikasso. Document ESPGRN-Sikasso No 94/02, 25 p.
- Brons, J., S. Diarra, I. Dembélé, S. Bagayogo & H. Djouara, 1994b. Diversité de gestion de l'exploitation agricole: étude des facteurs d'intensification agricole au Mali-Sud. Sikasso: Document IER-SRSPR no 94/33, p 70.
- Brouwer, J. & J. Bouma, 1997. La variabilité du sol et de la croissance des cultures au Sahel: Points saillants de la recherche (1990-1995) au Centre Sahélien de l'ICRISAT. Bulletin d'information n° 49. ICRISAT (Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Semi-Aride), Université agronomique de Wageningen, 42 p.
- Camara, O.S., 1996. Utilisation des résidus de récolte et du fumier dans le Cercle de Koutiala: Bilan des éléments nutritifs et analyse économique. Rapports PSS No 18, Wageningen, AB-DLO, 120 p.
- Charpentier, H., L. Ségui & R. Michellon, 1991. Cultures associées, couvertures végétales mortes et vivantes. In: *Savanes d'Afrique terres fertiles? Actes des rencontres internationales*, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 333-355.

- CIMMYT, 1989. Formulation de recommandations à partir de données agronomiques. Programme d'économie, 82 p.
- CMDT/DDRS, 1995. Maintien du potentiel productif et développement rural en zone CMDT. Annexe B: Indicateurs agro-écologiques pour les régions CMDT de la zone CMDT. Service Gestion des terroirs, Division Défense et Restauration des Sols, 11 p.
- CMDT, 1997. Réflexion sur l'amélioration des rendements coton au champ. Koutiala.
- CMDT, Suivi Evaluation, 1999. Annuaire statistique 98/99. Résultats de l'enquête agricole permanente, 19 p.
- CMDT, 2000. Expérience de maintien du potentiel productif en zone CMDT, 22 p.
- CMDT-IER/DRSPR, 1990. Mémento techniques culturales à l'usage des agents d'encadrement agricole, 122 p.
- Cretenet, M., 1996. Expérimentation des systèmes de culture dans les pays tropicaux: cas des zones cotonnières d'Afrique noire. In: A. Budelman, Agricultural r&d at the crossroads. Merging systems research and social actor approaches. Royal Tropical Institute (KIT) the Netherlands, p 69-80.
- CTR/coton, 1997. Premières conclusions des expérimentations conduites durant la campagne 1996/1997. Comité Technique Régional. Programme coton. Sikasso 22-24 avril.
- CTSPR, 1986. Comité Technique sur les Système de Production Rurale. Volet de Fongobougou, document No 2. Bamako, 146 p.
- CTSPR, 1987. Comité Technique sur les Système de Production Rurale. Rapport de campagne 1986/87. Axe Bougouni - Sikasso, document No 1. Bamako, 155 p.
- CTSSPR, 1988. Comité Technique Spécialisé sur les Système de Production Rurale. Résultats campagne 1987/88, document No 1. Bamako, 165p
- Deat, M., J. Dubernard, A. Joly & G. Sement, 1976. Exportations minérales du cotonnier et de quelques cultures tropicales en zone de savane Africaine. Coton et Fibres Tropicales, XXXI, fasc 4, 409-418.
- Deckers, J., 1993. Fertilité du sol et problèmes d'environnement dans différentes zones écologiques des pays en développement de l'Afrique sub-saharienne. In: H. van Reuler & W.H. Prins. Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. VKP, p 41- 58.
- Defoer, T., 2000. Moving methodologies. Learning about integrated soil fertility management in sub-saharan Africa. PhD Thesis, Wageningen University. 189 p.
- Defoer, T., S. Kanté, T. Hilhorst & H. de Groote, 1996. Towards more sustainable soil fertility management. AgREN, Network Paper No 63, 26 p.
- Defoer, T., H. de Groote, T. Hilhorst, S. Kanté & A. Budelman, 1998. Participatory action research and quantitative analysis for nutrient management in southern Mali: a fruitful marriage? Agriculture, Ecosystems & Environment 71: 215-228.
- Defoer, T., S. Kanté, T. Hilhorst, S. Diarra, S. Bagayoko, M. Bengaly & M. Traoré, 1995. Vers une approche gestion de la fertilité des sols. Document 95107 ESPGRN-Sikasso, 44 p.
- De Grandi, J.C., 1996. L'évolution des systèmes de production agropastorale par rapport au développement durable dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne, 160 p.
- De Groote, H. & N. Coulibaly, 1995. Organisation des exploitations agricoles selon le genre et la génération. Rapport de recherche. ESPGRN/Sikasso, 34 p.
- Delville, P.L., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel. Diagnostic et conseil aux paysans. Collection "le point sur", GRET, 397 p.
- Dembélé, I., 1994. Production et utilisation de la fumure organique: fiche synthétique d'information. Document NE94/19, ESPGRN, Sikasso, Mali.
- Dembélé, I., D. Koné, A. Soumaré, D. Coulibaly, Y. Koné, B. Ly & L. Kater, 2000. Fallows and field systems in dryland Mali. In: T. Hilhorst & F. Muchena (eds). Nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems. IIED, London, UK, p 83-102 .
- De Ridder, N. & H. van Keulen, 1990. Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid tropics (SAT). Fertilizer Research 26: 299 - 310.
- De Wit, C.T. & J.M. Krul, 1982. Les Processus déterminant la production actuelle des pâturages sahéliens. La production actuelle dans une situation d'équilibre. In: F.W.T. Penning de Vries & M. A. Djitéye (eds). La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. p 275-283.
- Diabaté, B., 1987. Etude sur l'aviculture villageoise en zone Mali-Sud: cas des villages de Djinigorola et Yaban. Memoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de l'Institut Polytechnique Rural (IPR) de Katibougou. Spécialité élevage. Cycle ingénieur. 58 p.
- Diarra, L. & H. Breman, 1997. Guide PSS N°3. La supplémentation du bétail en zone soudano-sahélienne: une nécessité en saison sèche, Editions Jamana, 83 p.

- Dioum, B., 1997. Fertilisation des sols: une initiative pour l'Afrique. Coraf Action No 6, p 1, 6 et 7.
- DNP/DNSI, 1996. Situation économique et sociale du Mali en 1995 et perspectives pour 1996. Commissariat du plan, Direction Nationale de la Planification et Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique, 27 p.
- DNSI, 1999. Comptes économiques du Mali. Avril 1999.
- Dosso, M., P. Micheau & O. Wango, 1996. Diversité des sols et pratiques de gestion de leur fertilité, en zone sahélienne sableuse Mayahi (Niger). In: P. Jouve (ed.). Gestion des terroirs et des ressources naturelles au Sahel. Actes du séminaire, Montpellier, France, 2-3 Avril 1996. Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes (CNEARC), p 15-27.
- Doumbia, M.D. & A. Sidibé, 1999. Un des objectifs très important du laboratoire sols eaux plantes est d'amener, à court terme, les paysans des zones offices du Niger et CMDT à évaluer la fertilité de leurs sols au moins une fois tous les 3 ans. IER, Info, p 5.
- DRA-DRSPR, 1985. Séminaire atelier sur la culture associée maïs/mil. Synthèse des travaux, 17 p.
- DRSPR, 1989. Commission Technique sur les Systèmes de Production Rurale. Synthèse des résultats de la campagne 1988/1989, DRSPR, volet Fousebougou, 133 p.
- DRSPR, 1990. Commission Technique sur les Systèmes de Production Rurale. Synthèse des résultats de la campagne 1989/1990, DRSPR, volet Fousebougou, 222 p.
- DRSPR, 1991. Commission Technique sur les Systèmes de Production Rurale. Synthèse des résultats de la campagne 1990/1991, DRSPR, volet Fousebougou, 264 p.
- DRSPR, 1992. Commission Technique sur les Systèmes de Production Rurale. Synthèse des résultats de la campagne 1991/1992. DRSPR/Sikasso, 199 p.
- Dugué, P., 1993. La gestion de la fertilité et l'utilisation des ressources naturelles dans les systèmes agro-pastoraux soudano-sahéliens. Quelques éléments de réflexion à partir des situations du Yatenga (Burkina Faso) et du Sine Saloum (Sénégal). Communication présentée à la journée AGER "Gestion de la fertilité" du 20 janvier 1993. CIRAD-SAR No 26/93, 15 p.
- Dugué, P., 1996. Recyclage des résidus de récolte en vue d'accroître l'utilisation de la fumure organique. Le cas du Sine Saloum (Sénégal). CIRAD/SAR No 96/96, 28 p.
- Dugué, P., 1999. Utilisation de la biomasse végétale et de la fumure animale: Impacts sur l'évolution de la fertilité des terres en zone de savanes. Etude de cas au Nord-Cameroun et essai de généralisation. CIRAD-TERA N°57/99, 175 p.
- Dugué, P., 2000. Fertilité et relation agriculture-élevage en zone de savane. Actes de l'atelier: Les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs. Montpellier, France, 5-6 mai 1998. Colloques Cirad, 200 p.
- Dugué, P., Y. Le Gal, B. Lelandais, J. Picard & M. Piraux, 1998. Modalités d'intégration de l'agriculture et l'élevage et impact sur la gestion de la fertilité du sol en zone soudano-sahélienne. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4-8 march 1997, p 369-380.
- Duivenbooden, N. van, 1996. La durabilité exprimée en termes d'éléments nutritifs, avec référence spéciale à l'Afrique de l'Ouest. Rapports PSS N° 29, AB-DLO, Wageningen, 268 p.
- Duivenbooden, N., van, S. Groten & A. Sohoro, 2000. Introduction et objectifs de l'atelier. In: N. van Duivenbooden, A. Sohoro & S. Groten (eds). Optimisation de l'utilisation des ressources à l'échelle de village et de district dans les zones en marge du désert en Afrique de l'Ouest (ORU). Actes de l'atelier international sur les systèmes d'aide à la décision basés sur les systèmes d'information géographique et les modèles bio-économique. Ouahigouya, Burkina Faso, 6-14 avril 1999. Programme sur les zones en marge du désert (DMP), p 9-15.
- Elias, E., 2000. Soil enrichment and depletion in southern Ethiopia. In: T. Hilhorst & F. Muchena (eds). Nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems. IIED, London, UK. P 65-82.
- Elias, E., S. Morse & D.G.R. Belshaw, 1998. Nitrogen and phosphorus balances of Kindo Koisha farms in southern Ethiopia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 71: 93-113
- EMS, 1995. Modélisation et politique de développement: perspectives d'un développement agricole durable. Cas du Cercle de Kouitiala. Rapport PSS No 10, AB-DLO, Wageningen, Netherlands. 179 p.
- ESPRN, 1994a. Fiche technique de recherche sur la culture fourragère de l'association maïs/dolique. ESPGRN/Sikasso, 19 p.
- ESPRN, 1994b. Fiche technique de recherche sur l'association pois d'angole-céréale. ESPGRN/Sikasso, 16 p.

- Évéquoz, M., D.K. Soumama & G. Yadi, 1998. Minéralisation du fumier, nutrition, croissance et rendement du mil planté dans des ouvrages anti-érosives. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 - 8 march 1997, p 203-208.
- FAO, 1982. Estimation des superficies cultivées et des rendements dans les statistiques agricoles. FAO, Rome
- FAO, 1995. Production yearbook, vol 49, collection FAO: statistique No 130, 235 p
- Fernández-Rivera, S., T.O. Williams, P. Hiernaux & J.M. Powell, 1993. Faecal excretion by ruminants and manure availability for crop production in semi-arid West Africa. In: J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams & C. Renard (eds). Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-saharan Africa. Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II, p 149-169.
- Gakou, A., D. Kébé & B. Traoré, 1996. Gestion de la fertilité des sols au Mali. Esquisse de plan d'action. Etude commandée par la Banque Mondiale, 124 p.
- Ganda, M., 1999. Spatial variability and farmer resource allocation in millet production in Niger. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 115 p.
- Ganry, F., 1991. Valorisation des résidus organiques à la ferme et maintien de la fertilité du sol. Un itinéraire technique progressif, appliqué à la culture de maïs au Sud-Sénégal. In: Savanes d'Afrique, terres fertiles? Actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 317-331.
- Ganry, F. & A. Badiane, 1998. La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives. Agriculture et Développement 18: 73-80.
- Gerner, H. & G. Harris, 1993. Utilisation et approvisionnement des engrais en Afrique sub-saharienne. In: H. van Reuler & W.H. Prins. Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. VKP, p 119- 140.
- Gemer, H., A. de Jager, J.F. Teboh, B. Bumb & N.N. Dembélé, 1996. Economic policies and fertilizer market development. In: A.U. Mokuwonye, A. de Jager & E.M.A. Smaling, Restoring and maintaining the productivity of West African soils: key to sustainable development. IFDC-Africa, LEI-DLO, SC-DLO, p 35-48.
- Gigou, J. & K. Taoré, 1995. Compte rendu de mission pour visite des tests de courbes de niveau. Programme Régional pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre, programme conjoint sorgho, ICRISAT -CIRAD, 10 p.
- Giraudy, F. & S. Samaké, 1995. La production et l'utilisation de la fumure organique par les exploitations de la zone Mali-Sud. Suivi-évaluation CMDT, 10 p.
- Gueye, B., K. Schoonmaker-Freudenberger, 1991. Introduction à la méthode accélérée de recherche participative (MARF), Dakar, Sénégal: Centre de recherche pour le développement international.
- Haigis, J. & F. Heidhues, 1998. Soil fertility and fertilisation management strategies by farmers in two ecological zones of Niger. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest.: Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 - 8 march 1997. p 481-485.
- Harris, F.M.A., 1998. Farm-level assessment of nutrient balance in northern Nigeria. Agriculture, Ecosystems & Environment. 71: 201-214.
- Heidhues, F., 1998. Institutional, political and economic issues of soil fertility management. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 - 8 march 1997. p 559-563.
- Hiernaux, P., T.O. Williams, S. Fernandez-Rivera & E. Schlecht, 1998. Les rôles de l'élevage dans l'intensification des modes de production agricole au Sahel: Options socio-économiques et techniques. In: H. Breman & K. Sissoko (eds). L'intensification agricole au Sahel. p 686-708.
- Hijkoop, J., P. van der Poel & B. Kaya, 1991. Une lutte de longue haleine. Aménagement anti-érosifs et gestion de terroir. Système de Production Rurale au Mali: volume 2. IER/KIT, Mali/Pays Bas, 154 p.
- Hilhorst, T. & F. Muchena (eds), 2000. Nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems. 146 p.

- Hilhorst, T., F. Muchena, T. Defoer, J. Hassink, A. de Jager, E. Smaling & C. Toulmin, 2000. Managing soil fertility in Africa: diverse settings and changing practice. In: T. Hilhorst & F. Muchena (eds). *Nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems*. p1-27.
- Hoefstloot, B., F. van der Pol & L. Roelvelde, 1993. Jachères améliorées. Options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest. KIT Bulletin No 333. Amsterdam, The Netherlands, 86 p.
- Ibewiro, B., B. Vanlauwe, N. Sanguinga & R. Merckx, 1998. Nitrogen contributions of roots to succeeding maize in herbaceous legume cover cropping systems in a tropical derived savanna. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). *Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 – 8 march 1997*. p 123-128.
- IEMVT, 1988. Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical. Ministère de la coopération et du développement. Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux (I.E.M.V.T). Collection Manuels et Précis d'Élevage, 533 p.
- IER/CMDT, 1987. Dégradation chimique des sols et possibilités d'amélioration. Document N°3. Réunion IER-CMDT, 10-12 février, N°Tarla, 44 p.
- IER/N°Tarla, 1990. Exposé des résultats et premières conclusions à tirer de l'expérimentation menée durant la campagne 1989. Cellule agronomie et expérimentation extérieure. Document No 2.2, 140 p.
- IFDC-Africa, 2000. Integrated soil fertility management: A key to rural development. Paper prepared for the 68<sup>th</sup> IFA annual conference, 20-25 May, 2000, Oslo, Norway, 28 p.
- Janssen, B.H., 1999. Organic matter and soil fertility. Document de cours: J 100-225. Wageningen Agricultural University. Department of Environmental Sciences, sub-department of Soil Science and Plant Nutrition, 245 p.
- Janssen, B.H., 1993. Integrated nutrient management: the use of organic and mineral fertilizers. In: H. van Reuler & W.H. Prins (eds). *The role of plant nutrients for sustainable food crop production in sub-saharan Africa*. VKP, p 89 –105.
- Kanté, A., 1988. Contraintes et possibilités d'amélioration de la production et de l'utilisation de la fumure organique dans les exploitations agricoles de Koutiala. Cas de M°Peresso et Kaniko. Rapport de fin de cycle présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur des travaux Agricoles de l'Institut Polytechnique Rural de Katibougou. Spécialité Agriculture, 44 p.
- Kanté, S. & A. Bengaly, 1997. Critères de classification des terres et stratégies de gestion du paysan Senoufo. Rapport de Recherche-ESPGRN, 18 p.
- Kanté, S. & T. Defoer, 1994. Classification et gestion paysanne des terres en milieu Minianka. Rapport de Recherche-ESPGRN, 22 p.
- Kanté, S. & J. L. Sanogo, 1997. Rapport de mission effectuée du 13-17/12/1997 à Niono dans le cadre de l'atelier international sur la gestion de la fertilité des sols. ESPGRN, 12 p.
- Kanté, S., T. Defoer & A. Bengaly, 1993. Description et utilisation des toposéquences. Rapport d'étape. DRSPR/IER, 20 p.
- Kanté, S., T. Defoer & K. Bitchibaly, 1998b. Fiche technique de recherche. Reconnaissance et gestion des types de terre au Mali-Sud: zone de grès de Koutiala. ESPGRN/Sikasso, 27 p.
- Kanté, S., T. Defoer & T. Hilhorst, 1997. Améliorer la gestion de la fertilité des sols: approche participative de recherche-action. 51 p.
- Kanté, S., T. Defoer, A. Bengaly & K. Bitchibaly, 1999. Classification et gestion paysanne des terres en milieu Minianka, Senoufo et Bamanan, 37 p.
- Kanté, S., T. Defoer, T. Hilhorst, M. Traoré & R.L. Berthé, 1998a. Flux de matières et gestion de la fertilité dans les exploitations agricoles en zone cotonnière du Mali. Communication présentée à l'atelier sur les flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle du terroir. Montpellier, France 5-6 mai. ESPGRN/Sikasso, 12 p.
- Kater, L., S. Kanté & J.L. Sanogo, 1992. Agroforesterie au Mali-Sud: karité et néré associés aux cultures, étude de l'influence du karité et du néré sur le coton, le sorgho et le petit mil à Koutiala et Kadiolo. Rapport de Recherche-DRSPR, 56 p.
- Kébé, D., 1989. Les relations agriculture-élevage et le devenir des systèmes de production, Fonsebougou, Sud-Mali. Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondie (DEA), Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (Ensam-Montpellier). 64 p.
- Kébé, D. & M.C. Sidibé, 1998. Organisations paysannes et transfert de technologies: cas Association Villageoises (AV) en zone CMDT. Communication présentée au 1er symposium international sur la recherche-système et politique agricoles, Bamako, Mali, 21-25 septembre 1998, 32 p.

- Kébé, D., O. Guindo & B. Traoré, 1995. Stratégies paysannes et intensification agricole au Mali-Sud. Communication présentée au colloque international sur l'Intensification agricole au Sahel: Mythe ou Réalité? Bamako, Mali, 28 novembre-2 décembre. ESPGRN/Sikasso, 24 p.
- Kébé, D., S. Traoré, H. Djouara & A. Koné, 1998a: Annuaire statistique Suivi-Evaluation-Permanent. Campagne, 1996. ESPGRN/Sikasso, 47 p.
- Kébé, D., S. Traoré, H. Djouara & A. Koné, 1998b Annuaire statistique Suivi-Evaluation-Permanent. Campagne, 1997. ESPGRN/Sikasso, 47 p.
- Keita, M.K. & F. van der Pol, 1986. Laboratoire des sols. Méthodes d'analyse des sols plantes eaux, 29 p.
- Kieft, H., N. Keita & A. Van der Heide, 1994. Engrais fertiles? Vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali. ETC, Leusden, The Netherlands. 99 p.
- Lamers, J.P.A. & M. Bruntrup, 1998. Local and improved soil fertility technologies with millet crop residues in the Sahel: Are they financially viable? In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 - 8 March 1997. p 487-493.
- Landais, E., P. Hoste & H. Guerin, 1991. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. In: Savanes d'Afrique, terres fertiles? Actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 219-270.
- Landais, E. & H. Guerin, 1992. La production des matières fertilisantes. Les Cahiers 'Agriculture' 1 (4): 225-238.
- Le Gal, P.Y. & P. Milleville, 1996. From technical transfert to decision-making aid. In: systems-oriented research in agriculture and Rural development. International symposium. Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. Lectures and debates, p 173-187.
- Lee, K.E & T.G. Wood, 1971. Termites and soils. Academic Press, London and New York, 251 p.
- Hoste, P. & D. Richard, 1993. Contribution de l'élevage à la gestion de la fertilité à l'échelle du terroir. 10<sup>ème</sup> journée du réseau érosion. Montpellier, France, 15-18 septembre. CIRAD-EMVT, P 463-489.
- Lompo, F., M. Bonzi, R. Zougmore & S. Youl, 2000. Rehabilitating soil fertility in Burkina Faso. In: Nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems. Hilhorst, T. et F. Muchena (eds). IIED, London, UK. p 103-118.
- Loupe, D., N.K. Ouattara & R. Olivier, 1998. Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées. Bilan minéral (Korhogo, nord Côte d'Ivoire). Agriculture et Développement, 18: 47-54.
- Lynam, J.K., S.M. Nandwa & E.M.A. Smaling, 1998. Introduction. Agriculture, Ecosystems and Environment 71: 1-4.
- Makken, F., 1993. Vue d'ensemble du secteur agricole en Afrique sub-saharienne. In: H. van Reuler & W.H. Prins (eds). Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. VKP, p 29-40.
- Manyong, V.M. & K.O. Makinde, 2000. Fertilizer use and agricultural transformation in cereal-based systems of drier savanas, Nigeria. In: Balanced Nutrient Management Systems for the Moist Savanna and Humid Forest Zones of Africa. Programme and abstracts, Cotonou, Benin, 9 -12 October, p 13 et Communication directe.
- Marshall, E. & J. Brossier, 1984. Le raisonnement économique des décisions de l'agriculteur, 231 p.
- McDowell, R.E., 1988. Importance of crop residues for feeding livestock in smallholder farming systems. In: Plant breeding and the nutritive value of crop residues. Proceedings of a workshop held at ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, 7-10 december 1987, p 3-27.
- Memento de l'Agronome, 1980. Chapitre IV fertilisation (p116-145). Troisième édition. Collection "Techniques rurales en Afrique". République Française, Ministère de la Coopération, 1604 p.
- MEPI/PNUD, 1999. Croissance, équité et pauvreté. Rapport national sur le développement humain durable. Mali, 108 p.
- Mokwunye, A.U., E.M.A. Smaling & A. de Jager, 1996. Problem definition. In: A.U. Mokwunye, A. de Jager & E.M.A. Smaling. Restoring and maintaining the productivity of West African soils: key to sustainable development. IFDC-Africa, LEI-DLO, SC-DLO. p 3-7.
- Molle, F. & F. Valette, 1994. Quelques réflexions sur l'apport de la modélisation dans les recherches systèmes. In: Recherches système en agriculture et développement rural. Actes du Symposium international. Montpellier, France-21-25 novembre. p 193-198.
- Murwira, K.H., M.J. Swift & P.G.H. Frost, 1993. Manure as a key resource in sustainable agriculture. In: J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera., T.O. Williams & C. Renard (eds). Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed

- Farming Systems of sub-Saharan Africa. Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II, p 131-148.
- Nandwa, S.M. & M.A. Bekunda, 1998. Research on nutrient flows and balances in East and Southern Africa: State-of-the art. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 5 – 18.
- Ndoumbe, F.M. & F. van der Pol, 1999. Integrated Environmental and Economic Accounting: Incorporating soil nutrient depletion in conventional farm accounts. Working Document (Draft 10) KIT. 84 p.
- Neef, A., 1998. Le contrat de parage, fumure pour les riches? Une étude de cas au sud-ouest du Niger. In: G. Renard, G., A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 – 8 march 1997. p 381-386.
- Niangado, O., 1998. Agriculture sahélienne: situation actuelle et perspective d'un développement durable. In: H. Breman & K. Sissoko (eds). L'intensification agricole au Sahel. p 858- 876.
- N'Tarla, 1987. Exposé des résultats et premières conclusions a tirer de l'expérimentation menée durant la campagne 1986-87. Cellules agronomie et expérimentation extérieure. Document No 2, 113 p.
- Nzuma, J.K. & K.H. Murwira, 2000. Improving management of manure in Zimbabwe. *Managing Africa's soils* N°15, 20 p.
- Oliver, R., C. Martin, M. Bonzi & F. Ganry, 2000. Quantification des flux difficiles: Etude des pertes par lixiviation dans la région Centre Sud du Burkina Faso, 11p (VARINUTS).
- Papy, F., 1996. Farming management. In: systems-oriented research in agriculture and Rural development. International symposium. Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. Lectures and debates, p 275-287.
- Penning de Vries, F.W.T & H. van Keulen, 1982. Les processus déterminant la production actuelle des pâturages sahéliens. La production actuelle et l'action de l'azote et du phosphore. In: F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djitéye (eds). La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. p 196-225.
- Perrier, E.R., 1987. Adaptation of water management practices to rainfed agriculture on alfisols in the Sahel. In: J.M. Menyonga, T. Bezuneh & A. Youdcowei. Food grain production in semi – arid Africa. p 445–464.
- Pieri, C., 1991a. Preface. In: Savanes d'Afrique terres fertiles? Actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 3.
- Pieri, C., 1991b. Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de Savanes au sud du Sahara. In: Savanes d'Afrique terres fertiles? Actes des Rencontres Internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 43-73.
- Pieri, C., N. Sharma & I. Valencia, 1998. Investir dans la fertilité des terres, un défi majeur pour l'avenir de l'Afrique sub-saharienne. In: H. Breman & K. Sissoko (eds). L'intensification agricole au Sahel. p 877-893.
- Pol, F. van der, 1991. L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans au Mali-Sud. In: Savanes d'Afrique, terres fertiles? Actes des rencontres internationales, Montpellier, France, 10-14 décembre 1990. Ministère de la Coopération et du Développement, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), p 403-418.
- Pol, F. van der, 1992. Soil mining: An unseen contributor to farm income in southern Mali; Bulletin KIT 325. Institut Royal des Tropiques (KIT): Amsterdam
- Pol, F. van der, 1993. Analyse et évaluation des options pour une agriculture durable, cas particulier du Sud Mali. In: H. van Reuler & W.H. Prins (eds). Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. VKP. p 77-98.
- Pol, F. van der & V. Autissier, 1997. La valeur de l'épuisement des sols par l'agriculture dans les pays du CILSS. Rapport préliminaire, Club du Sahel, 33 p.
- Pol, F. van der & F. Giraudy, 1993. Etude sur la relation entre pratiques d'amélioration des sols et variables socio-économiques dans la zone Mali-Sud. CMDT/KIT/IER, 26 p.
- Powell, J.M. & T.O. Williams, 1993. An overview of mixed farming systems in sub-saharan Africa. In: J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams & C. Renard. Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-saharan Africa. Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II, p 21-36.

- Powell, J.M., S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams & C. Renard, 1993. Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-saharan Africa. Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II.
- Powell, J.M., S. Fernandez-Rivera, P. Hiernaux & M.D. Turner, 1996. Nutrient cycling in integrated rangeland/cropland systems of the Sahel. *Agricultural Systems*, 52, p143-170.
- Ramisch, J., 1999. In the balance? Evaluating soil nutrient budgets for an agro-pastoral village of Southern Mali. *Managing Africa's soils N°9*, IIED, London, UK. 28 p.
- Reuler, H. van & W.H. Prins, 1993a. Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne, VKP (Dutch Association of Fertilizer Producers), Leidschendam, 259 p.
- Reuler, H. van & W.H. Prins, 1993b. Nutrition des plantes et production alimentaire. In: H. van Reuler & W.H. Prins (eds). Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. VKP. p 15-27.
- Savadogo, M., 2000. Crop residue management in relation to sustainable land use. A case study in Burkina Faso. Document sur la Gestion des Ressources Tropicales N° 31, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. 159 p.
- Schlecht, E., S. Fernandez-Rivera & P. Hiernaux, 1998. 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: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). Soil fertility management in West African land use systems. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 – 8 march 1997. p 361-367.
- Schrader, T.H. & B.H. Wennik, 1996. La lutte anti-érosive en zone CMDT. Rapport final du projet LAE. Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT), Institut Royal des Tropiques (KIT), 66 p.
- Scoones, I. & C. Toulmin, 1993. Socio-economic dimensions of nutrient cycling in agropastoral systems in dryland Africa. In: J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams & C. Renard (eds). Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-saharan Africa. Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II, p 353-369.
- Scoones, I. & C. Toulmin, 1998. Soil nutrient balances: what use for policy? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 255-267 p.
- Scoones, I., C. Reij & C. Toulmin, 1996. Gestion des terres: pratiques locales de conservation de l'eau et des sols en Afrique. In: C. Reij, I. Scoones & C. Toulmin (eds). Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA-CDCS-KARTHALA, p 11-47.
- Sédogo, M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: Incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse docteurs es sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 343 p.
- Sédogo, M., M. Bonzi & F. Ganry, 2000. Temporal backscaling, unknown losses and their estimations, VARINUTS. 4 p.
- SEP, 1996. Suivi -Evaluation - Permanent (utilisation de la base de données de l'ESPGRN).
- SEP, 1997. Suivi -Evaluation - Permanent (utilisation de la base de données de l'ESPGRN).
- SEP, 1998. Suivi -Evaluation - Permanent (utilisation de la base de données de l'ESPGRN).
- Shetty, S.V.R., N. van Duivenbooden, A. Bationo & M.V.K. Sivakumar, 1998. Stratégies agronomiques pour l'intensification des systèmes de production au Sahel. In: H. Breman & K. Sissoko (eds). L'intensification agricole au Sahel. p 727-745.
- Sissoko, K., 1998. Et demain l'agriculture? Options techniques et mesures politiques pour un développement agricole durable en Afrique sub-saharienne. Cas du Cercle de Koutiala en zone sud du Mali. Documents sur la Gestion des Ressources Tropicales 23, Wageningen, Netherlands. 184 p.
- Sissoko, K. & H. Breman, 1998. Introduction générale. In: H. Breman & K. Sissoko (eds). L'intensification agricole au Sahel. p 15-21.
- Smaling, E.M.A., 1993. Appauvrissement du sol en nutriment de l'Afrique sub-saharienne. In: H. van Reuler & W.H. Prins (eds). Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. VKP. p 59-75.
- Smaling, E.M.A. (ed), 1998. Nutrient balances as indicators of productivity and sustainability in sub-saharan African agriculture. Spécial issue. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71, 346 p.

- Smaling, E.M.A., 2000. The integrated nutrient management agenda for Africa: local knowledge, enabling policies and good science. In: *Balanced Nutrient Management Systems for Moist Savanna and Humid Forest zone of Africa*. Programme and abstracts, Cotonou, Benin, 9 -12 October, p 80 et Communication directe.
- Smaling, E.M.A., L.O. Fresco & A. de Jager, 1996. Classifying, monitoring and improving soil nutrient stocks and flows in African Agriculture. *Ambio* 25: 492-496.
- Smirnov, P., E. Mouravine, V. Storojenko & N. Rakipov, 1977. *L'agrochimie*. Editions Mir, Moscou, 279 p.
- Stangel, P.J., 1993. Nutrient cycling and its importance in sustaining crop-livestock systems in sub-saharan Africa: an overview. In: J.M. Powell, S. Fernandez-Rivera, T.O. Williams & C. Renard, *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-saharan Africa*. Proceedings of an International Conference, International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, Volume II, p 37-59.
- Sterk, G. & L. Stroosnijder, 1998. Optimising mulch application for wind erosion protection in the Sahel. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). *Soil fertility management in West African land use systems*. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4 - 8 march 1997. p 185-189.
- Stoorvogel, J.J. & E.M.A. Smaling, 1990a. Assessment of soil nutrient depletion in sub-saharan Africa: 1983-2000. Volume I: Main report (second edition), Staring Centrum, Report 28, SC-DLO, Wageningen, The Netherlands, 137 p.
- Stoorvogel, J.J. & E.M.A. Smaling, 1990b. Assessment of soil nutrient depletion in sub-saharan Africa: 1983-2000. Volume III: Literature review and description of Land Use Systems, Staring Centrum, Report 28, SC-DLO, Wageningen, The Netherlands, 162 p.
- Stoorvogel, J.J., E.M.A. Smaling & B.H. Janssen, 1993. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. *Supra-national scale*. *Fertilizer Research* 35: 227-235.
- Svensden, M. B. E., 1986. *The professional handbook of the donkey*, 248 p.
- Tiffen, M. & M. Mortimore, 1992. Environment, population growth and productivity in Kenya: A case study of Machakos District. *Development policy review* (SAGE, London, Newbury Park and New Delhi) 10: 359-387.
- Traoré, B., 1993. Bilan de la fertilité des sols en zone cotonnière au Mali. Communication atelier du Réseau d'Etude des Systèmes de Production en Afrique de l'Ouest (RESPAO). Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).
- Traoré, G., 1998. Politiques d'intensification agricole au Sahel. In: H. Breman & K. Sissoko (eds). *L'intensification agricole au Sahel*. p 801- 805.
- Traoré, A. & J.F. Martiné, 1987. Fertilisation et maintien de la fertilité des sols: rotation et associations culturales au Mali. In: *Les cultures associées au Mali*. Communications présentées au séminaire sur les cultures associées au Mali, IER/ICRISAT, Bamako, Mali, 15-17 septembre 1997, p 53-71.
- Traoré, L., H. Daou & A. Sangaré, 1987. Synthèse des résultats de pré vulgarisation sur cultures associées au Mali. In: *Les cultures associées au Mali*. Communications présentées au séminaire sur les cultures associées au Mali, IER/ICRISAT, Bamako, Mali, 15-17 septembre 1997, p 189-201.
- TSBF, 2000. *The biology and fertility of tropical soils*. Report of the Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF) 1997 - 1998, 96 p.
- Vlot, J.E. & M. Traoré, 1995. Etude des toposéquences. Résultats des mesures "physique du sol". Cercle de Koutiala, 81 p.
- Walaga, C., B. Egulu, M. Bekunda & P. Ebanyat, 2000. Impact of policy change on soil fertility management in Uganda. In: T. Hilhorst & F. Muchena (eds). *Nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems*. IIED, London, UK. p 29-44.
- Wedum, J., Y. Dombia, B. Sanogho, G. Dicko & O. Cissé, 1996. Réhabilitation des terres dégradées. Le zaï dans le cercle de Djenné (au Mali). In: C. Reij, I. Scoones & C. Toulmin (eds). *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*. CTA-CDCS-KARTHALA, p 95-102.
- Weeb, P., 1998. Leçons acquises et futures voies de recherche. In: G. Renard, A. Neef, K. Becker & M. von Oppen (eds). *Soil fertility management in West African land use systems*. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes d'exploitation d'Afrique de l'Ouest. Proceedings regional workshop, University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Centre and INRAN, Niamey, Niger, 4-8 march 1997. p 577-589.
- Williams, T.O., 1999. Factors influencing manure application by farmers in semi-arid west Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 15-22.

- 
- Windmeijer, P.N. & W. Andriessse, 1993. Inland valleys in West Africa: An agro-ecological characterisation of rice growing environments. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, No 52, 160 p.
- Wortmann, C.S. & C.K. Kaizzi, 1998. Nutrient balances and expected effects of alternative practices in farming systems of Uganda. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 71: 115-129.
- Yossi, H., B. Kaya, M. Sanogo, M. Karembé, B. Sanogo, I.L. Diarra & B.I. Diarra, 2000. Utilisation optimale de *Stylosanthes hamata* seul ou associé aux ligneux pour l'amélioration de la jachère en zone Mali- Sud. Atelier de restitution des acquis scientifiques et techniques du projet de recherche sur l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest. Bamako, Mali, 29-31 Mai, 12 p.

## Abréviations

AAGFS	Approche Amélioration de la Gestion de la Fertilité des Sols
AV	Association Villageoise
BNDA	Banque Nationale de Développement Agricole
CTSPR	Comité technique sur les systèmes de production rurale
CMDT	Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles
CRRA	Centre Régional de Recherche Agricole
Cco	Complexe Coton
Cce	Complexe Céréale
CEC	Capacité d'échange cationique
DDRS	Division de Défense et de Restauration des Sols
DRA	Direction Régional de l'Agriculture
DRAER	Direction Régionale de l'Aménagement et de l'Équipement Rural
DRAMR	Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural
DRRC	Direction Régionale de la Réglementation et du Contrôle
DRSPR	Division de Recherche sur les Systèmes de Production Rurale
ESPGRN	Equipe Système de Production et Gestion des Ressources Naturelles
FAO	Food and Agricultural Organization
F CFA	Franc de la Communauté Financière Africaine
FO	Fumure Organique
ICRAF	Centre International de Recherche en Agro – foresterie
ICRISAT	International Crop Research Institut ofr the Semi – Arid Tropics
IER	Institut d'Economie Rurale
IFDC	International Fertilizer Development Center
IFPRI	International Food Policy Research Institute
IFA	Association International des Industries d'Engrais Chimiques
IIED	International Institute for Environment and Development
LAE	Lutte Anti - Erosive
OAD	Outil d'Aide à la Décision
OGT	Outil Gestion du Troupeau
OHVN	Office de la Haute Vallée du Niger
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OP	Organisations paysannes
PAT	Potentiel Agro - démographique des terres
PIRT	Projet Inventaire des Ressources Terrestres
PLAE	Projet Lutte Anti - Erosive
PNT	Phosphate Naturel de Telemsi
PPCB	Péri - Pneumonie Contagieuse Bovine
RN	Ressources Naturelles
SAD	Système d'Aide à la Décision
SEP	Suivi - Evaluation - Permanent
SRCVO	Section Recherche sur les Cultures Vivrières et Oléagineuses
TMR	Taux Marginal de Rentabilité
TSBF	Tropical Soil Biology and Fertility Programme
UBT	Unité de Bétail Tropical

## Résumé

La disparition progressive des jachères dans les pays soudano-sahéliens de l'Afrique de l'Ouest, inquiète les agriculteurs, éleveurs et techniciens, qui se posent des questions sur les capacités du système en cours de satisfaire les besoins actuels et ceux croissants des générations futures. Dans une telle situation, la mise au repos des terres "fatiguées" et la satisfaction des besoins fourragers des animaux en saison sèche à partir des pâturages deviennent pratiquement impossibles. Cependant, ces terres "fatiguées" et ces pâturages qui se rarefient doivent produire plus pour satisfaire les besoins d'une population humaine et animale croissante. Les apports de fumure organique et minérale sont actuellement insuffisants par rapport aux exportations. Face à ces problèmes, une multitude de techniques et de méthodes visant le paysan "moyen" a été mise au point par la recherche. C'est dans ce contexte que notre étude a été menée auprès de différentes catégories d'exploitation, dans les villages de M'Peresso et Noyaradougou situés respectivement dans le bassin cotonnier avec une forte pression sur les terres et dans la zone d'expansion de la culture du coton (moins saturée). Elle a pour objectif général d'apporter une dimension complémentaire à l'étude "mise au point d'une approche amélioration de la gestion de la fertilité des sols" par une analyse approfondie de la gestion des résidus et des fumures. Les objectifs spécifiques sont de: (1) identifier les stratégies de production de la fumure et de gestion des résidus selon le niveau de pression sur les terres, (2) suivre l'évolution des apports et des exportations de NPK au fil des ans par classe d'exploitation, (3) déterminer les coûts et bénéfices de la valorisation des résidus de récolte, (4) développer un outil d'aide à la décision, prenant en compte les disponibilités en résidus de récolte, en bétail, en main d'œuvre, en équipement, et en fumure pour différentes catégories d'exploitation, (5) déterminer les potentialités de production de la fumure organique par différentes catégories d'exploitation.

Les données ont été collectées à l'aide d'une approche participative de recherche/action qui s'appuie sur des outils visuels comme les cartes d'exploitation (flux de base, flux planifiés et flux réalisés), accompagnées de guides d'entretien et de jeu de cartons. Ces données ont été complétées par des mesures de rendements, de résidus, de fumure, de poids des unités locales, des temps de manutention des résidus et des fumure et par des sondages pédologiques.

Des résultats, il ressort que les critères qui sont à la base de la diversité sont: 1) techniques/gestion (production et utilisation de fumure organique, lutte anti-érosive, respect des doses d'engrais, travail du sol), 2) structurels (nombre de bovins, nombre d'actifs, possession de charrette, type de terre dominant), 3) socio-économiques et culturels (moyens financiers, connaissance/technicité, courage/motivation). Sur la base de ces critères, 3 classes de gestion de la fertilité des sols ont été identifiées par les paysans. Il s'agit des classes I (bonne gestion), II (gestion moyenne), III (gestion faible). Cette classification tient compte des spécificités locales et est beaucoup plus basée sur la quantité totale, le volume, que sur les rapports quantité/ha.

A M'Peresso où l'environnement est saturé et où les terres sont cultivées en permanence, les exploitations utilisent 2 fois plus de fumure organique et fertilisent environ 4 fois plus de surfaces que ceux de Noyaradougou. Cependant, les quantités fumures minérales épandues à l'hectare sont plus élevées à Noyaradougou qu'à M'Peresso; comme ci, ce dernier faisait une substitution partielle des fumures minérales par des doses relativement élevées de fumure organique (FO),

tandis que le premier compensait son insuffisance de FO par des doses plus fortes d'engrais minéraux.

Les paysans de M'Peresso face à la forte pression sur les terres mettent plus d'accent sur le stockage des résidus comme fourrage et litière (environ 80% du stock). A Noyaradougou, où le problème d'alimentation des animaux est moins crucial, les exploitations mettent plus d'accent sur le compostage des résidus, suivi de leur utilisation comme litière, soit entre 80 et 95% du stock. Ainsi, les résidus sont utilisés comme fourrage par 90% des paysans enquêtés en 2000 à M'Peresso contre 25% à Noyaradougou. A M'Peresso, où le cheptel est important et où de sérieux problèmes d'alimentation des animaux existent, tant en hivernage qu'en saison sèche, les légumineuses entrent dans 78% des associations de cultures, contre 38% à Noyaradougou. A Noyaradougou, au moins 16% des résidus des principales cultures sont brûlés contre un maximum de 3% à M'Peresso.

Les terres pauvres (portions pauvres) voire en voie de dégradation, ne présentant pas des contraintes de valorisation de la fumure organique sont fertilisées en priorité. Ainsi, pour remonter le niveau de fertilité d'une partie de son champ et de profiter des arrières effets de la fumure organique sur une période de 3 – 6 ans, les paysans utilisent de fortes doses dépassant en moyenne 20 t/ha de petites portions (9-36 % des superficies en coton).

Entre 1994 et 1997, les superficies totales cultivées ont d'une manière générale augmenté au fil des ans dans toutes les classes, tandis que les quantités de fumure utilisées ont souvent évolué en dent de scie. Les quantités de fumure organique produites sont 4, 3 et 1,8 fois plus élevés respectivement dans les classes I, II et III de M'Peresso que dans les classes correspondantes à Noyaradougou. La classe I, grâce à la taille de son cheptel, de sa main d'oeuvre et de son équipement, produit plus de fumure que les classes II et III. A Noyaradougou, on constate que contrairement au compost, le taux de fumier dans la fumure organique produite croît de la classe III vers la classe I, autrement dit avec la taille du troupeau. Ainsi, les classes II et III compensent leur insuffisance de bovins en produisant plus de compost.

Le coton et le maïs sont les plus fertilisés et reçoivent 97 à 99% des fumures organiques appliquées. Si la hiérarchie entre les différentes classes (catégories) est respectée en terme de quantité totale (volume) de fumure utilisée, il n'en est souvent pas de même pour les doses à l'hectare. Contrairement aux classes II et III, la classe I dans sa stratégie de gestion de la fumure organique ne fertilise généralement pas le maïs. La classe III cherche à résoudre les problèmes de soudure et d'autosuffisance alimentaire à travers le maïs, tandis que la classe I qui est autosuffisante, produit surtout pour la vente. Indépendamment du village et malgré les fluctuations inter-annuelles, on constate que les doses de FO utilisées en 1997 sont supérieures à celles de 1994/1995. Les doses de fumure minérale fluctuent d'année en année et il est difficile de dégager une tendance.

A M'Peresso, l'essentiel des résidus stockés par la classe I est utilisé pour l'alimentation du bétail, tandis que la classe III qui a 3,6 fois moins d'UBT, utilise une bonne partie de son stock comme litière. A Noyaradougou, 64% du stock de résidus est utilisé comme fourrage et litière dans la classe I, tandis que les classes II et III possédant moins d'animaux, utilisent environ 60% de leur stock pour la production de compost.

Les rendements moyens du coton ont progressivement diminué à Noyaradougou en passant de 1,8 en 1994 à 1,1 t/ha en 1997, tandis que la moyenne 1995 - 1997 oscille autour de 1 t à M'Peresso.

Indépendamment du village et de la classe, le coton qui est la principale culture de rente de la zone d'étude, autrement dit le moteur du système coton/céréales/élevage, a un bilan partiel NPK positif. Ce bilan partiel tient compte uniquement des flux facilement mesurables comme les apports de fumures organique et minérale et les exportations d'éléments nutritifs à travers les graines et les résidus de récolte. La valeur de N ou K est au moins 2 fois plus élevée à M'Peresso qu'à Noyaradougou. M'Peresso utilise plus de fumure et produit (rendements) moins de coton que Noyaradougou.

Le bilan partiel du maïs est fonction des objectifs de production et s'améliore de la classe I vers la III quelque soit le village. Le meilleur bilan en potassium de la classe III par rapport aux 2 autres est principalement dû à cette gestion du risque de déficit alimentaire.

Les bilans partiels NPK du sorgho et du mil sont négatifs pour toutes les classes. Pour le sorgho, aucune tendance nette des "bons gestionnaires" (classe I) vers les "faibles gestionnaires" (classe III) ou vis versa n'apparaît. Pour le mil, le déficit croît de la classe III vers la classe I, parallèlement aux exportations de résidus par le troupeau qui croissent dans le même sens. Le bilan du mil associé au maïs (cas de Noyaradougou) est meilleur à celui du mil pur (cas de M'Peresso).

Le bilan partiel de l'exploitation en azote est moins alarmant. Il est positif à Noyaradougou, tandis qu'il est presque équilibré à légèrement déficitaire (0,7 et -2,5 kg/ha/an) à M'Peresso. Indépendamment du village et de la classe, le bilan du phosphore est positif et varie entre 2,9 et 6,6 kg/ha/an. Le bilan partiel du potassium est déficitaire dans toutes les classes exceptée la classe III de Noyaradougou.

Le bilan partiel de l'exploitation s'est d'une manière générale amélioré au fil des ans grâce à l'augmentation des apports de 1997 par rapport aux années précédentes, mais aussi à la légère baisse des exportations (graines et résidus) dans toutes les classes exceptée la classe I de Noyaradougou.

Le bilan complet de l'exploitation en azote est indépendamment du village et de la classe négatif. Le déficit est plus marqué dans la classe I que dans les deux autres. Contrairement au bilan partiel, le bilan complet de l'azote à M'Peresso est meilleur à celui de Noyaradougou. La différence entre le bilan partiel et complet oscille entre 26 et 30 kg/ha d'azote à M'Peresso et entre 43 et 46 kg/ha à Noyaradougou. Ces différences sont essentiellement dues aux pertes d'azote par lessivage et par volatilisation.

Le bilan complet de l'exploitation en phosphore est indépendamment du village et de la classe positif et suit la même tendance que le bilan partiel. Le bilan complet du potassium est indépendamment du village et de la classe déficitaire. Comme dans le cas du bilan partiel, ce déficit est moins marqué à Noyaradougou où le système de culture est basé le coton-maïs qu'à M'Peresso où les mil-sorgho occupent 48% de l'assolement avec des rotations de types coton-mil et coton-sorgho.

Le passage du bilan partiel au bilan complet affecte les éléments nutritifs selon leur degré de mobilité et les différences sont plus élevées pour l'azote, suivi du potassium et enfin du phosphore.

Des données obtenues quant à la valeur monétaire des dépenses en énergie, matériel, et en temps qu'il faut pour transformer les résidus en fumier ou en compost, il ressort qu'1 kg de fumier revient à 4 FCFA contre 12 F CFA pour le compost. A M'Peresso aussi bien qu'à Noyaradougou, la différence de rendement au profit de la portion ayant reçu la fumure organique varie de 300 – 750 kg/ha de coton graine en première année et de 90 à 480 kg/ha de céréale en deuxième année. Sur le plan économique, l'utilisation de la fumure organique en première année a permis de réaliser un bénéfice net marginal (basé sur les prix de 1998) supérieur à 70 000 F CFA à M'Peresso. A Noyaradougou, pour la même période et les mêmes prix, le bénéfice net marginal était de 10152 F CFA pour une fumure ayant 50% de matière sèche contre une perte de 7996 F CFA/ha si la fumure contient 70% de MS. En deuxième année, autrement dit, en considérant l'arrière effet de la fumure organique, le bénéfice net marginal est indépendamment du village, du prix de cession du coton et du taux de matière sèche de la fumure organique, supérieur à 25000 F CFA et oscille entre 13276 et 97020 F CFA pour les deux ans pris ensemble (effet plus arrière effet). Si en première année chaque franc investit en fumure organique n'était pas récupéré, les 2 ans pris ensemble permettent aux paysans de récupérer en plus du franc investi 0,2 à 2 F CFA. Au vue des Taux Marginaux de Rentabilité, il ressort que le prix de vente du coton de 1998 (soit 185 F CFA/kg) est plus encourageant en terme d'investissement dans la fumure organique que celui de 1999 (150 F CFA/kg).

Pour compenser le surplus de graines et résidus produit dans le traitement avec FO, d'autres éléments nutritifs venant hors du système doivent être apportés, car les seuls résidus ne suffiront pas. Cependant, des efforts doivent encore être faits pour recycler le maximum de résidus comme fourrage, litière, compost et même comme intrant des ordures.

En matière de gestion des résidus et des fumures, il ressort que les décisions sont prises dans 65% des exploitations par le chef des travaux, dont l'âge varie entre 17 et 35 ans. De l'outil d'aide à la décision, il ressort que toutes les exploitations peuvent nourrir leurs animaux pendant 3 mois, période de déficit fourrager au delà de laquelle, les classes I déficitaires seront obligées de profiter de l'excédent de résidus des classes II et III et des pâturages communs.

Les fanes de légumineuses constituent 3–4 et 0,3–1,2% des résidus disponibles par classe d'exploitation respectivement à M'Peresso et à Noyaradougou et sont insuffisantes pour le maintien des animaux nourris à base de grossier. Ainsi, en stabulation permanente, toutes les classes sans exception doivent compléter le fourrage disponible par des apports extérieurs pour satisfaire les besoins immédiats de la saison sèche chaude en cours.

De l'outil d'aide à la décision, il ressort que la production de fumier peut être augmentée d'au moins 4 t dans les classes I et de 1 t dans les classes III.

Les principales contraintes à la gestion des résidus sont selon les paysans enquêtés, liées au manque de main d'œuvre, de charrette, surcharge du calendrier, à la non maîtrise des pratiques ou à des problèmes d'organisation au sein de l'exploitation. A cause de l'insuffisance de la main d'œuvre, 37% des exploitations suivies dans le cadre des coûts et bénéfices de la gestion des résidus et des fumures n'ont pas pu épandre leur fumure. Les exploitations concernées sont toutes

de la classe III, qui a très peu d'actifs. A cela s'ajoute la faible capacité de stockage des exploitations et surtout le manque d'infrastructures adéquates de conservation des résidus stockés.

Concernant le système d'élevage, il faut souligner que le déficit en fourrage devient de plus en plus chronique à M'Peresso, en saison sèche aussi bien qu'en hivernage. A Noyaradougou, la santé animale constitue la principale contrainte. Indépendamment du village et de la classe, plus de 85% des exploitations n'ont aucune idée sur les normes de fourrage ou de litière qu'il faut par UBT/jour. En effet, bien que ces normes ne constituent pas une priorité pour la majeure partie des paysans, leur connaissance constitue un élément favorable à leur prise en compte.

En perspective, l'état doit faire des contrat-plans avec les Organismes de Développement Rural et Organisations Non-Gouvernementales chargés de l'exécution des grands projets de développement. Ces contrat-plans doivent inclure l'alphabétisation des jeunes ruraux, âgés de 17-35 ans et leur formation en fertilité et fertilisation des terres, en alimentation et soins de santé des animaux etc. L'état, à travers les organismes de développement doit prôner une politique favorisant les aménagements, l'équipement en matériel de transport, l'augmentation des superficies des légumineuses, la rémunération à leur juste valeur des investissements en matière de gestion de la fertilité.

La recherche doit mettre plus d'accent sur la participation des utilisateurs de ses résultats dans les différentes phases de la mise en oeuvre des technologies. Les tests de faisabilité de crédit élevage ou des fonds de roulement pour les activités de gestion de la fertilité doivent être encouragés par la Commission Nationale de la Recherche Scientifique et Technique. Les futures recherches doivent mettre un accent sur l'identification des avantages et inconvénients de l'utilisation de fortes doses de fumure organique sur de petites portions. Ainsi, les paysans, vulgarisateurs et chercheurs seront éclairés sur le bien fondé ou non de cette pratique et par la même occasion, la base de données sur les pertes difficiles à mesurer (comme le lessivage) pourra être enrichie. La validation de l'outil d'aide à la décision doit être poursuivie en terme de normes de litière par saison et de résidus par compostière.

Au niveau exploitation, il revient aux chefs d'exploitation de gérer de façon transparente le revenu et de créer les conditions pour une meilleure motivation des jeunes.

## Samenvatting

De voortdurende achteruitgang van het areaal braakgronden verontrust de boeren, de veehouders en de landbouwkundigen, die zich allen afvragen of het huidige systeem in staat is te voldoen aan de huidige behoeften en meer nog, aan de hogere behoeften van toekomstige generaties. In de tegenwoordige situatie is het bijna onmogelijk de uitgemergelde bodems te laten regenereren en via de natuurlijke weiden te voldoen aan de voederbehoeften van het vee in het droge seizoen. Bovendien, moeten die uitgemergelde bodems en de schaarser wordende natuurlijke weiden eigenlijk meer produceren om te voldoen aan de behoefte van de groeiende menselijke en dierlijke populatie. De aanvoer van nutriënten in organische en anorganische meststoffen is te laag om de afvoer in producten te compenseren. In antwoord op deze problemen is vanuit het onderzoek een veelheid aan technieken en methoden voorgesteld, gericht op de 'gemiddelde' boer. Binnen deze context heeft de huidige studie plaats gevonden, gericht op verschillende categorieën huishoudens in de dorpen M'Peresso en Noyaradougou, respectievelijk gelegen in het katoenbasin met een hoge druk op de grond, en in de zone waar de katoenverbouw zich uitbreidt en er nog minder druk op de grond bestaat.

Het algemene doel van de studie was een dimensie toe te voegen aan de studie 'ontwikkeling van een verbeterde methode voor beheer van de bodemvruchtbaarheid', door een meer diepgaande analyse van het beheer van gewasresten en meststoffen. De specifieke doelstellingen waren: (1) identificeren van strategieën voor het produceren van mest en het beheer van gewasresten bij verschillende mate van druk op de grond, (2) vervolgen van de aanvoer en afvoer van N, P en K over de tijd voor de verschillende klassen van landbouwbedrijven, (3) vaststellen van de kosten en baten verbonden aan het tot waarde brengen van gewasresten, (4) ontwikkelen van een beslissingsondersteunend systeem, dat rekening houdt met de beschikbaarheid van gewasresten, grootte van de veestapel, beschikbaarheid van arbeid en materieel en van mest voor de verschillende klassen van landbouwbedrijven, (5) vaststellen van de mogelijkheden voor het produceren van organische mest door de verschillende klassen van landbouwbedrijven.

De gegevens zijn verzameld via participatieve onderzoeksmethoden die gebruik maken van visuele hulpmiddelen, zoals kaarten van het bedrijf (stromen in de basissituatie, geplande stromen en gerealiseerde stromen), aangevuld met gesprekstechnieken en kaartspelen. Deze gegevens zijn aangevuld met bepalingen van gewasopbrengsten, opbrengsten aan gewasresten en mest, gewichten van lokale maten, van de tijd besteed aan behandeling van gewasresten en mest en met bodemanalyses.

De resultaten laten zien dat de belangrijkste karakteristieken die de diversiteit van de boerenhuishoudens bepalen, zijn: 1) productietechnieken/beheer (productie en gebruik van organische mest, anti-erosie-maatregelen, gebruik van kunstmest, bodembewerking), 2) structuur van de onderneming (aantal stuks rundvee, aantal arbeidskrachten, al of niet bezitten van een kar, belangrijkste bodemtype), sociaal-economisch en cultureel (financiële middelen, kennis/inzicht, motivatie/zelfbewustzijn). Op basis van deze criteria zijn drie klassen geïdentificeerd met betrekking tot het beheer van bodemvruchtbaarheid, namelijk I (goed beheer), II (middelmatig beheer), III (matig beheer). Deze classificatie houdt rekening met lokale omstandigheden, en is meer gebaseerd op totale hoeveelheden van de verschillende productiemiddelen dan op de intensiteit, d.w.z. de hoeveelheden per eenheid van oppervlak.

In M'Peresso, waar de draagkracht van de omgeving is bereikt, en alle grond permanent bebouwd wordt, gebruiken de boerenbedrijven twee maal zoveel organische mest en bemesten ongeveer een vier keer zo groot oppervlak dan die in Noyaradougou. Echter, de hoeveelheden kunstmest per hectare zijn veel hoger in Noyaradougou; als het ware vindt in M'Peresso een gedeeltelijke substitutie plaats van kunstmest door relatief hoge doses organische mest (OM), terwijl in Noyaradougou het gebrek aan organische mest wordt gecompenseerd door relatief hoge doses kunstmest.

De boeren in M'Peresso, geconfronteerd met de hoge druk op de grond, besteden meer aandacht aan opslag van gewasresten voor gebruik als veevoer en strooisel (ongeveer 80% van de totale hoeveelheid die wordt opgeslagen). In Noyaradougou, waar het probleem van tekorten aan veevoer minder groot is, wordt een groter deel van de gewasresten gebruikt voor het maken van compost, en daarna voor strooisel, in totaal zo'n 80-95% van de totale voorraad. In M'Peresso gebruikt 90% van de bedrijven gewasresten als veevoer, tegen zo'n 25% in Noyaradougou. In M'Peresso, waar de veedichtheid hoog is, en de problemen met voederbeschikbaarheid groot, zowel in de regentijd als in de droge tijd, maken vlinderbloemigen in 78% van de gevallen deel uit van menigteelten, tegen 38% in Noyaradougou. In Noyaradougou wordt tenminste 16% van de resten van de voornaamste gewassen verbrand, tegen slechts 3% in M'Peresso.

Armere gronden (armere delen van percelen), bezig te degraderen, die geen beperkingen kennen met betrekking tot het tot waarde brengen van organische mest, worden bij voorkeur bemest. Dus, om het vruchtbaarheidspeil van een deel van het perceel te verhogen, en te profiteren van residuele effecten over een periode van 3-6 jaar, dienen de boeren zeer hoge doses (meer dan 20 t/ha) organische mest toe aan beperkte (9-36%) delen van hun katoenvelden.

Tussen 1994 en 1997 zijn de bebouwde oppervlakken in alle klassen toegenomen, terwijl de hoeveelheid toegediende mest een zaagtand-curve in de tijd vertoont. De hoeveelheden geproduceerde organische mest zijn respectievelijk 4, 3 en 1,8 maal zo hoog in de klassen I, II en III in M'Peresso dan in de overeenkomstige klassen in Noyaradougou. Bedrijven van klasse I produceren meer mest dan die in klassen II en III als gevolg van hun grotere veestapel, hun hogere arbeidsbeschikbaarheid en meer materiële middelen. In Noyaradougou neemt, in tegenstelling tot de compost, het aandeel dierlijke mest in de totale hoeveelheid organische mest toe van klasse I naar klasse III, of met andere woorden met toenemende grootte van de veestapel. Dus, de bedrijven in klassen II en III compenseren de lagere productie van dierlijke mest door meer compost te produceren.

Katoen en mais worden het meest bemest en krijgen 97 tot 99% van alle toegediende organische mest. Hoewel de hiërarchie tussen de verschillende klassen blijft bestaan in termen van de totale hoeveelheid mest die wordt toegediend, is dat vaak niet het geval met de dosis per hectare. In tegenstelling tot de klassen II en III, gebruiken de bedrijven van klasse I over het algemeen geen mest op de mais. De bedrijven van klasse III proberen hun voedselproblemen op te lossen via mais, terwijl die van klasse I, die zelfvoorzienend zijn in voedsel, vooral voor de verkoop produceren. In beide dorpen zijn de hoeveelheden organische mest die gebruikt worden in 1997 groter dan in 1994/1995, hoewel de jaar-op-jaar variabiliteit hoog is. De doses kunstmest fluctueren ook van jaar tot jaar, maar daarin is geen trend te ontdekken.

In M'Peresso wordt het grootste deel van de opgeslagen gewasresten door bedrijven van klasse I gebruikt voor veevoer, terwijl die van klasse III, die 3,6 maal minder vee bezitten, een aanzienlijk deel van de opgeslagen gewasresten gebruiken als strooisel. In Noyaradougou wordt 64% van de opgeslagen gewasresten gebruikt als veevoer en als strooisel door bedrijven van klasse I, terwijl die van klassen II en III, die minder dieren bezitten, ongeveer 60% van de voorraad gebruiken voor het maken van compost.

De gemiddelde katoenopbrengsten in Noyaradougou zijn voortdurend gedaald van 1,8 t/ha in 1994 tot 1,1 in 1997, terwijl het gemiddelde voor de periode 1995-1997 in M'Peresso rond de 1 t/ha schommelde.

In beide dorpen en voor alle klassen heeft katoen, dat het voornaamste handelsgewas is in de studieregio, of met andere woorden, de motor van het systeem katoen/graan/veehouderij, een positieve partiële stikstof- (N)-balans. De waarden van de balansen van N en kali (K) zijn tenminste twee keer zo hoog in M'Peresso dan in Noyaradougou. In M'Peresso wordt meer organische mest gebruikt, terwijl de opbrengsten lager zijn.

De balansen van mais hangt af van het productiedoel, en wordt gunstiger van klasse I naar klasse III in beide dorpen. De gunstiger K-balansen van klasse III vergeleken met de andere twee klassen, is vooral het gevolg van het feit dat in die klasse mais wordt verbouwd ten behoeve van de voedselzekerheid.

De partiële balansen van N, P en K van sorghum en gierst zijn negatief voor alle klassen. Voor sorghum is er geen trend te ontdekken, gaande van goede beheerders (klasse I), via middelmatige beheerders (klasse II) naar slechte beheerders (klasse III), of omgekeerd. Voor gierst wordt de balans meer negatief gaande van klasse III naar klasse I, parallel aan het gebruik van gewasresten door de veestapel, die in dezelfde richting groter wordt. De balans voor gierst in mengcultuur met mais (Noyaradougou) is gunstiger dan die van de monocultuur van gierst (M'Peresso).

De partiële N-balans per bedrijf is minder ongunstig. De waarde is positief in Noyaradougou en ongeveer 0 of licht negatief (0,7-2,5 kg/ha/j) in M'Peresso. In beide dorpen en voor alle klassen is de fosfor- (P)-balans positief, met waarden tussen 2,5 en 6,6 kg/ha/j. De partiële K-balans is negatief voor alle klassen, behalve voor klasse III in Noyaradougou.

De partiële balansen per bedrijf wordt in algemene termen gunstiger in de loop van de tijd dank zij de hogere aanvoer in 1997 vergeleken met de voorafgaande jaren, maar ook door een lichte daling van de opbrengsten (graan en gewasresten) in alle klassen, behalve in klasse I in Noyaradougou.

De volledige N-balans per bedrijf is voor beide dorpen en voor alle klassen negatief. Het tekort is hoger voor klasse I dan voor de twee andere klassen. In tegenstelling tot de partiële balans is de volledige N-balans voor M'Peresso gunstiger dan voor Noyaradougou. Het verschil tussen de partiële balans en de volledige balans schommelt tussen de 26 en 30 kg/ha N in M'Peresso en tussen 43 en 46 kg in Noyaradougou. Deze verschillen zijn vooral terug te voeren op verschillen in uitspoeling en vervluchtiging.

De volledige P-balansen per bedrijf is in beide dorpen en voor alle klassen positief en vertoont dezelfde tendens als de partiële balansen. De volledige K-balansen is voor beide dorpen en voor alle klassen negatief. Zoals voor de partiële balansen zijn de tekorten groter in Noyaradougou waar het bedrijfssysteem gebaseerd is op de rotatie katoen-mais, terwijl in M'Peresso 48% van het areaal wordt bebouwd met katoen-gierst en katoen-sorghum.

De verschillen tussen de partiële balansen en de volledige balansen voor de verschillende voedingselementen hangen af van hun mate van mobiliteit en zijn derhalve het grootst voor stikstof, gevolgd door kali en tenslotte fosfor.

De gegevens met betrekking tot de monetaire waarde van de inzet aan energie, materialen en tijd bij de transformatie van gewasresten in mest of compost, laten zien dat de waarde van mest uitkomt op 4 FCFA per kg en voor compost op 12. In M'Peresso, zowel als in Noyaradougou, varieert het verschil in opbrengst ten gunste van het deel van het veld waaraan organische mest werd toegediend, tussen 300 en 750 kg/ha katoenzaad in het eerste jaar en tussen 90 en 480 kg/ha graan in het tweede jaar. Het gebruik van organische mest heeft geleid tot een netto marginale opbrengst (gebaseerd op 1998-prijzen) van meer dan 70.000 FCFA in M'Peresso. In Noyaradougou was de netto marginale opbrengst (onder dezelfde aannamen) 10.152 FCFA voor mest met 50% drogestof en -7.996 FCFA voor mest met een drogestofgehalte van 70%. In het tweede jaar, wanneer ook het residuele effect in de beschouwing wordt betrokken, is de marginale opbrengst voor beide dorpen, onafhankelijk van de prijs van de katoen, en het gehalte aan drogestof van de mest, hoger dan 25.000 FCFA en varieert tussen 13.276 en 97.020 FCFA (direct en residueel effect). In het eerste jaar wordt dus niet onder alle omstandigheden iedere franc geïnvesteerd in organische mest volledig terugverdiend, maar voor de beide jaren samen krijgen de boeren per geïnvesteerde franc een extra opbrengst van 0,2 tot 2 FCFA. In termen van marginale rentabiliteit is de katoenprijs van 1998 (185 FCFA/kg) gunstiger voor investeringen in organische mest dan de prijs van 1999 (150 FCFA).

Om de meeropbrengst aan katoenzaad en gewasresten in de behandeling met OM en de daarmee gepaard gaande hogere nutriëntenonttrekking te compenseren, moeten nutriënten van buiten het systeem worden aangevoerd, want recirculatie van gewasresten alleen is onvoldoende. Niettemin moet wel alle mogelijke moeite worden gedaan om zoveel mogelijk gewasresten te recirculeren via veevoer, strooisel, compost en zelfs als input in het huisvuil.

Beslissingen met betrekking tot het beheer van gewasresten en mest worden in 65% van de bedrijven genomen door de 'chef des travaux', waavan de leeftijd varieert tussen 17 en 35 jaar. De resultaten van het in deze studie ontwikkelde beslissingsondersteunende systeem laten zien dat alle bedrijven hun dieren gedurende drie maanden van voedertekorten kunnen voeden, waarna de bedrijven van klasse I gebruik moeten maken van het overschot aan gewasresten van de klassen II en III en van de natuurlijke weiden.

Het stro van vlinderbloemigen vertegenwoordigt 3-4 en 0,3-1,2% van de totale hoeveelheid gewasresten per bedrijf, in respectievelijk M'Peresso en Noyaradougou en is onvoldoende voor voeding op onderhoudsniveau van vee, gevoerd met alleen ruwvoer. Dus, in systemen waar de dieren continue opgestald zijn, moeten alle klassen het beschikbare voer aanvullen met aanvoer van buiten het systeem om de directe voederbehoeften in het warme droge seizoen te kunnen dekken.

De resultaten van het ontwikkelde beslissingsondersteunende systeem laten zien dat de productie van mest zou kunnen worden verhoogd met op z'n minst 4 t op de bedrijven van klasse I en met 1 t op de bedrijven van klasse III.

Volgens de geïnterviewde boeren zijn de belangrijkste beperkingen met betrekking tot het beheer van gewasresten terug te voeren op het gebrek aan arbeid, aan karren, tijdgebrek, onbekendheid met de technieken, en op problemen rond de organisatie op het bedrijf. Als gevolg van gebrek aan arbeid, heeft 37% van de bedrijven die werden gevolgd in het kader van de studie naar economische aspecten van het beheer van gewasresten en mest, geen kans gezien hun mest daawerkelijk uit te rijden. Dit betreft allemaal bedrijven behorend tot klasse III, die weinig arbeidskrachten hebben. Daar komt nog bij dat de meeste bedrijven een geringe opslagcapaciteit voor gewasresten hebben en onvoldoende infrastructuur om de opgeslagen gewasresten goed te conserveren.

Met betrekking tot het veehouderijsysteem moet er de nadruk op worden gelegd dat het voedergebrek steeds nijpender wordt in M'Peresso, zowel in het droge seizoen als in het regenseizoen. In Noyaradougou is de slechte diergezondheid de voornaamste beperking. In beide dorpen en voor alle klassen heeft meer dan 85% van de boeren geen enkel idee van voedernormen of van normen voor gebruik van strooisel. En hoewel die normen geen hoge prioriteit hebben voor het grootste deel van de boeren, zou kennis van die normen een gunstig effect kunnen hebben op het gebruik van gewasresten.

Met het oog op de toekomst zouden vanuit het beleid contracten moeten worden gesloten met plattelandontwikkelings-organisaties en niet-gouvernementele organisaties die verantwoordelijk zijn voor de uitvoering van grote ontwikkelingsprojecten. Deze contracten zouden betrekking moeten hebben op alfabetisering van plattelandjongeren tot de leeftijd van 35 jaar, en scholing op het gebied van bodemvruchtbaarheid en bemesting, diervoeding, diergezondheidszorg, etc. De staat zou, via deze ontwikkelingsorganisaties een politiek moeten voeren, gericht op verbetering van de inrichting van het platteland, uitbreiding van de transportcapaciteit, uitbreiding van het areaal vlinderbloemigen, en verbetering van het rendement op investeringen in bodemvruchtbaarheidsbeheer.

Het onderzoek zou meer aandacht moeten besteden aan deelname van de eindgebruikers van de resultaten in de verschillende fasen van technologie-ontwikkeling. Onderzoek naar de mogelijkheden voor het verstrekken van kredieten voor veeteeltontwikkeling of het instellen van 'revolving funds' voor activiteiten met betrekking tot bodemvruchtbaarheidsbeheer moet worden aangemoedigd door de Nationale Commissie voor Wetenschappelijk en Technisch Onderzoek (CNRST). Toekomstig onderzoek moet de nadruk leggen op identificatie van de voor- en nadelen van het gebruik van hoge doses organische mest op beperkte delen van het areaal. Op die manier kunnen boeren, voorlichters en onderzoekers beter inzicht krijgen in deze techniek, en kunnen tevens gegevens worden gegenereerd met betrekking tot de moeilijk te kwantificeren stromen, zoals uitspoeling. Validatie van het beslissingsondersteunend systeem moet worden uitgevoerd, vooral in termen van de normen voor strooiselgebruik in de verschillende seizoenen en van de benodigde gewasresten voor compostering.

Op bedrijfsniveau is het aan de 'chef d'exploitation' op een doorzichtige manier de bedrijfsinkomsten te beheren en omstandigheden te creëren die motiverend zijn voor de jonge bedrijfsmedewerkers.

## Summary

The gradual decline of land under fallow in semi-arid West Africa is a matter of great concern to farmers, herdsman and research and extension staff alike. They seriously wonder whether the system will be capable to satisfy the food needs of a growing population. In the current situation, putting agricultural land to fallow is not an option, and provision of sufficient animal feed from natural grazing land in the dry season is threatened. Meanwhile, the 'tired' soils have to provide more food and feed. As nutrient imports through fertilizers and organic manure are generally below nutrient exports in crops, residues and losses such as leaching and erosion, fertility decline seems to be an ever-increasing threat to agriculture.

To curb this development, an array of integrated nutrient management techniques has been suggested by researchers in the recent past, but these are often geared towards the 'average' farmer. The present study however, focuses on three 'soil fertility management' categories of households in two villages in Southern Mali (M'Peresso and Noyaradougou), situated in the cotton zone with strong and moderate pressure on land, respectively. The study was carried out in the context of ongoing activities in the field of design of improved soil fertility management techniques, and singles out people's management of crop residues and manures. The specific objectives of the research project are, for each soil fertility management category and for each village:

1. to identify the strategies in manure production and management of crop residues and to measure current production and availability;
2. to monitor farm-level inputs and outputs of N, P and K;
3. to perform a cost/benefit analysis for the management of crop residues;
4. to develop a decision support tool for crop residue management, taking into account current and potential presence of crop residues, manures, animals, labour, and farm implements;
5. to determine the potential production of manure.

Data have been collected through an action research approach, making use of visual aids such as farm maps, showing current, desirable and realised nutrient flows, accompanied by communication techniques and game techniques. Hard data are collected by measuring economic yields and crop residue production, time spent in manure handling, quantification of local units, and soil analyses.

The soil fertility management categories have been defined on the basis of the following characteristics:

- management (manure production, erosion control, fertilizer application, tillage);
- farm resources (number of animals, labor force, farm implements, soil fertility level);
- socio-economic setting (financial means, level of knowledge, motivation).
- 

The resulting classification (class I - good management until class III - poor management) takes account of local environmental differences, and is more based on quantities and volumes, than on intensities, expressed on a per unit area basis.

In M'Peresso (high pressure on the land, permanent cultivation), farm households use twice as much organic manure and fertilize four times the surface area as those in Noyaradougou. However,

the amounts applied per ha are larger in Noyaradougou, and the use of mineral fertilizer is also higher than in M'Peresso, compensating for the lower total amounts of manure applied.

Farmers in M'Peresso, more under land pressure than their peers in Noyaradougou, put much emphasis on collection and re-use of crop residues as fodder and bedding material (approximately 80% of the total residues collected). In Noyaradougou, where pressure is less, residues are used for compost production in the first place, followed by bedding material. Strikingly, 90% of farmers in M'Peresso in 2000 used crop residues as animal feed against a mere 25% in Noyaradougou. Also, M'Peresso farmers have leguminous fodder species intercropped on 78% of their fields, against 38% in Noyaradougou. And lastly, a mere 3% of crop residues in M'Peresso is burned, against at least 16% in Noyaradougou.

The least fertile (portions of the) land, already in the process of soil fertility decline, where nutrient deficiency is the major yield-limiting factor, are the first to be fertilized. In order to raise fertility levels of these portions of land, and to benefit from residual effects for a 3-6 year period, farmers apply large amounts of manure, often exceeding 20 tons/ha. The fertilized portions cover between 9 and 36% of the total area under cotton.

Between 1994 and 1997, total cultivated area in both villages has increased in all categories, whereas manure applications show a seesaw pattern. In M'Peresso (high pressure), 4, 3 and 1.8 times as much manure was produced for Class I, II and III respectively, than in the parallel classes in Noyaradougou. Class I produces the largest amounts of manure, as these farm households own more animals, avail of more labour and own more and better farm implements. In Noyaradougou, farmers have fewer animals and, as a consequence, less manure. Class III households have very few animals and thus little manure, and compensate this by producing more compost.

Cotton and maize receive 97 to 99% of the applied manures. In terms of total quantities of manure used, Class I exceeds Class II, which again exceeds Class III. In terms of quantities per ha though, Class II and III households appear to apply considerable quantities of manure to maize, whereas Class I farmers, who are already food secure, apply practically all their manure to cotton in order to raise cash income. In general for both villages, the use of manure in 1997 was higher than in 1994/5. Use of mineral fertilizers fluctuates between years, and it appeared hard to detect a trend.

In M'Peresso, Class I households feed the major part of residues to their animals. Class III households, however, having 3.6 times fewer animals, in terms of Tropical Livestock Units (TLU), use a considerable amount as bedding material. In Noyaradougou, 64% of the residues is used as fodder and bedding in Class I, whereas Class II and III use 60% for compost production.

Average cotton yields in Noyaradougou have decreased from 1.8 t/ha in 1994 to 1.1 t/ha in 1997, whereas yields in M'Peresso fluctuated around 1 t/ha throughout the research period.

In both villages and for all classes, cotton turned out to have positive 'partial' nutrient balances (N, P and K). This incomplete balance only includes the more visible and measurable components of a nutrient balance, *i.e.*, mineral and organic fertilizer inputs and nutrient withdrawals in crops and residues. N and K values in M'Peresso are twice as high as those in Noyaradougou, due to higher manure levels and lower yields, *i.e.*, lower nutrient withdrawals in crops. The same balance for

maize depends largely on production strategy and improves from Class I to Class III in both villages. For sorghum and millet, NPK partial balances are negative. For sorghum, no differences seem to occur among classes, but millet balances are the worst for Class I, where residues are removed to feed animals. Millet grown in association with maize (Noyaradougou) has less negative nutrient balances than pure millet (M'Peresso).

The partial balances at farm level are less alarming. For nitrogen, the balance is positive in Noyaradougou, and close to zero in M'Peresso. The P balance is positive for both villages and all classes (2.9-6.6 kg/ha/yr), but the K balance is negative in all classes except for Class III in Noyaradougou. The partial balances at farm level have improved over the years thanks to higher input levels in 1997 as compared to previous years, and to lower crop and residue yields in all classes, except for Class I in Noyaradougou.

The 'complete' farm balance for nitrogen is negative in all cases, those for Class I being more negative than for the other two classes. Unlike the 'partial' balance, the 'complete' nitrogen balance for M'Peresso is better than that for Noyaradougou. The difference between complete and partial balance is 26-30 kg/ha in M'Peresso and 43-46 kg/ha in Noyaradougou. Those differences are mainly the result of leaching and gaseous loss processes. The complete balance for phosphorus is positive in all cases. For potassium, the balance is negative in all cases. As for the partial balances, the deficits are less marked in Noyaradougou, where the cropping system is largely based on cotton-maize, than in M'Peresso where millet and sorghum occupy 48% of the rotation systems with cotton. Processes included in calculating the complete balance cause larger differences for the more mobile elements, in the order nitrogen > potassium > phosphorus.

Studying monetary values of energy, materials and time to transform crop residues into manure or compost, revealed that the costs of 1 kilogram manure are about 4 West African Francs (FCFA), and 1 kilogram of compost 12 FCFA. In both, M'Peresso and Noyaradougou, yield increases as a result of manure application amount to 300-750 kg/ha cotton in the first year, and 90-480 kg/ha cereals in the second year (residual effect). In economic terms, the use of manure in the first year in M'Peresso gave marginal net benefits higher than 70,000 FCFA. In Noyaradougou, only 10,000 FCFA was realized if a dry matter content of 50% for manure was assumed, compared to a loss of around 8000 FCFA, if dry matter content was 70%. In the second year, when the residual effect of the organic manure is also taken into account, net marginal benefits of more than 25,000 FCFA are realized in both villages, irrespective of dry matter content. For the two years combined, net benefits vary between 13,000 and 97,000 FCFA. Hence, in the first year the investments in organic manure are not always fully recovered, but for the two years combined, net benefits vary between 0.2 and 2 FCFA per FCFA invested. When looking at cost/benefit ratios, the cotton prices of 1998 (185 FCFA/kg) offer more incentives to farmers to produce manure than 1999 price levels (150 FCFA).

To compensate for the higher nutrient exports in the treatments with OM, nutrients have to be imported from outside the system, as the input in crop residues is insufficient to maintain soil fertility level. At the same time, however, crop residues should be recycled as much as possible, as animal feed, bedding, compost and even as addition to household waste.

At farm level, the 'chef de travaux', in charge of planting and harvesting, in 65% of the cases decides on the type of residue and manure management. His age is between 17 and 35. The

decision support tool shows that at all farms, sufficient residues are being produced to feed the animals for a period of 3 months at times of poor availability of natural feeds. Following that period, Class I farmers run short and have to obtain surpluses from their Class II and III neighbours or look for grazing lands elsewhere.

Residues from leguminous species make up a mere 3-4 and 0,3-1,2% of the total residues in M'Peresso and Noyaradougou respectively, which is insufficient to feed the animals at maintenance level on the basis of roughages only. In case of permanent stall-feeding, all classes will have to supplement their own feed supplies with external feedstuffs, in order to satisfy the feed requirements of the animals in the warm dry season. The decision support tool moreover shows that the production of manure could be increased by 1 (Class III) to 4 tons (Class I).

The major constraints to residue management, according to farmers, are labour and transport availability and lack of knowledge or organisational skills. The lack of labour was well illustrated by the fact that 37% of the farm households that were involved in the cost/benefit analysis, were not able to spread their manure over the arable fields. All these farms were in Class III, where labour shortage is rampant. Also, it was found that facilities to store and properly conserve residues were often poor.

As to the livestock system, it seems that forage deficits are becoming very serious in M'Peresso throughout the year. In less pressurized Noyaradougou, animal health was more of a problem during the study period than nutrition. In both villages and all classes, over 85% of the farmers lacked quantitative knowledge about animal nutritional requirements. It may not be a priority to farmers, but increased knowledge may influence their management.

The government should establish contracts with development organizations and non-governmental organizations, that are involved in large-scale development programs. Such contracts should include provisions for alphabetization for young rural people and their training in soil fertility management, and animal health and nutrition. The government should facilitate in the field of technological improvements, availability of implements and transport, promotion of leguminous species, and proper costing when it comes to soil fertility management.

Research approaches should be largely participatory, and allow for regular feedback and self-monitoring when new technologies are developed. Other interesting research topics following from the present study include the fate of nutrients when large amounts of manure are applied on small portions of land. Losses through leaching and volatilization may be substantial. Also, the decision support tool requires further validation, especially with respect to residue production per season and residue supplies to compost pits.

At the farm level, heads of households have to be encouraged to maintain a transparent managerial system and encourage youngsters to become and remain active in the rural sector.

## Annexes

### Annexes 3

#### Annexe 3.1 Calcul des superficies equivalentes (Méthode de la FAO, 1982)

Les éléments à collecter pour ce calcul sont les suivants:

- la superficie totale de la parcelle (association de plusieurs cultures) (SR);
- le nombre de cultures sur la parcelle (n);
- la production totale de chaque culture (Pdc);
- le rendement moyen de chaque culture dans la zone donnée (Rdt).

#### Exemple

Culture sur 3,5 ha	Production totale	Rendement moyen	Superficie théorique	Coefficient de correction	Superficie équivalente
Maïs	1300	850	1,53	0,70	1,07
Petit mil	900	700	1,29	0,70	0,90
Niébé	750	350	2,14	0,70	1,50
3,5 ha			4,96		3,47

Ainsi 3,5 ha est la superficie réelle mesurée et la somme des superficies équivalentes est égale à 3,47 ha. Cette différence de 0,03 est due aux valeurs décimales qui ont été réduites à 2 chiffres après la virgule.

Les superficies théoriques, le coefficient de correction et les superficies équivalentes sont calculés à partir des formules suivantes:

#### 1) Superficie Théorique (ST)

$$ST = Pdc/Rdt; ST_{\text{maïs}} = 1300/850 = 1,53 \text{ ha}$$

#### 2) Coefficient de correction (Ccor)

$$Ccor = \frac{SR}{\sum_{i=1}^n ST}; Ccor = 3,5/4,96 = 0,70$$

#### 3) Superficie Equivalente (SE)

$$SE = ST * Ccor; SE_{\text{maïs}} = 1,53 * 0,7 = 1,07 \text{ ha}$$

Source: FAO, 1982

**Annexe 3.2 Coefficients de conversion des charretées de graines et fumure en kg**

Unité Locale	M'Pecesso	Noyaradougou
Graines (charretée)		
Sorgho	*390	270
Mil	*330	155
Maïs	*250	305
Niébé	*80	-
Fumure organique (charretée)	250	250
Sac engrais (complexes, urée)	50	50

\*Données issues du Suivi-Evaluation-Permanent de l'ESPGRN/Sikasso. Le poids d'une charretée de fumure organique varie en fonction du type de fumure (ordure, poudrette, fumier), de la zone, de l'actif, etc.

## Annexes 4

### Annexe 4.1 Poids unités locales (kg) utilisés dans les calculs en MS

Unité locale	Village	Nombre de cas mesurés	Variation	Poids moyen	Std Dev
Charrétée de FO	M'Peresso	25	158-340	256 ≈ 250	54
	Noyaradougou	49	121-386	249 ≈ 250	74
Benne de FO	Confondus	1	-	5100	-
Remorque FO*	Confondus	Estimé	-	1375	-
Brouette	Confondus	Estimé	-	20	-
Panier	Confondus	Estimé	-	10	-

\*Le poids de la remorque des mini-tracteurs utilisés par les paysans du Mali-Sud est estimé à 5,5 charrétées.

Le taux moyen de 70% de MS a été utilisé pour le calcul de MS. Des données de la Section Aménagement du Terroir (SAT) de la CMDT de Sikasso (SAT/Sikasso, 2000), il ressort que le poids de la charrétée asine de FO est de 200 kg à Kléla et 250 kg à Niéna. A Kléla, le poids moyen d'une remorque du tracteur est égale à 1200 kg.

### Annexe 4.2 Production de fumure par UBT, par actif, par classe et par village

Village	Classe	Fumure animale /UBT	Ordure/actif	Compost/actif
M'Peresso (59 cas)	I	0,71	2,6	0,37
	II	0,85	1,5	0,36
	III	0,71	1,75	0,32
Noyaradougou (72 cas)	I	0,6	0,4	0,35
	II	0,4	0,16	0,24
	III	0,6	0,54	0,72

## Annexes 5

### Annexe 5.1 Teneur en éléments nutritifs (NPK) des graines et résidus de récolte (tiges et fanes) en % de matière sèche au Mali et en Afrique

Culture	Graine						Paille et fane					
	Sources						Sources					
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Coton	2,4	0,29	0,65	1,87	0,97	0,9	1,35	0,07	1,20	1,14-1,64	0,41-0,73	2,6-3,3
	**2,74			**0,47	**1,1					**0,83	**0,12	**1,24
Maïs	0,61-1,37	0,14-0,22	0,21	1,68	0,41	0,47	0,43-1,19	0,07-0,15	1,87	0,76-1,18	0,13-0,25	1,91-2,35
	*1,55			*0,29	*0,35					*0,66	*0,08	*1,16
Sorgho	1,70-2,37	0,2-0,26	0,3-0,51	1,45	0,55	0,37	0,83-1,50	0,05-0,11	4,6-4,86	0,81-1,35	0,34-0,58	2,53-3,27
	*1,69			*0,26	*0,34					*0,65	*0,08	*1,09
Mil	2,37-3,07	0,28-0,36	0,85-1,45	3,72	0,6	0,54	2,13-2,86	0,21-0,29	4,6-5,2	1,61-2,46	0,37-0,43	5,5-6,39
	*1,85			*0,31	*0,48					*0,7	*0,09	*2,09
Arachide	2,11-3,34	0,11-0,17	0,7-1,4	3,72	0,6	0,8	1,06-2,29	0,06-0,1	1,4-2,11	1,22-19,6	0,12-0,36	0,96-2,0
	*4,32			*0,22	*0,6					*1,16	*0,1	*0,34
Niébé				*2,56	*0,3	*0,7				*1,9	*0,11	*1,1

### Annexe 5.2 Incertitude dans les flux d'éléments nutritifs

	N	P	K	Ca	Mg
Marge totale en kg/ha	26	3,4	23	20	10
<i>Contribution à l'incertitude de la balance d'éléments nutritifs (%) imputable à:</i>					
Erosion	21	28	38	20	20
Lessivage	5	-	7	14	12
Teneur en éléments nutritifs des cultures	28	16	17	2	2
Restitution des résidus	8	6	30	4	4
Volatilisation/dénitrification	15	-	-	-	-
Déposition atm. + altération	20	46	8	60	61

Source: Ndoumbe & Van der Pol (1999).

### Annexe 5.3

Exemple: perte de N par lessivage ou  $Out_{leac}$ , selon Ndoumbe & Van der Pol (1999).

$$Out_{leac} = Out_{leacfix} + Out_{leac\_inpix}$$

où,

$Out_{leacfix}$ : perte fixe par lessivage d'élément nutritif d'une localité kg/ha/an

$Out_{leac\_inpix}$ : perte par lessivage d'élément nutritif à partir des apports kg/ha/an (ici an = période de culture)

#### 1) Calcul de $Out_{leacfix}$

$$Out_{leacfix} = F_{leac\_area} * st_{leac\_loss}$$

où,

$F_{leac\_area}$ : Coefficient de correction relatif à la localité

$st_{leac\_loss}$ : Perte standard de lessivage par type de sol en kg/ha/an

$$a) F_{leac\_area} = A + (rain\_mm/B),$$

où,

A = 0,5 et B = 2000, rain\_mm = pluviométrie en mm

Exemple

$F_{leac\_areaNoya} = 0,5 + (1000/2000) = 1$  pour Noyaradougou

$F_{leac\_areaMper} = 0,5 + (800/2000) = 0,9$  pour M'Peresso

b)  $st\_leac\_loss: Ca * d * Nc * Tm * Pa = 27 * 1,5 * 0,03 * 4 * 25 = 12 \text{ kg/ha/an}$

Ca = couche arable en cm = 27

d = densité apparente du sol en  $\text{kg/dm}^3 = 1,5$

Nc = taux d'azote dans le sol en % = 0,03

Tm = taux de minéralisation de l'azote organique en % = 4

Pa = perte annuelle d'azote minéralisé en % = 25

#### Exemple

Pour une couche arable de 27 cm et une densité apparente de  $1,5 \text{ kg/dm}^3$ , le poids d'1 ha de terre sera:  $2,7 \text{ dm} * 1,5 \text{ kg/dm}^3 = 4,05 \text{ kg/dm}^2$

$$4,05 \text{ kg/dm}^2 = 4,05 * 100 \text{ kg/m}^2 = 405 \text{ kg/m}^2$$

$$405 \text{ kg/m}^2 = 405 * 10\,000 \text{ kg/ha} = 4\,050\,000 \text{ kg/ha} \approx 4\,000\,000 \text{ kg/ha}$$

Si le taux de N dans le sol = 0,03%; alors la quantité totale d'azote pour 4 000 000 kg sera:  
4 000 000 kg de sol  $x = 4\,000\,000 * 0,0003 = 1200 \text{ kg d'azote organique.}$

Avec un taux annuel de minéralisation de 4%, alors l'azote libéré sera:

$$1200 \text{ kg} \quad x = 1200 * 4/100 = 1200 * 0,04 = 48 \text{ kg}$$

Si 25% de cette azote est perdu, alors:

$$48 \text{ kg} \quad x = 48 * 25/100 = 48 * 0,25 = 12 \text{ kg/ha/an de N perdu}$$

Pour M'Peresso avec un taux d'azote de 0,02%, la perte fixe en N sera de 8 kg/ha/an

Ainsi,

$$Out\_leacfix = F\_leac\_area * st\_leac\_loss$$

#### Exemple

En considérant que 8 et 12 kg/ha/an de N de la matière organique du sol sont perdus respectivement à M'Peresso et Noyaradougou; alors  $Out\_leacfix$  sera égale à:

$$Out\_leacfixNoya = 1 * 12 = 12 \text{ kg/ha/an à Noyaradougou}$$

$$Out\_leacfixMper = 0,9 * 8 = 7 \text{ kg/ha/an à M'Peresso}$$

#### 2) Calcul de $Out\_leac\_inpix$

$$Out\_leac\_inpix = 0,01 * \% \text{ inp\_loss\_by\_leachingix} * F\_leac\_area * IN\_fertix \text{ (or Orgix)}$$

où,

Inp\_loss\_by\_leachingix: pourcentage d'éléments nutritifs appliqué perdu par lessivage pour chaque culture/type de sol (%)

**Exemple**

En supposant que l'azote total apporté sur la cotonnier fait 97 kg/ha et que 8% de l'azote apporté est perdu par lessivage, alors Out\_leac\_inpix sera:

Out\_leac\_inpixNoya =  $0,01 * 8 * 1 * 97 = 7,8$  kg/ha à Noyaradougou

Out\_leac\_inpixMper =  $0,01 * 8 * 0,9 * 97 = 7$  kg/ha à M'Peresso

Ainsi 1) + 2) = Out\_leac = Out\_leacfix + Out\_leac\_inpix

**Exemple**

Lessivage OUT3Noya = Out\_leacfixNoya + Out\_leac\_inpixNoya = 12 + 7,8 = 19,8 kg/ha

Lessivage OUT3Mper = Out\_leacfixMper + Out\_leac\_inpixMper = 7 + 7 = 14 kg/ha

**Annexe 5.4 Pertes standards par lessivage (kg/ha/1000 mm) utilisées par van der Pol (1992) pour le Mali-Sud**

Culture/jachère	N	P	K
Mil	1,5	0,05	0,5
Sorgho	1,5	0,05	0,5
Maïs	4	0,05	1,2
Coton	4	0,05	1
Arachide	8	0,05	2,5
Jachère	2	0,05	1,5

Ndoumbe & Van der Pol (1999).

**Annexe 5.5 Perte gazeuse d'azote du sol et des fumures organiques (O) et minérales (M)**

Auteur	Culture /Rotation	Perte N du sol (kg/ha/an)	Perte gazeuse de l'urée (%)	Perte gazeuse des fumures O+M (%)
Pieri (1986)	Arachide-Mil	25	-	29
Ganry (1978)	Mil	-	48	*59
Ganry in press	Arachide-Maïs Maïs- Soja	15-21	-	17-36
Gigou (1986)	Coton-sorgho	25	30	-
Nijssen (1984)	-	-	-	40
Blondel (1971)	Mil	-	-	<2

\*si la fumure organique n'est pas incorporée, Source Ndoumbe & Van der Pol (1999).

**Annexe 5.6.1 Evolution des bilans partiels de N, P et K de l'exploitation dans les classes I et II de Noyaradougou (kg/ha/an)**

Eléments des bilans partiels	Classe I									Classe II								
	1995			1996			1997			1995			1996			1997		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Fumure minérale	41	9	11	41	8,8	11	47,6	10	12,6	30,6	6,6	8,3	47,6	8,3	10,6	50,8	8,4	10,8
Fumure organique	11,4	2,1	15,5	8,4	1,6	11,3	14,7	2,7	19,7	9,4	1,7	12,7	6,9	1,3	9,3	8,2	1,4	11,2
FO des animaux	6,3	1,1	8,5	4,6	0,9	6,2	8,5	1,5	11,3	6,2	1,1	8,3	3,4	0,6	4,6	3,9	0,7	5,3
FO du ménage	5,1	1	7	3,8	0,7	5,1	6,2	1,2	8,4	3,2	0,6	4,4	3,5	0,7	4,7	4,3	0,7	5,9
<b>Apport total</b>	<b>52,5</b>	<b>11,1</b>	<b>26,5</b>	<b>49,4</b>	<b>10,4</b>	<b>22,3</b>	<b>62,3</b>	<b>12,7</b>	<b>32,4</b>	<b>40</b>	<b>8,3</b>	<b>21</b>	<b>54,5</b>	<b>9,6</b>	<b>19,9</b>	<b>59</b>	<b>9,8</b>	<b>22</b>
IN2																		
Graines et fibres	25,1	3,2	6,2	28,4	3,8	6,6	27,2	3,6	6,6	26,2	3,4	6,4	25,1	3,3	6	19,9	2,6	4,7
Résidus	12,9	1	18	17,4	1,4	22,9	16,9	1,3	21,9	15,3	1,1	23	12,4	1,1	19,3	11,9	0,9	16,9
R des animaux	7,8	0,6	10,9	11,2	1,1	16,9	13,3	1,1	18,9	6,8	0,6	12,5	8	0,8	13,4	8,2	0,8	14,6
R du ménage	3,6	0,3	6,6	3,1	0,25	5,5	2,5	0,2	2,7	7,2	0,5	10,4	3,8	0,3	5,8	1,9	0,1	2,1
R brûlé	1,5	0,03	0,5	3,1	0,03	0,6	1,1	0,008	0,3	1,3	0,007	0,1	0,6	0,003	0,05	1,8	0,01	0,2
<b>Exportation totale</b>	<b>38</b>	<b>4,2</b>	<b>24,2</b>	<b>45,8</b>	<b>5,2</b>	<b>29,5</b>	<b>44,1</b>	<b>4,9</b>	<b>28,5</b>	<b>41,5</b>	<b>4,5</b>	<b>29,4</b>	<b>37,5</b>	<b>4,4</b>	<b>25,3</b>	<b>31,8</b>	<b>3,5</b>	<b>21,6</b>
OUT2																		
IN-OUT	14,5	6,9	2,3	3,6	5,2	-7,2	18,2	7,8	3,8	-1,5	3,9	-8,4	17	5,2	-5,4	27,2	6,3	0,4
<b>R Incorporés</b>	<b>7,1</b>	<b>0,6</b>	<b>13,4</b>	<b>12,9</b>	<b>1,3</b>	<b>22</b>	<b>8,8</b>	<b>0,9</b>	<b>15,2</b>	<b>10,5</b>	<b>1,07</b>	<b>24,9</b>	<b>13,7</b>	<b>1,3</b>	<b>25,5</b>	<b>8</b>	<b>0,8</b>	<b>19,7</b>

FO des animaux: fumier + crottins + poudrette de parc et du parage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le tô";

R incorporés: résidus laissés sur place, piétinés par les animaux, en partie dégradés par les termites et enfouis au moment du labour. Cette partie a été considérée comme élément neutre du bilan.

**Annexe 5.6.2 Evolution des bilans partiels de N, P et K de l'exploitation dans les classes I et II de M'Peresso (kg/ha/an)**

Eléments des bilans partiels	Classe I												Classe II											
	1995				1996				1997				1995				1996				1997			
	N	P	K		N	P	K		N	P	K		N	P	K		N	P	K		N	P	K	
Fumure minérale	13,1	3,3	3,8	16,2	4,3	4,6	18,5	4,5	4,8	14,8	4,3	4,7	13,8	4,1	4,4	20,2	5,2	5,6	5,6					
Fumure organique	23,5	4,5	32,5	25,5	5,1	3,5	22,5	4,4	30,7	17,7	3,4	23,6	16,4	3,2	22,5	15,2	2,9	20	20					
FO des animaux	15,9	2,6	22,2	10,4	1,6	14,5	9,9	1,6	13,7	11,5	1,9	15,2	9	1,5	12,5	8,9	1,6	11,5	11,5					
FO du ménage	7,6	1,9	10,3	15,1	3,5	20,5	12,6	2,8	17	6,2	1,5	8,4	7,4	1,7	10	6,3	1,3	8,5	8,5					
<b>Apport total</b>	<b>36,6</b>	<b>7,8</b>	<b>36,3</b>	<b>41,7</b>	<b>9,4</b>	<b>39,6</b>	<b>41</b>	<b>8,9</b>	<b>35,5</b>	<b>32,5</b>	<b>7,7</b>	<b>28,3</b>	<b>30,2</b>	<b>7,3</b>	<b>26,9</b>	<b>35,4</b>	<b>8,1</b>	<b>25,6</b>	<b>25,6</b>					
IN2																								
Graines et fibres	23,8	2,8	5,9	23,2	2,7	5,6	17,7	2	4,6	19,3	2,2	5	20,2	2,4	5,2	16,9	2	4,2	4,2					
Résidus	23,3	2	61,5	19,2	1,5	53,6	15,5	1,4	35,8	14,8	1,2	37,4	15,5	1,3	35,8	9,8	0,8	27,1	27,1					
R des animaux	15,6	1,3	38,5	14,6	1,3	40,3	14,4	1,3	32	12,7	1,1	32,9	13,5	1,2	33,8	9,7	0,8	27	27					
R du ménage	7,7	0,7	23,1	3,4	0,25	13	1	0,08	3,8	1,3	0,09	4,4	0,8	0,07	1,7	0,07	0,004	0,07	0,07					
R brûlé	0	0	0	1,2	0,01	0,3	0	0	0	0,8	0,006	0,1	1,1	0,01	0,3	0,05	0	0,004	0,004					
<b>Exportation totale</b>	<b>47,2</b>	<b>4,7</b>	<b>67,4</b>	<b>42,4</b>	<b>4,2</b>	<b>59,2</b>	<b>33,2</b>	<b>3,4</b>	<b>40,4</b>	<b>34,1</b>	<b>3,4</b>	<b>42,4</b>	<b>35,7</b>	<b>3,6</b>	<b>41</b>	<b>26,7</b>	<b>2,8</b>	<b>31,4</b>	<b>31,4</b>					
OUT2																								
IN-OUT	-10,6	3,2	-31,1	-0,7	5,3	-19,6	7,9	5,5	-4,9	-1,6	4,3	-14,1	-5,5	3,7	-14,1	8,7	5,3	-5,8	-5,8					
<b>R Incorporés</b>	<b>8,8</b>	<b>0,6</b>	<b>30</b>	<b>14,4</b>	<b>1,1</b>	<b>43,5</b>	<b>12</b>	<b>0,9</b>	<b>31,8</b>	<b>16,5</b>	<b>1,4</b>	<b>44,7</b>	<b>15</b>	<b>1,2</b>	<b>42,2</b>	<b>18,8</b>	<b>1,5</b>	<b>55,7</b>	<b>55,7</b>					

FO des animaux: fumier + crotins + poudrette de parc et du parage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le t6";

R incorporés: résidus laissés sur place, piétinés par les animaux, en partie dégradés par les termites et enfouis au moment du labour. Cette partie a été considérée comme élément neutre du bilan.

**Annexe 5.6.3 Evolution des bilans partiels de N, P et K de l'exploitation dans la classes III à M'Peresso et Noyaradougou (kg/ha/an)**

Eléments des bilans partiels	M'Peresso									Noyaradougou									
	1995			1996			1997			1995			1996			1997			
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
Fumure minérale	12,2	2,5	2,7	12,1	3,2	3,5	15,9	3,8	4,1	36,9	7	8,2	44,4	9,8	12,6	47,8	8,2	10,4	
Fumure organique	11,5	2,3	15,4	15,1	3	20,3	16,9	3,2	22,6	14,8	2,8	19,9	10,2	1,9	13,7	13,8	2,4	18,8	
FO des animaux	4,3	0,8	5,6	8,4	1,4	11,3	11,3	2	15	6,8	1,2	9,1	3	0,6	3,8	5,8	1	7,9	
FO du ménage	7,2	1,5	9,8	6,7	1,6	9	5,6	1,2	7,6	8	1,6	10,8	7,2	1,3	9,9	8	1,4	10,9	
<b>Apport total</b>	<b>23,7</b>	<b>4,8</b>	<b>18,1</b>	<b>27,2</b>	<b>6,2</b>	<b>23,8</b>	<b>32,8</b>	<b>7</b>	<b>26,7</b>	<b>51,7</b>	<b>9,8</b>	<b>28,1</b>	<b>54,6</b>	<b>11,7</b>	<b>26,3</b>	<b>61,6</b>	<b>10,6</b>	<b>29,2</b>	
Graines et fibres	OUT1	17,7	1,9	4,2	18,5	2,1	4,6	15,8	1,8	3,9	22,3	2,9	5,4	25,3	3,4	5,9	19,7	2,5	4,7
Résidus	OUT2	14,6	1,2	41,5	13,6	1,1	35	11,1	1	30,5	10,6	0,8	17,2	24,7	0,7	10,4	14,7	0,7	13,1
R des animaux	Out2a	10,8	0,9	33,5	11,1	1	30,2	10,9	1	30,2	6,11	0,6	14,4	3,7	0,4	5,6	6,3	0,6	11,3
R du ménage	Out2m	3,5	0,33	7,9	2	0,15	4,7	0,2	0,02	0,3	2,1	0,2	2,5	1,7	0,1	1,7	0,3	0,02	0,3
R brûlé	Out2b	0,3	0,002	0,08	0,5	0,004	0,1	0	0	0	2,4	0,02	0,3	19,2	0,2	3,0	8,1	0,07	1,6
<b>Exportation totale</b>	<b>OUT1 + OUT2</b>	<b>32,3</b>	<b>3,1</b>	<b>45,7</b>	<b>32,1</b>	<b>3,3</b>	<b>39,6</b>	<b>26,9</b>	<b>2,8</b>	<b>34,4</b>	<b>32,9</b>	<b>3,6</b>	<b>22,6</b>	<b>50</b>	<b>4,1</b>	<b>16,3</b>	<b>34,4</b>	<b>3,1</b>	<b>17,8</b>
<b>Bilan</b>	<b>IN-OUT</b>	<b>-8,6</b>	<b>1,7</b>	<b>-27,6</b>	<b>-4,9</b>	<b>2,8</b>	<b>-15,8</b>	<b>6</b>	<b>4,2</b>	<b>-7,7</b>	<b>18,8</b>	<b>6,2</b>	<b>5,5</b>	<b>4,6</b>	<b>7,6</b>	<b>10</b>	<b>27,2</b>	<b>7,5</b>	<b>11,4</b>
<b>R Incorporés</b>	<b>IN-OUT</b>	<b>12,9</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>15,4</b>	<b>1,3</b>	<b>44,3</b>	<b>17,5</b>	<b>1,5</b>	<b>52</b>	<b>14,8</b>	<b>1,3</b>	<b>34</b>	<b>2,2</b>	<b>0,2</b>	<b>3</b>	<b>5,6</b>	<b>0,5</b>	<b>11</b>

FO des animaux: fumier + crottins + poudrette de parc et du parage direct;

FO du ménage: ordure + compost;

R des animaux: résidus utilisés comme fourrage, litière et en vaine pâture;

R du ménage: résidus utilisés pour alimenter les tas d'ordures, les compostières et le "sel de potasse pour le t<sup>o</sup>";

R incorporés: résidus laissés sur place, piétinés par les animaux, en partie dégradés par les termites et enfouis au moment du labour. Cette partie a été considérée comme élément neutre du bilan.

## Annexe 7.1 Système Ferme, paille bachée, sans limitation de stockage, Koutiala, M'Peresso, Classe II

Centre d'intérêt		Variables	Entrées	Unités	Description	Formules	Résultats	unités	Description
<b>Objectif 1: Fourrage et litière pour n UBT</b>									
<b>1. Quantité de "résidus" par culture</b>									
Cultures	Grains	kg	Production cultures			T = Grains*z	3908	kg	Quantités tiges cultures
coton	4342	kg	Production coton graines			Tc	1846	kg	coton
maïs	1154	kg	production coton			Tm	9967	kg	maïs
sorgho	2623	kg	production sorgho			Ts	10027	kg	sorgho
mil	1966	kg	production mil			Tp	647	kg	mil
arachide	539	kg	production arachide	si		Ta	43	kg	arachide
niébé	0	kg	production niébé	si		Tn	0	kg	niébé
patate	0	kg	production patate			Tpa	92	kg	patate
dolique	0	kg	production dolique	si		Td		kg	dolique
arachide	16	kg	Fanes utilisées comme fourrage						
niébé	43	kg	Fanes utilisées comme fourrage						
dolique	92	kg	Fanes utilisées comme fourrage						
<b>Coefficients</b>									
z = T/G									
coton	0,9		Rapport tige sur graine			ms = tm+ts	11814	kg	Résidus de maïs et sorgho
maïs	1,6		Tc/Gc			mp = tm+tp	11873	kg	Résidus de maïs et mil
sorgho	3,8		Tm/Gm			sp = ts+tp	19994	kg	Résidus de sorgho et mil
mil	5,1		Ts/Gs			g = Tm+Ts+Tp	21840	kg	Résidus céréales
arachide	1,2		Tm/Gmi			h = Ta+Tn+Tpa+Td	782	kg	Résidus légumineuses
niébé	4,7		Tn/Ga			q = g + h	22622	kg	Fourrage possible
*patate	0,7		Tn/Gn			r = Tc + g	25748	kg	Litière possible
*dolique	0,7						26530	kg	Total résidus
<b>2. Estimation du besoin</b>									
<b>2.1 Besoin en fourrage</b>									
f	120	j	Paille à stocker par UBT/jour selon le mode de conduite			X = bj*f			
UBTx	11	UBT	Durée période défilot fourrage			nX = X*UBTx			
Grossier	0,75	coef	Nombre UBT considéré			G = nX*0,75			si
Complexe	0,25	coef	Part du grossier dans la ration d'entretien			Co = nX*0,25			
nis	21840	kg	Résidus céréales						
g	782	kg	Résidus légumineuses			Co = l + al			
l	22622	kg	Fourrage possible			al = Co - l			
q			Autre apport du paysan (aliment bétaï)						
al			Egale valeur calculée de al ou valeur à donner			nX = G + Co + l + al	7260	kg MS	Besoin en fourrage de n UBT

Centre d'intérêt	Variables	Entrées	Unités	Description	Formules	Résultats	unités	Description
<b>2.2 Besoin en litière</b>								
a		120	j	Durée saison sèche chaude				
b		61	j	Durée saison sèche fraîche	$Y1 = isc \cdot a + isf \cdot b + i \cdot p \cdot c$	636		Besoin annuel en litière d'une UBT (parcage nocturne)
c		184	j	Durée hivernage	$Y1 = 0.5 \cdot a + b + 3.3 \cdot p \cdot c$			Besoin complémentaire en litière d'une UBT (1 jour de stabulation)
p		0,8	mètre	Pluviométrie	$Y2 = lcs \cdot f - 0,3 \cdot f$	36		
i		3,5	coef	Coefficient relatif à la pluviométrie	$nY1 = Y1 \cdot UBTy$	6998		Besoin annuel en litière du troupeau (parcage nocturne)
isc		0,5	kg	Litière en saison sèche chaude	$nY2 = Y2 \cdot UBTx$	396		Besoin complémentaire en litière des animaux en stabulation
isf		1	kg	Litière en saison sèche fraîche	$nY = nY1 + nY2$	7394		Besoin total en litière de l'exploitation
UBTy		11	UBT	Nombre UBT considéré				
lcs		0,3	kg	Litière complémentaire en cas de stabulation				
<b>3. Disponibilité du besoin</b>								
<b>3.1 Fourrage</b>								
<b>Correction du système</b>								
fte		1,25		Coefficient relatif à 80% de consommation des tiges hachées	$nXcg = [nX \cdot (1 + al)] \cdot 1,25$	6806	kg	Besoin corrigé de n UBT en tige de céréale (grossier)
lte		0,2		Coefficient relatif au refus (20%) des tiges hachées	$nXct = nXcg + 1 + al$	8621	kg	Besoin corrigé de n UBT en fourrage
Total fourrage grossier					$Rl = 0,2 \cdot nXcg$	1361	kg	Refus utilisable comme litière
Total fourrage					$nYc = nY - Rl$	6033	kg	Besoin corrigé en litière de n UBT
Refus utilisable comme litière					$Si \ nYc < 0 \text{ ou } = 0$	0	kg	Excédent de refus après satisfaction besoin en litière
Total litière								
<b>3. Disponibilité du besoin</b>								
<b>3.1 Fourrage</b>								
<b>Grossiers (maïs, sorgho, mil)</b>								
<b>Mais</b>								
<b>Mais</b>								
<b>Sorgho</b>								
<b>Mil</b>								
<b>Mais et sorgho</b>								
<b>Mais et Mil</b>								
<b>Sorgho et Mil</b>								
<b>Légumineuses comme complément</b>								
<b>Total complément à chercher si excès ou insuffisance grossier</b>								
<b>Recherche de bonnes combinaisons</b>								
<b>Base</b>								
<b>1 Mais</b>								
<b>2 Mais</b>								
<b>3 Sorgho</b>								
<b>Complément de la base</b>								
<b>Sorgho</b>								
<b>Mil</b>								
<b>Mais</b>								
<b>Cms</b>								
<b>Cmp</b>								
<b>Csm</b>								
<b>(af et st)</b>								
<b>(af et st)</b>								
<b>(st et st)</b>								
<b>pas bonne</b>								
<b>15034</b>								
<b>-4960</b>								
<b>3161</b>								
<b>3220</b>								
<b>5008</b>								
<b>5067</b>								
<b>13188</b>								
<b>-1033</b>								
<b>1033</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) en fourrage grossier</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en tiges de maïs</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en tiges de sorgho</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en tiges de mil</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en tiges de maïs et sorgho</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en tiges de maïs et mil</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en tiges de sorgho et mil</b>								
<b>Excédent ou déficit (-) du besoin en fanes de légumineuses</b>								
<b>Fourrage complément à chercher:</b>								
<b>Combinaisons permettant la satisfaction du besoin: en fourrage de nUBT et donnant le déficit à combler</b>								

Centre d'intérêt	Variables	Entrées	Unités	Description	Formules	Résultats	unités	Description
	4	Sorgho	Mil		Csp	(s1 et s1)	pas	bonne
	5	Mil	Maïs		Cpm	(s1 et s1)	pas	bonne
	6	Mil	Sorgho		Cps	(s1 et s1)	pas	bonne
	7	Maïs et Sorgho	Mil		Cmsp	(s1 et s1)	pas	bonne
	8	Maïs et Mil	Sorgho		Cmps	(s1 et s1)	pas	bonne
	9	Sorgho et Mil	Maïs		Cspm	(s1 et s1)	pas	bonne
	10	Sorgho et Maïs	Mil		Camp	(s1 et s1)	pas	bonne
	11	Mil et Sorgho	Maïs		Cpsm	(s1 et s1)	pas	bonne
	12	Mil et Maïs	Sorgho		Cpms	(s1 et s1)	pas	bonne

**Alternatives pour la satisfaction du besoin en fourrage à partir des résidus en cas de déficit fourrager**

Solution tactique: Réduction taille des animaux, à stabuler

- Vente animal et achat fourrage
- Partie des animaux en transhumance

Solution stratégique: Planification prochaine campagne agricole

- Production (superficie) céréales et autres cultures
- Cultures fourragères

$$csp = 0,17 \text{ \% de résidus utilisés en vp par le bétail}$$

$$vp = 17\% * edf$$

$$id = Te + R1 + edf - vp$$

3.2 Litière	disponible	2556	kg	Quantité de fourrage ingéré en vaine pâture
	10353	kg	17747	kg
	Excedent de résidus utilisable comme litière			
	Disponibilité du besoin en litière			
	Excedent de résidus après satisfaction besoin en litière			
	Compost est/ou ordure			

**4. Capacité de transport**

v	4,8	km/h	Vitesse charrette asine
Te	4	h/v	Temps de travail d'une équipe
na	4		Nombre d'actifs hommes
ane	1		Nombre d'ânes
cha	1		Nombre de charrettes
na	2	si	Base minimale pour l'équipe
cha	2		2 fois utilisable/jour
ne	35	min	Nombre d'équipe
d			temps de chargement et déchargement de la charrette en min
tra	2,8	km	Distance aller-retour champ
ttr			temps de transport d'une charrette
cte			temps total
cne			Capacité de transport d'1 équipe/jour
			Capacité de transport de ne équipe/jour
			cne = Te*60/ttr

**Hypothèse**

Si	1		Nombre d'équipe issu de l'hypothèse
Si	35	min	temps de transport d'une charrette en min sur la distance d
	70	min	temps total chargement, transport, déchargement
	3	Char-	Capacité journalière de transport en charrette
	3	rette	Capacité journalière de transport en charrette par ne
		équipe	équipe

Centre d'intérêt	Variables	Entrées	Unités	Description	Formules	Résultats	unités	Description
cas		150		Poids d'une charrette de tige de sorgho	$cs = cas * cne$	450	kg	Capacité journalière de transport de tige de sorgho
cap		250		Poids d'une charrette de tige de petit mil	$cp = cap * cne$	750	kg	Capacité journalière de transport de tige de mil
cam		100		Poids d'une charrette de tige de maïs	$cm = cam * cne$	300	kg	Capacité journalière de transport de tige de maïs
cal		50		Poids d'une charrette de fane de légumineuse	$cl = cal * cne$	150	kg	Capacité journalière transport de fane légumineuses
cac		135		Poids d'une charrette de tige de coton	$cc = cac * cne$	405	kg	Capacité journalière de transport de tige de coton
df		120		Durée période transport fourrage				
dl		120		Durée période transport litière, compost et autres				
<p>0 : valeur a ne pas considérer (mauvaise combinaison) en terme de temps de transport</p>								
	tl			$tl = h/cl$		5	j	Temps nécessaire pour le transport des fanes
	tg			$tg = df - tl$		115	j	Temps disponible pour le transport du fourrage grossier
	tgm			$tgm = tm/cm$		6	j	Temps nécessaire pour le transport des tiges disponibles de maïs
	tgp			$tgp = tp/cp$		13	j	Temps nécessaire pour le transport des tiges disponibles de mil
	tgs			$tgs = ts/cs$		22	j	Temps nécessaire pour le transport des tiges disponibles de sorgho
	tgms			$tgms = (tm/cm - cms/cs)$		17	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de maïs et de sorgho
	tgnp			$tgnp = tm/cm - cmp/cp$		13	j	Temps nécessaire pour le transport du besoin en tiges de maïs et mil
	tgsn			$tgsn = ts/cs - csm/cm$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de sorgho et maïs
	tgsp			$tgsp = ts/cs - cap/cp$		0	j	Temps nécessaire pour le transport du besoin en tige de sorgho et mil
	tgpm			$tgpm = tp/cp - cpm/cm$		0	j	Temps nécessaire pour le transport du besoin en tige de rail et maïs
	tgps			$tgps = tp/cp - cps/cs$		0	j	Temps nécessaire pour le transport du besoin en tige de rail et sorgho
	tgnsp			$tgnsp = tm/cm + ts/cs - cms/cp$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de maïs, sorgho et mil
	tgnpe			$tgnpe = tm/cm + tp/cp - cms/cs$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de maïs, mil et sorgho
	tgspm			$tgspm = ts/cs + tp/cp - csm/cm$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de sorgho, mil et maïs
	tgsnp			$tgsnp = ts/cs + tm/cm - csm/cp$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de sorgho, maïs et mil
	tgsnm			$tgsnm = tp/cp + ts/cs - cpsm/cm$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de mil, sorgho et maïs
	tgsnms			$tgsnms = tp/cp + tm/cm - cpsm/cs$		0	j	Temps nécessaire pour transport besoin en tige de mil, maïs et sorgho
	tbn			$tbn = nXcg/cm$		0	j	Temps nécessaire pour le transport du besoin en tiges de maïs
	tbs			$tbs = nXcg/cs$		15	j	Temps nécessaire pour le transport du besoin en tiges de maïs

#### 4.1 Fourrage

**Centre d'intérêt: Variables Entrées Unités Description**

**Formules Résultats, unités Description**

Formules	Résultats, unités	Description
$tbp = n \times cg / cp$	9 j	sorgho Temps nécessaire pour le transport du besson en tiges de ml
$tgms = tm/cm - cms/cs$	116 j	Temps disponible pour le transport du fourrage grossier +1 jour
$tgmcp = tm/cm - cmcp/cp$	capable	capable
$tgsmp = ts/cs - csmp/cm$	non capable	non capable
$tgspp = ts/cs - cspp/cp$	non capable	non capable
$tgsmp = tp/cp - cpmp/cm$	non capable	non capable
$tgsps = tp/cp - cps/cs$	non capable	non capable
$tgmcp = tm/cm + ts/cs - cmsp/cp$	non capable	non capable
$tgmcp = tm/cm + tp/cp - cmcp/cp$	non capable	non capable
$tgspp = ts/cs + tp/cp - cspp/cm$	non capable	non capable
$tgsmp = ts/cs + tm/cm - cmcp/cp$	non capable	non capable
$tgsmp = tp/cp + ts/cs - cmsp/cm$	non capable	non capable
$tgsmp = tp/cp + tm/cm - cmcp/cp$	non capable	non capable
$tgs = n \times cg / cm$	non capable	non capable
$tbs = n \times cg / cs$	capable	capable
$tbp = n \times cg / cp$	capable	capable

**Alternatives pour la satisfaction du besoin en fourrage à partir des résidus en cas d'incapacité de transport**

- Augmentation de  $T_e$  (temps de travail d'une équipe)
- Augmentation de la capacité de transport
  - nombre d'équipe (ânes, actifs ou charrettes)
- Réduction de la distance de transport (stockage au champ)
- Choix de la combinaison légumineuse - céréale

**4.2 Litère**

$nY_c = nY - RI$	6033 kg	Besoin corrigé en litère de n UBT
Si $nY_c < ou = 0$	0 kg	Excédent de refus après satisfaction besoin en litère disponibles
$inc = l/c/cc$	10 j	Temps nécessaire pour le transport des tiges de coton
$tbl = nY_c/cc$	15 j	Temps nécessaire pour transport besson en litère (coton en 1er lieu)
	capable	

**Objectif 2: Compostage des résidus**

1. Estimation du besoin						
nfm	0,6	Nombre compostières maison	non			Volume compostière inférieur à 11 m <sup>3</sup>
nfc	0	Nombre compostières champ "vide"	oui			Volume compostière supérieur à 8 m <sup>3</sup>
vf	12	Volume d'une compostière				Quantité paille pour 1 compostière
	491,67	coefficient de régression				Besoin en résidus pour nfm compostières
	3425	constante de régression				Besoin en résidus pour nfc compostières
						Besoin total en résidus pour compostage

**2. Disponibilité du besoin total en résidus pour compostage**

						Satisfaction des besoins en résidus des compostières
						Excédent (+) ou déficit (-) du besoin en résidus des compostières après satisfaction du besoin en litière

**3. Capacité de transport**

3.1 Utilisation résidus comme intrant de la compostière au village						
car	120	Poids d'une charretée résidus (tous types confondus)				Capacité journalière transport de résidus comme compost
						Temps nécessaire pour le transport du besoin en résidus
						Capacité de transport du besoin en résidus

**3.2 Utilisation résidus comme intrant de la compostière au champ**

dc	1	Distance aller-retour champ				temps de transport d'une charretée en min sur la distance dc
						Temps total chargement, transport, déchargement
						Capacité journalière de transport en charretée
						Capacité journalière de transport en charretée par ne équipe
						Capacité journalière transport de résidus comme compost au champ
						Temps nécessaire pour le transport du besoin en résidus
						Capacité de transport du besoin en résidus
						Temps total pour le transport du complément de litière et du compost (maison et champ)

**Production de fumure organique**

**1. Fumier**

Espece	Fumier	
ebn	1,5	kg/nuit Production de MS/bovin par nuit
ebj	0,5	kg/nuit Excrétion fécale complémentaire de MS/bovin en stabulation
ean	0,9	kg/nuit Production de MS/âne

Centre d'intérêt	Variables	Entrées	Unités	Description	Formules	Résultats	unités	Description
2. Compost	eprn	0,15	kg/nuit	Production de MS/petit ruminant				
	epc	0,013	kg/nuit	Production de MS/poule				
	N	365	nuits	Nombre de nuit (an)				
	UBTy	11	UBT	Nombre UBT (bovins) considérés pour apport litière	$365(1,5*UBTx+0,9*w+0,15*u+0,013*oi)+UBTx*(e bj+isc)*Y$			
	UBTx	11	UBT	Nombre UBT (bovins) considérés pour apport de fourrage				
	w	1	nombre	Nombre ânes				
	u	11	nombre	Nombre petits ruminants				
	oi	40	nombre	Nombre de poules				
	cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fcb = (e*UBTy)*(e bj+isc)$ $Fbc = (a*UBTy)*(e bn+isc)$ $Fbf = (b*UBTy)*(e bn+isc)$ $Fbh = (c*UBTy)*(e bn+i*pb)$ $Fbn = Fbc+Fbf+Fbh$ $Fbi = Fbn+Fcb$ $Fpr = N*epm*u$ $Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	1056 kg	Fumier complémentaire de bovins produit grâce à la stabulation	
	cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fbc = (a*UBTy)*(e bn+isc)$ $Fbf = (b*UBTy)*(e bn+isc)$ $Fbh = (c*UBTy)*(e bn+i*pb)$ $Fbn = Fbc+Fbf+Fbh$ $Fbi = Fbn+Fcb$ $Fpr = N*epm*u$ $Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	2640 kg	Production nocturne de fumier bovin en saison sèche chaude	
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fbf = (b*UBTy)*(e bn+isc)$ $Fbh = (c*UBTy)*(e bn+i*pb)$ $Fbn = Fbc+Fbf+Fbh$ $Fbi = Fbn+Fcb$ $Fpr = N*epm*u$ $Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	1678 kg	Production nocturne de fumier bovin en saison sèche fraîche		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fbh = (c*UBTy)*(e bn+i*pb)$ $Fbn = Fbc+Fbf+Fbh$ $Fbi = Fbn+Fcb$ $Fpr = N*epm*u$ $Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	8703 kg	Production nocturne de fumier bovin en hivernage		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fbn = Fbc+Fbf+Fbh$ $Fbi = Fbn+Fcb$ $Fpr = N*epm*u$ $Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	13021 kg	Production nocturne de fumier bovin par an		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fpr = N*epm*u$ $Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	14077 kg	Production totale de fumier bovin par an		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fan = N*ean*w$ $Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	602 kg	Production de fumure de petit ruminants		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Foi = N*epe*oi$ $Fub = 0,75*Fbi$	329 kg	Production de fumure d'ânes		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fub = 0,75*Fbi$	190 kg	Production de fiente (poules) par an		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Fub = 0,75*Fbi$	10558 kg	Production annuelle de fumure animale (exception fientes) avec prise en compte des pertes de poids lors de la composition		
cfni	0,75	kg	Fumier obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale (excrément + litière)	$Ffoz = Fub+Fpr+Fan+Foi$	11678 kg	Production annuelle de fumure animale (exception fientes)		
2. Compost	cfq	56	%	Part des résidus dans le compost	$Qtc = Qpr*100/cqr$	2652 kg		Quantité totale de compost
	cfq	26	%	part de la terre dans le compost	$Qtc = Qtc*cqr/100$	689 kg		Quantité totale de terre dans le compost
	cfqa	18	%	Part de la fumure d'amorce dans le compost	$Fa = cfqa*Qtc$	477 kg		Quantité de fumure d'amorce pour le compostage (18% de mélange)
	cfq	0,75	kg	compost obtenu par rapport a 1kg de la masse initiale	$Mic = Fa+Qpr+Qtc-Qtc$ $Com = 0,75*Mic$	2652 kg		Masse initiale du compost
3. Quantité moyenne d'ordure		10900	kg		$Ford=donnée/classe$	10900 kg		Quantité de compost obtenu avec prise en compte des pertes de poids lors de la décomposition
Fumure totale obtenue à partir des parcs et des compostières								
Fumure organique totale (fumier + compost + ordure)								
					$Fr = Fub+Com+Fa$	12069 kg		Fumure totale obtenue à partir des résidus (parc, compostière)
					$Ftot = Ftot+com+foid$	24567 kg		Quantité minimale de fumure organique pouvant être produite par l'exploitation

**Annexe 7.2 Entrées du l'outil par classe et par village**

Paramètres	M'Peresso			Noyaradougou		
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe I	Classe II	Classe III
Total actifs	13	7	4	10	11	5
Actifs hommes	7	4	3	4	5	2
Total bovins	27	13	5	13	8	3
Bœufs de labour	6	3	3	5	4	3
Ovins et caprins	24	11	8	10	6	4
Anes	2	1	0,7	1	0,9	0,6
UBT	24	12	6	10	6	3
Charrette	1,6	1	0,9	1,2	0,6	0,6
<b>Production graine</b>						
Coton	8693	4342	2142	8791	5570	3306
Maïs	2042	1154	950	6306	3648	2738
Sorgho	5005	2623	2154	826	909	394
Mil	2658	1966	1118	607	622	413
Arachide	1143	539	547	80	36	117
Niébé	4	28	1	0	0	0
Dolique	-176	14	0	0	0	0
<b>Fanes utilisées</b>						
Arachide	22	16	55	55	12	-
Niébé	111	43	5	10	-	-
Dolique	285	92	(100)	93	7	-
Compostière m	-	-	-	1	0,9	0,8
Compostière c	-	-	-	0,6	0,6	0,3
Total compostière	1,55	0,62	0,57	1,7	1,5	1,2

Il s'agit là des moyennes de 1994 à 1997 pour Noyaradougou et de 1995 à 1997 pour M'Peresso, excepté le nombre de bœufs de labour (1996 à 1997).

### Annexe 7.3 Coefficients indépendants de la classe

Paramètre utilisé	Besoin en fourrage	Besoin en litière	Besoin des compostières	Capacité de transport	Fumure organique	Source
Besoin journalier d'un UBT en paille	5,5 kgMS	-	-	-	-	Breman & de Ridder (1991); Berger (1996)
Période du déficit fourrager de la zone	120 jours	-	-	-	-	Estimée
Part du grossier dans la ration	75 %	-	-	-	-	Diarra & Breman (1997)
Part du complément	25 %	-	-	-	-	Diarra & Breman (1997)
Durée saison sèche chaude de la zone	-	120 jours	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Durée saison sèche fraîche de la zone	-	60 jours	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Durée hivernage de la zone	-	180 jours	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Pluviométrie de la zone	-	0,8 m	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Coefficient relatif à la pluviométrie	-	3,5	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Litière en saison sèche chaude	-	0,5 kg/UBT	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Litière en saison sèche fraîche	-	1 kg/UBT	-	-	-	Bosma <i>et al.</i> (1996)
Volume de la compostière	-	-	9 - 10 m <sup>3</sup>	-	-	Dugué (1996); Berger (1996)
Coefficient régression (dimension/quantité tige)	-	-	491,67	-	-	Calculé
Constante de régression (dimension/quantité tige)	-	-	3425	-	-	Calculé
Fumure d'amorce par rapport à la masse initiale	-	-	18 %	-	-	Berger (1996)
Vitesse de la charrette asine	-	-	-	4,5 km/h	-	Mesurée
Journée de travail (résidus)	-	-	-	4 h/jour	-	Estimée
Poids charretée coton de la zone	-	-	-	135 kg	-	Mesuré
Poids charretée maïs de la zone	-	-	-	100 kg	-	Mesuré
Poids charretée sorgho de la zone	-	-	-	150 kg	-	Mesuré
Poids charretée mil de la zone	-	-	-	250 kg	-	Mesuré
Poids charretée légumineuse de la zone	-	-	-	50 kg	-	Estimé
Poids charretée tige toutes cultures de la zone	-	-	-	130 kg	-	Mesuré
Durée période transport fourrage	-	-	-	20 j	-	Estimé
Durée période transport litière	-	-	-	120 j	-	Estimé
Trajet maison - champ - maison de la zone	-	-	-	2 km	-	Mesuré
Excrétion fécale nocturne bovin	-	-	-	-	2 kg/nuit	Berger (1996)
Excrétion fécale nocturne ovin/caprins	-	-	-	-	0,15 kg/nuit	Berger (1996)
Excrétion fécale nocturne âne	-	-	-	-	0,9 kg/nuit	Donnée dérivée
Fumure obtenue par rapport à la masse initiale	-	-	-	-	75%	Berger (1996)
Nombre de nuit/an	-	-	-	-	365 j	Donnée standard

## *Curriculum vitae*

Salif Kanté est né le 09 mars 1961 à Toukoto (cercle de Kita) au Mali. Il fit ses études secondaires au Lycée de Badalabougou à Bamako, où il obtient un Baccalauréat en Science Biologique en 1982. Il fit ses études supérieures en ex URSS où, il fréquenta l'Académie agricole de la Biélarussie de 1982 à 1983 et de celle de Timiriazev de 1983 à 1988. De 1986 à 1988, il mena des activités sur les voies d'optimisation du régime hydrique des sols dans les conditions d'insuffisance d'humidité. En 1988, il obtient son DEA en Agrochimie-Pédologie. En 1990, il intégra l'Equipe sur les Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelle (ESPGRN) de Sikasso, une des cinq équipes systèmes de l'Institut d'Economie Rurale, où il travaille à présent. En 1990-1991, il fut chargé de la poursuite de l'étude sur l'agroforesterie. De 1991 à 1998, il fut responsable de l'étude sur les toposéquences et sur la classification et gestion paysanne des terres. Au sein de l'ESPGRN, il assura la coordination des activités exécutées en collaboration avec le laboratoire des sols eaux et plantes de Sotuba (Mali). En 1994, il fut responsable de l'étude sur la gestion de la fertilité des sols. Ensemble, avec les collègues de l'ESPGRN, il participa à l'élaboration d'approches participatives de recherche sur la gestion des ressources naturelles dont celle sur la gestion de la fertilité des sols. Il participa à plusieurs études diagnostiques, tant exploratoires que thématiques. Il mena plusieurs activités avec la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles. Ainsi, de 1991 à 1998, il fut membre des groupes de travail IER-CMDT sur les toposéquences, sur l'amélioration du conseil de gestion de l'exploitation et sur la gestion de la fertilité des sols. De 1994 à 1998, il fut chargé de l'animation et de la coordination des activités de la discipline agronomie. De 1995 à 1998, il fut chargé d'appuyer le coordinateur national dans l'exécution du projet "Dynamique de gestion de la fertilité des sols", piloté par l'Institut International pour l'Environnement et le Développement. En 2000, il participa à l'élaboration du plan d'action régional de la gestion de la fertilité des sols en zone CMDT/Mali. Il a participé à plusieurs séminaires, ateliers et symposiums sur les systèmes de production rurale et la gestion de la fertilité des sols. En décembre 1998, il a reçu une bourse Sandwich de la Coopération Neerlandaise pour faire un PhD sur la gestion de la fertilité à l'Université Wageningen. Il est marié et père d'un enfant.