

Sommaire

Partie I : Introduction.....	11
Justification de l'étude et problématique	12
Questions de recherche et hypothèses	16
Méthodologie	17
Plan général	18
Partie II : Contexte de l'étude	19
Chapitre 2.1. Cadre général.....	21
Chapitre 2.2. Prise en compte des pratiques agricoles	68
Partie III : Matériel et méthode	80
Chapitre 3.1. Cadre général.....	82
Chapitre 3.2. Caractérisation des savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols.....	87
Chapitre 3.3. Analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	90
Chapitre 3.4. Evaluation de l'efficience des pratiques de gestion de la fertilité des sols	94
Partie IV : Résultats	98
Section 1 : Les savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols	100
Chapitre 4.1.1. Une diversité de types de sols.....	102
Chapitre 4.1.2. Des indicateurs de fertilité des paysans.....	129
Chapitre 4.1.3. Le rôle des arbres pour la fertilité des sols	142
Chapitre 4.1.4. Une diversité de types de fumures organiques	153
Chapitre 4.1.5. Les savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux	175
Section 2 : Les pratiques de gestion de la fertilité des sols	185
Chapitre 4.2.1. Pratiques actuelles de production de fumure organique et évolution.....	187
Chapitre 4.2.2. Diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols	197
Chapitre 4.2.3. Pratiques de gestion de la fertilité des sols replacées dans l'espace.....	207
Section 3 : Evaluation de l'efficience des pratiques de gestion de la fertilité des sols....	214
Chapitre 4.3.1. Efficience des pratiques sur la valorisation de biomasses des exploitations	216
Chapitre 4.3.2. Efficience des pratiques sur le recyclage du carbone et de l'azote	220
Chapitre 4.3.3. Effet de l'application du plan de gestion de la fertilité des sols	224

Chapitre 4.3.4. Effet de la diversité de pratiques sur les rendements des cultures.....	230
<hr/>	
Partie V : Discussion	232
Chapitre 5.1. Savoirs techniques locaux et sciences exactes	234
Chapitre 5.2. Opérationnalité de la prise en compte des savoirs techniques locaux pour l'analyse des pratiques	245
Chapitre 5.3. Apports de la prise en compte des savoirs techniques locaux à l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols	248
Partie VI : Conclusion.....	254
Des résultats originaux sur les pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	255
Quelques limites de la thèse	258
Des propositions de recherche ou d'intervention	258
Bibliographie.....	261
Annexes	274
Table des matières	285

Liste des annexes

Annexe 1. Carte géologique du Mali-Sud (d'après une carte de Palausi G. 1962 présentée dans Saad, 1970)	275
Annexe 2. Fiche d'appréciation des indicateurs paysans de la fertilité des sols	276
Annexe 3. Guide d'entretien sur les stratégies des exploitations.....	277
Annexe 4. Détails de l'estimation du poids d'un tas de fumure organique	278
Annexe 5. Fiche de suivi de l'utilisation des résidus de culture et de la fumure organique ..	279
Annexe 6. Fiche de suivi de l'itinéraire technique appliqué aux parcelles suivies	280
Annexe 7. Description des variables utilisées pour les analyses statistiques.....	281
Annexe 8. Fiche de mesure des performances sur les parcelles suivies.....	282
Annexe 9. Représentation des variables selon le plan principal de l'Analyse en Composante Principale.....	283
Annexe 10. Dendrogramme de la classification hiérarchique.....	283
Annexe 11. Synthèse des types d'exploitation obtenue par l'Analyse de variance (Anova). 284	

Liste des abréviations

ACC	Association Cotonnière Coloniale
ACP	Analyse en Composante Principale
AV	Association Villageoise
BNDA	Banque Nationale de Développement Agricole
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique
CFDT	Compagnie Française de Développement des Textiles
CGM	Coton Génétiquement Modifié
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CIRDES	Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide
CMDT	Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles
CPC	Coopérative de Producteurs de Coton
CPCS	Commission de Pédologie et Cartographie des Sols
CPS	Cellule de Planification et de Statistique
CRRA-Sikasso	Centre Régional de Recherche Agricole de Sikasso
CRU	Commissions Régionale des Utilisateurs des Résultats de la Recherche
DNE	Direction Nationale de l'Élevage
DRSPR	Division de Recherche sur les Systèmes de Production Rurale
DURAS	Promotion du Développement Durable dans les Systèmes de Recherche Agricole du Sud
ESPGRN	Equipe Système de Production et Gestion des Ressources Naturelles
ETV	Equipes techniques villageoises
FIT	Front Inter Tropical
FO	Fumure Organique
Franc CFA	franc de la Communauté Financière Africaine
GESED	Gestion des Ecosystèmes de Savanes : Environnement et Développement
GPS	Global Positioning System
GSCVM	Groupement des Syndicats Cotonniers et Vivriers du Mali
IBW	Institutions de Bretton-Woods
IER	Institut d'Économie Rurale
IRCT	Institut de Recherche sur le Coton et les Textiles exotiques
KIT	Royal Tropical Institute

MAE	Ministère des Affaires Etrangères
MARP	Méthode d'Analyse Rapide et de Planification Participative
MOS	Matière organique des sols
MS	Matière Sèche
OHVN	Office de la Haute Vallée du Niger
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OP	Organisation de Producteurs
ORD	Organismes Régionaux de Développement
PASE 1	Programme d'amélioration des systèmes d'exploitation en zone cotonnière, phase 1
PCP	Pôles de Compétences en Partenariat
PIB	Produit Intérieur Brute
PLAR	Participatory Learning and Action Research
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
RAP	Recherche Action en Partenariat
RDC	Résidus de culture
RP	Référentiel Pédologique
SCV	Semis direct avec Couvertures Végétales
SPAI	Sous Produits Agro Industriels
SPCK	Syndicat des Producteurs de Coton de Kita
STL	Savoirs Techniques Locaux
SYCOV	Syndicat des producteurs de Coton et de Vivriers
SYPAMO	Syndicat des Producteurs Agricoles de Mali Ouest
SYVAC	Syndicat pour la Valorisation de Cultures Cotonnières et Vivrières
TCS	Techniques Culturelles Simplifiées
UBT	Unité de Bovin Tropicaux
UP	Unité de Production
WRB	World Reference Base of Soil Resources
ZAF	Zones d'alphabétisation fonctionnelle
ZER	Zones d'expansion rurale

Partie I : Introduction

Justification de l'étude et problématique

Evolution des systèmes de culture et d'élevage au Mali-Sud

Les territoires du Mali-Sud ont évolué, au cours des cinquante dernières années, avec l'augmentation démographique, le développement de la culture cotonnière et, parallèlement, des systèmes d'élevage. Les surfaces cultivées se sont étendues, réduisant les espaces sylvo-pastoraux, pourtant considérés comme le pilier de la régénérescence de la fertilité des terres cultivées (mise en jachère, maintien de l'élevage, approvisionnement en bois...) (Pieri, 1989). Aujourd'hui, les territoires villageois du Mali-Sud sont soumis à une forte emprise agricole, avec 27 % des territoires villageois mis en culture dans la zone de Koutiala. Les terres agricoles passent progressivement à la culture permanente et les terres marginales, autrefois considérées comme non cultivables, sont mises en culture (Gigou et al., 2006).

Dès les années 1960, on a observé une augmentation des surfaces cultivées, consécutive à l'introduction de la culture attelée. Progressivement, les systèmes de culture se sont transformés, passant d'un système itinérant en zones de brousse et continu sur l'auréole fumée autour des concessions à un système de mise en culture permanente des terres (Gigou et al., 2006). La durée des jachères a été réduite, ainsi que leur superficie. Ces multiples rôles pour le renforcement du statut organique des sols, l'élimination des flores adventices (Kieft et al., 1994, Van der Pol, 1991) et de réserves foncières sont progressivement passés au second plan.

De nouveaux systèmes de culture se sont progressivement mis en place, fondés sur :

- un travail du sol en culture attelée pour la préparation des terres et l'entretien des cultures,
- la mécanisation du semis,
- l'utilisation des herbicides pour le contrôle des adventices,
- l'utilisation d'engrais et de fumure organique pour le renouvellement de la fertilité des sols,
- l'application de traitements insecticides pour la lutte contre les ravageurs du coton.

L'élevage a lui aussi évolué parallèlement à l'agriculture, notamment par l'adoption de la traction animale et le développement de l'élevage paysan financé par les surplus monétaires agricoles. Il s'est développé en suivant un modèle agropastoral dans lequel il s'est plus ou moins intégré aux systèmes de cultures (affouragement à base de résidus de culture, fourniture d'énergie animale, production de fumure), valorisant, en saison de culture, les ressources fourragères de l'espace sylvo-pastoral et, en saison sèche, les résidus de culture (vaine pâture, affouragement à l'auge). Ainsi, l'élevage participe à des transferts de fertilité du *saltus* vers l'*ager* ou à des relocalisations internes à l'*ager*. Aujourd'hui, le morcellement et la réduction de l'espace pastoral ainsi que l'affaiblissement de la qualité des ressources fourragères hypothèquent le maintien d'animaux d'élevage intégrés aux exploitations. Le rôle de l'élevage pour le maintien de la fertilité des sols tendrait à se réduire.

Les systèmes sur abattis-brûlis, avec reconstitution de la fertilité par la mise en jachère des terres, ont donc progressivement laissé la place à des systèmes de culture permanente, où les producteurs assurent le renouvellement de la fertilité des sols par des rotations et des amendements organiques et minéraux, mais aussi par une intégration de l'agriculture et de l'élevage.

Durant toutes ces années, le développement des systèmes de culture s'est largement appuyé sur la filière cotonnière à travers :

- l'organisation des producteurs,
- un prix d'achat garanti du coton graine,
- l'acquisition des intrants agricoles,
- l'accès aux crédits (équipement, intrants, « soudure »)
- l'encadrement agricole (formation, alphabétisation, vulgarisation).

Les rendements en coton ont été multipliés par 6 en 25 ans, avec l'adoption de nouvelles techniques culturales (variété, traction animale, engrais, herbicides), passant ainsi de 200 kg/ha en 1960 à 1 200 kg/ha en 1985. Les rendements en céréales ont suivi la même croissance, passant, pour le maïs, de 200 kg/ha en 1960 à plus de 1 200 kg/ha en 1980 (Pieri, 1989). Cependant, dès le milieu des années 80, la tendance s'inverse et l'augmentation de la productivité cotonnière fléchit nettement. La production cotonnière poursuit sa croissance, avec une augmentation importante des surfaces emblavées en coton (16 % de taux de croissance annuelle des surfaces et 14 % pour la production de 1985 à 2003). Durant cette période, la production cotonnière est soutenue par :

- l'application de fumure organique,
- la lutte contre l'érosion et le ruissellement
- l'utilisation d'insecticides.

A partir des années 2000, la production cotonnière est entrée dans une phase de stagnation, voire de réduction, des rendements. La production, de 600 000 t en 2005, dépassait légèrement les 200 000 t en 2007. Les producteurs s'interrogent sur la poursuite de cette activité compte tenu de la succession de mauvaises saisons, de la réduction du prix d'achat du coton et de l'augmentation du prix des intrants (données CMDT).

Ces importants changements dans les systèmes de culture au Mali-Sud ont longtemps inquiété les chercheurs et les développeurs, qui parlaient de « crise de la culture itinérante ». L'augmentation du temps de mise en culture devait entraîner une dégradation des terres agricoles, une réduction du taux de matière organique, un épuisement des sols et la crainte de l'effondrement des productions agricoles à long terme (Van der Pol, 1991, Berthé et al., 1991). Certains auteurs ont préconisé l'arrêt de la culture cotonnière, sans qu'il existe de filière alternative (Girdis, 1993). D'autres auteurs, plus optimistes, ont montré que si les producteurs n'avaient pas mis en place les systèmes permanents de cultures, ce n'était pas en

raison du manque d'espace à défricher, mais par souci de rentabiliser les investissements réalisés sur les terres avec les nouvelles techniques agricoles. D'après Gigou *et al.* (1998) la culture permanente aurait fait son apparition dès les années 60 avec l'introduction de la culture attelée, alors que l'emprise agricole moyenne n'était que de 10 %.

Cependant, les systèmes de cultures et les systèmes d'élevage sont aujourd'hui conduits sur des territoires dont l'espace est restreint (plus de 42 % des terres jugées cultivables sont emblavées) (Gigou *et al.*, 2006). Même si les rendements agricoles ne se sont pas effondrés, ils ne sont pas à l'origine de l'augmentation spectaculaire de la production agricole. Les systèmes d'élevage, même mobiles, ont besoin d'espace et de ressources pour se maintenir. Les propriétaires et les bergers doivent faire face à des problèmes de maintien des animaux sur les territoires occupés par l'agriculture. Les ressources fourragères sont insuffisantes, la mobilité des animaux réduite et l'accès aux ressources hydrauliques et pastorales devient difficile. Les systèmes agricoles et d'élevage doivent permettre la production de biens alimentaires pour une population en forte croissance (plus de 3 % par an) et de plus en plus urbaine, tout en maintenant une activité économique rentable pour la population rurale (80 % de la population totale du pays).

La fertilité des terres doit être améliorée, afin que l'agriculture et l'élevage augmentent leur productivité et contribuent ainsi au renforcement de la sécurité alimentaire des populations, fortement dépendantes de la production locale. L'intégration de l'agriculture et de l'élevage peut contribuer à cet objectif.

Dans un contexte climatique, économique et institutionnel difficile (incertain et évolutif), les systèmes de culture et d'élevage doivent se transformer pour s'adapter et garantir leur viabilité. On cherche à faire évoluer les pratiques de gestion de la fertilité des sols et d'alimentation des animaux pour renforcer la productivité des systèmes de production et ne pas hypothéquer leur durabilité. L'augmentation du prix des intrants, la réduction de la pluviométrie et sa variabilité accrue, la réduction des ressources pastorales et la difficulté de maintien des animaux sur les territoires hypothèquent le maintien de la productivité des systèmes de production sans changements techniques. Face à une situation en pleine évolution, les pratiques des agriculteurs et des éleveurs ne peuvent être durables sans changements techniques et développement d'innovations.

Evolution des méthodes de la recherche-développement

Dans les années 1980, la recherche-développement a mis en place des méthodes d'analyse des systèmes de production et des pratiques des producteurs. Définir les pratiques comme objet d'étude a permis d'analyser le fonctionnement des systèmes de production et de définir les effets, les conséquences et les raisons des pratiques des producteurs. En s'appuyant sur des diagnostics, des enquêtes et des typologies, des propositions techniques ont pu être élaborées et des modèles agronomiques innovants développés pour chaque type d'exploitation. Mais force est de constater que bon nombre des modèles et des propositions issus de ces travaux n'ont pas été adoptés par les agriculteurs et les éleveurs à la hauteur des espérances des

services de développement agricole. Malgré les avancées certaines que constituent ces approches, la prise en compte des besoins des agriculteurs pour définir les thèmes et projets de recherche ne s'est pas faite en association avec eux, mais au travers de diagnostics externes ou par l'intermédiaire d'experts ou de conseillers. **La participation des producteurs**-ainsi que d'autres acteurs locaux-à la définition des questions de recherche, à la mise en place des dispositifs puis à la mise en œuvre de solutions n'est expérimentée que depuis peu de temps. Cette situation appelle à développer des postures de recherches nouvelles s'inscrivant dans une logique d'intervention pour transformer les situations tout en produisant des connaissances.

Dans une perspective d'intervention, les références élaborées doivent être compréhensibles à la fois par les praticiens et par les scientifiques pour être « actionnables » (Avenier et Schmitt, 2007). Elles doivent rendre les pratiques compréhensibles par tous les acteurs de la recherche, éclairer les options de transformation possibles et leur faisabilité (Faure, 2010).

Dans les méthodes de la recherche-développement, les références sur les pratiques sont généralement élaborées sur des entités définies a priori par les scientifiques et ne correspondent pas toujours à celles réellement utilisées par les praticiens dans la conduite de leurs activités. Dans une perspective de recherche-intervention, nous pensons donc qu'il faut élaborer des références en prenant en compte la manière dont les praticiens se représentent les choses, en se fondant sur leurs savoirs locaux.

Pour rendre compte de la manière dont les praticiens se représentent les choses et fondent leurs décisions, Darré *et al.* (2004) ont proposé une méthode d'analyse de leur discours. Cette approche, développée par des sociologues, semble lourde à mettre en œuvre auprès d'un échantillon significatif de producteurs, dans un environnement plurilingue (français, bambara, sénoufo...). Cette méthode semble peu adaptée à l'usage des biotechniciens (agronomes, zootechniciens...).

Nous proposons donc d'élaborer et de tester un **cadre d'analyse** qui viserait à donner du sens aux pratiques en se fondant sur une caractérisation préalable des savoirs techniques locaux dans différents domaines, complétée par une observation directe des pratiques et des séances de restitution/validation avec les acteurs de terrain. Cette approche des pratiques à partir des savoirs techniques locaux vise à extraire les fondements logiques qui les règlent et les sous-tendent, afin de les rendre intelligibles.

Dans le domaine de recherche qui concerne cette étude, la gestion de la fertilité des sols, les savoirs techniques des producteurs leur servent à définir les modalités d'exploitation et de reconstitution des ressources naturelles ainsi que les modes de production. Ces savoirs, définis comme l'ensemble de connaissances d'une communauté sur son milieu et son fonctionnement, sont en perpétuelle évolution. Ils permettent aux producteurs de définir des règles de gestion qui seront appliquées ou non, selon le contexte environnemental et socio-économique, les contraintes et les objectifs de l'exploitation.

Les savoirs techniques, déterminants des pratiques, et le changement technique ont été peu pris en compte par la recherche-développement. Aujourd'hui, avec les nouvelles postures de la recherche-intervention, il nous paraît indispensable de les réhabiliter si nous souhaitons faire l'analyse et la transformation des pratiques agricoles.

Questions de recherche et hypothèses

De cette problématique générale, naissent trois questions de recherche :

1. Quels savoirs techniques locaux sont mobilisés, par les paysans, pour la gestion de la fertilité de leurs sols ?
2. Comment ces savoirs techniques locaux sont-ils mis en action par les paysans et engendrent des pratiques de gestion de la fertilité des sols ?
3. Ces savoirs techniques locaux sont-ils efficaces ?

Ce travail de thèse s'appuie sur trois hypothèses.

La prise en compte des savoirs techniques locaux des paysans dans l'analyse de leurs pratiques de gestion de la fertilité des sols permet :

- une meilleure compréhension de ces pratiques et la production de données qui ont du sens pour les paysans et les chercheurs ;
- d'identifier des problèmes et des propositions de solutions adaptées et de produire des savoirs actionnables.

Enfin, l'efficacité des pratiques de gestion de la fertilité des sols est corrélée à la mobilisation de savoirs techniques locaux innovants

Comment prendre en compte des savoirs techniques locaux des paysans dans l'analyse de leurs pratiques de gestion de la fertilité des sols ?

Les savoirs techniques sont à la base des déterminants des pratiques à travers l'expression de règles qui régissent la gestion de chaque objet soumis à des choix techniques. « *Le savoir règle les pratiques* » (Olivier de Sardan, 1995). Selon cette idée générale, l'action du producteur, c'est-à-dire la mise en pratique, procède d'une action réfléchie.

Tout commence par l'analyse d'une situation (1) localisée dans le temps et dans l'espace : le producteur sur son champ s'interrogeant sur la stratégie de fertilisation de cet espace. Cette analyse conduit le producteur à mobiliser l'ensemble des domaines de connaissance (2) lui permettant d'évaluer la situation ou le contexte (connaissances des sols, de la végétation, du climat, de l'eau, des champs,...) et ce qu'il conviendrait de faire (connaissances sur les fumures organiques, minérales, autres sources de fertilisants, besoins des cultures...) et parfois même à avoir recours aux connaissances d'autrui.

Le producteur construit alors une stratégie qui se traduira par une action, la mise en pratique. Partant de l'ensemble des règles de décisions associées à ses savoirs, de ses objectifs à moyen

et long terme et de ses contraintes, il procède alors à un arbitrage (3) qui le conduit à ne retenir qu'un certain nombre de règles de décision, lesquelles se manifesteront par la mise en pratique (4) (Figure 1). Cet arbitrage explique la raison pour laquelle un certain nombre de règles de décision associées au savoir ne s'expriment pas toujours dans les pratiques. Enfin, les pratiques, en agissant sur le milieu, ont des effets et des conséquences (5), transformant la situation initiale. Un nouveau cycle s'opère alors.

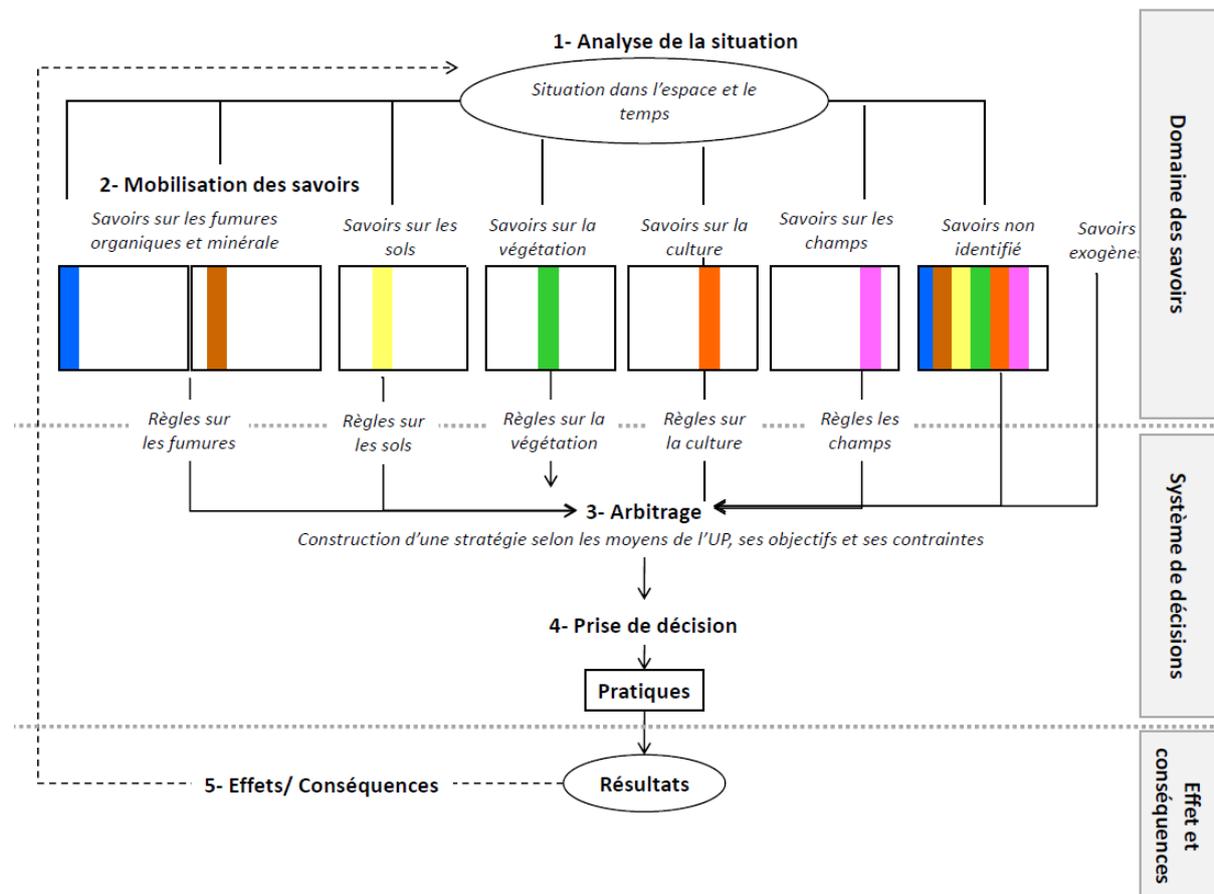


Figure 1. Hypothèse de fonctionnement de la relation savoirs techniques et pratiques

Méthodologie

Afin de tester les deux hypothèses et de répondre aux questions de recherche posées, le travail s'appuie sur une méthodologie en trois principaux points :

1^{re} point : Une méthode de caractérisation des savoirs techniques locaux est développée sur les thèmes des sols, des fumures organiques et des engrais minéraux. En complément, la vision des producteurs sur la contribution des arbres à la fertilité des sols et les indicateurs de fertilité sont analysés. La prise en compte des savoirs techniques dans le processus d'analyse des pratiques agricoles ne doit pas aboutir à un transfert de l'objet d'étude des agronomes des pratiques vers les savoirs, mais à une prise en compte des savoirs dans l'analyse des pratiques.

Une étude comparée, à l'échelle des villages et des exploitations, des savoirs techniques locaux et des savoirs technico-scientifiques, permet de comparer les deux systèmes de pensée, systèmes particuliers d'analyse des biotopes.

2^e point : Un suivi des pratiques de gestion de la fertilité des sols (gestion des biomasses animales et végétales, plan de fumure et conduite des champs) est mené sur un échantillon d'exploitations.

3^e point : Enfin, l'efficience des pratiques de gestion de la fertilité des sols fait l'objet d'une évaluation et des bilans quantitatifs sont établis (biomasses, carbone, azote, résultats agronomiques).

Plan général

Le travail est structuré en six grandes parties. Après une introduction, la seconde partie présente une description générale du Mali-Sud et des systèmes agricoles et d'élevage.

La troisième partie décrit l'état des lieux sur les méthodes d'analyse des pratiques agricoles et présente la méthode développée pour cette thèse.

La quatrième partie regroupe l'ensemble des résultats, organisés en trois sections, divisées en chapitres.

La première section s'intéresse aux savoirs techniques locaux attachés à la gestion de la fertilité des sols. Les savoirs techniques locaux sur les sols sont décrits dans un premier chapitre. La perception par les producteurs de la fertilité des sols est développée à travers les indicateurs de fertilité dans un second chapitre, et la contribution des arbres à la fertilité des sols fait l'objet du troisième chapitre. Les savoirs techniques locaux sur les fumures organiques et minérales font l'objet des quatrième et cinquième chapitres.

La seconde section est consacrée à l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols. Le premier chapitre décrit les pratiques actuelles de production de fumure organique et leurs évolutions. Le second chapitre fournit une analyse de la diversité des pratiques dans les exploitations. Enfin, ces pratiques sont replacées dans l'espace des territoires des exploitations dans un troisième chapitre.

La troisième section est consacrée à l'évaluation de l'effet de la diversité des pratiques sur la valorisation des biomasses des exploitations (premier chapitre), les bilans carbone et azote (second chapitre), l'application du plan de gestion de la fertilité des sols (troisième chapitre) et l'effet sur les rendements des cultures (quatrième chapitre)

La discussion est développée dans une cinquième partie, avant la conclusion générale.

Chaque partie sera précédée d'une introduction succincte présentant les éléments qui y seront développés et se terminera par une conclusion synthétisant les principaux résultats.

Partie II : Contexte de l'étude

Dans cette première partie, nous exposons le contexte global du sujet et les concepts mobilisés en nous appuyant sur une revue bibliographique. Cette partie comporte deux chapitres.

Le premier chapitre commence avec une présentation de la zone Mali-Sud. Les caractéristiques géographiques, climatiques, écologiques, géologiques, pédologiques et humaines de la zone permettent d'en dresser un portrait.

Les systèmes agricoles et d'élevage développés dans la zone sont ensuite décrits, et les principaux aspects de leurs évolutions sont retracés.

Enfin, le concept de fertilité des sols est expliqué et les définitions existantes sont présentées. Les différentes approches de gestion de la fertilité des sols des sciences agronomiques et du développement agricole sont rappelées.

Dans un second chapitre, nous abordons l'étude des pratiques agricoles, le concept de savoir technique local et les relations théoriques entre les savoirs locaux et les pratiques agricoles.

Chapitre 2.1. Cadre général

Présentation générale du Mali-Sud

Le Mali et le Mali-sud

Le Mali est un vaste pays d'Afrique de l'Ouest de 1 240 000 km², frontalier de la Mauritanie et l'Algérie au nord, du Niger à l'est, du Burkina-Faso, de la Côte d'Ivoire et de la Guinée au sud et du Sénégal à l'Ouest.

Le pays est classé parmi les pays prioritaires de l'aide publique au développement, impliquant l'intervention de nombreuses formes de coopération et d'aide (bilatérale, multilatérale, IBW, ONG, association...). Avec un indice de développement humain très faible, il se positionne au 173^e rang sur les 177 pays classés par le PNUD (WFP, 2009).

La population malienne de 12 millions d'habitants (estimation de 2008) présente un taux de croissance élevé de 3 % par an (FAOSTAT 2005), 48 % de la population vivant en dessous du seuil de pauvreté principalement en zone rurale (76 % des ruraux) (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 c). Les taux d'alphabétisation et de scolarisation sont faibles avec respectivement 24 % et 37 %. Le Mali représente donc une zone d'intervention prioritaire pour atteindre les objectifs du millénaire de réduction de la pauvreté.

L'économie malienne repose largement sur le secteur primaire qui représente 37 % du PIB. Les revenus du secteur agricole se composent à 58 % des activités agricoles, 28 % de l'élevage et 14 % des activités forestières et de pêche (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 a). Historiquement, l'économie malienne était largement dépendante de la culture du coton, mais, depuis l'exploitation de mines d'or, les exportations du métal précieux constituent la première recette d'exportation du pays (57 % contre 27 % pour le coton en 2004). La culture du coton reste cependant la seule filière structurant le milieu rural, soutenant la production vivrière et impliquant 28 % de la population nationale.

La zone Mali-Sud, zone d'intervention de la société cotonnière, représente 8 % du territoire national et 31 % de la population. Elle recouvre la région administrative de Sikasso, le sud des régions de Ségou et Koulikoro et l'est du cercle de Kayes (Carte 2). Considérée comme le « grenier » du Mali par son importante zone de production de céréales et principale zone d'élevage du pays devant la zone traditionnelle de Mopti, le Mali-Sud participe à 8 % du PIB national à travers le secteur de l'agriculture et de l'élevage.

Climat et pluviométrie

Le climat de la zone est sous l'influence du mouvement saisonnier de la masse d'air continental, sec et chaud venant du Sahara (Harmattan) et de la masse d'air humide venant de l'anticyclone de Sainte-Hélène au sud-ouest (alizés maritimes). Leur convergence donne naissance au front intertropical (FIT) qui se déplace du sud au nord suivant le déplacement du soleil. En janvier, le FIT est au sud de la zone, l'Harmattan domine et le climat est sec et chaud. Au cours de la saison chaude, les alizés maritimes se chargent en humidité par leur passage au dessus de l'océan et de la zone équatoriale. Leur renforcement déplace le front

vers le nord du pays. En hivernage, la masse d'air humide donne naissance à des pluies quand par élévation en altitude, elle se refroidit (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 b).

Selon la classification actuelle de la FAO, le Mali-Sud se situe en zone agro-climatique de type sec à sub-humide encadré d'une frange semi-aride au nord et humide à sub-humide au sud (Jahnke, 1984).

Selon la classification d'Aubreville (1949) la zone appartient au domaine soudanien comprenant deux zones agro-écologiques (Moral, 1964).

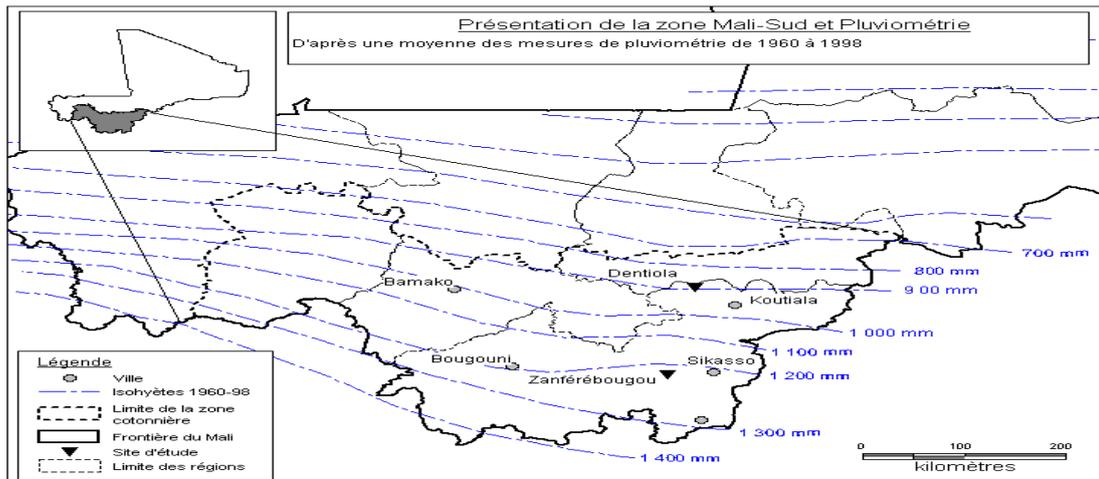
Le nord du Mali-Sud est occupée par la zone sahélo-soudanienne (650 à 900 mm/an, environ 70 jours de pluies) caractérisée par la culture du mil, du sorgho, du coton et des légumineuses avec un essor important de l'élevage bovins. Les formations naturelles sont caractérisées par une savane arborée à arbustive.

Dans la zone soudano-guinéenne (900 à 1 200 mm/an en 80 jours de pluies), la culture du coton, du maïs et des légumineuses s'accompagnent de cultures secondaires de céréales sèches. La végétation est caractérisée par une mosaïque de savanes arbustives ou arborées et des forêts claires. La Carte 1, tirée de (IRAM, 2005) illustre les zones agro-écologiques du Mali dont les deux zones du Mali-Sud.

Carte 1. Les principales unités agro-écologiques du Mali, tirée de (IRAM, 2005)

La hauteur des précipitations et leur répartition déterminent la durée du cycle végétatif des cultures car la température et l'ensoleillement ne sont pas limitant dans la zone. Le début de la saison des pluies permet l'installation des cultures et la durée doit permettre leur développement. Ainsi, une « bonne » saison des pluies correspond à une hauteur d'eau suffisante et une bonne répartition des pluies sans périodes sèches aux moments clefs du développement des cultures (Lavigne Delville, 1996).

La pluviométrie de la zone est caractérisée par une forte variabilité interannuelle de la hauteur, de la date d'installation et de la durée des pluies (Lavigne Delville, 1996, Pieri, 1989, Traoré, 2003). La répartition dans le temps et l'espace représente une forte contrainte pour les agriculteurs qui cherchent à semer en le début de la saison afin de valoriser le maximum de pluies et à achever le cycle végétatif des cultures.



Carte 2. Présentation de la zone Mali-Sud et pluviométrie (d'après LaboSET IER)

Cette variabilité a été étudiée, par divers structures et auteurs, sur de longues séries de données disponibles (de 1930 à nos jours). Suite aux périodes de sécheresse des années 70 et 80, les analyses de l'évolution de la pluviométrie annuelle et des écarts à la moyenne sur de longues chronologies avaient pour objectif de prévoir l'issue des périodes de sécheresse et tenter de déterminer leur périodicité (Eldin cité par Pieri, 1989). Le caractère aléatoire du climat et la relativement courte histoire des mesures pluviométriques dans la région n'ont pas permis de définir de périodicité pour ces oscillations. Cependant, divers auteurs mesurent une baisse générale de la pluviométrie dans la sous région avec une réduction de la hauteur de pluie de 60 à 90 mm pour la période 1976/2000 en référence à la période de 1951/1975 (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 b). Cette réduction s'exprime, également, par un déplacement des isohyètes vers le sud et plusieurs auteurs estiment un recul de 100 km entre les années 50 et les années 90 (Lavigne Delville, 1996, Traoré, 2003, L'Hôte et Mahé, 1996) ou même de 200 km (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 b).

Dans la zone étudiée, il existe de longues séries de mesure issues de stations de recherche ou de la météo nationale (60 ans de mesure à N'Tarla, 20 km de Dentiola et 45 ans à Sikasso, 60 km de Zanférébougou). Les évolutions des précipitations mesurées sont présentées dans la Figure 2. L'évolution de la pluviométrie montre une tendance à la baisse entre 1950 et 1985, suivie d'une légère reprise caractérisée par une succession de bonnes et de mauvaises saisons. Cette évolution reste plus franche dans le nord de la zone (station de N'Tarla). Ces évolutions

sont confortées par les analyses de nombreux auteurs (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 b, L'Hôte et Mahé, 1996). Les écarts types par période, présentés dans la Figure 2, illustrent l'évolution de la variabilité de la hauteur des pluies. L'écart type moyen de 142 mm pour une pluviométrie moyenne de 844 mm/an représente 17 % de variation.

Les changements climatiques observés au niveau mondial, regroupés sous le terme de réchauffement climatique, laissent présager une évolution du climat au niveau de la zone du Mali-Sud. Les modèles d'évolutions actuelles et futures du climat de l'Afrique de l'Ouest présentent cependant des résultats mitigés. Les projections sur l'évolution des températures semblent satisfaisantes avec une augmentation d'environ 3,5 °C sur 100 ans (projection en 2080/99 en référence à la période de 1980/99. En revanche, les projections sur les évolutions des précipitations en Afrique de l'Ouest semblent plus délicates contrairement à des zones où les évolutions sont plus tranchées (augmentation de la pluviométrie dans la corne de l'Afrique, assèchement du pourtour méditerranéen) (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 b). Les évolutions risquent, toutefois, d'accentuer le phénomène aléatoire des précipitations dans la zone en créant des périodes de sécheresse au milieu de la saison des pluies, des retards de démarrage de la saison, des pluies violentes responsables d'érosion des sols et de verses des cultures... Ces changements observables à l'échelle de la vie humaine⁸, créent une difficulté supplémentaire pour des producteurs qui dépendent de l'eau de pluie pour l'apport d'eau aux cultures et aux troupeaux.

⁸ Le nom donné au mois d'août en dioula *côcô kalo*, faisait référence à des fines pluies de plusieurs jours, qui ont un caractère exceptionnel aujourd'hui.

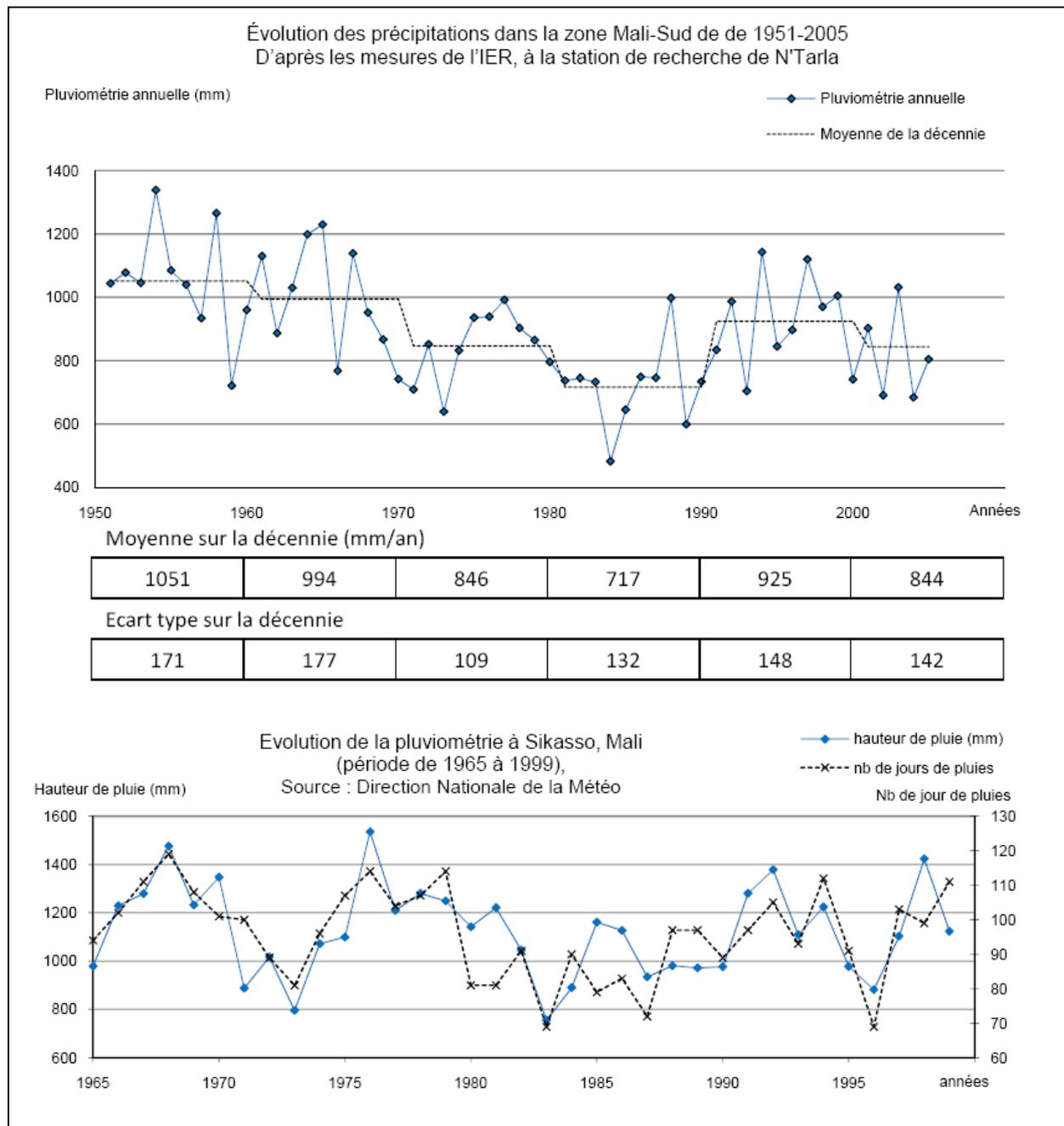


Figure 2. Évolution de la pluviométrie annuelle dans la zone Mali-Sud, d'après des mesures de la Direction Nationale de la Météo et de L'IER, station de recherche de N'Tarla.

La Figure 3 illustre la fréquence d'apparition d'une décade sèche (moins de 20 mm), d'une décade moyenne (20 à 50 mm) et d'une décade humide (plus de 50 mm). Les deux premières décades du mois de mai et la deuxième décade du mois de juin ont été sèches une année sur deux depuis 1992. L'analyse de la fréquence d'apparition de faibles pluies sur une si courte période ne permet pas de définir une fréquence d'apparition mais illustre que le phénomène reste récurrent.

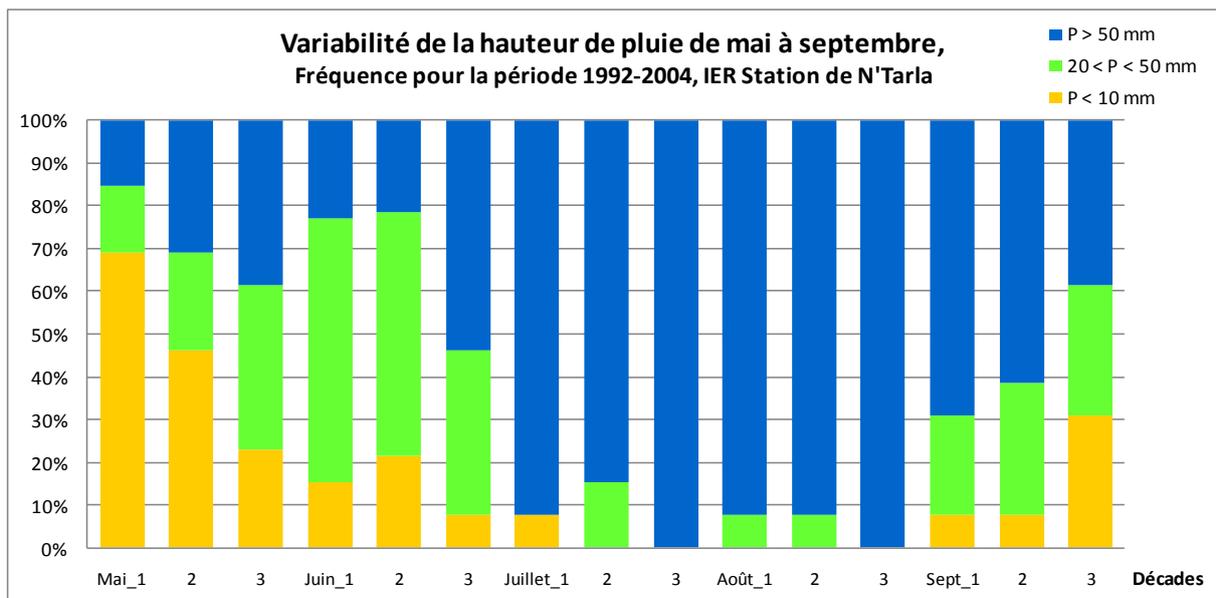


Figure 3. Fréquence de la hauteur de pluie pour les décades des mois de mai à septembre (d'après des mesures de l'Ier à la station de recherche de N'Tarla)

Ce présent travail s'appuie sur des données agronomiques issues d'un suivi lors de la campagne 2007-08. Une analyse du profil pluviométrique de la saison des pluies 2007 doit permettre de le caractériser au regard de la pluviométrie moyenne. La Figure 3 illustre la répartition des pluies dans un village d'étude au regard de la répartition moyenne des pluies à la station de recherche la plus proche (N'Tarla).

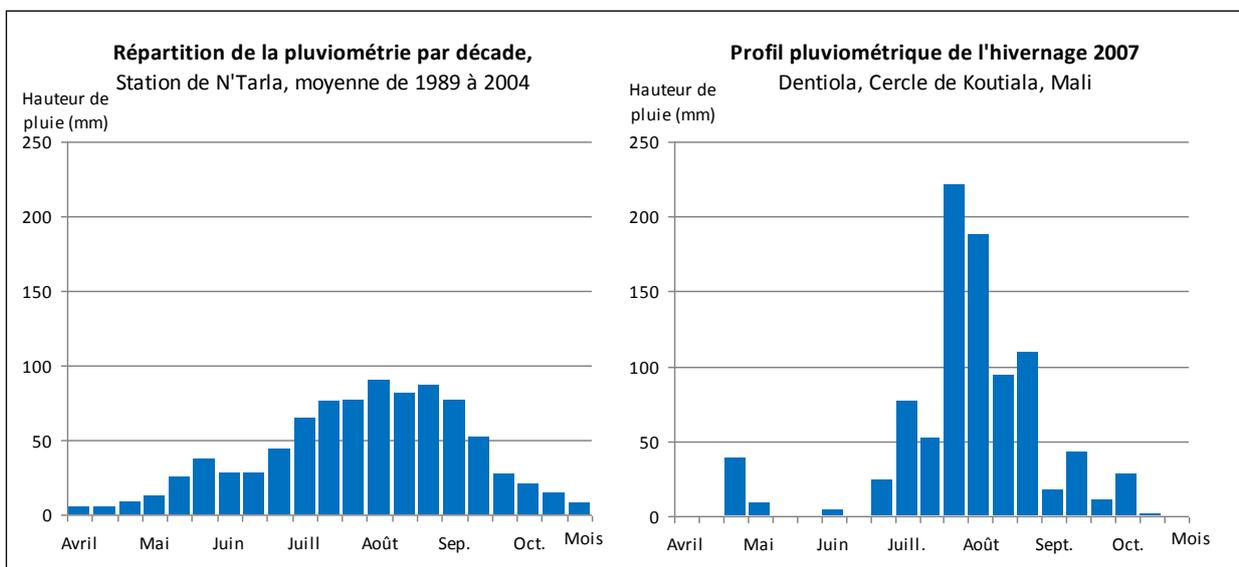


Figure 4. Profil de l'hivernage 2007 au regard de la répartition moyenne des pluies, d'après des mesures de l'IER station de recherche de N'Tarla et du projet Pase-SCV

La saison des pluies 2007 a été caractérisée au Mali-Sud par une période sèche entre les mois de mai et juin. Les producteurs qui n'avaient pas réalisé les travaux de labour et les semis dans la 1^{re} ou 2^e décade du mois de mai ont dû attendre la 3^e décade du mois de juin pour installer les cultures et les semis précoces ont fait l'objet de re-semis. L'hivernage 2007 présente un caractère exceptionnel au regard de la répartition moyenne des pluies dans la zone. Cependant, le profil pluviométrique de l'hivernage 2007 reste représentatif d'une mauvaise saison des pluies (Figure 3). Ceci doit cependant nous amener à analyser les résultats agronomiques avec prudence et selon les références de l'année.

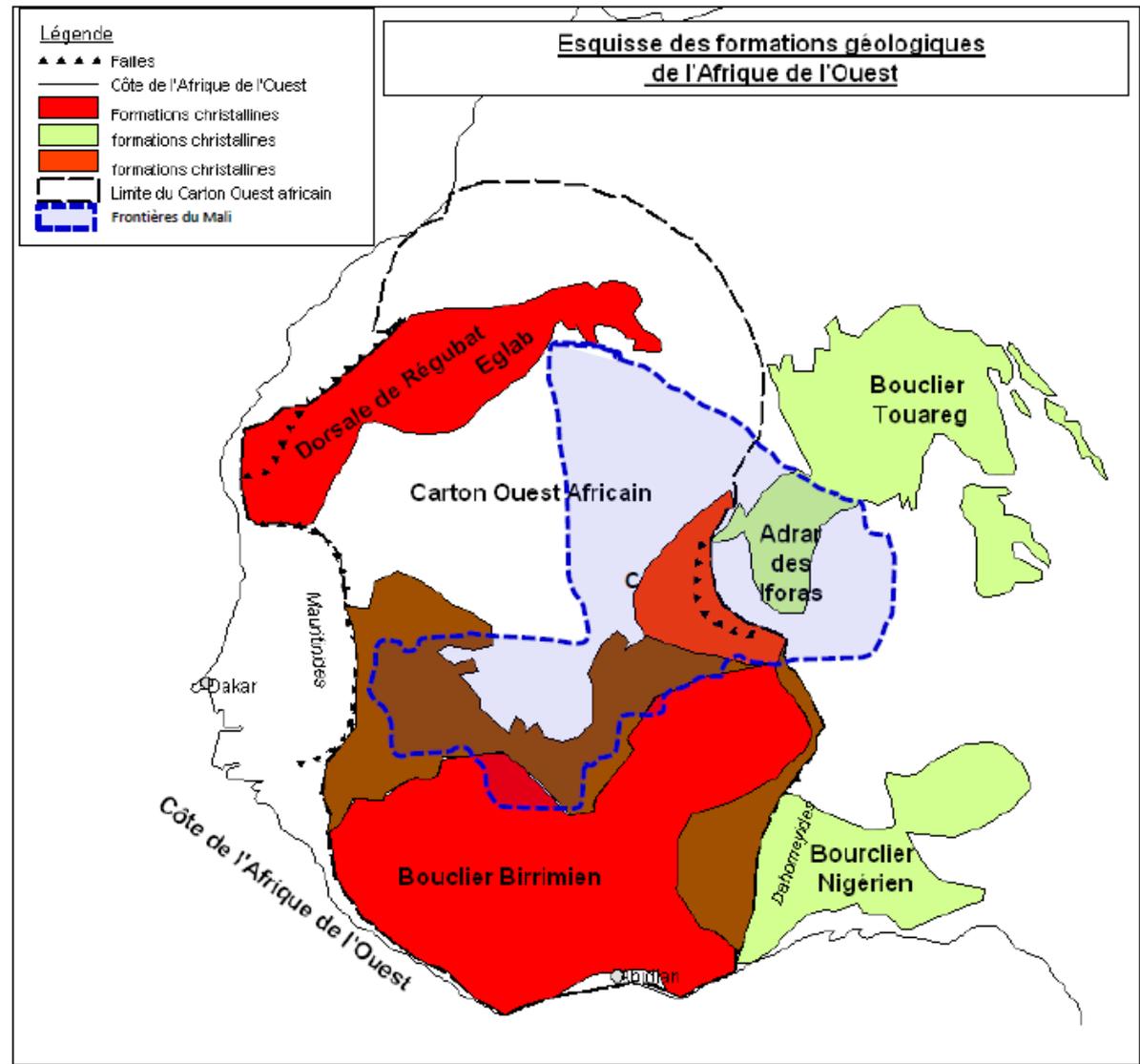
Végétation

La zone sahélo-soudanienne (nord) est caractérisée par des savanes arborées à arbustives à *Acacia sp.*, *Combretum sp.*, *Guiera senegalensis* ou *Piliostigma reticulatum*. Les parcs agroforestiers sont composés d'arbres fruitiers présents naturellement mais remaniés par les activités humaines, comme le baobab (*Andansonia digitata*), Le néré (*Parkia biglobosa*), Le raisinier sauvage (*Lannea microcarpa*), *Sclerocarya birrea*, Le karité (*Vitellaria paradoxa*), Le Jujubier (*Ziziphus mauritiana*) ou des arbres à usages multiples comme le Balanzan (*Faidherbia albida*). La strate herbacée est caractérisée par un recul de l'*Andropogon gayanus* et un recru de *A. pseudapricus*, *Cymbopogon giganteus* et *Pennisetum pedicellatum*, moins appréciées par le bétail (Traoré, 2003, Arbonnier, 2002).

La zone soudano-guinéenne (sud du Mali-Sud) est caractérisée par une mosaïque de savanes arbustives ou arborées et des forêts claires. Les arbres dominants dans les formations naturelles sont les mêmes que la zone sahélo-soudanienne avec *Lannea velutina*, ou *Terminalia avicennioides*. Les formations plus fermées sont composées de *Daniellia oliveri* et *Isoberlinia doka*.

Géologie et topographie

L'Afrique de l'Ouest repose sur un craton cristallin stabilisé à la fin du précambrien (600 millions d'années) installé au centre d'ensembles ayant subi des phénomènes tectoniques plus récents (Dorsale de Régubta Eglab, Bouclier Nigérien, Bouclier Birrimien). La partie non déformée du craton est formé, au sud, par des roches métamorphiques magmatiques cristallines et au centre par des formations sédimentaires de grès du précambrien supérieur et du paléozoïque. La zone Mali-Sud se situe au cœur des formations sédimentaires de grès (Carte 3). Le relief relativement plat du Mali-Sud a été affecté par des mouvements verticaux qui ont donné naissance au plateau mandingue et au plateau dogon. Entre ces deux plateaux, le relief plat est modelé par le réseau hydrographique qui donne naissance au delta intérieur du fleuve Niger au nord (ORSTOM, 1969).



Carte 3. Esquisse des formations géologique de l'Afrique de l'Ouest (d'après Traoré, 2003)

Les formations sédimentaires de la zone Mali-Sud sont variées. La région de Koutiala repose sur des formations étendues, homogènes et épaisses de grès siliceux à grains de quartz roulés, caractéristique des grès de Koutiala. Au sud, la région de Sikasso s'appuie sur des grès à grains fins à quartz arrondis et du ciment ferrugineux et argileux (Saad, 1970). Une carte géologique du Mali-Sud est présentée en Annexe 1 (d'après Saad, 1970).

Pédologie

Formation des couvertures pédologiques au Mali-Sud

Les formations pédologiques actuelles résultent du relief et de la topographie, de la roche et de l'action du climat, du temps d'évolution et de l'occupation de l'espace (végétation, activité humaine, animaux).

Au Mali-Sud, les sols sont formés à partir des grès sous jacents (à l'exception de la zone ouest du Mali-Sud) (Carte 3). Ces sols sont issus de l'altération profonde des roches sous l'action

du la période Quaternaire, caractérisé par une alternance de périodes pluvieuses et arides. Les minéraux de la roche ont subi des profonds remaniements et se sont altérés par monosiallisation. La fréquence des pluies et la chaleur a favorisé une hydrolyse rapide et un lessivage des ions basiques qui ont migré avec une partie du silicium. Dans le milieu contenant donc peu de silicium, se sont néoformés des minéraux argileux de type 1/1, composés d'une couche à noyau de silicium et une couche à noyau d'aluminium. Ce type d'argile, kaolinite, est plus pauvre en silicium que les argiles de type 2/1. La caractéristique de ces sols est d'avoir naturellement une faible capacité d'échange cationique due à peu de sites où peuvent se former des liaisons électrochimiques.

Le climat (forte pluie et chaleur) provoque une migration séparée des argiles et des hydroxydes de fer qui s'accumulent alors en couches séparées. Les hydroxydes de fer donnent naissance à des nodules et cuirasses, formant de grands plateaux cuirassés. Les argiles s'accumulent formant des horizons d'accumulation riche en argile (Ruellan et Dosso, 1993).

Lors des phases sèches du Quaternaire, la végétation réduite protège moins les sols et les phénomènes d'érosion provoquent un transfert latéral de matériaux et d'importantes zones de dépôts de colluvions. Les colluvions s'accumulent sans être entraînés dans le réseau hydrographique par un insuffisant drainage et une faible pente (Traoré, 2003).

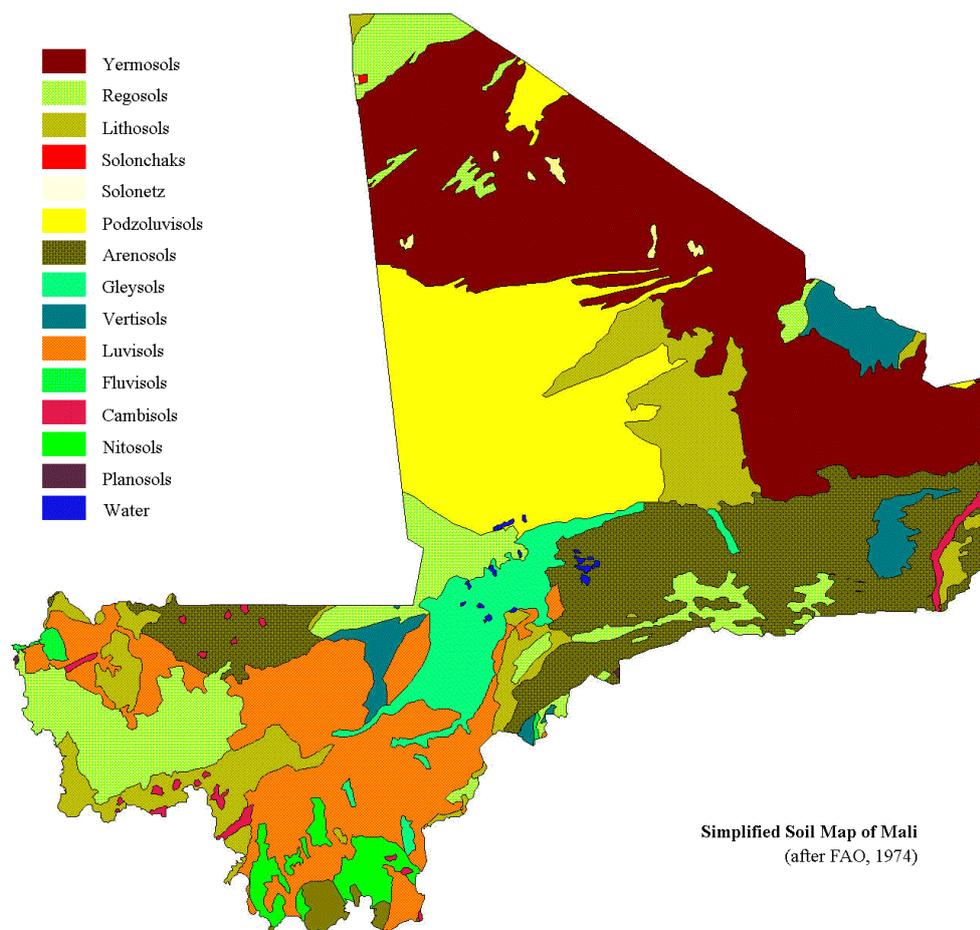
Les matériaux originels sont donc des grès très souvent surmontés d'une ancienne cuirasse (plateau de Koutiala) et un socle cristallin d'origine métamorphique surmonté d'altérites kaolinique et sesquioxydique (Dabin et Maignien, 1979). Ces matériaux originels représentent la base de la formation des sols actuels.

Les sols du Mali-Sud

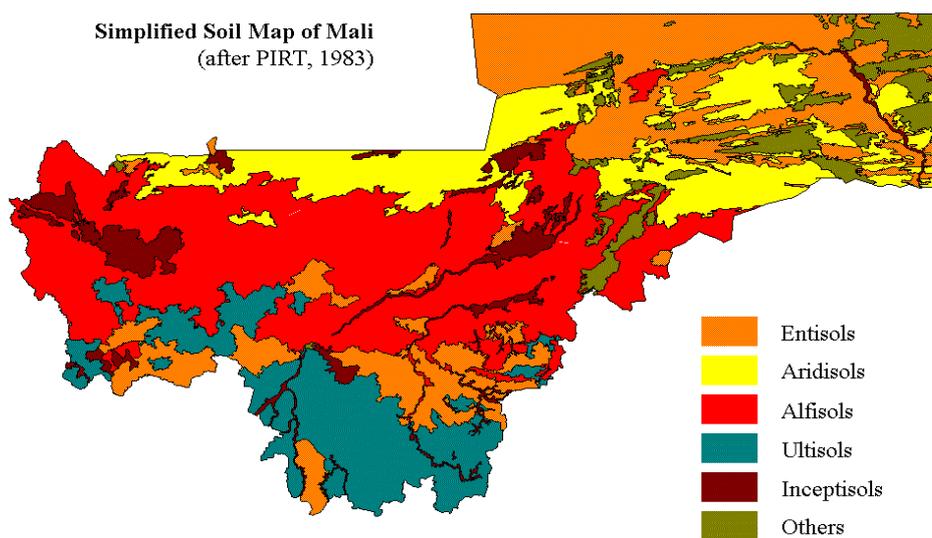
Les sols de la zone Mali-sud correspondent selon la classification CPCS⁹ à des sols ferrugineux tropicaux (peu ou non lessivés et lessivés), à des Lixisols selon la légende révisée de la FAO ou des Alfisols selon la Soil Taxonomy (Keita, 2000).

Les sols ferrugineux tropicaux sont des sols riches en sesquioxydes et hydrates métalliques. Ces sols de teinte claire, présentent des profils différenciés avec des horizons bien distincts, et une variation de texture nette. Les argiles et des oxydes de fer sont répartis de manière hétérogène dans les profils. Le long du profil, la teinte s'éclaircit vers le jaune beige avec un lessivage et un départ d'argile des horizons supérieurs. Les hydroxydes de fer s'accumulent et forment des concrétions ou cuirasses. Des horizons hydromorphes peuvent apparaître avec l'alternance de saison sèche et pluvieuse, entraînant un engorgement du sol en saison pluvieuse. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés, par la présence d'argile kaolinite présente une déficience en éléments nutritifs, un risque d'acidification accru et une faible capacité d'échange cationique, donc une faible rétention des engrais minéraux. Les Carte 4 et Carte 5 présentent la répartition des sols ferrugineux tropicaux au Mali et au Mali-Sud.

⁹ CPCS : Commission de Pédologie et Cartographie des Sols qui établit la classification française des sols



Carte 4. Cartes des sols du Mali (d'après FAO, 1974 présenté LaboSEP/IER, 1999).



Carte 5. Carte des sols du Mali-Sud (d'après PIRT, 1983 présenté par LaboSEP/IER, 1999)

Les variations pédologiques le long des toposéquences

Le facteur principal expliquant la variation latérale des structures pédologiques est la topographie, la forme et la position de la pente, puisque la lithosphère et le climat sont relativement homogènes sur l'ensemble de la zone (Ruellan et Dosso, 1993). L'occupation de l'espace (végétation, activité humaine et élevage) représente tout de même un important facteur d'accentuation des phénomènes d'évolution des sols, entraînant un recul de la végétation, une mise à nu du sol et de l'érosion.

La Figure 5 présente une toposéquence classique du Mali-Sud, à partir de Gigou *et al.* (2003). Sur le plateau cuirassé en haut de la toposéquence, le sol est largement induré limitant la profondeur du sol et réduisant l'enracinement des cultures. En saison pluvieuse, l'horizon induré, imperméable, entraîne la formation de marres temporaires essentielles pour l'abreuvement des animaux dans l'espace sylvo-pastoral. Par endroit, la cuirasse est dégradée et le sol plus profond. L'horizon gravillonnaire, ainsi formé, confère aux sols des bonnes propriétés agricoles avec une forte macroporosité offrant un bon ressuyage des eaux de pluies et un bon enracinement des cultures.

Dans la zone de raccordement avec le plateau cuirassé, le sol est composé des éléments de dégradation de la cuirasse (gravillons ferrugineux) qui peuvent représenter une importante épaisseur (60 cm) mêlés à des sables et éléments de sol plus fins.

Le glacis intermédiaire est occupé par des sols ferrugineux tropicaux. Selon la longueur du versant, l'équilibre entre sable et limon évolue. L'horizon de surface devient sableux quand la pente devient plus forte (versant court). Sur les longs versants, l'horizon de surface devient davantage limoneux, formant des croûtes moins perméables aux eaux de pluies.

Le bas glacis est occupé par des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou hydromorphes selon la profondeur de l'horizon hydromorphe. La texture de l'horizon de surface varie de limono-sableux à argileux, selon l'intensité du départ d'éléments grossiers depuis le haut du versant. Les horizons profonds sont riches en argiles renforçant l'hydromorphie de ces sols. L'engorgement temporaire de ces sols peut limiter l'enracinement des cultures, l'accès aux réserves hydriques et minérales et rendre plus difficile le travail du sol. Cependant, sa richesse en éléments minéraux lui confère une richesse chimique importante (Keita, 2000, Dabin et Maignien, 1979, Traoré, 2003) (Figure 5).

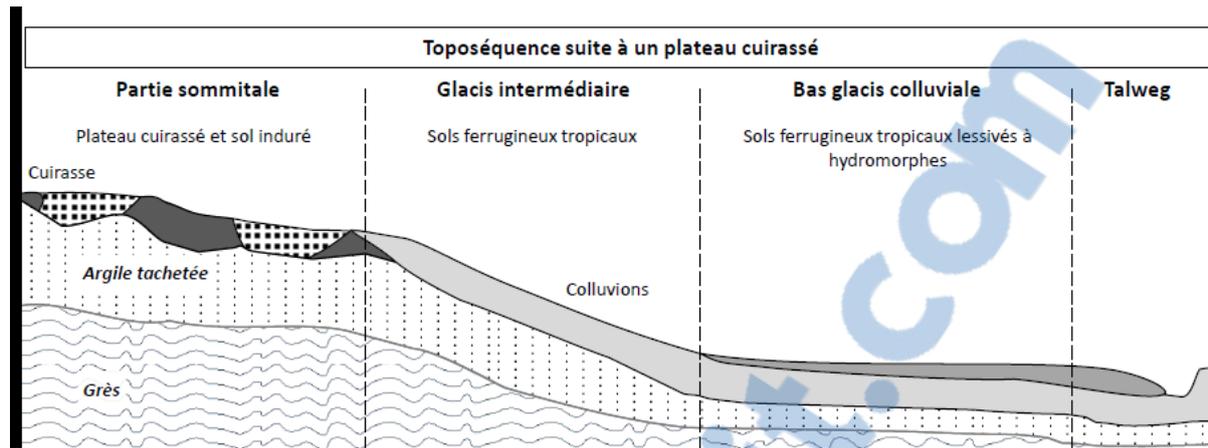


Figure 5. Toposéquence schématique du Mali-Sud (d'après Gigou et al., 2003)

Géographie, Histoire et Société

La zone Mali-Sud ne représente pas une zone administrative, mais reflète la zone d'intervention de la société cotonnière. Elle s'étend sur une partie des régions administratives de Ségou et Koulikoro et la totalité de la région de Sikasso (Carte 2). Depuis 1995, la zone de développement de la culture du coton englobe le bassin arachidier en déclin de Kayes.

La zone Mali-Sud a été, au cours du XVIII^e siècle, sous l'influence de deux grands royaumes, le Royaume du KénéDougou, Sénoufo centré sur Sikasso et le Royaume Bambara de Ségou qui s'étendait jusqu'au pays Minianka dans la région actuelle de Koutiala. La population de la zone est marquée par une histoire de mobilité, de brassage et d'intégration. Le Mali-Sud recouvre aujourd'hui le pays Bambara et le pays Sénoufo et Minianka avec à l'extrême ouest, le pays Malinké et à l'extrême est le pays Bobo. Les éleveurs peulhs parcouraient la zone pour conduire leurs animaux au pâturage lors de la saison sèche ou pour les vendre au sud. Une partie des éleveurs sont, aujourd'hui, sédentarisés et « intégrés »¹⁰.

La densité de population dans la zone sub-humide du Mali-Sud a longtemps été sous influence de contraintes sanitaires fortes limitant l'installation des hommes (onchocercose) et des bovins (trypanosomiase animale). L'augmentation de l'emprise agricole, le renforcement des traitements contre la trypanosomiase et de manière générale, la dégradation des écosystèmes des vecteurs de ces maladies a réduit les contraintes au peuplement permettant l'occupation de l'espace, le maintien de troupeaux de bovin et la mise en valeur de certains cours d'eau (Sangare et al., 2006 a). Actuellement, les villages se répartissent sur l'ensemble du territoire avec une densité de population qui demeure plus faible dans le sud de la zone. La zone de Koutiala, correspondant au « vieux bassin cotonnier », reste densément peuplée avec en moyenne 30 à 50 hab./km². La zone sud, avoisinant Sikasso, demeure moyennement peuplée avec 10 à 30 hab./km². Les villes de Sikasso et Koutiala représentent des zones d'attraction importantes de la population et le développement de pôles urbains renforce le rôle de la production agricole dans la couverture des besoins alimentaires de la population nationale.

¹⁰ Il n'est pas rare de rencontrer les paysans portant des noms peulhs (Diallo, Diakité...) se déclarant Bambara ou Sénoufo.

Agriculture et élevage au Mali-Sud

Les producteurs du Mali-Sud

Typologies des producteurs

La Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) souhaitait disposer d'une typologie des exploitations de la zone de production cotonnière pour renforcer l'efficacité de son encadrement et appliquer un conseil de gestion aux exploitations agricoles. La typologie devait représenter la diversité structurelle des exploitations et permettre ainsi d'adapter les messages techniques aux moyens et aux contraintes de chacun des types d'exploitation. Elle a été définie par l'ESPGRN du CRRRA de Sikasso, équipe de recherche systémique, selon le niveau d'équipement pour la culture attelée, le cheptel bovin des exploitations et les moyens de transport. La typologie CMDT, présentée dans le Tableau 1, se compose de 4 types (Sanogo, 1989).

Cette typologie a longtemps été utilisée par les services d'encadrement des producteurs pour la caractérisation et le suivi des exploitations. La typologie CMDT prend en compte la traction animale et le nombre de bovin sans s'appuyer sur l'étendue des surfaces cultivées ou le nombre d'actif des exploitations. Les activités d'élevage sont intégrées à cette typologie, comme se fut peu le cas des autres typologies de producteurs de la sous région.

La typologie est reconnue par les producteurs qui, même si leurs exploitations a subi d'importants changements, se considèrent toujours dans la même catégorie. Les clefs typologiques, réduites à des aspects structurels, ne permettent plus de discriminer les exploitations selon les facteurs limitant leur développement actuel.

Tableau 1. Typologie des exploitations agricoles au Mali-Sud

Type d'exploitation	Clefs typologique		
	Culture attelée	Cheptel (dont bœufs de traits)	Maîtrise des techniques de traction animale
Type A Exploitations bien équipées	2 attelages complets Au moins une charrette	Plus de 10 bovins	Bonne maîtrise
Type B Exploitations sous-équipées	1 attelage : bœuf de trait + charrue ou multicultureur	Moins de 10 bovins	Bonne maîtrise
Type C Exploitations non équipées	Attelage incomplet		Maîtrise moyenne
Type D Exploitations non équipées, culture manuelle	Pas d'attelage		Non maîtrise

La recherche a proposé de nouvelles typologies intégrant davantage de critères des exploitations pour définir les clefs typologiques.

La typologie du projet Pase 1 s'appuyait sur les systèmes de culture, le nombre d'actifs et le nombre de bovins pour définir 9 types d'exploitations et en décrire le fonctionnement. Cette description fine de la réalité restait trop complexe pour une utilisation par les opérations de développement.

La typologie utilisée par le projet Duras¹¹ s'orientait selon le point de vue de l'intégration agriculture-élevage. Cette typologie prenait en compte les surfaces cultivées et le nombre de bovins. Il s'agissait d'une typologie des activités agropastorales. Les 3 principaux types d'exploitation retenus (agriculteurs, éleveurs et agro-éleveurs) se subdivisent en 6 sous-types selon le niveau d'intégration des deux activités (Sangare et al., 2006 a).

Ce travail s'appuiera, dans un premier temps, sur cette typologie pour présenter la diversité des producteurs de la zone Mali-sud. Les caractéristiques de ces types d'exploitations sont présentées, pour les exploitations du village de Dentiola (Cercle de Koutiala au Mali) dans le Tableau 2.

Tableau 2. Caractéristique des types de producteurs dans le village de Dentiola (Sangare et al., 2006 a)

Type de producteurs	Agriculteur A1	Agriculteur A2	Agriculteur A3	Agro-éleveur AE1	Agro-éleveur AE2	Eleveur E
% ds UP	23 %	40%	15%	6%	15%	1%
Surface moyenne cultivée (ha)	4,7	10,5	9,4	10,5	23,8	0,6
Assolement en Coton	19 %	55%	49%	74%	136%	0%
en Maïs	13 %	15%	17%	11%	12%	0%
en Sorgho et Mil	45 %	43 %	38 %	27 %	39 %	0%
Bœuf de trait (u)	1	2	3,4	4,4	8,9	4
UBT	1,3	2,7	5,9	10,7	29,6	15,1
UBT/ha cultivé	0,3	0,3	0,6	1,0	1,2	25,2

UBT= Nombre âne*0,4+ Nombre de bœuf *0,7 + Nombre petit ruminants *0,1

Les **agriculteurs de type A1** sont de petits cultivateurs qui emblavent de petites surfaces (4,7 ha en moyenne à Dentiola) avec un cheptel réduit (1 bœuf de trait). Ces exploitations sont peu dotées en moyens de production et connaissent des difficultés pour réaliser des investissements. La production de fumure organique (FO) est limitée à des tas d'ordures domestiques et la récolte des déjections des quelques petits ruminants.

Les **agriculteurs de type A2** sont des cultivateurs moyens qui emblavent des surfaces plus grandes (10,5 ha) et possèdent une paire de bœufs de trait. Ces exploitations, mieux dotées, peuvent mettre en place des lieux de production de fumure organique (petite étable, fosse domestique).

Les **agriculteurs de type A3** sont des agriculteurs qui développent un élevage bovin. Les surfaces emblavées sont comparables à celles des agriculteurs de types A2 (9,4 ha) mais le choix de développer un noyau de bovin d'élevage est affiché (8,5 Unité de Bétail Tropicaux ou UBT).

¹¹ Le projet Agri-élevage de Duras regroupait des actions sur la caractérisation des situations agropastorales et l'identification et la valorisation des savoirs techniques locaux sur les relations agriculture élevage à l'échelle des exploitations et des territoires villageois.

Les **agro-éleveurs de type AE1** sont des producteurs qui mènent les deux activités sur des plus grandes surfaces (10,5 ha) et avec un troupeau plus important (14,2 UBT).

Les **agro-éleveurs de type AE2** sont des grands producteurs qui emblavent de très grandes surfaces (23,8 ha) et propriétaires d'un troupeau important (39,3 UBT).

Enfin, les **éleveurs** représentent un groupe à part. Très peu représenté, ce type correspond aux producteurs qui développent des activités d'élevage avec un grand troupeau (19,6 UBT) sans emblaver de grandes surfaces (0,6 ha). La majorité des éleveurs traditionnels de la zone, se sont sédentarisés et ont développé une activité agricole (céréales et coton) sur des surfaces non négligeables, devenant ainsi producteurs de type A3, AE1 ou même AE2.

Trajectoires des exploitations

L'étude de la constitution des exploitations agricoles lors d'une enquête menée dans les deux villages d'étude par le projet Agri-élevage de Duras avait permis de définir les principales trajectoires d'évolution des exploitations (Figure 6).

Les éleveurs ont quitté le territoire villageois ou se sont sédentarisés en développant des activités agricoles (culture de coton, maïs) et/ ou en réduisant la taille de leur troupeau, devenant ainsi des agriculteurs A3 ou des agro-éleveurs AE1.

Les agriculteurs peuvent avoir deux évolutions générales. Les exploitations qui ont les moyens de production nécessaires et l'accès à la terre, développent les surfaces cultivées passant du type A1 à A2. Les exploitations qui dégagent des revenus nécessaires, investissent dans l'élevage passant au type A3 ou deviennent des agro-éleveurs.

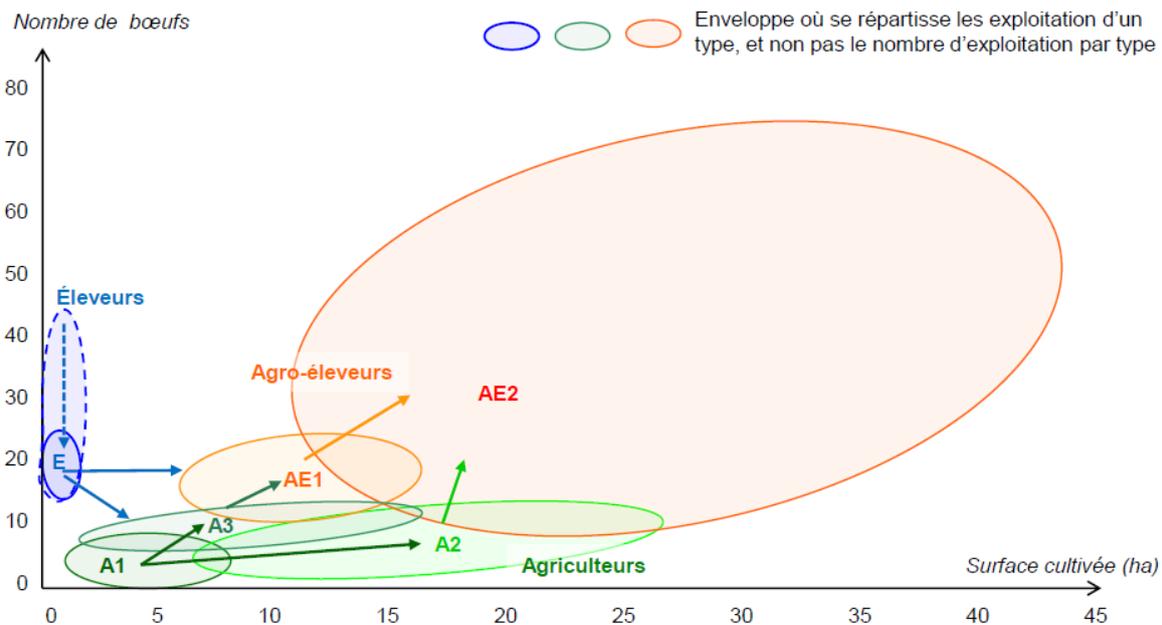


Figure 6. Typologie des exploitations agricoles et trajectoires d'évolution à Dentiola (à partir de Sangaré et al., 2006 a)

Les trajectoires présentées ne tiennent compte que des évolutions positives avec développement des surfaces ou du cheptel et non des régressions d'une et/ ou de l'autre activité suite à des difficultés (accident, éclatement de l'unité de production...).

Organisation des producteurs

Les producteurs sont organisés en coopérative de producteurs de coton (CPC) depuis 2001. Ces coopératives, basées sur un statut juridique, jouent un rôle fondamental dans l'implication des producteurs dans la filière cotonnière. A travers ces organisations professionnelles, les producteurs assurent la distribution des intrants coton et céréales, la collecte et la commercialisation du coton-graine et la gestion des crédits agricoles. Ces organisations jouent un rôle économique majeur au delà de la simple solidarité (Gentil, 1995).

Les coopératives sont regroupées au sein d'organisation faitières à plusieurs échelles. A l'échelle des Communes, des Cercles et des Régions, les CPC sont organisées en union dont le rôle est l'organisation des membres et la concertation avec les partenaires et les institutions. Les unions sont regroupées en fédération et confédération.

A l'issu de la crise cotonnière de 2001, des syndicats ont fait leur apparition dans le paysage social. Les quatre syndicats, SYCOV¹², SYVAC¹³, SPCK¹⁴ et SYPAMO¹⁵, sont regroupés dans une intersyndicale (GSCVM)¹⁶ qui a pour mandat la négociation du prix des intrants hors coton et est impliquée dans la fixation du prix d'achat du coton-graine. Il y a cependant un manque de confiance des producteurs de base suite à des divergences entre personnalités (Teme, 2003).

Les systèmes de culture du Mali-Sud

Les systèmes agricoles au Mali-Sud sont dominés par la culture du Coton (30 % de l'assolement moyen) et la culture du maïs dans le sud (37 % Cercle de Sikasso). Les céréales sèches, le mil et le sorgho, sont bien représentés dans le nord de la zone avec respectueusement 25 et 16 % (Cercle de Koutiala). La culture des légumineuses (arachide, niébé) et les cultures de bas-fond interviennent en culture de diversification.

Une intégration des activités agricoles et d'élevage participe à la gestion de la fertilité des sols. En saison sèche, les animaux divaguent sur les zones de cultures, valorisant les résidus de récolte et les ressources fourragères disponibles sur les zones pastorales. La nuit, les animaux sont gardés au parc pour limiter les risques de vol. La production de fumure organique au parc permet de valoriser une partie des résidus de l'ager par transfert par les animaux.

¹² SYCOV : Syndicat des producteurs de Coton et de Vivriers

¹³ SYVAC : Syndicat pour la Valorisation de Cultures Cotonnières et Vivrières

¹⁴ SPCK : Syndicat des Producteurs de Coton de Kita

¹⁵ SYPAMO : Syndicat des Producteurs Agricoles de Mali Ouest

¹⁶ GSCVM : Groupement des Syndicats Cotonniers et Vivriers du Mali

En saison des pluies, les animaux sont conduits dans la zone pastorale pour la journée et reviennent au parc la nuit. Les producteurs au Mali-sud valorisent une partie des résidus de culture sous forme de litière dans le parc (tiges de coton, pailles sorgho). Le transport de grandes quantités de résidus nécessite cependant d'être équipé d'une charrette et d'avoir de la main-d'œuvre disponible. Cette pratique permet un transfert de biomasse du *saltus* vers l'*ager*.

Enfin, les producteurs ont développé une production de fumure organique en fosse où les déjections animales, les résidus de cultures et les autres sources de biomasses végétales sont transportées dans la fosse pour y être compostés. La fumure organique, ainsi produite, est transportée sur les champs avant le lancement des travaux de labour.

Ces pratiques de gestion des biomasses végétales et d'origine animale génèrent cependant des pertes en biomasses du point de vue strict des restitutions organiques. Les tiges et les pailles peuvent être brûlées pour l'obtention de cendre nécessaire à la fabrication de savon ou de potasse pour la cuisine. Les animaux piétinent les résidus de culture et ils sont éparpillés par le vent. Les résidus de culture disparaissent également par le passage des feux de brousse, les prélèvements pour la construction. Les biomasses des effluents des ruminants sont également perdues par les exploitations par la divagation et les départs en transhumances (Dugué, 1999).

Les sols sont préparés par un labour, un billonnage ou un simple sarclage. Le semis manuel ou au semoir interviennent, selon l'arrivée des pluies, entre la fin du mois de mai (semis précoce) et le début du mois de juillet (semis tardif) pour la culture du coton, et avec un décalage pour le maïs vers la fin du mois de juillet. Les semis des céréales sèches sont moins contraignants, ils peuvent intervenir fin mai comme fin juillet.

La lutte contre les adventices est réalisée à la traction animale avec des sarclages au corps sarcler (1 à 3 passages) suivis de désherbages manuels, entre les plans le long de la ligne de semis. Des herbicides, totaux et sélectifs sont utilisés quand les producteurs y ont accès.

Le coton et le maïs sont fertilisés avec des engrais minéraux (complexe NPK et urée)¹⁷ alors que les céréales sèches reçoivent des engrais détournés des cultures principales. Le complexe NPK est appliqué en début de cycle, au moment du semis ou 10 jours après le semis. Les recommandations font état de 150 kg/ha de complexe NPK à apporter sur le coton et 100 kg/ha sur le maïs, le mil et le sorgho. L'urée est appliquée au cours du cycle (50 kg/ha pour le coton, mil et sorgho et 150 kg/ha pour le maïs) avant un buttage sur les céréales. Certains producteurs préfèrent appliquer l'urée en même temps que le complexe NPK, réalisant alors un apport combiné, ou une moitié en même temps que le complexe et l'autre avant le buttage lors de la floraison et fructification des cultures.

Les plants de coton sont traités aux insecticides au cours de plusieurs passages (3 à 6 traitements). La technique de la lutte étagée ciblée devait permettre aux producteurs de limiter le nombre de traitement selon le niveau d'attaque des ravageurs et ainsi réduire les dépenses en intrants et la quantité de produits épandus.

¹⁷ Complexe NPK coton (14-22-12 7S 1B), Complexe NPK céréales (17-17-17 4S) et Urée à 46 % (source : Direction IER)

Les récoltes, manuelles sur toutes les cultures, s'étalent d'octobre-novembre (maïs, céréales sèches) à novembre-décembre (coton). Le calendrier agricole simplifié pour les cultures principales est présenté dans la Figure 7.

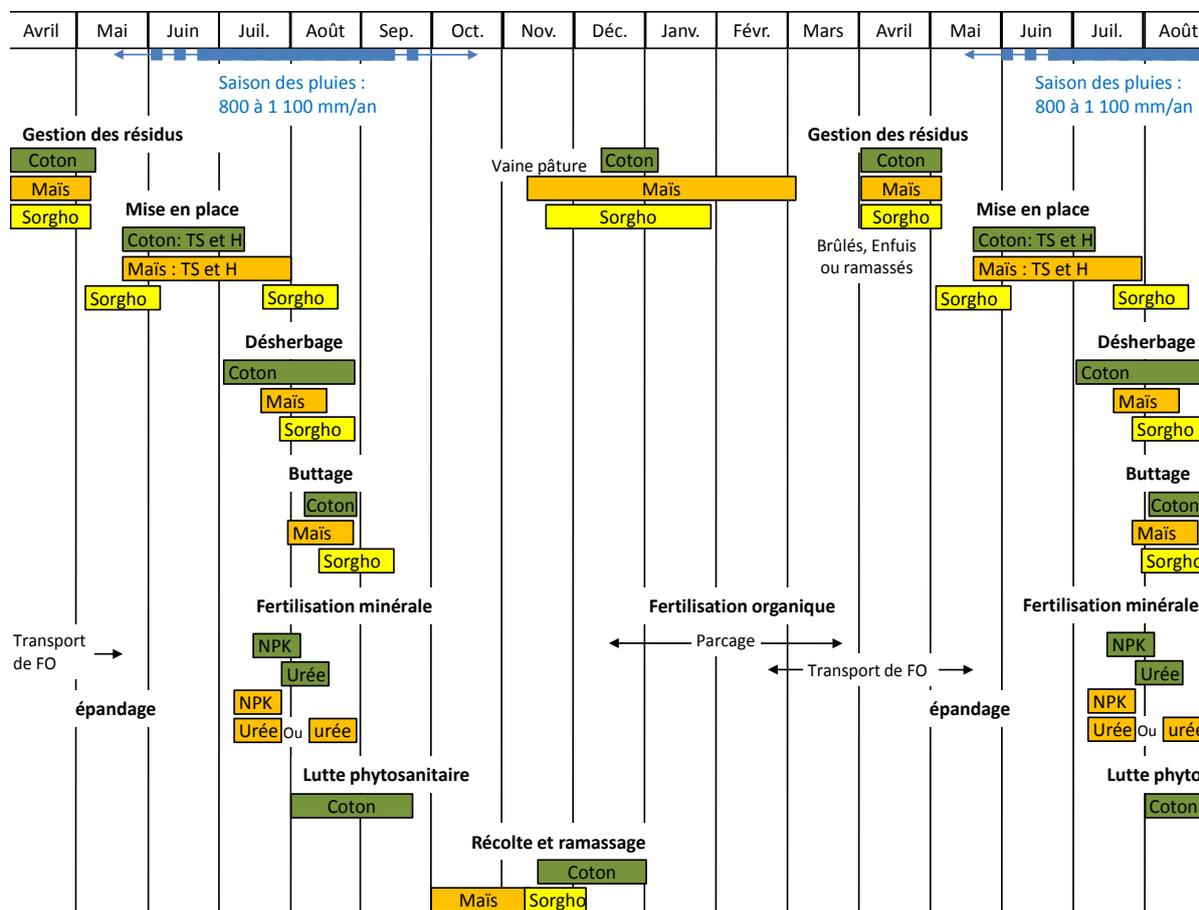


Figure 7. Calendrier agricole simplifié du Mali-Sud (à partir des suivis agricoles)

Les systèmes d'élevage du Mali-sud

Évolution du cheptel du Mali-sud

L'élevage a longtemps été limité au Mali-Sud par la présence de trypanosomiase animale. Les troupeaux évoluaient au nord de la zone (Région de Mopti) et réalisaient un transit vers le sud pour le commerce des animaux ou la conduite au pâturage en saison sèche. Avec le développement de la traction animale, des efforts ont été consentis pour la lutte contre la trypanosomiase avec des luttes contre le vecteur, la glossine et la mise en place de traitement systématique des animaux de la zone. Dès le milieu des années 80, on estimait que le cheptel de la zone du Mali-Sud dépassait celui de la principale zone d'élevage, la Région de Mopti (Ramisch, 1999). Malgré les difficultés d'obtenir des statistiques fiables sur l'élevage, plusieurs études le confirment (Bourn et Wint, 1994 cité par Ramisch 1999, Pradère et al., 2007). En 1991 et 2004 un recensement national a été réalisé. Avant 1991, des estimations de

la Direction Nationale de l'Élevage (DNE) sont disponibles sur la base des statistiques des campagnes de vaccination obligatoire et gratuite. Après 1991, La cellule de planification et de statistique (CPS) dispose d'estimation sur le cheptel, corrigée par le recensement de 2004. Les évolutions du cheptel de bovins et d'ovins et caprins sont présentées pour chacune des régions du pays dans les Figure 8 et Figure 9.

L'augmentation du cheptel de bovins et de petits ruminants n'a pas été régulière dans la région de Sikasso. Avec les épisodes de sécheresse des années 1970 et 1980, les écosystèmes auraient été affaiblis davantage dans le nord (Bertrand, 1986).

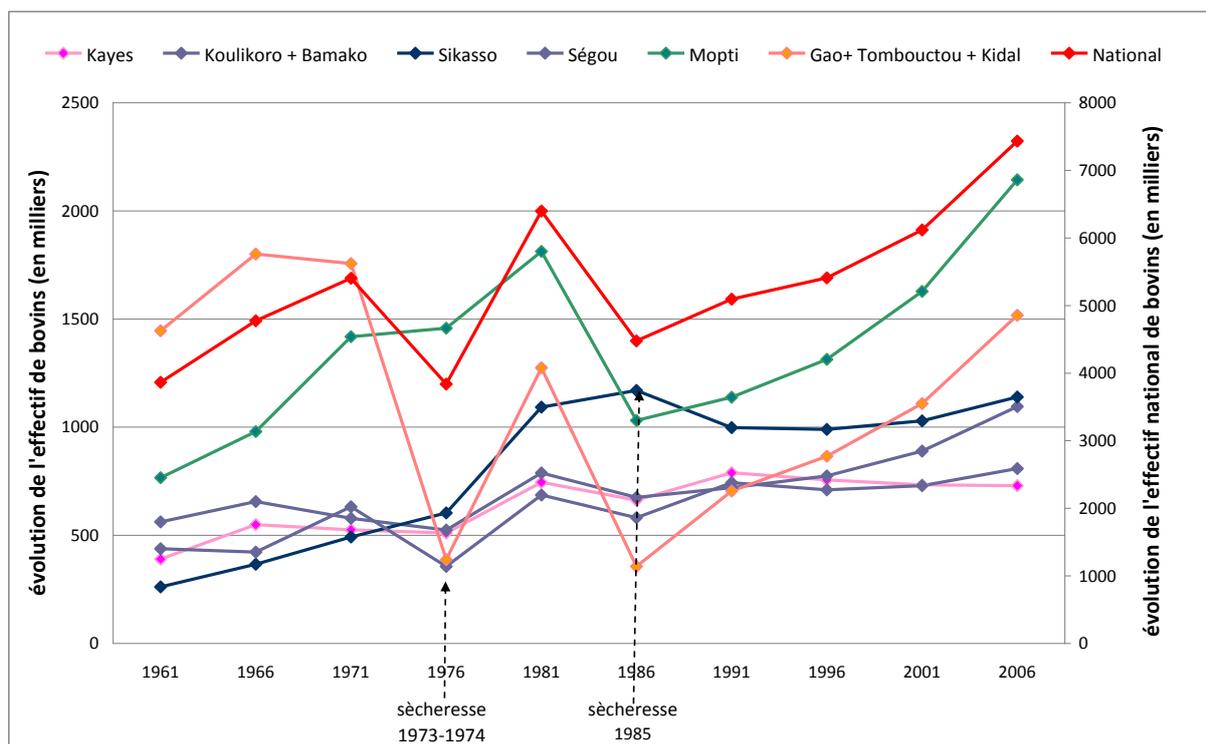


Figure 8. Evolution du cheptel de bovins de 1961 à 2006 (source : recensement national, DNE et CPS)

Les éleveurs du nord se seraient déplacés vers le sud à la recherche d'espace pastoraux plus productifs et humides. Parallèlement les agriculteurs de la zone, ayant dégagé des revenus monétaires grâce à la vente du coton-graine, ont acquis des animaux. Les exploitations ont acheté des bœufs de trait pour la culture attelée (travail du sol, sarclage et transport) puis des animaux d'élevage pour produire leur propre bœufs de trait et développer un noyau d'élevage aux multiples rôles (veau, viande, lait, épargne, autoconsommation, trésorerie, prestige...) (Sanogo, 1983 cité par Bertrand, 1986).

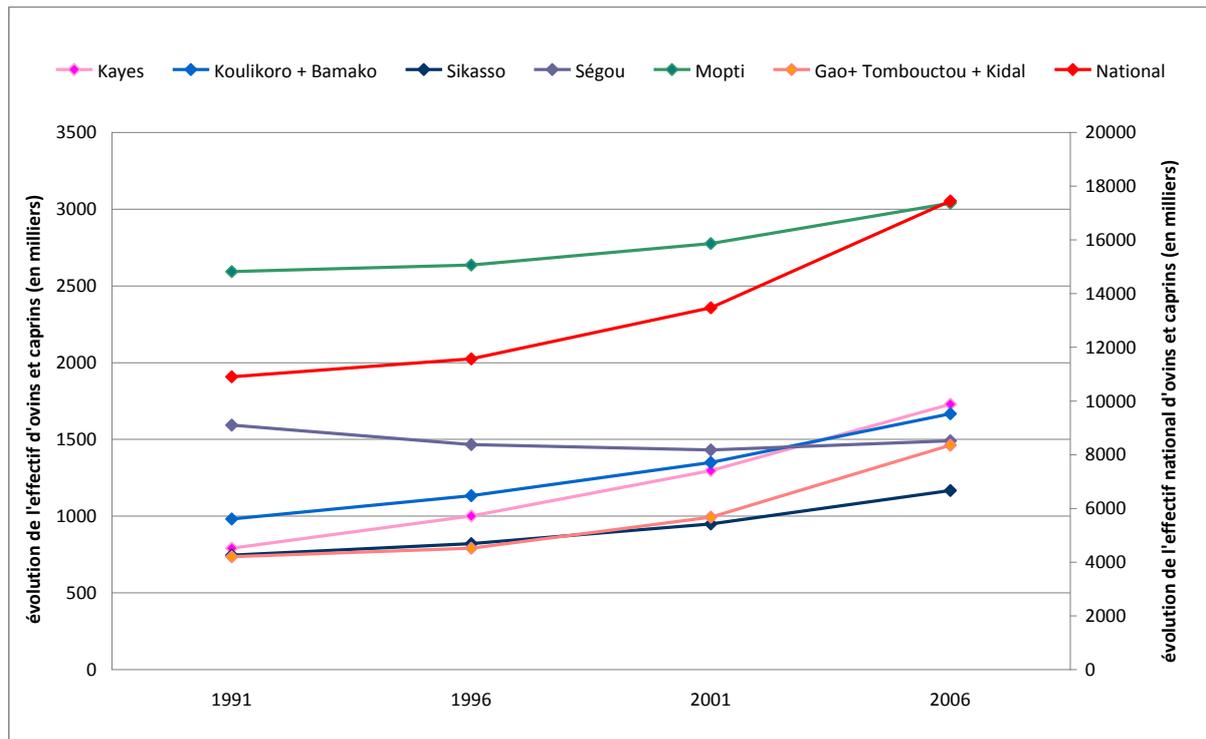


Figure 9. Évolution du cheptel d'ovins et de caprins par région de 1991 à 2006 (source : CPS)

Afin d'acquérir des animaux, certains chefs d'exploitation plaçaient un enfant comme berger auprès d'un propriétaire d'animaux. Il recevait en échange de ce travail un à deux bœufs par an. D'autres exploitations avaient les moyens de débloquer les fonds nécessaires à l'achat au comptant d'animaux de trait. Les ventes des animaux réformés ont permis l'achat de génisses pour le développement de l'élevage ou de taurillon, en vue du remplacement des bœufs de trait.

Le renouvellement des bœufs de trait varie selon les revenus des exploitations. Il est de 11,3 à 7,5 % par an (Sangare et al., 2006 a). L'absence de noyau d'élevage, chez les petits agriculteurs, les oblige à réaliser des achats d'animaux lors du renouvellement. En revanche, les agriculteurs qui commencent à développer un petit élevage visent la production de taurillons et l'indépendance vis-à-vis de l'achat.

Conduite des troupeaux au Mali-sud

La conduite des troupeaux varie selon leur taille et les structures des exploitations. Les petits troupeaux sont conduits par des enfants de la famille. L'engagement d'un berger représente un coût qui se justifie pour les troupeaux de plus grande taille et composés de bœufs d'élevage.

Les animaux sont conduits sur l'ager juste après les récoltes des céréales pour valoriser les résidus de culture par la vaine pâture. Dans certains villages, la vaine pâture est ouverte à une date fixée par les responsables coutumiers. Les propriétaires des animaux peuvent alors être les premiers à profiter des résidus de culture (ramassage, stockage et vaine pâture). Les

animaux doivent être surveillés étroitement par les bergers, tant que la récolte et l'évacuation du coton-graine ne sont pas terminées. Une fois le coton transporté sur les marchés, les animaux sont conduits sur l'ensemble du territoire villageois et au-delà, sans restriction et quelques fois sans bergers. Cette divagation diurne peut s'accompagner d'une divagation nocturne si les animaux n'accèdent pas à suffisamment de ressources fourragères au cours de la journée de pâturage. A l'approche de l'hivernage, ils valorisent les premières repoussent des herbes avant d'être conduits en dehors de l'ager dès que les travaux de préparation des champs débutent.

Les bergers s'appuient aussi sur le fourrage ligneux issu de l'émondage des arbres de la zone pastorale pour alimenter les animaux au cours de la saison sèche (*Khaya senegalensis*, Djala ou Caïcédrot, *Azelia africana* (Lingué), *Ptérocarpus erinaceus* (Guénou) (Petit, 2000).

Affouragement des animaux et complémentation

Dès février, les propriétaires distribuent du fourrage aux animaux restés au village au cours de la saison sèche. Le soir au retour du pâturage, ils reçoivent, sans transformation, du fourrage à l'auge ou déposé sur le sol de l'étable (appelé hangar). Les pailles de maïs, et dans une moindre mesure les pailles de sorgho et de mil, sont ramassées et stockées par les producteurs. Le mode de récolte des céréales influence le stockage des différents types de pailles. Les paysans du nord de la zone récoltent le maïs en couchant les plants au sol avant de les mettre en tas, les protégeant ainsi des dégâts des animaux (Photo 1). Quand le temps leur permet, ils arrachent les épis des pailles, qui rassemblées, peuvent être transportées facilement à la concession pour le fourrage des animaux.

Les récoltes des panicules de sorgho et de mil se font directement sur les plants encore debout à cause de la fragilité des panicules. Le stockage des pailles de sorgho et de mil demande aux producteurs de revenir sur les parcelles, de ramasser les pailles avant de les transporter à la concession, ce qui représente un travail supplémentaire en pleine période de récolte du coton. Les fanes de légumineuses (arachide et niébé) sont ramassées lors des récoltes et, si elles n'ont pas reçu les dernières pluies, sont stockées comme fourrage.



Photo 1. Parcelle de maïs après la récolte dans le village de Dentiola

La valeur nutritive et la digestibilité par le bétail de ces différents résidus de culture sont reconnues par les paysans et orientent également les pratiques de stockage.

Enfin, les modalités d'ouverture de la vaine pâture définissent le délai accordé aux producteurs pour le ramassage des pailles avant l'entrée des animaux sur leurs parcelles (ouverture dès la fin des récoltes ou à une date postérieure à la fin des récoltes laissant le temps aux propriétaires des champs de récolter leur propre résidus de culture) (Sangaré et al., 2006 a).

La complémentation des animaux à base de sous produits agro-industriels (tourteau de coton, coque, graine) étaient utilisée par de nombreux producteurs pour l'entretien des animaux de trait, les vaches allaitantes et les animaux affaiblis, jusqu'à ce qu'ils aient des difficultés pour accéder à ces produits. Les agriculteurs et les agro-éleveurs commandaient du tourteau de coton, via les CPC (achat à crédit ou au comptant basé sur les revenus cotonnier) pour compléter les animaux de trait avant la reprise des travaux agricoles. Aujourd'hui, ces chefs de famille estiment que le prix du sac est trop élevé pour continuer à le distribuer systématiquement.

Transhumances

Des transhumants en transit vers le sud, passaient autrefois, quelques jours dans les villages. Avec l'augmentation des cheptels villageois et la réduction des zones de parcours, les transhumants évitent les zones à fortes contraintes et cheminent par les zones disposants d'espace pastoral disponible. Les éleveurs qui possédaient des grands troupeaux sont partis vers le sud et, seuls quelques-uns, se sont sédentarisés et sont fondus à la population autochtone.

Les grands troupeaux, qui n'accèdent pas à suffisamment de ressources fourragères au cours de l'année, sont conduits en transhumances vers le sud ou sud-ouest du pays voire au-delà de la frontière (Côte d'Ivoire, Guinée). Une analyse des formes de transhumance des animaux de Zanférébougou (Sangaré et al., 2006 a) montre une diversité selon la période de présence des animaux sur le territoire villageois et l'objectif affiché de la transhumance.

- La première forme de transhumance, dite classique, se déroule en saison sèche (3 à 6 mois) et vise à profiter d'un pâturage et de ressource hydrique de qualité et disponible.
- Une seconde transhumance plus longue (5 à 7 mois) concerne les éleveurs qui quittent le territoire avant la vaine pâture pour arriver sur le territoire d'accueil avant l'arrivée massive des transhumants.
- Une troisième forme, enfin, est une transhumance d'hivernage où les propriétaires cherchent à limiter la présence des animaux pendant la période de mise en culture.

Évolution des systèmes de culture

La culture du coton au cours du temps

La culture du coton, un enjeu pour l'administration coloniale

Avant la période coloniale, le coton était cultivé de façon extensive, en culture pérenne conduite manuellement. La production réduite de 100 à 200 kg à l'hectare était destinée à l'approvisionnement des tisserands locaux.

Après la guerre de Sécession, la France veut réduire sa dépendance vis-à-vis de l'Angleterre et des Etats-Unis pour l'importation de fibres textiles. Elle cherche à augmenter les lieux de production de fibre dans le monde et développe la production en Afrique de l'Ouest. Elle met en place un dispositif basé sur des actions « d'encouragement à la culture », la recherche de nouvelles zones de culture (périmètre irrigué) et de nouveaux coton-culteurs et l'augmentation des surfaces emblavées en coton.

L'Association Cotonnière Coloniale (ACC), puis Compagnie Française de Développement des Textiles (CFDT) organisent la filière en secteur et mettent en place des infrastructures pour l'extraction de la fibre (Devèze et al., 2005). La zone Office du Niger est aménagée pour développer le système de culture irrigué de coton.

L'engagement des nouveaux producteurs et l'extension des surfaces en coton ne suffisent plus à augmenter la production de fibre. La compagnie met en place la garantie d'achat de la récolte, la fixation du prix d'achat du coton-graine, la création des catégories de qualité de la fibre et le remboursement des avances (achat d'intrants) sur les revenus.

Les travaux de la recherche portent sur les techniques culturales, les variétés de coton importées et la production de coton irrigué (expérimentation à la ferme de Baraouéli). En vue d'augmenter les rendements, l'Institut de Recherche sur le Coton et les Textiles exotiques (IRCT) lance la station de recherche de N'Tarla, travaille sur les variétés importées à haut potentiel de rendement et forme les premiers agents de l'encadrement.

La CMDT, agence de développement régional

La Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) est créée en 1975 sur le modèle de filière intégrée. D'un statut de société d'État, elle passe au statut de société anonyme d'économie mixte. La compagnie est chargée de « *développer les zones cotonnières et d'améliorer le niveau de vie des agriculteurs, en particulier par la culture du coton* ».

La société cotonnière cherche une augmentation de la production de fibre par l'engagement de nouveaux producteurs (nouvelles zones et création de revenus financiers pour les producteurs) et l'application de nouvelles techniques de l'IRCT (traction animale, nouvelles variétés, motorisation intermédiaire, rationalisation des intrants et association agriculture élevage). La prise en compte des intérêts des producteurs doit permettre leur engagement dans la production de fibre. Pour cela, elle se dote d'un fonds de stabilisation du prix du coton-graine. Parallèlement, un système de retenu du remboursement des crédits à la commercialisation du

coton-graine est mis en place avec la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA) et le réseau mutualiste d'épargne et de crédit, *Kafo Jiginew*.

Au cours de la période, les partenaires de la recherche se multiplient. Dans le cadre du lancement de la Recherche Système, la Division de recherche sur les Systèmes de Production Rurale (DRSPR) intervient puis l'Equipe Système de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) quand la préoccupation de la gestion des ressources entre dans les thématiques de recherche.

Après une période où l'encadrement des producteurs est assuré par les services de l'agriculture, l'encadrement des producteurs revient à la société qui organise sa zone d'intervention en Secteur et Zones d'Expansion Rurale (ZER) pour l'encadrement technique des producteurs, sur la base de fiches techniques, de stage et de démonstration. Ce mode d'organisation montre ses limites pour le transfert de technologies à des producteurs peu formés et impliqués. La société se lance dans la formation de base des producteurs, avec l'alphabétisation de base en « Bambara » (lecture, écriture et calcul sommaire). Les Zones d'Alphabétisation Fonctionnelle (ZAF) sont lancées. Les « néo- alphabètes » formés servent de relais aux agents de la CMDT auprès de producteurs des villages.

La société encourage l'organisation des producteurs avec la création des Associations Villageoises (AV) afin d'impliquer les producteurs dans la préparation de la campagne, la gestion de la mise en place des intrants, la commercialisation primaire du coton-graine et la gestion des crédits. (Devèze et al., 2005). Suite à la 1^{re} crise de la filière au Mali, des Équipes Techniques Villageoises (ETV) sont créées pour impliquer les producteurs dans les calculs, les pesées, le classement de la fibre (commercialisation primaire) et le suivi agronomique (piquetage des parcelles, collecte de données...). Les AV capitalisent, à travers ces travaux, des revenus qui, étant réinvestis, permettent le développement des infrastructures villageoises (centre de santé, école, hydraulique...).

Selon le niveau d'équipement, la productivité agricole et les ressources disponibles, la DRSPR définit une typologie des exploitations agricoles qui devait servir de base aux transferts de techniques adaptées aux contraintes et aux ressources des exploitations. La typologie a été présentée dans la partie Typologies des producteurs (page 33).

A la fin des années 80, l'organisation des producteurs et de l'encadrement ne répond plus aux attentes posées. Les unités de production sont peu convaincues et l'organisation de l'encadrement n'a pas les moyens d'être à l'écoute des producteurs.

L'objectif de valoriser la formation des néo-alphabètes et de tenir compte de la diversité des exploitations marque le lancement du Conseil de Gestion aux exploitations (CdG). La méthode, développée par la DRSPR, repose sur une démarche « *qui prend en compte l'ensemble de la situation d'une exploitation et cherche en dialogue avec le paysan, un cheminement d'amélioration qui s'étend souvent sur plusieurs années* » (Kleene, 1982). La démarche cible les villages qui présentent un bon taux d'équipement, des systèmes productifs et des exploitants alphabétisés. Elle est adaptée pour les autres situations, avec l'approche village basée sur des aménagements collectifs à l'échelle des villages ayant comme public

cible les exploitations pas ou peu équipées (type D et C), les femmes et les exploitations non alphabétisées (Kleene et al., 1989).

La société cotonnière au Mali est organisée de façon intégrée depuis la fourniture des intrants, la production de coton et l'encadrement des producteurs. Elle favorise l'acquisition d'équipement agricole par les crédits. Elle étend son mandat aux productions vivrières (sorgho, mil et maïs) et contribue au développement des infrastructures villageoises sur l'éducation et la santé.

La crise de la filière cotonnière et évolution de la place du coton

Au début des années 90, les producteurs, à travers les AV dénoncent des problèmes de gestion des crédits de campagne, de répartition des aliments bétail et demandent une revalorisation du prix du coton-graine. Dans un mémorandum (1991 Cincina), ils menacent d'une grève des semis si leurs doléances ne sont pas entendues. Les négociations donnent raison aux producteurs et la société se voit contrainte de revaloriser le prix de coton-graine à un moment où le cours est bas sur le marché mondial. La majoration accordée est transformée en ristournes sur les bénéfices de la campagne précédente. Les difficultés de négociation des producteurs favorisent la création d'un premier syndicat de producteurs, le SYCOV (Syndicat des producteurs de Coton et de Vivriers) (1992). Un transfert de compétences au monde rural (gestion des crédits, approvisionnement en intrants, collecte et évacuation du coton) devient une priorité. La dévaluation du franc CFA de 1994 entraîne une augmentation du prix des intrants importés. Les producteurs doivent faire face à des «paquets techniques» plus coûteux. Une intersyndicale (GSCVM) a vu le jour représenter les producteurs lors des négociations des prix des intrants hors coton et la fixation du prix d'achat du coton-graine.

Au cours de cette période, la société cotonnière favorise l'association agriculture élevage (production de fumure, entretien des bœufs de traits) afin de soutenir la production de coton. Les techniques proposées sont présentées dans le Tableau 3 (Kleene, 1988, Giraudy et al., 1995).

Tableau 3. Typologie et technique d'association agriculture élevage vulgarisée

Exploitation	Proposition techniques		
	Fertilisation	Technique culturale	Gestion des troupeaux
<i>Type A</i> <i>Exploitations</i> <i>bien équipées</i>	Parc amélioré, Etable fumièrè, Compostages de pailles de céréales Lutte antiérosive, Haies-vives.	Intensifications : FO, travail du sol), Amélioration des techniques de travail et matériel agricole Charrette bovine Maîtrise des surfaces	Culture fourragère (niébé, mucuna), Conditionnement des bœufs de trait
<i>Type B</i> <i>Exploitations</i> <i>sous-équipées</i>	Parc amélioré, Etable fumièrè, Compost de pailles de céréales Lutte antiérosive et Haies-vives.	Maîtrise des surfaces, Amélioration des techniques de travail	Culture fourragère (niébé, mucuna), Conditionnement des bœufs de trait
<i>Type C</i> <i>Exploitations</i> <i>non équipées</i>	Production de FO en fosse	Crédit 1 ^{er} équipement : multiculteur Maîtrise des techniques culturales et des surfaces	
<i>Type D</i> <i>Exploitations en</i> <i>culture</i> <i>manuelle</i>	Production de FO en fosse	Intensification, en culture manuelle, (surface réduite)	

A la fin des années 90, le modèle d'organisation du monde rural montre des faiblesses avec un taux d'endettement des AV important, un mécanisme de caution solidaire défaillant et un mode de contrôle pour l'attribution des crédits peu efficaces. Les Coopératives des Producteurs de Coton (CPC) sont les derniers modèles d'organisation s'appuyant sur un regroupement de producteurs dans des structures socialement plus cohérentes.

La société connaît des difficultés financières avec la chute du cours du coton sur le marché mondial. L'impossibilité de payer les producteurs lors de la campagne 1999-00 entrainera une grève des semis lors de la campagne 2000-01, avec une réduction de près de 50 % des surfaces et de la production de coton. Cette grève aura des conséquences graves pour la CMDT qui ne profitera pas d'une remontée du cours du coton.

La nécessaire évolution de la filière cotonnière

Suite à divers plans d'ajustement structurel pour la gestion des entreprises publiques et l'assainissement des finances publiques (1986/88 et 1991/1993), les Institutions de Bretton Woods¹⁸ demandent la privatisation de la société cotonnière dès 1997 afin de sortir d'une position, jugée sous optimale, de monopole dans une filière intégrée (Lagandre, 2005). Suite à cette demande, la société se restructure, se recentre sur les activités de production du coton (privatisation des huileries et du transport, abandon de l'alphabétisation...) et lance une démarche de privatisation. En 2008, l'Assemblée Nationale du Mali vote la loi autorisant la cession des parts de l'État dans le capital de la CMDT (loi du 1^{er} août 2008). La société est réformée en 4 filiales (Koutiala et San, Sikasso et Bougouni, Fana et la zone OHVN¹⁹, et Kita), à l'image du modèle choisi en Côte d'Ivoire. Le modèle de privatisation retenu s'inspire de celui du Burkina Faso en réservant des parts aux producteurs, aux travailleurs et à l'État (respectivement 20, 2 et 17 %) mais s'appuie sur la recherche d'un important investissement privé (61 % des parts).

La société s'appuie sur une relance de la production par un prix attractif au producteur (200 Fcfa/kg) en minimisant le coût des intrants. Afin de distinguer la fibre malienne sur le marché mondial, la société valorise la qualité de sa fibre (91,9 % de la fibre est classé « grade de tête », 1^{re} classification).

Le Mali s'engage dans plusieurs voies de développement de la production de coton, en travaillant sur la qualité de la fibre en culture conventionnelle, en soutenant le développement de la culture biologique dans la zone d'expansion de l'ouest. L'introduction de la culture de Coton Génétiquement Modifié (CGM) s'est d'abord heurtée au mouvement de la société civile à travers l'espace citoyen d'interpellation démocratique de Sikasso (Diabaté, 2006), avant que la loi sur la biosécurité ne soit votée en 2008 par l'Assemblée Nationale. La recherche nationale et les sociétés commercialisant les CGM disposent aujourd'hui de variétés adaptées aux conditions agro-écologiques maliennes.

¹⁸ Institutions de Bretton Woods (IBW) correspondent au Fonds Monétaire International et à la Banque Mondiale.

¹⁹ OHVN : Office de la Haute Vallée du Niger

La CMDT en lien avec la recherche

La recherche en station

La relation de la recherche avec la société cotonnière commence à travers une approche « produit » (Decoudras, 1997) où l'augmentation de la production de coton, source de revenus pour les producteurs et de devises pour l'État et la société, justifie l'emploi de larges moyens. La compagnie cotonnière a collaboré avec les instituts de recherche pour le développement de techniques agricoles adaptées à la culture du coton dans les conditions agro-écologiques de sa zone d'intervention (culture irriguée et pluviale). La recherche en station a mis au point des itinéraires techniques pour la culture cotonnière axés sur le travail du sol, l'introduction et la création de nouvelles variétés et l'utilisation d'engrais minéraux. Les variétés étaient sélectionnées et testées sur une série d'essais en milieux contrôlés avant d'être transférées à la vulgarisation. Les techniques mises au point ont été transférées aux services de vulgarisation qui avaient en charge leur adoption par les producteurs. La CMDT s'appuyait sur son propre réseau d'encadrement agricole indépendamment des ORD (Organismes Régionaux de Développement) qui travaillaient hors de la zone cotonnière.

La recherche nationale centralisée produisant des messages techniques à l'échelle nationale est régionalisée avec la création de Centres Régionaux de Recherche Agronomiques (CRRA) chargés des relations entre la recherche fondamentale en station et la recherche en milieu réel. Les conditions locales doivent être prises en compte afin d'adapter les messages techniques.

La recherche système

L'approche systèmes d'exploitation se développe dans les années 70 comme une approche innovante grâce à un cadre d'analytique permettant la prise en compte de toutes les composantes du système de l'exploitation agricole. La recherche d'améliorations par des techniques productivistes basées sur la théorie de maximisation des profits évolue vers une approche plus globale.

Dans le même temps, les techniques d'analyses deviennent plus participatives. Elles s'appuient sur une phase de diagnostic pour analyser le milieu et les conditions des exploitations pour identifier les thèmes de recherche. La participation des acteurs et les diagnostics supplémentaires rendent la démarche plus longue. Avec l'avènement de la participation des producteurs, le dispositif de recherche développement s'appuie sur des essais en milieu paysans afin de travailler dans les conditions réelles des producteurs. Au Mali, l'Equipe Système de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) avec l'intervention du KIT (Royale Tropical Institute) travaille sur l'intensification des systèmes de cultures par l'intégration de l'élevage aux activités agricoles avec l'amélioration des systèmes d'élevage et des zones de pâturage, le renforcement des échanges entre cultures et bétail (traction animale, entretien du bétail, production de fumure). Des outils et méthodes de vulgarisation sont élaborés à destination du service d'encadrement des producteurs (Decoudras, 1997).

La recherche système et la participation des acteurs a donné lieu à de nombreuses interventions de la recherche et du développement, au Mali-Sud, sur des thèmes aussi variés que la traction animale, l'utilisation des intrants et l'itinéraire technique de la culture du coton ou la production de la fumure organique et l'affouragement du bétail, etc... Ces interventions ont eu un impact important sur les exploitations qui présentent aujourd'hui un taux d'équipement pour la traction animale plus élevé que les exploitations des zones cotonnières voisines du Burkina Faso, Tchad ou Cameroun. Les modes de fabrication de fumure organique y sont plus diversifiés et les quantités de pailles stockées pour le fourrage y sont plus importantes (Vall, 2007).

Une place donnée aux utilisateurs des résultats de la recherche

La participation des producteurs aux processus de recherche est largement soutenue. Les IBW favorisent, au Mali, la création des Commissions Régionales des Utilisateurs des résultats de la recherche (CRU). Les besoins des producteurs doivent être au cœur de la problématique de recherche. La recherche participative évolue pour une meilleure implication des producteurs dans le processus de recherche. Afin d'améliorer les relations entre la recherche et les producteurs, les savoirs locaux sont reconnus. Les producteurs doivent participer à toutes les étapes du processus de recherche depuis les diagnostics jusqu'à la mise en place et le suivi des essais et leur évaluation. Les producteurs devraient être au cœur du processus de changement des pratiques. Cependant, cette approche de Recherche Action Participative (RAP), développée dans d'autres pays de la sous région, demande une implication forte des intervenants du secteur agricole or la société cotonnière n'est pas en position de s'impliquer dans ce type de démarche. De plus, cette approche doit servir d'appui à un système d'encadrement agricole, qui hélas, doit encore être redéfini.

Les relations entre la société cotonnière, la recherche et les producteurs évoluent vers une implication plus forte des producteurs dans la mise en œuvre des techniques et une relation directe entre la recherche agronomique et les producteurs (Figure 10).

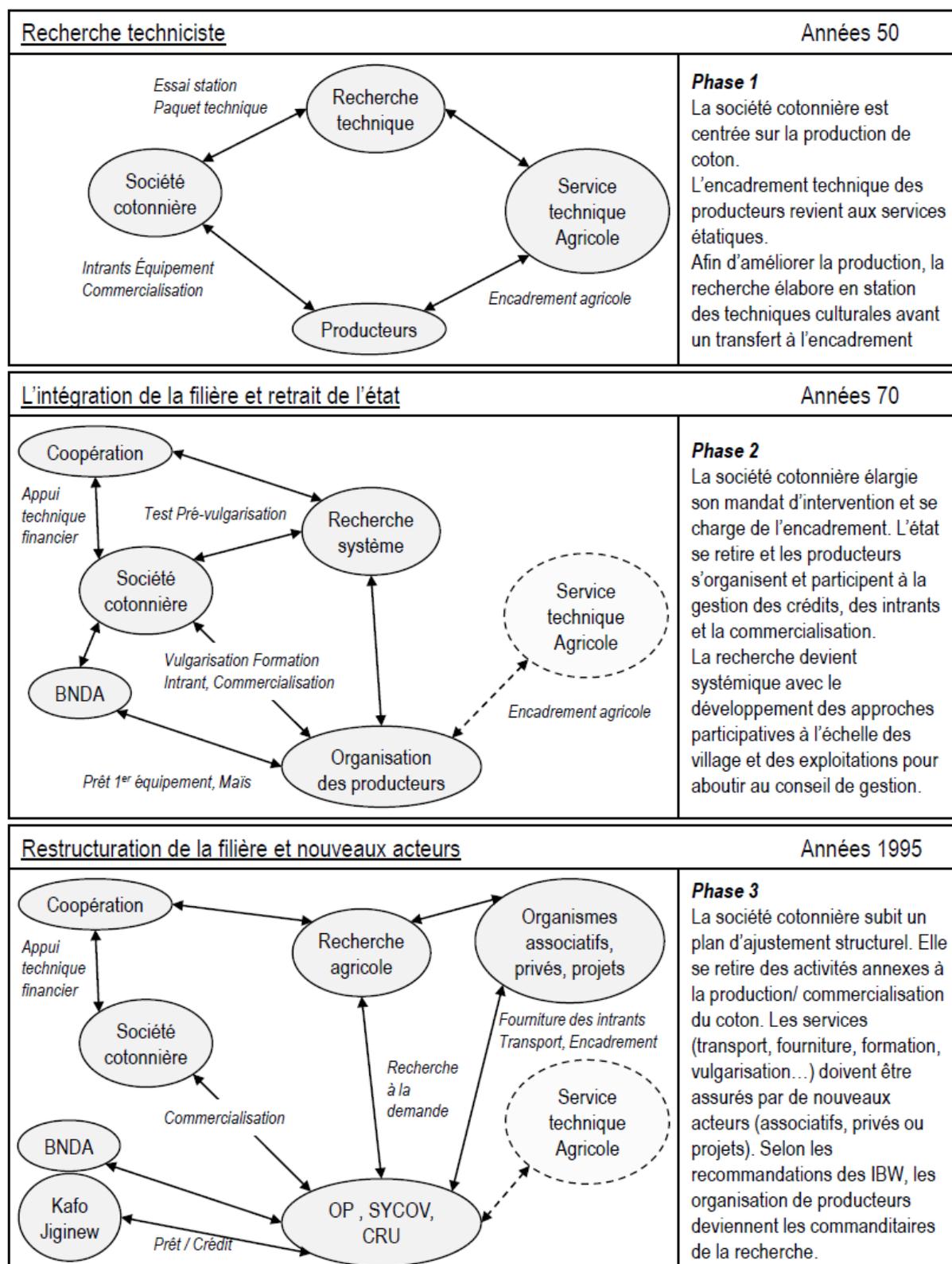


Figure 10. Évolutions des relations entre les acteurs du secteur agricole au Mali-Sud

L'évolution de l'encadrement agricole

La vulgarisation de masse

L'approche produit (Decoudras, 1997) justifie l'emploi de larges moyens de diffusion, d'une vulgarisation de masse et d'un encadrement dense. La vulgarisation intégrée de masse repose sur une étroite relation entre la recherche et le développement. La consigne technique uniforme, élaborée par une recherche ex-situ en station est présentée aux producteurs à travers un réseau de parcelles de démonstration en vue de son adoption. La programmation est définie dans un calendrier d'activité de vulgarisation. Certains producteurs en charge de la surveillance de la démonstration ont un rôle central. Les thèmes techniques sont régulièrement recyclés.

La filière intégrée offre un contexte propice à l'adoption de certaines techniques. Les facteurs de production sont pris en compte par la filière intégrée et l'achat des produits ou équipement est permis par le développement des systèmes de crédit.

L'encadrement agricole évolue (1975) avec l'intégration de nouveaux thèmes techniques comme les cultures vivrières ou l'élevage. Le service d'encadrement soutient le renforcement des organisations paysannes (alphabétisation, association) et en associant les producteurs à la diffusion. La vulgarisation de masse montre ses limites par son manque de souplesse et la non prise en compte des spécificités locales dans les techniques proposées. Le recyclage des thèmes techniques n'intéressent plus les producteurs qui n'y trouvent plus de caractère novateur (Gentil, 1995).

La structuration du réseau de vulgarisation

L'approche système d'exploitation préférée dans les années 70 doit permettre la prise en compte des conditions des exploitations (objectifs, contraintes et moyens de production). Les interventions commencent alors par des diagnostics à l'échelle des régions, des villages et des exploitations. L'intervention n'est plus homogène, mais s'adapte selon les zones. Le message technique doit prendre en compte les spécificités locales.

Les agents d'encadrement agricole sont appuyés par des producteurs formés pour être agents de suivis. Ils se chargent du suivi des activités, mesures agronomiques et mesure de parcelles. Les producteurs expérimentateurs conduisent les parcelles de démonstration qui doivent servir à présenter les nouveaux thèmes techniques à la masse des producteurs. Les formateurs et les néo-alphabètes ont en charge l'implication des producteurs dans les activités techniques et la formation des producteurs. Ce réseau dense d'agents, formateurs, producteurs marchent tant que les thèmes techniques interpellent les producteurs qui s'impliquent. Des formations de « recyclage » (retour sur un thème technique déjà traité) sont organisées comme des rappels pour les thèmes qui sont abandonnés par les producteurs.

La recherche de modèle d'encadrement agricole

Le retrait de la société cotonnière de l'encadrement agricole au Mali-Sud pose la question de son devenir. Quelle structure, suffisamment stable et durable, pourrait assumer ce service auprès des producteurs ?

Des prestations pourraient être offertes par des structures privées à travers des projets contractualisant l'État, la société et les producteurs. Hélas, ces montages ont montré leurs limites par le caractère provisoire des projets (intervention ciblée)²⁰. Les perspectives envisagées favorisent une intégration des coûts de l'encadrement sur les coûts de la production (voir la partie La CMDT en lien avec la recherche ci-dessus). De plus, les recommandations actuelles sur l'encadrement agricole font état d'une participation forte des producteurs dans la recherche de thèmes techniques jusqu'à leurs mises en œuvre.

Avec les plans d'ajustement structurel, la compagnie se recentre sur la production de la fibre, abandonnant les services amont et aval à la production. Un nouveau mode d'insertion de l'encadrement agricole doit être trouvé où les acteurs des filières supporteraient les coûts de ce service. Le modèle d'encadrement technique au Mali-Sud a longtemps été considéré comme efficace, avec des taux d'adoption de technique supérieur à la moyenne régionale. Ce service représente un investissement important (élaboration des méthodes de vulgarisation, réseau d'encadreurs, formation...). La nouvelle configuration en cours de construction au Mali fait cependant apparaître peu d'acteurs (État, producteurs, salariés et secteur privé) à même d'assumer cette charge.

Les conséquences sur la production et la productivité

L'évolution de la productivité des terres agricoles

Il existe différents facteurs d'état de la fertilité des sols utilisés par les agronomes (voir les Définitions de la fertilité des sols, page 55). Cependant, les rendements agricoles restent les indicateurs d'état les plus faciles à employer sur de longues périodes (données disponibles) et le moins coûteux à suivre (mesure directe au champ). La productivité des sols et son évolution ont longtemps été employées pour analyser l'évolution des systèmes de production et juger de l'état de fertilité des milieux. L'analyse de cette évolution illustre les changements des systèmes de production agricole du Mali-sud au cours des 5 dernières décennies.

L'évolution de la productivité du coton au Mali-Sud est présentée dans la Figure 11, pour les trois phases précédemment décrites.

²⁰ Exemple du Programme d'Appui aux Services Agricoles et aux Organisations Paysannes (PASAOP)

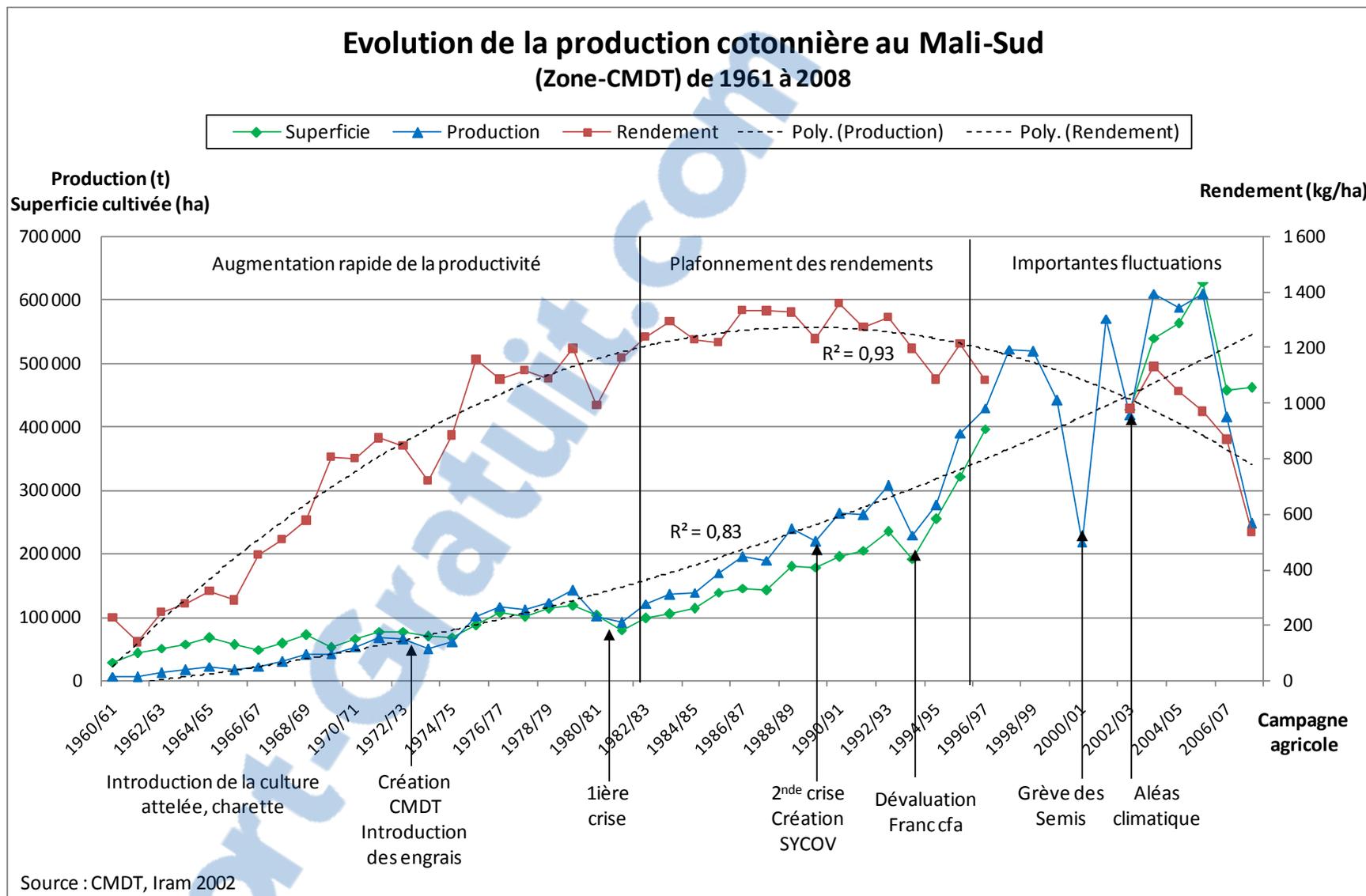


Figure 11. Évolution de la productivité du coton au mali-Sud (1961 à 2007 selon les données de la CMDT et de l'Iram)

La phase d'augmentation rapide de la productivité du coton

La production cotonnière augmente rapidement de 1960 à 1984, passant de 6 380 t à plus de 130 000 t. Dans le même temps, les surfaces augmentent exponentiellement (28 360 ha en 1960 à 113 000 ha en 1984). Les nouveaux champs sont cultivés plus longtemps avant un retour à la jachère et entrent dans une rotation coton-céréales pour valoriser les investissements réalisés pour la culture à la traction animale et le défrichage plus complet pour le passage de l'outil tracté (Gigou et al., 2003).

La période correspond à une augmentation rapide de la production en coton avec des gains importants sur les rendements qui évoluent de 225 kg/ha à plus de 1 200 kg/ha en moyenne (données issues des travaux de l'Iram, 2002 et de la CMDT). L'augmentation des rendements en coton-graine est due à une certaine intensification de la culture cotonnière avec le développement de la traction animale pour la préparation des sols et les travaux d'entretien des cultures, l'application d'engrais minéraux dès le milieu des années 70 en soutien à la fertilité minérale et la généralisation de la lutte contre les ravageurs. Les rendements en céréales sèches évoluent peu au cours de la même période. Les rendements moyens en mil stagnent autour de 600 kg/ha mais les rendements en maïs ont augmenté au cours de la période passant de 400 kg/ha (1950) à 1 200 kg/ha (1980) (Piéri, 1989). Le maïs a bénéficié de l'utilisation de la technologie de la culture du coton. Cette évolution des rendements ne présage cependant pas d'une augmentation intrinsèque de la fertilité des sols, mais plutôt d'une meilleure mise en valeur des potentialités agricoles, une maîtrise des itinéraires techniques et l'utilisation d'apports minéraux.

Le ralentissement de la productivité du coton

Au milieu des années 80, le rythme d'accroissement de la productivité du coton ralentit. L'évolution de la production cotonnière s'appuie sur une augmentation des surfaces qui évoluent de façon exponentielle. Les surfaces emblavées en coton passent de 113 000 ha (1984) à plus de 430 000 ha (1997) ce qui correspond à un taux de croissance annuel 21%. Les rendements plafonnent, évoluant entre 1 200 kg/ha et 1 000 kg/ha selon les années. L'augmentation de la production cotonnière suit l'évolution des surfaces cultivées. En 1994, la dévaluation du Franc CFA entraîne une augmentation du coût des engrais importés, ce qui entraîne un recul temporaire de la production de coton.

Dès cette période, l'encadrement de la production agricole et la recherche agronomique alertent l'opinion sur les risques de la mise en culture continue des champs et de la réduction du temps de mises en jachère des terres. Les surfaces emblavées en coton et en céréales ont suivi l'augmentation de la population (Crétenet et al., 1994). L'augmentation de l'emprise agricole sur le milieu suscite des inquiétudes sur le devenir de systèmes qui étaient largement basés sur le maintien d'un espace pastoral et sylvicole préservé et une mise en jachère des terres agricoles pour leur régénération.

La densité de population du Mali-Sud correspond au seuil présenté par de nombreux auteurs pour la durabilité des systèmes (50 hab./km²). La question du maintien d'un espace pastoral et

sylvicole suffisant pour couvrir les besoins de la population en bois de chauffe et la conduite des animaux sur les territoires villageois se pose (Crétenet et al., 1994)

La société cotonnière développe des actions de lutte contre l'érosion et le ruissellement et vulgarise la production et l'utilisation de la fumure organique en participant à l'équipement des exploitations en charrette tractée ; les moyens de transport étant le premier facteur limitant la production de fumure (Devèze et al., 2005, De la Croix, 2004).

La période de fluctuation

Depuis la fin des années 90, la production cotonnière est soumise à de grandes variations annuelles. Les surfaces en coton évoluent du simple au triple suivant les années (de 600 000 à 200 000 ha) et les rendements moyens diminuent passant de plus de 1 000 kg/ha (1996) à 860 kg/ha (2006). Cette instabilité sur la production renvoie aux incertitudes de la filière au Mali. Les prix d'achat du coton-graine évoluent suivant les cours du marché mondial et la situation de la société pendant que les prix des intrants, indexé sur le cours du pétrole, augmentent. Les marges des producteurs se trouvent réduites et le niveau de risque financier augmente. En 2000, la « grève des semis » s'est soldée par une réduction de 50 % des surfaces emblavées en coton, en moyenne sur l'ensemble des régions (Crises cotonnières en Afrique et problématique du soutien, 2006).

La période est caractérisée également par d'importante variation de la pluviométrie (écart type de 148 mm sur la période de 1990-00). Suivant le contexte de la campagne (prix des intrants, prix du coton-graine, disponibilité des intrants coton...) et l'installation des pluies, les producteurs décident de leur assolement (surface prévue exécutée, réduction des surfaces ou abandon de la culture du coton). Lors de la campagne 2002-03, la pluviométrie a été largement en deçà de la moyenne sur la période (17 % de réduction de la hauteur d'eau). Le fléchissement des rendements (979 kg/ha) mais aussi une réduction des surfaces en coton explique la chute de la production de coton. En 2006, la mauvaise installation des pluies en début de campagne associée à un lancement tardif de la campagne agricole (retard dans la distribution des intrants) et la réduction du prix d'achat du coton-graine explique le recul du coton dans l'assolement moyen (457 600 ha au lieu de 628 866 ha en 2005) et une baisse des rendements (868 kg/ha en 2006). Depuis 2007, la société cotonnière cherche une reprise de la production de coton dans la zone avec un prix attractif (200 Fcfa, campagne 2009-10), un important travail de persuasion des producteurs sur le maintien des marges économiques sur le coton.

La Figure 12 illustre l'évolution comparée du prix d'achat du coton-graine et de la production. L'évolution générale de la production suit celle des prix. À l'exception de la 1^{re} crise ou de la mauvaise campagne de 2002, la production de coton accompagne l'évolution des prix même quand ils sont peu attractifs.

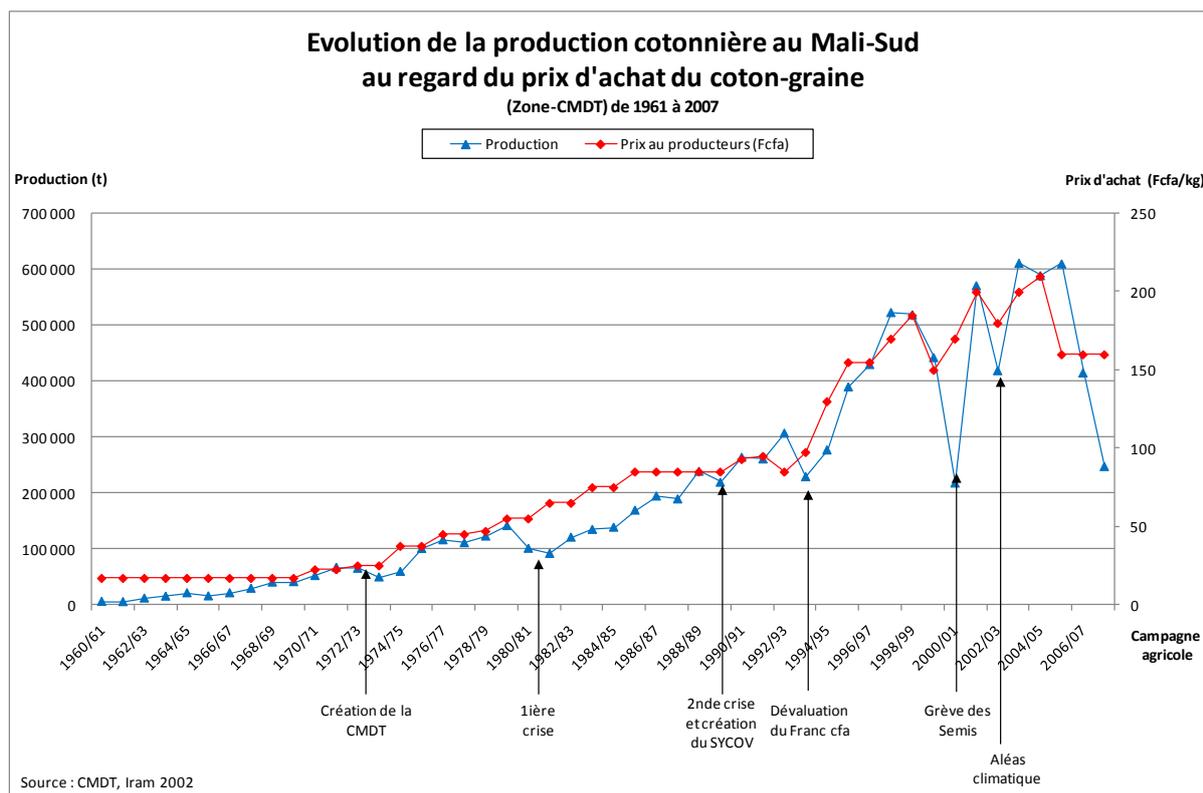


Figure 12. Évolutions parallèles de la production en coton-graine et du prix d'achat (source : CMDT, Iram 2002).

La fertilité des sols au Mali-Sud

Définitions de la fertilité des sols

La langue française utilise le concept de fertilité des sols en lui rattachant des propriétés de richesse et de « capacité de production » à l'inverse de la pauvreté et de la stérilité. La fertilité des sols est un concept du langage courant utilisé de façon récurrente dans les débats sur la nécessaire augmentation de la production agricole (développement des filières, sécurité alimentaire, réduction de la pauvreté...), mais aussi largement sous l'angle de l'évolution des systèmes de production (durabilité, crise ou rupture...). La fertilité est maintenue, entretenue, soutenue, renforcée, améliorée ou même régénérée. Elle concerne le domaine prioritaire de la production alimentaire et du maintien d'une activité agricole dans une région donnée. La recherche agronomique utilise ce concept, sans qu'il ne soit mesurable, mais en référence à son évolution. Les auteurs de la recherche française proposent des définitions de la fertilité après un bilan des travaux menés jusque dans les années 1980, présentant 3 points de vue pour définir un concept (Pieri, 1989).

La première définition de la fertilité des sols est une définition biophysique, il s'agit de l'aptitude d'un sol à produire. Le potentiel agricole de production est défini par la nature du sol, sa structure, sa texture, sa composition organique et la matière organique assimilable, les éléments chimiques disponibles (capacité d'échange cationique), le climat et la topographie. Cette définition est statique et structurelle. A travers ce point de vue, l'étude de la fertilité des sols, son évolution et son soutien s'attache à réaliser des bilans en éléments minéraux, à

déterminer les compositions des engrais à appliquer sur les différents systèmes de culture. Des travaux, s'appuyant sur des bilans minéraux négatifs ont alerté l'opinion sur le risque d'épuisement des sols (Kanté, 2001, Van der Pol, 1993 a). Le devenir de la matière organique des sols était incontournable pour la recherche d'amélioration des systèmes de production avec l'étude des bilans en matière organique (modèle de Henin Dupuis 1945). Le développement de l'intégration agriculture élevage pour la durabilité des systèmes de culture est alors devenu central.

La fertilité des sols peut être abordée à travers une conception agronomique où l'intervention de l'agriculteur entre en jeu. La fertilité sol est alors un potentiel de production qui dépend des relations de l'homme à son milieu. Le concept de fertilité des sols ne se conçoit pas indépendamment des systèmes de production et du niveau de techniques culturales employées par les agriculteurs. La fertilité « *s'envisage relativement aux fonctions du milieu dans le processus de production* » (Sébillotte, 1989). Elle dépend des moyens de production des systèmes de culture en plus des critères précédemment décrits. La fertilité s'inscrit dans un système de culture et son amélioration revient alors à approcher le potentiel agricole en réduisant, dans les conditions des exploitations le facteur limitant des pratiques.

Enfin, une troisième approche davantage contextuelle distingue deux concepts : une fertilité agronomique et une fertilité économique, présentant ainsi la fertilité des sols dépendant de son contexte économique et social (Reboul, 1989, Maraun et al., 2007). La fertilité des sols, selon cette conception agronomique élargie, dépend de l'organisation sociale, de l'insertion dans les marchés et des capacités financières des exploitants.

L'étude de l'évolution de la fertilité des sols s'appuie sur différents indicateurs de la qualité des sols, indicateurs indirects de la fertilité des sols (taux de matière organique des sols ou MOS, éléments minéraux, texture et structure du sol, niveau de rendements...). Chacune des approches privilégie ses propres indicateurs de l'état de la fertilité des sols :

- Approche biophysique : type de sol, caractéristique climatique
- Approche agronomie systémique : technicité de la pratique
- Approche agronomie élargie : environnement économique, insertion dans le marché, environnement social

Évolution de la prise en compte de la fertilité des sols

La prise en compte de la fertilité des sols pour l'amélioration de la production agricole a évolué au cours du temps, avec le développement de quatre principales approches successives.

- 1) La première approche conventionnelle visait une amélioration de l'alimentation en éléments nutritifs des cultures avec l'utilisation d'engrais minéraux (azote, phosphore, potassium, bore et sodium). Des travaux sur l'équilibre des bilans nutritionnels de chaque culture permettent de déterminer les compositions du complexe NPK et de l'urée à appliquer sur les cultures. Les modalités d'application des engrais (période d'application, enfouissement, au poquet, sur la ligne) ont été déterminées pour

chacune des cultures selon l'évolution des besoins des cultures à chaque étape du développement des plantes.

- 2) Suite aux deux périodes de sécheresse au Sahel (1974 et 1984) et à la crainte d'une dégradation irrémédiable des terres agricoles (désertification, érosion), les techniques d'entretien de la fertilité des sols évoluent vers un renforcement de l'association agriculture-élevage. Un ensemble de techniques est développé pour le renforcement du statut organique des sols par la production de fumure organique sur les exploitations (parcage amélioré, étable fumière, compostage). Le maintien et le développement d'un élevage intégré aux exploitations sont recherchés avec des techniques d'alimentation des animaux (affouragement à base de résidus de culture, amélioration des pailles à l'urée, complémentation des bœufs). Toutes ces techniques sont développées en parallèle d'aménagements de conservation des eaux et des sols au Mali-sud, sur les territoires sensibles à l'érosion et au ruissellement (projet de lutte anti-érosive dans la zone de Koutiala). Cette seconde approche, agropastorale s'oriente vers le renforcement du statut organique des sols.
- 3) Une approche agro-sylvo-pastorale se développe en parallèle de la précédente, s'attachant aux rôles des arbres dans les systèmes de culture et la zone sylvo-pastorale. La protection et la réintroduction des arbres sur les champs sont valorisées en vue d'améliorer les transferts verticaux de fertilité et la protection des cultures par les arbres. L'amélioration des jachères par l'introduction de cultures fourragères vise le renforcement des ressources fourragères permettant un maintien et un développement de l'élevage sur les exploitations et ainsi un renforcement des transferts de fertilité entre le *saltus* et l'*ager*. Cette approche se heurte cependant à des problématiques de gestion foncière (Breman et al., 1995).
- 4) La dernière approche, contemporaine, s'appuie sur les principes de l'agro-écologie, concept développé par la société civile depuis plus de 35 ans (Rabhi, 2008, Fukuoka, 2005 a, 2005 b). L'agro-écologie fait partie, aujourd'hui, des thèmes phares de la communauté scientifique (CIRAD 2007). Même si sa définition et ses principes ne sont pas les mêmes pour tous, l'idée principale reste une recherche de l'amélioration des systèmes de culture basée sur un renforcement des processus écologiques des systèmes agro-écologiques. Selon le contexte la recherche peut être orientée vers l'amélioration de la sécurité des biens alimentaires (suite à la crise de la vache folle, maladie liée à l'utilisation d'intrants agricoles), la réduction de l'empreinte écologique de l'agriculture (qualité des sols, de l'eau, réduction des gaz à effet de serre) ou la recherche de progrès sur les productions (déficit du millénaire, alimentation, réduction de la pauvreté). Au Mali-Sud, les techniques développées par la recherche agronomique visent à renforcer le statut organique des sols par le paillage permanent du sol (semis sous couvert végétal).

Approche conventionnelle : Gestion minérale de la fertilité

Emploi d'engrais minéraux

Les besoins des cultures principales (coton, maïs) ont d'abord été déterminés par l'analyse de l'équilibre des balances en éléments minéraux. De nombreuses études ont présenté des bilans négatifs en éléments minéraux pour des systèmes de culture du Mali-sud (Van der Pol 1993 b, Bationo et al., 1998, Stoorvogel et Smaling, 1990). L'application d'engrais minéraux (complexe NPK-SB) devient la principale alternative pour maintenir la production agricole. Mais d'autres auteurs présentent des bilans plus mitigés avec des enrichissements en éléments minéraux par la mise en culture sur des portions de l'ager (Scoones, 2001). La détermination des besoins des cultures demande une étude des balances en éléments nutritifs tout en tenant compte de leur stock et de leur forme dans les sols (Vanlauwe et Giller, 2006). Les sols du Mali-Sud sont carencés en phosphore et le potassium limite fortement le potentiel de production du cotonnier en dessous du seuil de 0,15 meq/100g de potassium échangeable les rendements coton sont affectés par la disponibilité du potassium (Crétenet et al., 1994).

Le développement de l'utilisation des engrais minéraux sur les cultures de coton et de maïs a été possible grâce à la mise en place de crédits de campagne assurés par la vente du coton. Les engrais minéraux du type complexe NPK et urée ne sont pas fabriqués au Mali, mais sont importés. Ces produits, dont la fabrication est consommatrice d'énergie et de pétrole, ont leurs prix indexés sur les cours de cette matière première, ce qui représente une limite pour les paysans, qui voient la marge après remboursement des intrants diminuer chaque année. La problématique de la poursuite de la production de coton se pose à travers l'accès à d'autres sources d'engrais minéraux et la relance de l'exploitation des mines de phosphate au nord du pays (Diallo, 2009).

Les amendements phosphatés et calciques

Les roches phosphatées présentent l'intérêt d'être disponibles dans le pays avec le gisement de Tilemsi au Nord. Au Mali, le phosphate naturel de Tilemsi est moyennement réactif. Les études ont montré que son application directe sur sol acide avait des impacts intéressants sur les rendements en coton, maïs, riz, mil et sorgho. Les gains sur les rendements en grains de maïs étaient estimés à 400 kg/ha environ avec un amendement de fond (120 kg de P_2O_5 /ha) ou 600 kg/ha avec un amendement annuel (30 kg de P_2O_5 /ha) (Zapata et al., 2004). Le phosphate naturel devait être appliqué sur une jachère avant d'être incorporé au sol par un labour tardif en fin de saison des pluies. Les services nationaux d'encadrement ont été sollicités par le gouvernement malien pour l'étape de vulgarisation. La CMDT est la seule compagnie à avoir vendu des stocks significatifs au Mali, dans les années 80. La quantité utilisée est passée de moins de 5 t en 1981 à plus de 18 t en 1990. Dans les années 90, la CMDT vulgarise l'utilisation de phosphate mélangé à la fumure organique afin de favoriser l'utilisation du produit jugé trop poudreux par les paysans, mais c'est à cette période que s'arrête l'exploitation de la mine suite à des conflits armés dans le nord du pays. L'adoption de cette innovation restait de toute façon limitée au Mali (Henao et Baanante, 1999 citée par Zapata et

al., 2004) ont mené une étude sur les facteurs limitant l'adoption de cette technologie auprès des exploitations au Mali-Sud. Les principaux facteurs sont le droit de propriété limité des terres agricoles qui freine un investissement dans l'amélioration à long terme de la qualité des terres, le coût élevé pour un investissement à long terme, le délai de réponse de 1 à 3 ans sur les rendements.

La mise en culture des terres entraîne un risque d'acidification des sols par lessivage des bases et perte de calcium par lixiviation. Lorsque le pH diminue, l'acidité s'accompagne d'un risque de toxicité aluminique avec des dysfonctionnements racinaires, provoquant des difficultés d'alimentation des plantes (Reyniers et Netoyo, 1994). Les amendements calciques devraient permettre de redresser le pH des sols, d'apporter du calcium et de permettre ainsi une meilleure fixation de l'azote dans le sol (Crétenet, 1993).

Approche agro-pastorale : Association agriculture –élevage

L'apport de fumure organique au champ participe à la conservation de la fertilité des sols en renforçant le statut organique des sols, améliorant la rétention en eau et en éléments minéraux, favorisant la micro et macrofaune du sol, participant à la structuration et la protection des éléments fins du sol. Les effets des engrais minéraux appliqués au champ sont d'autant plus importants qu'ils sont combinés à des apports de fumure organique.

L'évolution comparée des rendements et du taux de MOS montre que même pour des taux de MOS jugés bas (0,4 %), les rendements restent importants (3 500 kg/ha de coton, en station). Par contre en dessous de ce seuil, les rendements suivent la décroissance du taux de MOS. (Crétenet, 1993).

La recherche du renforcement de l'association agriculture élevage a entraîné le développement d'un ensemble de techniques en agronomie et en zootechnie autour de la production de fumure organique dans les exploitations, la valorisation des résidus de culture pour l'affouragement des animaux et la complémentation animale à base de sous produit agro industriels. Cet ensemble de techniques sont corolaires du maintien et du développement de l'élevage intégré aux exploitations agricoles.

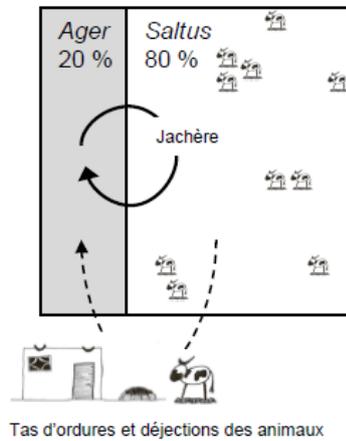
Rôle du troupeau dans la gestion de la fertilité des sols

Le transfert de fertilité par les animaux, de trait ou d'élevage, dépend de la productivité des zones de parcours et des cultures. En effet, le cheptel est maintenu au village si la ration journalière est assurée au fil des saisons.

La charge animale maximale pendant la saison des cultures est définie par la qualité du fourrage de la zone pastorale, non mise en culture, et son accessibilité par le bétail. En saison sèche, la zone pastorale et les résidus de culture doivent couvrir les besoins d'entretien des animaux.

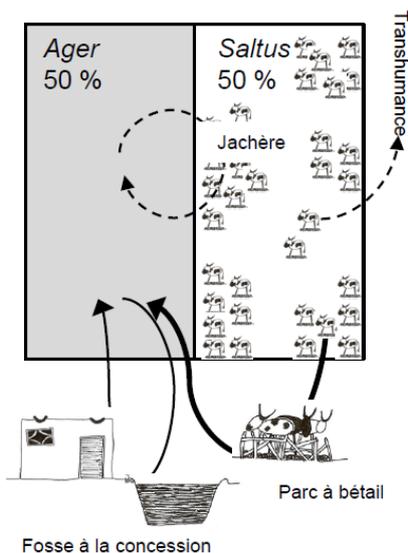
Un indicateur important pour évaluer la place de l'élevage dans la gestion de la fertilité des sols a longtemps été utilisé par les auteurs. Le nombre de bovins par hectare cultivé permet d'estimer la quantité de fumure organique potentiellement utilisable et le pourcentage de terres cultivées potentiellement fumées à la dose recommandée de 5 t/ha/2 ans. Ainsi, selon

les caractéristiques du milieu et l'emprise agricole, les indicateurs utilisés par de nombreux auteurs (Pieri, 1989, Dugué, 1996 et al., 2004) permettent de définir 3 seuils successifs vers une augmentation des pressions agricoles et humaines sur la fertilité.



À faible densité humaine (moins de 20 hab./km²), l'espace cultivé (*ager*) représente une faible proportion du territoire. Si les conditions sanitaires sont favorables, l'élevage de bovin se développe grâce à l'abondance des ressources fourragères du *saltus* (plus de 80% du territoire). La charge en bétail est limitée (10 UBT/km²).

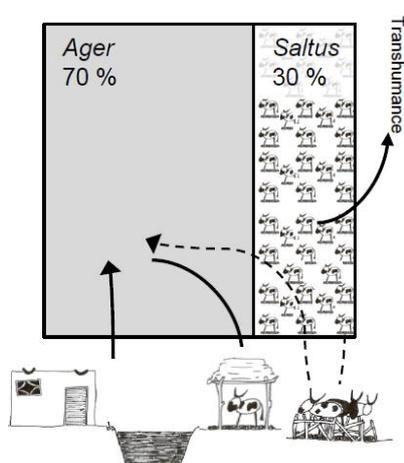
La gestion de la fertilité s'appuie sur peu de défrichements, des jachères de longue durée (15 ans) et un transfert de fertilité par le bétail du *saltus* vers l'*ager* (8 à 12 UBT/ha cultivé) (Boutrais, 1995, Adamou, 1990).



A densité humaine modérée (20 à 50 hab./km²), le développement des systèmes de culture et la capitalisation des revenus agricoles dans l'élevage entraîne une extension des surfaces cultivées (50 % du territoire) et une augmentation de la charge en bétail (30 à 60 UBT/km²).

L'augmentation de la pression foncière entraîne une mise en culture continue et des jachères de courte durée.

Les pratiques d'association agriculture élevage se développent. Le cheptel valorise une partie des résidus de culture (vaine pâture, affouragement et litière), participant activement à un transfert du *saltus* vers l'*ager*. Les relocalisations des biomasses au sein de l'*ager* se développent.



A forte densité humaine (plus de 60 hab./km²), la mise en culture continue des terres nécessite des restitutions organiques et minérales. Les surfaces cultivées limitent la zone pastorale. En hivernage, l'espace pastoral ne permet pas la mobilité et l'alimentation du bétail et en saison sèche, l'alimentation n'est pas assurée par le *saltus* et le fourrage. Le cheptel doit être conduit en transhumance ou réduit.

La gestion de la fertilité se fait par relocalisation des biomasses au sein de l'*ager*. Les transferts du *saltus* vers l'*ager* sont valables pour un seuil supérieur à 1 UBT/ha (Dugué, 1999).

Fabrication et utilisation de la fumure organique

Les techniques de production et d'application de fumure organique devaient permettre de compenser la minéralisation de la matière organique des sols sous culture par des transferts de matière du *saltus* vers l'*ager*. Ces transferts devaient être assurés par les animaux qui, pâture dans la journée dans les zones non cultivées, revenaient le soir au parc. Les déjections nocturnes servant de base à la production de la fumure organique, devaient être transportées, à la fin de la saison sèche, au champ comme amendement organique. Ainsi selon les techniques de production et d'utilisation de fumure organique mises en place dans les exploitations, le transfert de biomasse correspond à un bilan positif avec un gain pour l'*ager* issu du *saltus* ou à un simple transfert ou relocalisation de matière organique interne à l'*ager*.

Le transfert par les animaux varie selon les saisons. En saison des pluies, les transferts correspondent à des transferts de biomasses (ingérées par les animaux et pré-transformées) du *saltus* vers l'*ager*. Ces transferts restent cependant peu valorisés par les paysans qui abandonnent une partie des déjections animales lessivées par les pluies, sans les ramasser au parc. Au début de la saison sèche, la vaine pâture commence. Les animaux sont contrôlés et dorment au parc pour éviter les dégâts sur les cultures. Les déjections animales représentent le fruit d'un transfert de biomasses interne à l'*ager*, depuis l'assolement de céréales vers la partie fumée. En pleine saison sèche, les animaux s'alimentent à partir des reliquats des résidus sur les parcelles et d'affouragement à la concession (relocalisation des biomasses) et de fourrage aérien (transfert du *saltus* vers l'*ager*). (Dugué, 2002). La Figure 13 illustre les transferts de biomasse selon les techniques employées.

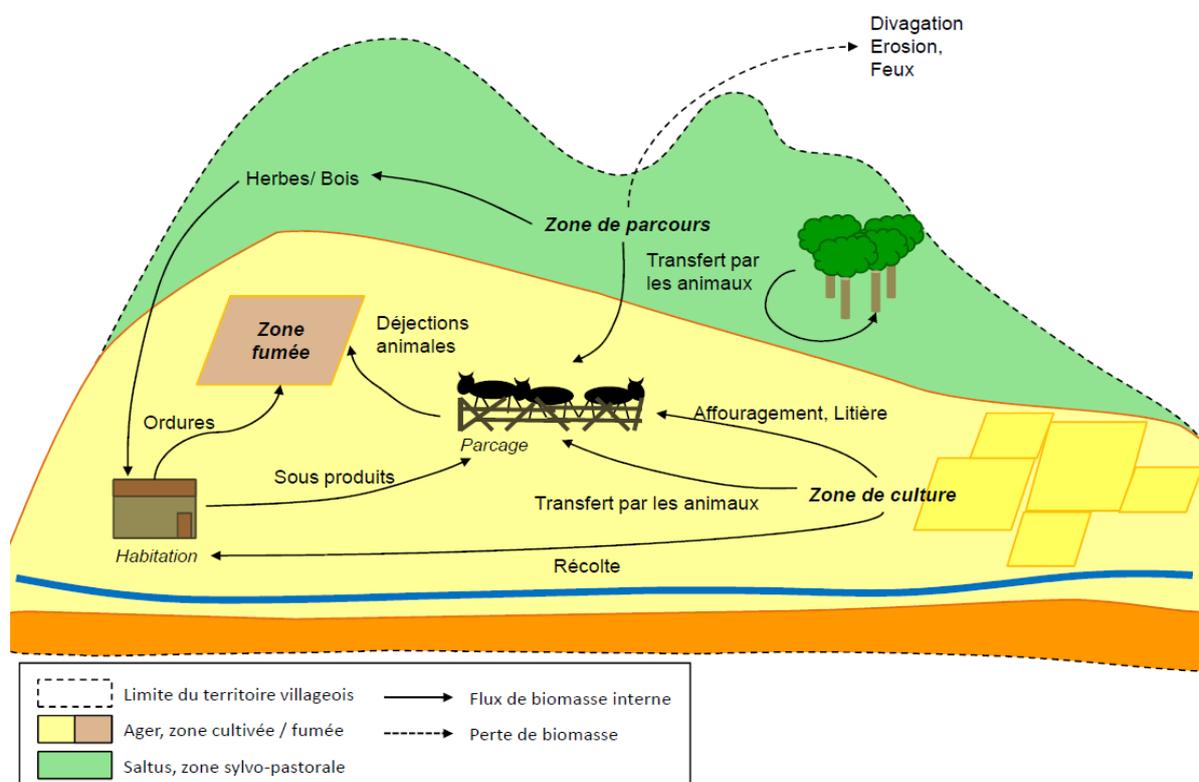


Figure 13. Transferts de biomasses au sein du territoire des exploitations (Dugué 2002)

La diversité de techniques développées par la recherche agronomique devait permettre à tous les types d'exploitations agricoles de produire et utiliser de la fumure organique pour gérer la fertilité de leurs sols.

Le parcage

Le développement de l'élevage chez les agriculteurs a entraîné le développement de la technique du parcage amélioré des animaux dans l'objectif d'obtenir du fumier de qualité et en grande quantité par la décomposition de résidus apportés en litière dans le parc. La vulgarisation de ce modèle a été renforcée par l'appui d'une ligne de crédit pour des parcs en grillage (respect de la ressource forestière) avec des normes (type de construction, taille du parc selon le nombre de tête...) et des formations et suivis.

Le parcage permet de transformer des biomasses végétales apportées au parc sous forme de litière. Dans un enclos fixe, en bancos, épineux ou bois, les animaux sont parqués la nuit. Les résidus de récolte (paille de sorgho, tige de coton) sont ramassés et stockés à proximité du parc. La recherche a produit des normes sur la quantité de résidus à stocker en fonction de la pluviométrie de la zone et de la taille du cheptel. Pour la zone nord du Mali-sud, les paysans doivent stocker 600 kg de pailles par bovin et par an. En zone centre, la quantité atteint 750 kg/bovin/an et dans la zone sud, plus arrosée, la recherche recommande 900 kg/bovin/an. Pour les petits ruminants, 150 kg/tête/an sont nécessaires pour produire un bon fumier. Selon la période d'apport de litière au parc, divers noms sont donnés à cette technique, parcage d'hivernage, parcage amélioré ou parcage de saison sèche. Dans le cas du parcage d'hivernage, la litière est apportée au parc par couche de 30 à 40 cm dès la fin de la saison sèche. Un nouvel apport intervient dès que la couche est transformée. Le fumier est conservé au parc lors de l'hivernage suivant pour achever la maturation du produit (élimination des graines d'adventices, de la toxicité des pailles de sorgho et atteinte de l'équilibre C/N). Le parc est vidangé avant la campagne agricole suivante et le fumier produit transporté au champ. La technique du parcage d'hivernage permet de produire 1,5 tonne de fumier par bovin et par an s'il est bien conduit (Berger, 1996).

Etable et fosse fumière

La stabulation saisonnière des bœufs de labour permet de faire face aux risques de divagation et de dégâts sur les champs tout en produisant de la fumure organique avec les déjections nocturne mélangées aux refus de l'alimentation. Ce modèle technique développé après l'essor de la traction animale, n'intéresse que les exploitations propriétaire d'animaux.

Les étables fumières associées à une fosse permettent de valoriser les déjections animales et de transformer des biomasses végétales apportées sous forme de litière à des animaux stabulés ou simplement sous forme de refus du fourrage distribué en saison sèche. Dans la zone Mali-sud, la fosse vulgarisée était juxtaposée à l'étable (recommandation pour les zones plus humides). La recherche a établi des recommandations pour la taille des fosses, proportionnellement au nombre de bœufs stabulés dans l'étable (4 à 5 m²/bovins d'après Berger, 1996). La litière est apportée en couche quand la précédente, transformée, est

transvasée dans la fosse. Le suivi de la décomposition (température et humidité) permet de juger des apports d'eau nécessaires. Selon les normes, une paire de bœufs de trait stabulés pendant 6 mois permet de transformer 2 tonnes de pailles de sorgho et de produire ainsi, 3,2 tonnes de fumier (Berger, 1996).

Le compostage

Suite à des difficultés liées au transport de la fumure (disponibilité de charrette, état du matériel, condition des animaux de trait...), la technique de compostage de résidus au champ a été mise au point puis vulgarisée. Le premier modèle de compostage vulgarisé était un compostage sans arrosage, sur deux ans, avec retournement de la fosse après un an (CMDT, IER, DRSPR). Par la suite, la vulgarisation a présenté le compostage en fosse en 12 mois (CMDT, 1995 b).

Le compostage permet la transformation des biomasses animales et végétales à proximité des parcelles (limite le transport), sans nécessiter obligatoirement la présence d'animaux.

Le processus repose sur une fermentation aérobie avec augmentation de la température (jusqu'à 60 à 70°C au centre de la fosse). Les premiers éléments décomposés sont les sucres et les lipides puis la cellulose (réduction de la température). Au 50^e jour, les éléments grossiers commencent à être dégradés à température ambiante.

Le compostage en fosse est adapté aux zones à faibles précipitations et faible disponibilité en eau (moindre évaporation). Selon la période de lancement du compostage (saison des pluies ou saison sèche), le temps de transformation est plus ou moins long et des travaux d'arrosage peuvent être nécessaires. Il existe trois types de compost : le compost de saison sèche (4 à 5 mois) avec arrosage, le compost de saison des pluies (3 à 4 mois) sans arrosage et le compost mixte (arrosage et pluies) en 6 à 8 mois. Les résidus de culture et autres sources de biomasses végétales sont ramassés et stockés à proximité de la fosse. Le remplissage se fait par couches successives de résidus alternées avec des couches de fumier déjà décomposé ou des déjections de petits ruminants (amorce au processus fermentation). Le compostage mixte ou d'hivernage se fait au cours de la saison sèche et se poursuit en hivernage jusqu'à la campagne agricole suivante. Le compostage de saison sèche avec arrosage intervient en saison sèche après les récoltes et se déroule en 3 mois, mais nécessite des arrosages et retournements.

Approche agro-sylvo-pastorale : L'arbre au cœur du système

Évolution de la place de la jachère

La jachère a été définie en 1985 par Sébillotte comme étant « *l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante* ». Elle est présentée par Floret *et al.*, dans un dossier sur la jachère en Afrique tropicale, comme étant une phase d'abandon cultural de la terre consécutive à une phase de mise culture (1993).

Elle se caractérise par sa durée, les techniques culturales qui lui sont appliquées et les rôles qu'elle remplit pour le système de culture.

Longtemps abordée comme une simple mise au repos des terres agricoles, elle a été étudiée pour son rôle sur le fonctionnement de l'écosystème travaillé (état du sol, matière organique, éléments minéraux).

La jachère est pourtant implantée socialement dans les territoires et elle remplit diverses rôles. Au-delà de son effet sur l'état des sols (restauration de la fertilité et amélioration de l'infiltration des eaux de pluies), elle agit sur les systèmes de cultures (lutte contre les adventices et les parasites, lutte contre l'érosion...). Pour les exploitations, elle représente une réserve foncière, une réserve de bois et une zone de pâturage pour les animaux (Sébillotte, 1985).

La jachère est constituée de recrûs herbacés et d'arbres naturels ou plantés, qui devront être éliminés ou atténués avant l'installation de la culture suivante. Cette matière sèche produit permettra un apport en matière organique au sol mais selon les techniques employées pour sa défriche, elle aura une influence différente. La mise à feu des débris végétaux, coupés, entraîne d'importante perte en éléments minéraux, particulièrement pour le cadmium et le magnésium (90 %) et le potassium (de -30 à 50 %) (Sébillotte, 1985). La matière organique apportée par la jachère se limite alors à la biomasse racinaire. Le labour et l'enfouissement de la végétation permettent de limiter les pertes en éléments nutritifs, mais le retournement du sol et son affinement par le passage de l'outil tracté entraîne un risque d'érosion important des éléments fins de la surface du sol. La réduction de la pression des adventices sur les cultures est facilitée par le développement de la lutte chimique avec l'emploi d'herbicides.

Avec l'évolution des systèmes de cultures, la place de la jachère régresse au Mali-sud (Figure 14). Les systèmes de culture du Mali-sud se sont transformés, passant d'un système itinérant en zone de brousse et continue sur l'auréole fumée autour des concessions à un système de mise en culture permanente des terres (Gigou et al., 2006). La durée des jachères a été réduite, ainsi que leur superficie.

Gigou *et al.*, (1998) montrent que les systèmes de cultures permanents n'avaient pas été mis en place par les producteurs par manque d'espace à défricher, mais par soucis de rentabiliser les investissements réalisés sur les terres avec les nouvelles techniques agricoles (défrichement, dessouchage). Dès les années 60, la culture permanente avait déjà fait son apparition avec l'introduction de la culture attelée alors que l'emprise agricole moyenne n'était que de 10 %.

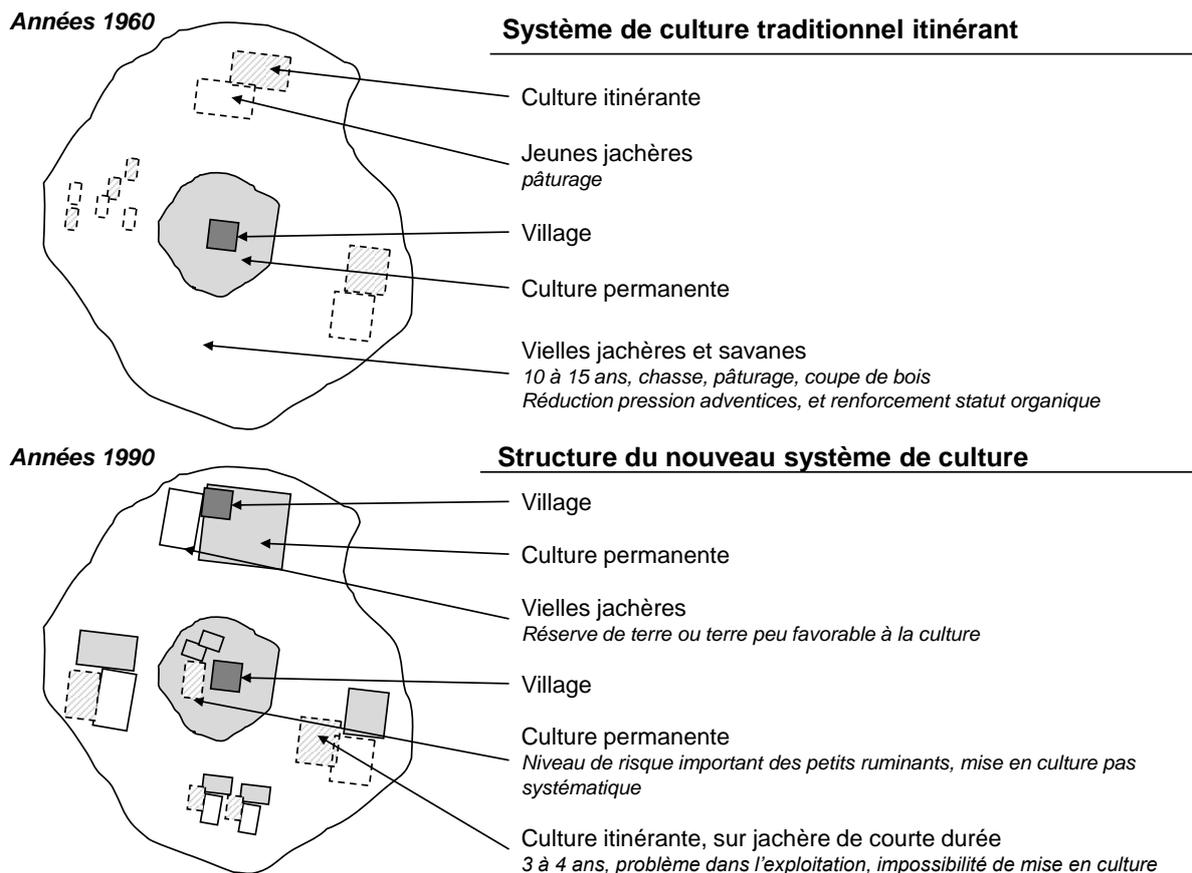


Figure 14. Évolution des systèmes de culture

Replacer l'arbre dans le système

Dans les systèmes de production du Mali-sud, l'arbre est présent sous forme de parc arboré, plus ou moins dense. Les principaux arbres de ces parcs sont le karité (*Vitellaria paradoxa*, Gaerthn. F.) et le néré (*Parkia biglobosa* (Sacq.) Benth). Le baobab (Sira, *Adansonia digitata* L., Bombacaceae) et le *Faidherbia* (Balanzan, *Acacia albida*, A. Chev., Mimosaceae) étant minoritaires.

Ces arbres ont divers rôles sur le fonctionnement de l'agro-écosystème cultivé tant agronomiques, écologiques, sociaux qu'économiques. La place et le rôle des arbres sur les exploitations est résumé dans la terminologie d'arbre utile, car fournissant des services et des biens aux producteurs (fruits, huile, fourrage aérien, épices, bois, ombre). Les influences des arbres sur la fertilité des sols sont reconnues à travers les transferts verticaux d'éléments permis par l'exploration profonde des racines dans le sol. La limitation de l'érosion éolienne et hydraulique (couverture du sol, racine).

Bado *et al.*, (2003) ont montré que les feuilles de néré et de karité n'ont pas le même processus de décomposition dans et sur le sol (composition en éléments minéraux et vitesse de dégradation) et donc pas la même influence sur la qualité des sols. Le mulch de feuilles du néré provoquerait un effet dépressif sur les cultures de céréales alors qu'il serait positif pour les feuilles du karité. L'enfouissement des feuilles favoriserait la dégradation des feuilles de

né et provoquerait une immobilisation de l'azote avec les feuilles de karité. La contribution des arbres à la fertilité du milieu sera rediscutée, en comparaison avec la vision des producteurs dans la partie intitulée La perception par les paysans du rôle des arbres sur la fertilité des sols (page 150).

Enfin, les arbres sont essentiels au développement des communautés paysannes pour couvrir les besoins en bois de chauffe, de construction et du cheptel (fourrage aérien). Pieri (1989) dans son recueil, aborde la notion de seuil en terme de densité de population où le risque de dégradation irrémédiable des systèmes peut être atteint quand le compartiment arboré (arbre des zones sylvo-pastorales et arbres des champs) est attaqué.

Approche agro-écologique : retour des processus écologiques

Le Zaï

La technique du Zaï a été décrite dans le nord du Burkina Faso, dans la région du Yatenga, mais elle est adaptée à une pluviométrie comprise entre 300 et 800 mm/an (Projet COREF-Zaï 2009). Elle vise la réhabilitation des sols dégradés et abandonnés. En saison sèche, les producteurs creusent manuellement, à la daba²¹ ou la pioche, des petites cuvettes (30 à 40 cm de diamètre sur 15 cm de profondeur), disposées en quinconce, en repoussant la terre en aval afin de retenir les eaux de pluies en hivernage. Les éléments fins emportés par la force des vents sont piégés dans les cuvettes. Dès les premières pluies, de la fumure organique est déposée dans chacune des cuvettes avant le semis des cultures. Les doses appliquées de fumure organique peuvent être élevée, avec une ou deux poignées de fumure organique par poquet elle peut atteindre 1 à 3 t/ha (Ouédraogo). Le lit des semences est alors composé de terre et de fumure organique où les eaux de pluies se concentrent. La matière organique va favoriser l'installation des termites qui creuseront des galeries dans le sol améliorant l'infiltration des eaux de pluies, déposeront des fèces riche en minéraux. Enfin, l'érosion hydraulique est limitée par l'augmentation de la rugosité de la surface (croissant de lune en aval des poquets) et l'infiltration de l'eau est améliorée, essentielle dans les zones arides et soumise à une grande variabilité des pluies.

La technique a été étudiée et analysée par la recherche au Burkina Faso afin de la rendre moins pénible et réalisable sur de grandes surfaces. Le zaï mécanisé est réalisé à la traction animale, par le passage croisé d'une dent permettant un travail du sol avant la pluie (Barro et al., 2005).

Agriculture de conservation

L'agriculture de conservation est définie par la FAO comme une forme d'agriculture qui met en place des systèmes agricoles durables et rentables s'appuyant sur trois principe généraux : un travail minimum du sol, des associations et rotations culturales et une couverture permanente du sol. Cette forme d'agriculture prend en compte la protection de

²¹ Daba : Outil traditionnel, houe à fer large et manche court et courbé

l'environnement (dégradation des sols) et la nécessité d'une augmentation de la production agricole mondiale pour faire face à la démographie à venir (FAO, 2010).

Elle regroupe une diversité de concepts depuis l'absence de travail du sol (Zéro labour), les techniques culturales simplifiées (TCS) avec un travail minimum du sol (travail du sol en sec), le semis direct sur la paille ou semis direct avec couvertures végétales (SCV) ou encore des techniques anciennes mais répondant aux principes comme la technique du zaï développée au nord du Burkina Faso. Elle vise un maintien de l'environnement tout en améliorant la productivité des systèmes agricoles en s'appuyant sur une valorisation des processus écologiques et une meilleure gestion des ressources en eau, sol et plante.

Le semis direct sous couverture végétale s'inspire du fonctionnement d'un écosystème forestier (Capillon et Séguy, 2002). Une couverture vivante ou morte est maintenue sur la surface sans retournement du sol. Elle est obtenue en laissant sur le sol les résidus de la culture précédente ou en installant une culture secondaire à forte production de biomasse dans le but de recouvrir le sol. La couverture permanente du sol modifie les caractéristiques biologiques, chimiques et physiques des sols. Elle permet de limiter l'érosion, hydraulique ou éolienne, par la protection de la surface du sol. Les éléments fins du sol sont alors moins exposés à l'action mécanique du vent et des gouttes de pluie. A défaut d'un travail du sol rendu difficile par sa présence, la couverture du sol a également le rôle de lutter efficacement contre les adventices par l'ombrage qu'elle offre et la compétition pour les ressources nutritives. Elle doit être cependant contrôlée mécaniquement ou chimiquement, dans le cas de couverture vivante, pour ne pas entrer en compétition avec les cultures. Ce rôle n'est efficace que si la couverture reste suffisamment dense. La couverture permet également de réduire la température du sol et conséquemment le coefficient de minéralisation de la matière organique des sols. Les couvertures mortes et le système racinaire constituent des apports principaux de matière organique au sol. La présence de brindilles dégradables et meubles favorise l'infiltration des eaux de pluies, limitant ainsi le ruissellement. Les bilans hydriques sont modifiés vers une meilleure rétention en eau des sols (Sissoko, 2009). Les conditions créées par la couverture favorisent la recolonisation des sols par la micro et macrofaune (amélioration de l'état structural). Enfin, la réduction du travail (pas de labour, réduction du désherbage) correspond à un allègement d'une forte contrainte pour les producteurs.

Le développement de cette technique dans les systèmes de production du Mali-Sud nécessite une mécanisation adaptée pour les travaux de semis, d'épandage des engrais et de gestion des résidus (broyage). En effet, un des attraits de cette technique est la réduction du temps de travail, mais les outils tractés utilisés en culture conventionnelle ne pouvant pas être utilisés dans ces systèmes, les quelques passages représentent une charge non négligeable en travail. De plus, le maintien d'une couverture suffisamment dense sur les parcelles doit faire face à des pertes en biomasses importantes par les attaques des termites et la divagation des animaux en saison sèche. Les parcelles doivent être protégées obligeant une reconnaissance des droits fonciers (Sissoko et al., 2008). Enfin, une préoccupation demeure quand à la nécessité d'employer des herbicides pour la gestion de l'enherbement dans de petites exploitations agricoles ayant un accès limité aux crédits.

Chapitre 2.2. Prise en compte des pratiques agricoles

D'après Olivier de Sardan (1995), « *le savoir règle les pratiques* ». La mise en pratique par les paysans procède d'une action réfléchie. Les paysans évaluent la situation et ce qu'il conviendrait de faire en mobilisant un ensemble de connaissances (savoirs techniques locaux sur les sols, les fumures organiques, les engrais minéraux, la végétation, le climat, l'eau, les champs,...) et parfois même les connaissances d'autrui. Il s'agit du **domaine des savoirs techniques locaux**, déterminants des pratiques.

Les paysans construisent alors des stratégies qui se traduiront par la mise en pratique. Il s'agit du **système de décision**. A partir de l'ensemble des règles de décisions associées à leurs savoirs, de leurs objectifs et de leurs contraintes, ils décident de la mise en pratique.

Enfin, les pratiques engendrent des **effets et des conséquences** sur le milieu (Figure 15).

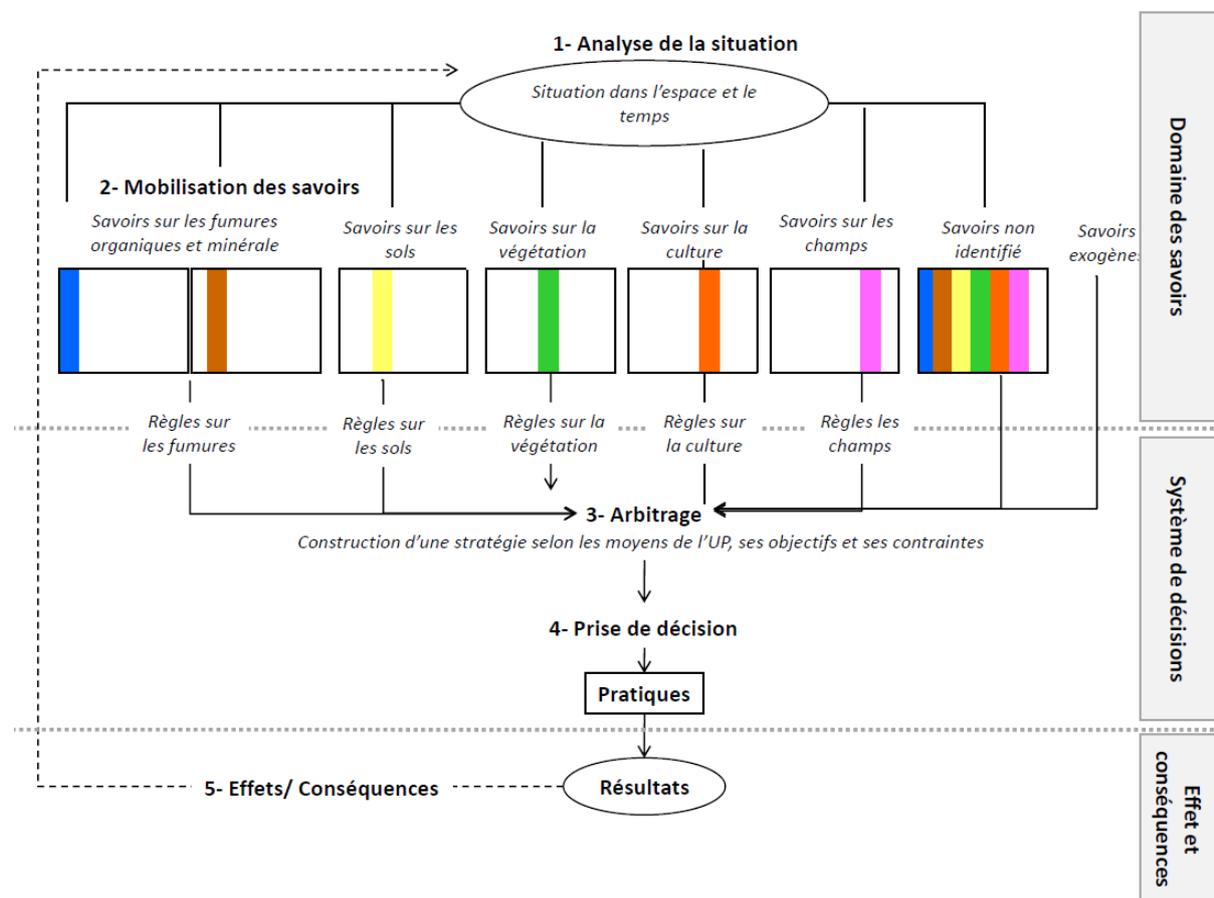


Figure 15. Hypothèse de fonctionnement de la relation savoirs techniques et pratiques

La prise en compte des pratiques agricoles s'intéresse à ces trois domaines : les savoirs techniques, le système de décision et l'évaluation de l'efficacité des pratiques (effets et conséquences).

Les savoirs locaux : déterminants des pratiques

Les savoirs locaux un concept à définir

Les savoirs locaux peuvent être définis comme le fonds commun des connaissances d'une population donnée. Tous les membres de cette population possèdent une partie variable de ce fonds commun suivant leur place dans la société (âge, sexe, situation familiale, profession, situation économique...). Les acteurs des savoirs sont les détenteurs, les praticiens ou utilisateurs et les conservateurs. Il y a donc des personnes détentrices de savoirs spécifiques ou thématiques.

Les savoirs locaux prennent diverses formes d'expression. Ils peuvent être oraux comme les histoires, les contes ou les chants, prendre une forme écrite plus formelle ou correspondre à des gestes, des habitudes ou des savoirs faire.

Enfin, les savoirs locaux sont multiples. Ils touchent tous les aspects de la société : la santé humaine et animale, l'agriculture, l'élevage et l'environnement, l'organisation sociale et la gestion économique... (Grenier, 1998 ; Olivier de Sardan, 1995). Les savoirs locaux ont longtemps été étudiés à travers les thèmes de santé humaine avec de nombreuses études en ethnomédecine et ethnobotanique. Il existe donc de nombreuses définitions faisant référence à la médecine et beaucoup moins en sciences agronomiques.

La structure des savoirs locaux au regard de celle des sciences

Les savoirs locaux sont reconnus pour être holistiques. Ils forment un ensemble cohérent de connaissances qui se renvoient les unes aux autres dans un système de pensée propre à chaque population. Les sciences exactes, elles font référence au système de pensée et au langage commun à la communauté des scientifiques.

Les savoirs scientifiques sont issus d'un processus analytique où chaque sous ensemble du savoir peut être analysé indépendamment du système de pensée globale. Au contraire, les savoirs locaux envisagent toute question dans leur globalité dans « *un système intégré de connaissance* » (Grenier, 1998 ; Mormont, 2003 ; Olivier de Sardan, 1995).

Les savoirs locaux et les savoirs scientifiques sont au cœur d'un système de pensée complexe. Ils ont tous deux une visée empirique basée sur des observations répétées d'un évènement, l'expérience puis la synthèse. Les savoirs locaux se sont construits sur un pas de temps long alors que les sciences exactes sont issues d'un processus délibéré d'expériences nécessairement plus courtes.

Les données des savoirs locaux sont souvent qualitatives quand les sciences exactes produisent des données qualitatives mais surtout quantitatives.

Les savoirs locaux se construisent, s'apprennent et sont mis en pratique en un même lieu et par les mêmes individus. A l'inverse, les sciences exactes s'enseignent loin de leur contexte de création et nécessitent des modifications et adaptations en vue des transferts aux usagers selon les conditions locales (Grenier, 1998). L'utilisation des savoirs locaux se fait localement contrairement aux savoirs scientifiques qui prétendent avoir une visée universelle. Les caractéristiques des deux types de savoirs sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Synthèse des caractéristiques des deux systèmes de pensée

	<i>Savoirs techniques locaux</i>	<i>Savoirs scientifiques et techniques</i>
<i>Relation</i>	Subordonnée	Dominante
<i>Mode de pensée</i>	Intuitif, Holistique, Localisés, Contextualités	Analytique, Réductionniste, Uniformisé, Formalisé
<i>Communication</i>	Orale	Écrite
<i>Instruction</i>	Observation, pratique	Enseignement distant du contexte
<i>Efficacité</i>	Lente, peu concluante	Rapide concluante
<i>Création de données</i>	Observations, tâtonnement, synthèse Empiriques	Expériences, accumulation ou processus délibéré, Standardisés
<i>Données</i>	Qualitatives Historiques	Quantitatives et qualitatives, Statistiques
<i>Classification</i>	Écologique	Générique et hiérarchique

d'après Wolfe *et al.*, 1993 cité par Grenier, 1998

Les relations entre savoirs locaux et savoirs scientifiques

La mise en relation des savoirs locaux et des savoirs scientifiques et techniques a longtemps été source de rivalité, de désaccord voir de conflit. Les savoirs scientifiques et techniques sont reconnus pour viser l'exhaustivité des connaissances avec une entière rationalité et impartialité. Les savoirs scientifiques et techniques se sont ainsi vu conférer une position de suprématie sur les savoirs locaux, empiriques ayant une portée localisée et une efficacité jugée peu concluante (Grenier, 1998). Il est admis un certain pouvoir du « *savant* » face au « *citoyen* », souvent appelé profane.

De nombreux échecs de la recherche-développement sont décrits dans la littérature avec comme facteur récurrent expliquant ces échecs, le manque d'implication des producteurs et le désaveu de leurs savoirs.

Une recherche de longue durée sur l'amélioration de variétés de céréales sèches au Mali-Sud peut être donnée en exemple. Cette recherche n'a aboutie que lorsque les critères proposés par les producteurs ont été reconnus (adaptation à l'irrégularité des pluies), qu'un langage commun a été établi (irrégularité interannuelle des pluies et non adaptation à la sécheresse) et les connaissances des producteurs valorisées (caractère adaptatif des sorghos qui module la longueur de leur cycle selon la longueur de la saison) (Sissoko *et al.*, 2008).

De même, Lahmar (1997) décrit les insuffisances d'un transfert de savoirs techniques externes, sans l'implication des acteurs, sans des mesures d'accompagnement et la construction d'un langage commun entre chercheur et producteur en s'appuyant sur l'exemple d'un projet de recherche sur la gestion de la fertilité des sols dans les Andes au Pérou.

Parallèlement à ces constats, la reconnaissance des mouvements de protection et de valorisation des droits des peuples autochtones qui a suivi l'avènement du développement durable (Convention de Rio 1992) ont mis sur le devant de la scène les savoirs locaux comme étant la source des innovations tant recherchées pour assurer la sécurité alimentaire, améliorer les conditions de vie, protéger l'environnement... Ces mouvements, portés par la société civile et politique, ont donné une place aux savoirs locaux qui doivent dorénavant être reconnus,

étudiés et analysés pour en identifier la rationalité scientifique (Ishizawa, 1999), établir un véritable dialogue entre agronomes et paysans, permettre la participation des paysans à la formulation des travaux de recherche (Lahmar, 1997) voir représenter une richesse pour le développement d'innovation.

Les savoirs locaux sont devenus incontournables dans toutes les interventions en milieu rural. Cependant, passer des principes aux actes soulève des questions et des débats. Quelle place donner aux savoirs locaux dans les démarches de recherche en milieu rural ?

Deux points de vue se sont longtemps opposés les uns prônant la suprématie des sciences et de la technique, les autres un nécessaire retour aux connaissances « traditionnelles » qui étaient à l'origine de l'adaptation et du développement des sociétés humaines dans leur milieu.

- 1) Les premiers prônent de ne pas prendre en compte les savoirs locaux dans toutes les actions. Les savoirs locaux ne pourraient répondre aux objectifs visés car ils auraient une efficacité « lente et peu concluante » (Grenier, 1998). Les savoirs locaux sont souvent reconnus comme étant socialement important, « fortement ancrés » dans la culture, attachés à la terre et spiritisme (Olivier de Sardan et Paquot, 1991), mais peu efficaces et efficients. Les partisans de la prise en compte des savoirs locaux dans les actions de développement sont alors jugés de « romantiques », d'utopiques ou « d'antirationnels », comme l'explique Ishizawa (1999).
- 2) Les second s'opposent à la domination des sciences exactes sur la société et ne reconnaissent pas toujours le caractère impartial des sciences. Les valeurs sous-jacentes des sciences exactes dépendent des acteurs qui les construisent ou les utilisent, sans polémiquer sur l'indépendance des structures de recherche. Les scientifiques appartiennent à une société, ils ont leur propre jeu de valeurs forgés à travers leur origine, leur formation, leur position sociale ou même leur religion... Ces valeurs ne sont pas toujours extérieures aux décisions de recherche (Chambers, 1990).

De plus, les sciences se sont développées avec l'expansion de la société occidentale et reconnaissent les principes du développement, du progrès et de la croissance. Le concept de modernité est attaché aux savoirs scientifiques alors que les savoirs locaux sont liés à l'idée de tradition, immobilisme. De nombreux scandales sur la santé publique (affaires du sang contaminé, amiante, vache folle...) ont participé à instaurer le principe de précaution²² et ont renforcé l'idée d'un nécessaire partage du pouvoir décisionnel entre les scientifiques et la société civile. Des réactions plus radicale son apparues dans le même temps avec le rejet en bloc des propositions techniques issues de la recherche scientifique.

²²Enoncé dans la loi française (loi Barnier n°95-101 du 2 février 1995) : « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable »

Chambers (1990) rappelle que le savoir local n'est pas toujours valide et utile et Dupré (1991) qu'il n'est pas « *la panacée universelle propre à résoudre toutes les misères* ». Dans les sociétés européennes, la société civile se donne pour rôle de suivre les avancées des sciences pour en mesurer également la portée, afin d'équilibrer les pouvoirs. Les mécanismes d'équilibre entre sciences exactes et savoirs locaux, dans les zones rurales africaines, passent par une participation des producteurs au processus de recherche (avec la recherche action en partenariat) ou par des relations plus institutionnelles comme la création, par exemple au Mali, des Commissions Régionales des Utilisateurs des Résultats de la Recherche (CRU).

Le débat n'est pas, dans le présent travail d'arbitrer ces deux portraits sans doute caricaturés, mais d'analyser la spécificité des deux types de savoirs et le caractère opérationnel de la prise en compte des savoirs locaux dans l'étude des pratiques.

Les relations entre savoirs scientifique et savoirs locaux restent essentielles. Il a alors été nécessaire de développer des arguments justifiant des travaux sur les savoirs techniques locaux et de modérer leur portée.

Les facteurs d'évolution des savoirs et apprentissage

Les savoirs techniques locaux se transforment et évoluent en permanence au contact d'autres savoirs. Les savoirs techniques locaux et les pratiques sont donc sous influence de facteurs externes. En effet, le contexte de l'unité de production participe à l'évolution de l'expression des savoirs techniques locaux et la mise en œuvre des pratiques. L'environnement extérieur à la population agit sur les choix techniques des producteurs, tel que l'écosystème, les institutions, les marchés, les pressions anthropiques ou le contexte social... De nouvelles pratiques sont issues de ces diverses influences. Elles peuvent, à leur tour, modifier les savoirs locaux en vertu du lien qui les unit.

La forme d'apprentissage la plus usuelle des savoirs techniques locaux est la transmission au sein de la communauté. L'enseignement interne ou « endogène » peut avoir comme source l'expérience personnelle ou l'instruction locale (parents, vieux, collègues...).

Un autre mode d'apprentissage provient de l'extérieur de la communauté. Il peut alors être informel, dans le cadre des réseaux d'échange et des organisations paysannes. A l'opposé, la formation des producteurs par le transfert de techniques générées par les services techniques et de vulgarisation est formelle et même institutionnelle.

L'acquisition de savoirs techniques locaux par les producteurs peut aussi avoir une source exogène et diffuse. En effet, les producteurs tirent des informations qui enrichissent les savoirs techniques locaux de leur propre contexte (média, etc ...).

Les savoirs locaux et les pratiques : systèmes en interaction

La technique est une théorie. Une pratique correspond à la manière de mettre en œuvre cette technique. C'est pourquoi les pratiques n'ont de sens qu'au sein du système de production, en fonction des moyens de production disponibles et des objectifs visés par le producteur. Selon Darré « Ce qui explique un comportement c'est la pensée des sujets, la façon de concevoir les

choses et de leur donner des valeurs » (Darré et al., 2004). L'agriculteur malien se base sur ses propres connaissances et sur sa manière d'appréhender le réel pour mettre en œuvre ces techniques. Les savoirs locaux sont donc bien les déterminants des pratiques des producteurs.

Le savoir local est un « ensemble intégré de connaissance » (Grenier, 1998) qui aborde l'ensemble des domaines d'interventions des hommes. Au sein de cet ensemble, une distinction peut être faite sur les savoirs relatifs aux pratiques agricoles. Une telle notion de savoirs techniques locaux est abstraite et arbitraire, elle ne fait pas référence à une distinction claire avec le reste du savoir par la population donnée. Cependant cette notion met en avant la visée empirique des savoirs locaux et permet de délimiter l'analyse aux savoirs déterminant les pratiques.

Les producteurs s'appuient sur cette partie de leur savoir qui a trait aux techniques, pour développer leurs compétences et mettre en œuvre leurs pratiques agricoles. Le savoir technique local influence les pratiques et à leur tour les pratiques à l'image d'une expérience, enrichissent et transforment les savoirs techniques. Les savoirs techniques locaux et les pratiques sont deux composantes en interaction, l'un participant à l'évolution de l'autre. Les savoirs techniques locaux sont donc dynamiques. Les savoirs ne peuvent être dissociés des pratiques, qui sont des « savoirs mis en œuvre » selon Dupré. La prise en compte des savoirs passent par une confrontation du « dis » et du « fais » (Dupré, 1991).

Analyse des déterminants des pratiques

L'analyse de l'opportunité des pratiques, ou des déterminants des pratiques, domaine récent de l'analyse des pratiques, s'intéresse aux pratiques comme objet d'étude des projets et des règles de décisions des agriculteurs.

Le développement de modèles d'action de l'agriculteur (Sébillotte, 1989) fait suite à une prise de conscience de la nécessité de comprendre les choix des producteurs afin de comprendre la cohérence des décisions techniques au cours de la campagne. Selon la formalisation de Papy (1994) et la présentation de Sébillotte (1989) reprise par Mathieu (2004), l'agriculteur a un objectif général vers lesquels s'orientent ses décisions (1). Sur la base de ses connaissances, il élabore un programme prévisionnel d'activités (planification des pratiques) afin de faire passer son état initial vers un état objectif intermédiaire par lequel son système doit passer pour atteindre son objectif général (2 et 3). Son état évolue vers un second état dont il juge l'écart à l'objectif intermédiaire (4). Il s'appuie sur ses propres règles de gestion pour ajuster son programme d'activités et définir un nouveau programme prévisionnel (5).

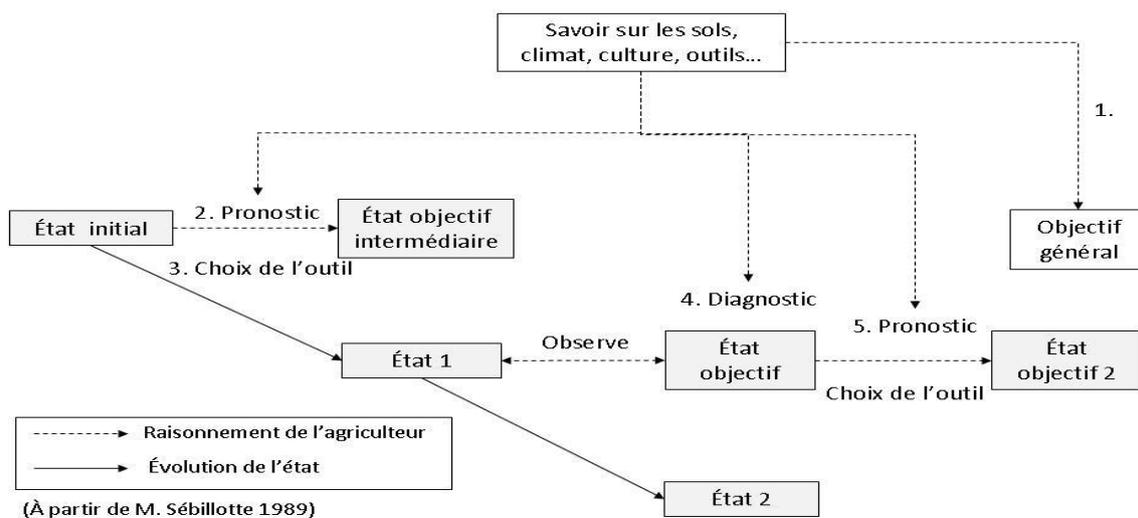


Figure 16. Modèle d'action des agriculteurs (proposé par M. Sébillotte 1989)

Un autre modèle d'analyse des pratiques est proposé en s'appuyant sur la psychologie cognitive qui permet de mettre en évidence les connaissances techniques et pratiques des agriculteurs pour la mise en place d'un fait technique, l'organisation des connaissances et leurs mobilisations. Ces études s'appuient sur la description des objets de l'action par l'agriculteur et l'analyse des variables employées et de leur organisation dans le discours (Mathieu, 2004).

Le système de décision et les pratiques agricoles

Les pratiques, les techniques et les savoirs

Les pratiques des agriculteurs sont « *les manières de faire, réalisées dans une optique de production* » selon Teissier (1979) cité par Landais et Deffontaines (1988). Il s'agit de « *manière dont les techniques sont concrètement mises en œuvre dans le contexte de l'exploitation* » (société locale, histoire, territoire fonctionnement...) (Landais et Deffontaines, 1988).

Les techniques sont « *des ensembles ordonnés d'opérations ayant une finalité de production* » (Teissier, 1979 cité par Jouve, 1997). Elles peuvent être définies indépendamment des agriculteurs. Il s'agit d'un ensemble de gestes humains qui produisent un objet et le font fonctionner. Les pratiques des agriculteurs s'insèrent dans une exploitation, dans un environnement sociotechnique, à un moment donné et selon une trajectoire. Elles ne peuvent être décrites indépendamment de l'agriculteur qui la met en œuvre (Jouve 1997). Les pratiques des agriculteurs sont de « *l'ordre de l'action* » alors que les techniques agricoles sont de l'ordre de la « *connaissance* » (Landais et Deffontaines, 1988).

Pratiques et techniques sont en liens étroits. Les pratiques correspondent à une représentation concrète d'une technique mise en action par un agriculteur. La technique se construit comme une référence réutilisable et transmissible, inscrite dans un contexte spatial et temporel.

Étude des pratiques agricoles

Le besoin d'analyse des pratiques agricoles par la recherche agronomique française est né suite à un changement radical des systèmes agraires en France dans les années 50. La nécessaire prise en compte des activités humaines sur les relations climat-sol-plante engendre le développement de méthodes systémiques d'étude des exploitations agricoles. Elles sont considérées comme des « *systèmes complexes et pilotés* » (Landais et Deffontaines, 1988) où l'agriculteur conduit ses activités de manière ordonnée selon une logique se référant à ses objectifs et sa vision de ses contraintes et moyens. Les exploitations agricoles ont été décrites en un ensemble organisé en un sous système opérant et un sous système de décision (Figure 17). Les pratiques, « *manières de faire* », sont observables directement sur les objets qui subissent l'action et constituent donc un objet d'analyse privilégié pour les études des exploitations agricoles.

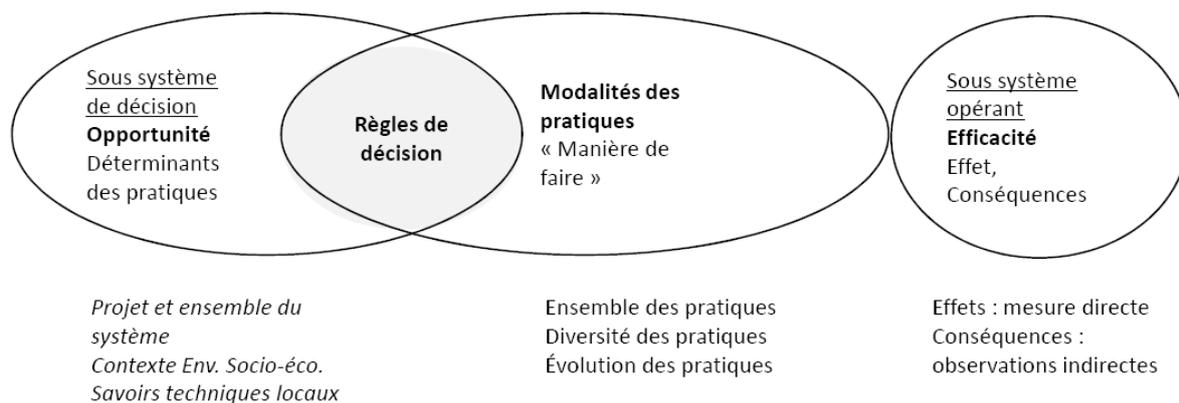


Figure 17. Représentation des sous-systèmes des exploitations agricoles

Les pratiques représentent les actions concrètes décidées, choisies par les agriculteurs. Dans un environnement donné, pour une structure et selon un référentiel technique, une pratique est issue d'une règle de décision des producteurs, à la frontière entre système opérant et système de décision.

Les pratiques peuvent être abordées à plusieurs échelles d'analyse, depuis l'activité humaine élémentaire (pratique du labour) jusqu'à l'échelle globale en référence à une production (pratique de conduite d'un champ).

Enfin, l'analyse des pratiques peut s'intéresser aux trois entrées proposées par Landais : les modalités des pratiques, l'efficacité des pratiques ou son opportunité (Landais et Deffontaines, 1988). L'étude des modalités des pratiques permet d'apporter une description qualitative des pratiques vue de l'extérieur du système. L'observation détaillée des pratiques, pour ne pas aboutir à une description monographique, doit s'attacher à un ensemble de pratiques et comprendre la cohérence de ces actes successifs selon un pas de temps. A

l'échelle de la campagne agricole, la cohérence des faits techniques entre eux permet de définir l'itinéraire technique en place alors qu'à l'échelle de plusieurs années, elle permet de reconnaître les systèmes de cultures.

Efficacité des pratiques : les effets et conséquences

L'analyse de l'efficacité des pratiques se rapportent à l'analyse de ses effets (mesure directe sur les objets, évaluation de l'effet des pratiques...) et des conséquences qu'elles engendrent (observation indirecte sur tout le système de production).

Les effets des pratiques peuvent être abordés à travers divers disciplines tant techniques qu'économiques ou sociales. Les relations entre effet et modalité des pratiques ne sont pas toujours directes et de nombreux modèles ont tenté de les représenter (schéma d'élaboration des performances).

L'analyse des conséquences des pratiques fait appel à une analyse de la structure et du fonctionnement du système de production. Analyser les conséquences des pratiques permet d'interpréter les choix que les producteurs font sur l'adoption des techniques recommandées.

L'évolution de la prise en compte des pratiques pour une recherche intervention

La finalité de l'analyse des pratiques est l'intervention sur les exploitations agricoles, les systèmes de production ou les systèmes agraires. L'intervention peut avoir comme objectif une meilleure efficacité des pratiques (amélioration de la production céréalière, réduction des conséquences de l'agriculture sur les nappes phréatiques) ou la recherche de la meilleure opportunité d'une pratique innovante. L'analyse de la diversité de fonctionnement des exploitations agricoles permet de caractériser le fonctionnement des exploitations agricoles d'une région donnée en groupes cohérents. Sa représentation opérationnelle est la typologie des exploitations qui peut être un outil essentiel de la recherche et du développement agricole. Les recommandations techniques doivent être adaptées à la structure et au fonctionnement des exploitations ciblées. La recherche et l'encadrement doivent donc avoir une vision suffisamment fine du réel mais qui reste opérationnelle.

La démarche de recherche intervention sur les pratiques agricoles se base sur l'élaboration d'un diagnostic agraire qui permet d'identifier des thèmes d'intervention technique pour l'amélioration des systèmes de production. Les typologies des pratiques agricoles permettent de caractériser les exploitations et d'ajuster les thèmes techniques choisis selon le fonctionnement de chaque type d'exploitation. Enfin, le conseil technique vise l'adoption de recommandations techniques ou organisationnelles par les exploitations agricoles (Figure 18). Dans le cas du conseil de gestion, les agriculteurs sont acteurs du changement.

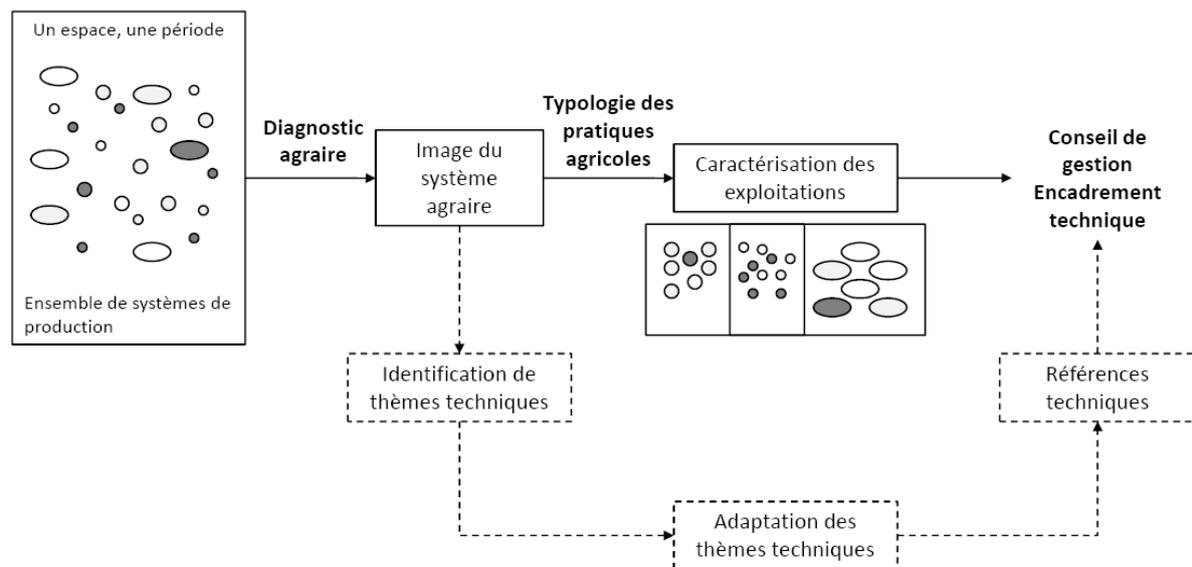


Figure 18. Démarche d'intervention sur les pratiques agricoles

Les références sur les pratiques sont élaborées suivant un thème d'approche (gestion des troupeaux, gestion de l'assolement, gestion des relations agriculture-élevage) et à partir de références agronomiques reconnues. La recherche intervention en milieu rural africain à montrer des limites et selon l'évolution qui a eu lieu dans les systèmes de recherche agricole ailleurs dans le monde, la participation des producteurs dans le processus de choix et d'élaboration des thèmes techniques est actuellement soutenue.

Les approches de recherche participative ont été développées dès la fin de seconde guerre mondiale sur les domaines de la santé, l'organisation du travail et dès les années 80 sur le domaine agricole. Cette approche appartient au mouvement de pensée sur le rééquilibrage des outils et du pouvoir et la participation des peuples aux processus politique. Les individus ne sont plus les objets d'étude sur lequel on collecte des données, mais des acteurs qui participent au processus de recherche pour faire évoluer leurs pratiques.

Les agriculteurs participent donc à l'identification de la problématique (diagnostic participatif), la mise en œuvre de solution, son suivi et son évaluation. Le transfert des outils de recherche aux acteurs doit permettre d'accompagner le processus de changement des pratiques des agriculteurs. La recherche participative s'appuie cependant toujours sur des outils de la recherche agronomiques classique (diagnostic, typologie, essai...) tout en s'appuyant sur d'autres qui permettent de soutenir les échanges entre les différents intervenants (visite inter-paysanne, atelier de formations, restitution...). Afin de faciliter le dialogue entre praticiens, chercheurs et techniciens, les noms communs utilisés par les agriculteurs sont souvent reconnus et les variables des producteurs valorisées.

Les savoirs locaux deviennent un sujet important pour la recherche agronomique quand la participation des producteurs devient une nécessité pour la recherche développement et la vulgarisation. Cependant, les sciences agronomiques connaissent des difficultés pour la prise en compte de la dimension socioculturelle qui permet la participation des producteurs (Salas,

1989). L'étude des pratiques agricoles s'oriente vers l'analyse des déterminants des pratiques pour accompagner les travaux sur le changement des pratiques. La recherche s'oriente vers le développement de modèles conceptuels de décision des agriculteurs pour définir la cohérence de la succession de décisions techniques. Avec l'avènement de la recherche action participative, un deuxième mouvement se met en place pour le renforcement du dialogue entre acteurs, la valorisation des savoirs des producteurs et la recherche de cohérence entre pratiques mises en œuvre, règles de gestion et savoirs. Cette approche s'inscrit dans les mouvements mondiaux sur l'autodétermination des peuples et la valorisation des savoirs autochtones qui ont suivi la déclaration de Rio (ICSU, 2002). L'approche vise une prise en compte des savoirs des producteurs dans le processus de participation des producteurs (producteurs acteurs de l'innovation technique, savoir locaux source de langage commun...). C'est dans cette seconde approche que s'insère ce travail sur les déterminants des pratiques de gestion de la fertilité des sols.

ELEMENTS DE CONCLUSION

Le Mali-Sud apparaît comme une région cristallisant de forts enjeux pour le développement agricole. Les systèmes agricoles et d'élevage existant sont en pleine mutation et doivent faire face à un contexte contraignant.

Les systèmes agricoles ont évolué au cours de l'histoire avec le développement de la production cotonnière, l'organisation des producteurs, la structuration de la filière coton et l'encadrement agricole.

La productivité des terres agricoles a suivi cette évolution avec des changements de pratiques agricoles (traction animale et labour systématique, utilisation des engrais, puis des pesticides, production de fumure organique). Elle a, par la suite, présentée un ralentissement et une période de fluctuation entraînant une inquiétante incertitude pour les acteurs des filières agricoles sur la durabilité des systèmes de production.

La forte emprise agricole, la mise en culture continue des terres et la culture des terres marginales réduit la zone sylvo-pastorale, considérée comme le pilier de la régénéscence de la fertilité des terres cultivées (mise en jachère, maintien de l'élevage, approvisionnement en bois...). Le temps de présence des animaux sur les territoires villageois est alors limité et le développement des systèmes d'élevage hypothéqué.

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols et de conduite des animaux doivent s'adapter aux nouvelles contraintes pour ne pas hypothéquer le devenir des systèmes de production.

De plus, il apparaît que les producteurs doivent être impliqués dans le développement de nouvelles pratiques afin d'enrichir les propositions techniques et d'améliorer leur efficacité. Un langage commun entre les scientifiques et les paysans doit donc être développé.

La fertilité des sols est un concept multiple qui a fait l'objet de différentes approches au cours du temps : une approche conventionnelle (gestion minérale de la fertilité), une approche agro-pastorale (association agriculture – élevage), une approche agro-sylvo-pastorale (arbre au cœur du système) et actuellement une approche agro-écologique (agriculture de conservation).

Le concept de savoir technique local peut être défini « comme le fonds commun de connaissances d'une population ». Le savoir local est un « ensemble intégré de connaissances » (Grenier, 1998) au sein duquel on peut distinguer les savoirs relatifs aux pratiques agricoles, que l'on appellera savoir techniques locaux.

Partie III : Matériel et méthode

Après la présentation du contexte général et des concepts mobilisés, nous décrivons, dans la deuxième partie, les objets d'étude et les méthodes utilisées pour l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols. Cette partie comporte quatre chapitres.

Le premier chapitre présente le choix des sites d'étude et les paysans avec lesquels nous avons travaillé. Les échantillons de parcelles, de cultures et de sols sont également décrits.

Le second chapitre expose la méthode innovante développée dans ce travail pour caractériser les savoirs techniques locaux et identifier les indicateurs de fertilité reconnus par les paysans.

Le troisième chapitre présente les méthodes mises en place pour le suivi des pratiques de gestion de la fertilité des sols, auprès des paysans, et dans les parcelles, ainsi que les éléments d'analyse de la diversité de ces pratiques.

Enfin le quatrième et dernier chapitre de cette seconde partie est consacré à l'évaluation de l'efficacité des pratiques de gestion de la fertilité des sols sur la valorisation des biomasses, le recyclage du carbone et de l'azote et l'effet de l'application de la fumure organique au champ.

Il nous a paru pertinent que certaines descriptions méthodologiques accompagnent certains résultats afin de faciliter la lecture et la compréhension du manuscrit. Elles ont donc été, quelques fois, rappelées dans la partie résultats.

Chapitre 3.1. Cadre général

La méthode d'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols prenant en compte les savoirs techniques locaux est développée, sur deux sites d'étude, à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation agricole, auprès d'un échantillon stratifié de paysans.

Les villages d'étude

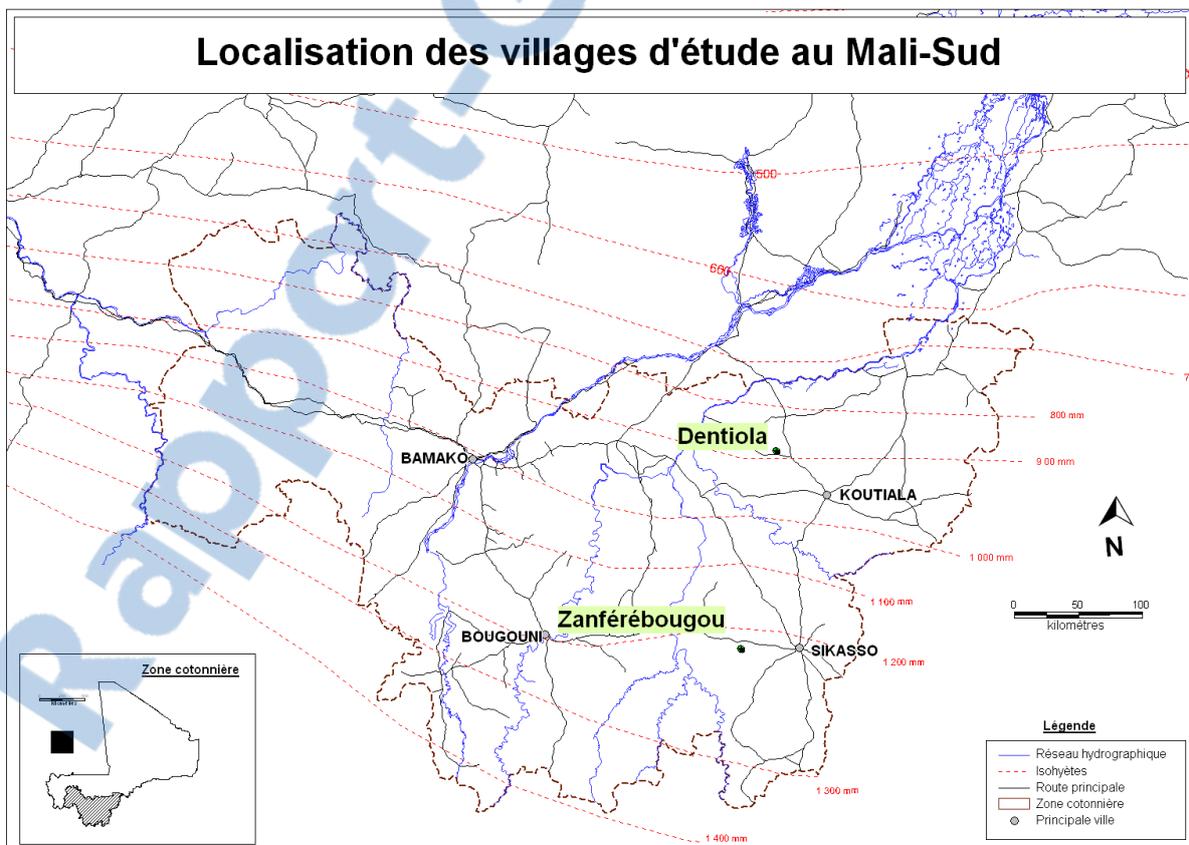
Cette étude s'est déroulée dans deux villages de la zone cotonnière du Mali-Sud (Carte 6).

Le village Dentiola se situe à 12 km à l'ouest de la route nationale 6 reliant Koutiala à Ségou, dans la région administrative de Sikasso, dans le Cercle de Koutiala et la commune de M'Pessoba ($12,68\ 349^{\circ}$ N, $-5,82\ 263^{\circ}$ W).

Le village de Zanférébougou se trouve à 10 km de la route nationale 7 reliant Bamako à Sikasso, dans la région administrative de Sikasso, Cercle de Sikasso ($11,2833^{\circ}$ N, $-6,0667^{\circ}$ W). Il s'agit du chef lieu de la commune.

Choix de sites d'étude

Le choix des sites d'étude repose sur leur représentativité de la zone cotonnière, le niveau contrasté de saturation du milieu, la disponibilité de données préexistantes (Pase 1, Pcp Gesed) l'accessibilité à toutes les saisons et l'accueil dans les villages.



Carte 6. Localisation des deux sites d'étude dans la zone Mali-Sud

Description des deux sites d'études

Le **village de Dentiola** s'incère dans le « vieux bassin cotonnier » du Mali-Sud caractérisé par une forte pression anthropique sur le milieu naturel. La densité humaine y est forte avec 84 hab./km² et l'emprise agricole importante puisque près de 70 % du territoire est mis en culture. Les systèmes agricoles sont dominés par la culture de céréales sèches, adaptées à la faible pluviométrie (900 mm/an) mais la production cotonnière reste importante avec 26 % des assolements en coton²³. L'élevage est limité sur le village où la surface du territoire villageois dédiée à l'agriculture laisse peu d'espace pour le pâturage. Les animaux sont donc conduits sur le territoire du village qu'après les récoltes des céréales (mois de novembre) et jusqu'à la saison sèche chaude (mois d'avril), avec beaucoup de départs en transhumance. L'élevage de petits ruminants est relativement important et maintenu sur le village toute l'année.

Le **village de Zanférébougou** est caractéristique de la zone de transition de la culture cotonnière (Dufumier, 2005). Le village est le chef lieu de la commune rurale. Une partie de la population a développé des activités extra-agricoles. Le territoire mis en culture est parsemé de grandes collines et d'un bas-fond au sud-est. Une partie des terres mises en valeur par les paysans du village se situe sur les territoires voisins. En effet, les terres gérées par le chef de terre représentent une surface réduite (4 300 ha) et les collines occupent un grand espace. La densité de population apparente est forte avec 70 hab./km². Mais le territoire du village semble peu mis en valeur (28 % du territoire mis en culture) car les champs or territoire villageois ne sont pas pris en compte dans cette estimation. Le cheptel, important, peut être maintenu toute l'année sur le village grâce aux pâturages des collines et au bas-fond.

Tableau 5. Caractéristiques des deux villages d'étude (Sangare et al., 2006 a et b)

Variables	<i>Dentiola</i>	<i>Zanférébougou</i>
Milieu physique		
Pluviométrie	900 mm /an	1 100 mm / an
Superficie du village	3 200 ha	4 300 ha
Type de savane	Savanes herbeuses, arbustives et arborées à Combrétacées	Savanes arbustives à arborées et forêts claires
Population		
Ethnie autochtone (migrants)	Bambara (Sarakolés, Peuls, Miniankas)	Sénoufo
Population du village	2 700 habitants	3 000 habitants en 2006
Densité de population	84 hab. / km ²	69 hab. / km ²
Agriculture		
Superficie de la zone de culture	2 200 ha	1 200 ha
Emprise agricole	70 %	28 % (apparente)
Assolement (% de la surf. cultivée)	Coton (26 %), Mil (25 %), Sorgho (16 %), Maïs (14 %) et arachide (6 %)	Maïs (37 %) Coton (33 %) Sorgho et Mil (4 %)
Elevage		
Cheptel villageois	1 430 têtes	1 924 têtes
Densité de bétail	45 UBT/km ²	45 UBT/km ²
	0,65 UBT/ha cultivé	1,6 UBT/ha cultivé
Système d'élevage	Transhumance des grands troupeaux (saison sèches et saison des pluies)	Transhumance rare (saison sèche chaude)

²³ Les chiffres sur les pratiques agricoles et d'élevage sont issues du suivie des campagnes 2005-06 et 2006-07.

Les paysans et les exploitations étudiées

L'échantillon de paysans a évolué pour s'adapter aux différentes méthodes utilisées.

Le travail a commencé par la caractérisation des savoirs techniques locaux relatifs à la fertilité des sols et l'étude de la perception paysanne de la fertilité des sols auprès d'un échantillon raisonné de paysans. L'échantillon devait représenter les différents types d'exploitations présentes dans les deux villages (15 UP/village)²⁴. La typologie des pratiques d'intégration agriculture-élevage a été retenue pour raisonner cet échantillon (Blanchard, 2005).

Le travail s'est poursuivi avec l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols, en s'appuyant sur le même échantillon de producteur (15 UP/village). Les paysans devaient accepter le suivi de leurs pratiques de gestion de la fertilité des sols, du devenir des biomasses sur l'ensemble de l'exploitation et de la production et l'utilisation de la fumure organique.

L'évolution de ces pratiques au cours de l'histoire des exploitations a été appréhendée auprès d'un échantillon plus réduit d'exploitations (5 UP/village). Ces exploitations devaient représenter la diversité des pratiques d'intégration agriculture-élevage et le contact entre les paysans et les chercheurs devait être cordial afin de favoriser une discussion approfondie autour de l'évolution des pratiques au cours du temps.

Les mesures de l'effet des pratiques sur les performances au champ ont été réalisées sur un échantillon réduit de 5 et 6 UP/village choisis dans l'échantillon de départ (15 UP/village). Ce nouvel échantillon devait permettre des mesures sur l'ensemble des parcelles des exploitations, représenter la diversité des pratiques de gestion de la fertilité et permettre un suivi de parcelles réparties sur l'ensemble des deux territoires villageois.

La composition de l'échantillon d'exploitations n'a pas changé dans le village de Dentiola alors que l'échantillon utilisé pour mesurer l'effet des pratiques dans les champs surreprésente les agro-éleveurs à Zanférébougou.

Le Tableau 6 présente la composition des différents niveaux d'échantillonnage.

Tableau 6. Composition des échantillons stratifiés de paysans

Composition	Population du village	Caractérisation des savoirs technique locaux		Suivi des pratiques Gestion des biomasses Production et utilisation de fumure organique		Mesure de l'effet des pratiques au champ	
		Nb	%	Nb	%	Nb	%
Village de Zanférébougou							
Agriculteurs	58 %	7	47 %	7	47 %	1	17 %
Agro-éleveurs	39 %	8	53 %	8	53 %	5	83 %
Éleveurs	2 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %
Village de Dentiola							
Agriculteurs	78 %	6	40 %	6	40 %	2	40 %
Agro-éleveurs	21 %	9	60 %	9	60 %	3	60 %
Éleveurs	1 %	0	0 %	0	0 %	0	0 %

²⁴ UP : Unité de production

Les cultures suivies

Le suivi des pratiques de gestion de la fertilité des sols et les mesures de performances ont été mis en place sur les principales cultures au cours de la campagne agricole 2007-08.

Les systèmes de culture, dans les deux villages, sont basés sur la culture de coton et des céréales (maïs, sorgho et mil). Les cultures retenues pour le suivi des pratiques de gestion de la fertilité des sols reflètent l'assolement des paysans. Les parcelles principales cultivées par l'échantillon de paysans ont constitué l'échantillon des parcelles suivies.

Dans le village de Dentiola, les céréales sèches (sorgho et mil) occupent une place importante (respectivement 16 et 25 % de l'assolement moyen) par rapport au maïs (14 %). Elles ont donc fait partie de l'échantillon de parcelles.

Dans le village de Zanférébougou, la sole de céréale reste dominée par la culture du maïs (37 % contre 8 % pour sorgho et le mil). L'échantillon de parcelle s'est construit autour des parcelles de maïs et de coton.

L'itinéraire technique de toutes les parcelles, cultivées de façon collective²⁵ par les paysans, a été suivi (25 et 35 parcelles). Les parcelles de coton, maïs, sorgho et mil ont fait l'objet d'un suivi du développement des plantes (taille des plants et densité), de l'enherbement des parcelles et de mesures de production en grains et en paille.

Chaque parcelle a été localisée au GPS et placée sur un fond de carte du village (carte topographique digitalisée sous MapInfo et enrichie de relevés complémentaires). La surface des parcelles ont été mesurées au mètre ruban. Chaque parcelle a été caractérisée à travers le type de sol, l'appartenance à un sous terroir et son antécédent cultural.

La composition de l'échantillon de parcelles suivies est présentée dans le Tableau 7.

Tableau 7. Composition des parcelles suivies deux villages d'étude

Cultures	Dentiola		Zanférébougou	
	Nb de parcelle	Surface (ha)	Nb de parcelle	Surface (ha)
Coton	7	22	13	37
Maïs	6	8,5	12	31
Sorgho	6	16	3	4
Mil	5	17,4	1	1
Autres : arachide, piment, riz	1	0,25	6	1,7
Total	25	64,2	35	74,7

Afin de caractériser les types de sols des parcelles suivies dans les deux villages, des analyses de sols ont été effectuées.

Des échantillons de l'horizon travaillé ont été prélevés à la tarière (0 à 20 cm). Du fait de l'hétérogénéité importante du sol des parcelles, 8 prélèvements ont été effectués le long de la principale diagonale de chaque parcelle, pour former un échantillon composite qui a servi aux analyses.

²⁵ La culture collective concerne les parcelles qui sont cultivées par la main-d'œuvre de l'exploitation et dont les produits seront la propriété du groupe (grenier collectif, vente et partage des revenus...)

Les échantillons de sol ont permis de réaliser des **analyses granulométriques**. Une fois les éléments grossiers extraits des échantillons (2 à 20 mm), les particules restantes de la terre fine ont été fractionnées, par différence de densité de solution, selon les 5 fractions reconnues par la classification de Atterberg en 1926 (cité par Mustin, 1987). Selon leur taille, les particules sont classées comme des sables grossiers (0,2 à 2 mm), des sables fins (0,05 à 0,2 mm), des limons grossiers (0,02 à 0,05 mm), des limons fins (0,002 à 0,02 mm) ou des argiles et colloïdes minéraux (inférieure à 0,002 mm).

La teneur en **carbone total** (%C) a été déterminée après oxydation du carbone de la matière organique par une solution de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en milieu sulfurique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr ($Fe(SO_4)_2(NH_4)_2$) en présence de diphénylamine, un indicateur coloré (méthode de Walkey-Black). Le **taux de matière organique** a été déterminé à partir de la formule suivante :

$$\%MO = \%C \times 1,724.$$

La teneur en **azote total** a été mesurée après oxydation de l'azote de la matière organique, sur un échantillon de sol broyé, par une solution de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à température élevée en présence de sélénium, un catalyseur. L'ammoniac formé est dosé par une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) (méthode dite de Kjeldahl).

La teneur en **phosphore total** a été mesurée, selon le même principe, sur un échantillon de sol broyé à 0,2 mm et oxydé par du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). La solution est enrichie par de l'acide salicylique ($C_6H_4OHCOOH$), du sélénium (catalyseur) et, pour une dégradation à haute température de l'acide sulfurique (H_2SO_4). La minéralisation en milieu acide se poursuit par une spectrophotométrie.

Les analyses des teneurs en azote total et en phosphore total s'appuient sur les méthodes décrites par Rhoades (1982).

Les analyses de sol ont été effectuées par le laboratoire d'analyse de l'INERA de la station de Farako-Bâ au Burkina Faso.

Tableau 8. Répartition des parcelles suivies suivant les types de sols des deux villages

Types de sol paysan en bambara	Type de sol en français	Village de Dentiola		Village de Zanférébougou	
		Nb de parcelle	Surface (ha)	Nb de parcelle	Surface (ha)
Bogoble	Terre rouge	1	2,4	7	21,3
Cencen	Sable	12	27		
Dugukolofin	Sol noir	9	31	3	7,4
Bélé	Gravillonnaire			10	24,7
Bogodjema	Terre blanche			5	14,4
Autres		1	3,8		
Total		22	64,2	25	67,8

Chapitre 3.2. Caractérisation des savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols

Descartes (1637) commence son Discours de la méthode par la célèbre phrase « *le bon sens est la chose la mieux partagée* ». Il est de l'ordre du bon sens que les agronomes de terrain tiennent compte des savoirs des paysans.

Les agronomes prennent connaissance de l'avis des paysans sur les phénomènes qu'ils étudient, sur les résultats qu'ils obtiennent ou sur les propositions techniques qu'ils élaborent, pas toujours de manière systématique, sans méthode formelle, et en fonction du contexte de travail et des conditions d'échange entre chercheurs et paysans.

La prise en compte, formelle, des savoirs techniques locaux des paysans par les agronomes, demande de les reconnaître et de développer une méthode permettant d'en avoir une représentation, accessible à des scientifiques, comme les agronomes et les zootechniciens. Cette représentation sera par définition une idée incomplète et provisoire de la réalité sur les savoirs techniques locaux, mais elle permettra d'en discuter entre différents acteurs (paysan, chercheur, technicien) et de communiquer sur ce nouvel objet.

Les savoirs techniques locaux, dans ce travail, ne sont pas un objet d'étude à part entière, mais un objet intermédiaire pour l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols. La grande difficulté pour les scientifiques, comme les agronomes et les zootechniciens, est de traduire les perceptions cognitives des paysans en des représentations mathématiques, plus ou moins abstraites, permettant d'en découvrir les tendances générales.

Les savoirs techniques locaux

« Les perceptions paysannes permettent de voir les possibilités du milieu et les contraintes exogènes à la différence des scientifiques qui isolent le milieu et amplifient ses contraintes » (Blanc-Pamard et Milleville, 1985).

Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux

Les pratiques des agriculteurs sont généralement analysées à travers les déterminants, les modalités techniques et les performances (Landais et Deffontaines, 1988). La caractérisation des savoirs techniques locaux se situe au niveau des déterminants des pratiques. Ils permettent aux paysans de juger des possibilités du milieu et d'élaborer leurs propres règles de décision pour mettre en œuvre leurs pratiques.

Les savoirs locaux sont des éléments structurés. Afin d'ordonner leurs connaissances sur les objets du réel, les hommes créent des classifications d'objets. Ils créent des entités (classe d'objet) et utilisent des variables pour les caractériser. Elles peuvent concerner la structure des objets (variable de description), définir leur fonction pour l'homme ou l'écosystème (variable de fonction) ou identifier des risques encourus par rapport aux objets (variable de risque). Les agriculteurs définissent des règles de gestion applicables à chacune des entités, afin de décrire les pratiques à mettre en œuvre dans chaque situation.

L'analyse proposée se base sur une grille de caractérisation unique des savoirs techniques locaux, des pratiques et de leurs effets qui est présentée dans l'Encadré 1.

Encadré 1. Méthode de caractérisation des savoirs techniques locaux

La méthode de caractérisation des savoirs techniques locaux se déroule en trois étapes successives :

- La 1^{re} phase comporte des enquêtes exploratoires auprès de quelques agriculteurs. Des discussions, individuelles et collectives, permettent d'appréhender le fonds commun de connaissances. Une analyse du discours et la reconnaissance des distinctions et des associations des objets du réel, permet de définir les différentes entités du réel (nom commun) et les variables qui les caractérisent (variables de description, de fonction et de risque).
- La 2^e phase concerne l'échantillon des paysans soumis à une enquête individuelle. Une grille d'enquête est construite à partir des entités et des variables pré-identifiées. Les paysans expliquent les variables qu'ils utilisent pour décrire chacune des entités. Cette étape permet de construire les grilles de caractérisation des savoirs techniques locaux de chaque paysan (variante individuelle du savoir).
- Au cours de la 3^e phase, la grille synthétique de caractérisation des savoirs techniques locaux est restituée en assemblée villageoise. Les paysans corrigent les éventuelles erreurs et complètent les données manquantes. La recherche d'un consensus autour du savoir partagé sert à valider ces grilles de caractérisation (fonds commun de connaissances) (Figure 19).

	Entité 1	Entité 2	...	Entité N
<i>Variables de description</i>	V S 1-1 ... V S n-1	V S 1-2 ... V S n-2	...	V S 1-N ... V S n-N
<i>Variable de fonction</i>	V F 1-1 ... V F n-1	V F 1-2 ... V F n-2	...	V F 1-N ... V F n-N
<i>Variable de risque</i>	V R 1-1 ... V R n-1	V R 1-2 ... V R n-2	...	V R 1-N ... V R n-N
<i>Règles de gestion</i>	R 1-1 ... R n-1	R 1-2 ... R n-2	...	R 1-N ... R n-N

Figure 19. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux (Vall, 2006)

L'étude, menée à l'échelle de deux communautés, met en valeur le fonds commun de connaissances et sa cohérence avec les pratiques dites classiques. En parallèle, à l'échelle individuelle, elle permet d'analyser le rôle de la variante individuel du savoir dans la mise en place des pratiques.

La gestion de la fertilité des sols s'appuie sur un ensemble de savoirs, plus ou moins actionnables. Pour décider du mode de gestion de la fertilité des sols, le paysan s'appuie sur des savoirs concernant les fumures organiques et minérales, les terres cultivables et les modes de conduites des parcelles et le rôle des arbres. Ces thèmes seront analysés par la méthode proposée.

Chaque année, le paysan²⁶ observe ses parcelles (indicateurs, déroulement de la campagne, contraintes et résultats) et décide des pratiques de gestion de la fertilité qu'il mettra en place lors de la campagne suivante. Il ne gère pas des parcelles individuelles mais un ensemble de parcelles selon ses propres critères de différenciation et ses propres intérêts.

Appréhension des indicateurs paysans de fertilité des sols

Au cours de l'hivernage, les paysans jugent de l'état de fertilité de leurs parcelles en observant des indicateurs d'état directement sur le sol, ou indirectement sur les cultures, les adventices ou la faune du sol.

Ces indicateurs d'état de la fertilité des sols ont été identifiés lors de visites des parcelles avec les paysans. Puis ils ont été suivis au cours de visites des parcelles, avec les paysans, à la levée, au cours du cycle et à la récolte (Figure 20).

Un exemple de fiche de suivi des indicateurs paysans, remplie lors d'une visite de parcelle, est présenté en Annexe 2.

L'évolution de ces indicateurs paysans de l'état de fertilité des sols peut être comparée aux mesures réalisées sur les placettes de mesures au cours de la campagne (enherbement, taux de levée, hauteur des plants et rendement).

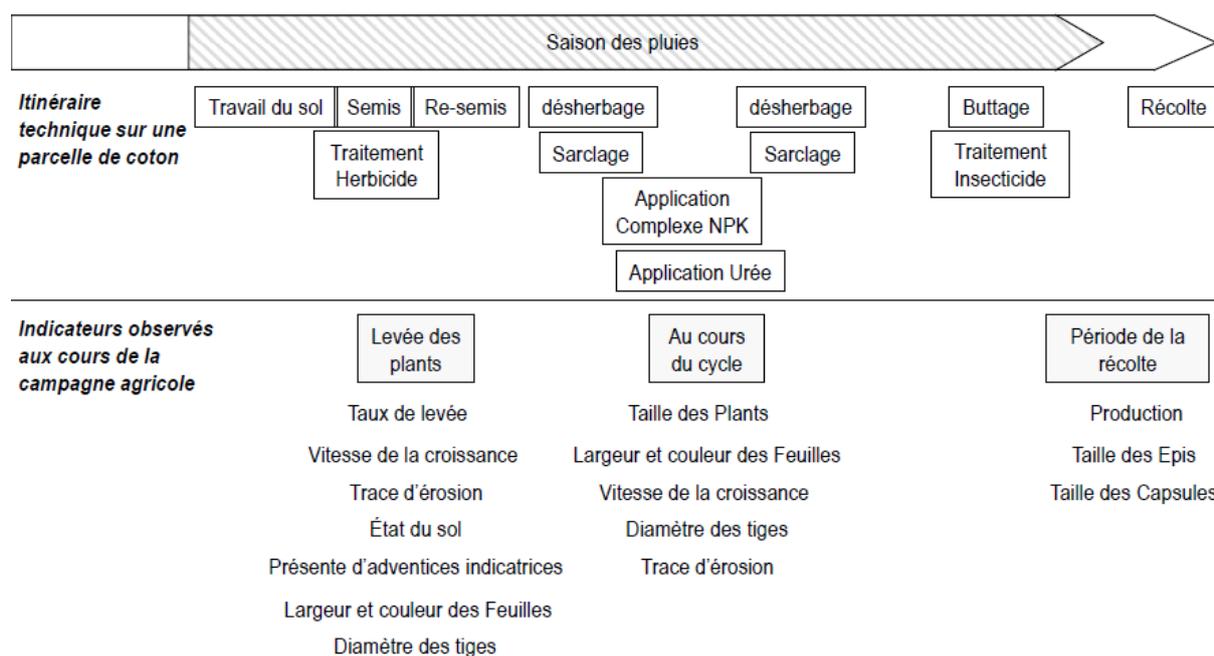


Figure 20. Indicateurs d'état de la fertilité des sols observés au cours de la campagne

²⁶ Dans certaines exploitations, il y a dissociation entre celui qui fait le travail au champ et celui qui décide de la conduite des champs (« chefs des champs »)

Chapitre 3.3. Analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols

Analyse descriptive des pratiques de gestion de la fertilité des sols

Suivi des pratiques de gestion des biomasses

Le suivi des pratiques de gestion des biomasses sur les exploitations a commencé par une enquête individuelle auprès des paysans sélectionnés (15 UP/ village) sur leurs stratégies de gestion des biomasses, de gestion de l'assolement, de diversification des activités et d'économie au sein de l'exploitation. Ces enquêtes ont permis de connaître le fonctionnement de chacune des exploitations. Le guide ayant servi de support à ces enquêtes est présenté en Annexe 3.

Avant le lancement de la campagne agricole, des enquêtes déclaratives sur le devenir des résidus de culture de toutes les parcelles des exploitations ont été menées. Des mesures de biomasses ont été réalisées, sur l'échantillon de parcelles, dans le cadre du projet Pase 1 et le Pcp Gesed au mois de janvier et d'avril 2007.

Les apports de fumure organique appliqués sur chaque parcelle de l'échantillon ont fait l'objet de mesure par le comptage du nombre de tas de fumure déposé pour chaque type. Des pesées de tas de fumure organique déposés au champ avaient été effectuées dans le cadre du projet Pase 1 et le Pcp Gesed (245 tas de fumure pesée) ce qui nous a permis de définir le poids moyen d'un tas de fumure organique pour chaque type de fumure. L'utilisation de ces références et des données du comptage, nous ont permis d'estimer la quantité de fumure organique appliquée effectivement au champ (en matière brute). Nous avons utilisé, pour convertir ces quantités en matière sèche, un taux d'humidité moyen de la fumure organique au moment du transport de 25 % (Berger, 1996). Le détail de l'estimation du poids de chaque tas de fumure organique est présenté dans l'Annexe 4. Cette estimation a été confirmée par la conversion du nombre de charrette de fumure que le paysan déclare avoir transporté sur le champ.

Les surfaces fumées ont été délimitées, localisées à l'aide d'un GPS et leur surface mesurée au mètre ruban. Les raisons des apports de fumure organique sur ces zones ont été reconnues par enquête. Un exemple de fiche d'enquête est présenté en Annexe 5.

Etude des pratiques de gestion de la fertilité des sols

Durant la campagne agricole 2007-08, les itinéraires techniques appliqués à toutes les parcelles de l'échantillon ont fait l'objet d'un suivi au cours de trois à quatre passages (Annexe 6).

L'historique et les modalités de conduite des parcelles lors de la campagne précédente avaient été relevés préalablement.

Evolution des pratiques de gestion de la fertilité des sols

L'évolution des pratiques de gestion de la fertilité des sols a été appréhendée, auprès d'un échantillon réduit de paysans (5 UP/village), par enquête.

Dans une première partie de l'enquête, les paysans étaient invités à expliquer leur niveau de participation lors des différentes actions de vulgarisation auxquelles ils avaient participé (formation, conseil de gestion, suivi d'exploitations, démonstration...).

Dans une seconde partie des enquêtes, les paysans devaient, pour chaque type de fumure organique reconnue par les savoirs technique locaux, expliquer l'état actuel la pratique en décrivant les modalités techniques mises en place avant de mentionner les changements techniques qui sont intervenus dans le passé. Pour chaque changement technique, le contexte justifiant ces changements et les éventuelles sources d'informations sur les nouvelles modalités ont constitué le fil conducteur de l'enquête.

Les limites des enquêtes étaient celle de l'exploitation. Les discussions ont donc souvent fait appel à des oncles, père et grand père afin de décrire les pratiques mises en place aux générations précédentes.

La méthode est entièrement déclarative, sans moyen de recouper les informations. Les chefs d'exploitations ne font sans doute pas mention de formations auxquelles ils auraient participé, mais qui ne les ont pas marqués.

De plus, l'échantillon réduit de paysans ne permet pas de généraliser les évolutions de pratiques observées à toutes les exploitations du Mali-Sud, mais permet d'observer le cas de quelques exploitations et de définir quelques tendances.

Diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols

La diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols a été appréhendée par des analyses statistiques sur les données recueillies lors du suivi des pratiques.

Les méthodes d'analyse descriptive comme l'analyse en composante principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) ont été menée sur un jeu de variables représentant les pratiques de gestion de la fertilité. Ces analyses ont été complétées par des analyses de variances (Anova) (Vilain, 1999).

Diversité de variables décrivant la gestion de la fertilité des sols

Une série de variables a été sélectionnée afin de représenter les spécificités de la production et de l'utilisation de fumure organique dans les exploitations. Les variables peuvent être décrites en quatre principaux groupes : la production de fumure organique, le stockage de fourrage, l'application de fumure organique au champ et la structure des exploitations. Une synthèse de l'ensemble des variables utilisées est présentée en Annexe 7.

La **production de fumure organique** est décrite par une série de douze variables. Le nombre de lieux de production de fumure organique décrit la diversité des modes de production mis en place dans les exploitations et le nombre de lieux situés à plus de deux kilomètres, en zone de brousse décrit leur répartition spatiale. La quantité totale de fumure organique produite, dont celle des lieux de production en brousse, décrit le niveau de production de fumure

organique et sa répartition spatiale. Enfin, les quantités de fumure organique produites pour chaque point de production (parc à petit ruminant, fosse fumièrre, tas d'ordures ménagères, fosse à compost, latrines, parc simple ou amélioré ou hangar des bœufs de trait) décrivent les pratiques de production mises en place par les paysans.

La quantité de fumure organique produite par type de fumure organique est obtenue à partir de l'Équation 1.

Équation 1. Quantité de fumure organique produite

$$\begin{aligned} & \text{Quantité de fumure organique (kg de MS)} \\ & = \text{Nombre de tas de fumure organique} \times \text{Poids moyen d'un tas (kg)} \\ & \times \text{Matière sèche (\%)} \end{aligned}$$

Le **stockage de fourrage** est décrit par trois variables : le volume de fourrage stocké, le pourcentage du stockage en paille de céréales (sorgho, maïs et riz) et la proportion en fanes de légumineuse (niébé, arachide).

L'**application de fumure organique au champ** est décrite à travers cinq variables. La surface totale fumée et la dose moyenne de fumure organique appliquée reflètent les pratiques d'utilisation de la fumure produite et les écarts par rapport aux recommandations de la recherche (de 5 t/ha tous les deux ans). La répartition des apports de fumure entre les cultures de coton et de maïs est exprimée en pourcentage. Enfin, la répartition spatiale de la fumure organique produite dans les différents points de production est représentée par un coefficient élaboré à partir de la quantité de fumure organique transportée et de la distance entre le champ fumé et le lieu de production de la fumure (Équation 2).

Équation 2. Distance parcourue par la fumure organique en tonne kilométrique

$$\begin{aligned} & \text{Distance parcourue par la fumure organique (t.km)} \\ & = \Sigma [\text{Distance champ fumé lieu de production de fumure organique (km)} \\ & \times \text{Quantité de fumure organique (t)}] \end{aligned}$$

La **structure des exploitations** a souvent été utilisée pour l'élaboration de typologies d'exploitations. Les neuf variables décrivant les structures révèlent souvent des freins à la mise en place de certaines pratiques. Dans le cas de la production et de l'utilisation de la fumure organique, nous nous sommes attachés à décrire la structure à partir du nombre d'actifs, de charrettes de transport, de bœufs de trait et de bœufs d'élevage - rapporté à leur temps de présence sur l'exploitation-, le nombre de petits ruminants, la surface totale cultivée, la surface en coton, en maïs et en céréales sèches (sorgho et mil).

Typologie des pratiques de gestion de la fertilité des sols

L'analyse en composante principale (ACP), méthode de statistique multivariée, permet de décrire graphiquement la variabilité d'une série de variables quantitatives observées chez des

individus en analysant les corrélations entre ces variables et en réduisant le nombre de variables nécessaires pour représenter l'inertie maximale.

L'ACP, conduite sous Xlstat selon la méthode de Pearson, a été appliquée à vingt variables actives décrivant les pratiques de production et d'utilisation de fumure organique (décrites ci-dessus) renseignées chez vingt-huit individus. Les variables représentant la structure des exploitations ont été ajoutées comme variables supplémentaires à l'analyse.

La **classification ascendante hiérarchique** (CAH) est une méthode de classification automatique qui permet de répartir les individus dans des groupes cohérents en s'appuyant sur des mesures de dissimilarité entre les individus (distance euclidienne) et par agrégation des individus à l'individu le plus proche selon la méthode de Ward.

La CAH a été menée sous Xlstat, sur l'ensemble des 28 individus et sur les 20 variables décrivant la production et l'utilisation de la fumure organique.

Une **analyse de variance** (Anova sous Xlstat) sur les 28 individus et 29 variables décrivant les pratiques de production et d'utilisation de fumure organique, mais aussi les variables de structure des exploitations, a permis d'étudier le comportement de chaque variable pour chaque groupe d'individu obtenu par la CAH et de reconnaître les variables pour lesquelles ces groupes sont significativement différents.

Chapitre 3.4. Evaluation de l'efficacité des pratiques de gestion de la fertilité des sols

Efficiéce des pratiques sur la valorisation des biomasses végétales et des effluents de ruminants

La gestion des biomasses, sur chaque exploitation suivie, a été évaluée quantitativement à partir des données des enquêtes sur le devenir des biomasses et des pesées des biomasses effectuées à la récolte, en janvier puis en avril 2007 (Dembélé, 2008).

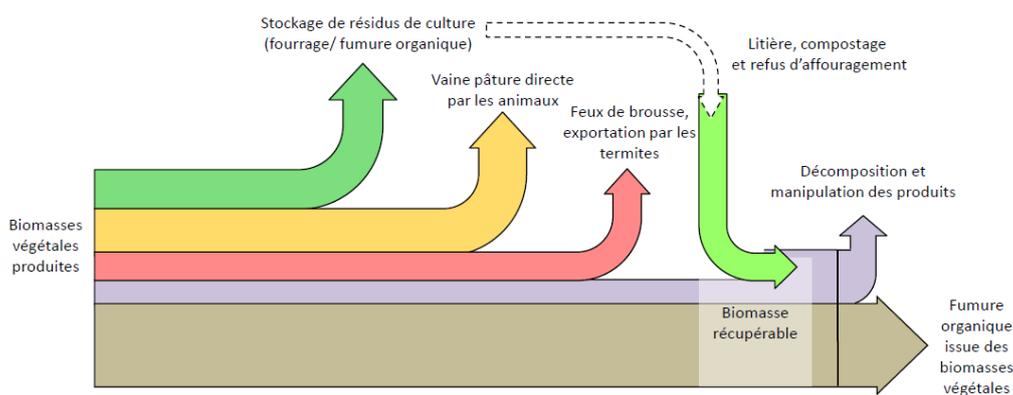
Efficiéce des pratiques sur la valorisation des biomasses végétales

Avant l'ouverture de la vaine pâture, les paysans stockent une partie des pailles de céréales et des fanes de légumineuse pour l'affouragement de leurs animaux (pailles de maïs, de sorgho, de mil et fanes d'arachide, de niébé).

Dès la fin des récoltes (décembre), les bergers conduisent les animaux sur les parcelles pour pâturer les résidus de coton (feuilles et capsules vertes), les pailles de maïs, les résidus de sorgho et de mil (feuilles ou tiges fines). En pâturant, les animaux cassent les tiges et piétinent une partie des résidus qui, déposés au sol, ne pourront pas être ramassés (tronçons de 10-15 cm observables au mois de février). Ces reliquats de résidus seront transformés sur place par la micro et macro faune du sol ou seront perdus par le passage de feux de brousse.

Au cours de la vaine pâture, certains paysans ramassent des tiges de coton et des pailles de céréales sèches (sorgho, mil) de grandes dimensions pour la production de fumure organique (directement en fosse ou sous forme de litière sous les animaux).

Les quantités de biomasses produites dans les champs, stockées pour le fourrage ou la production de fumure organique, pâturées par les animaux, ou encore exportées par les termites ou perdues par les feux de brousse ont été estimées sur la base des données disponibles dans chaque exploitation suivie (Figure 21).



Équation pour estimation des biomasses

Quantité de biomasse végétale produite = Surface x Rendement x Coefficient de conversion

Conversion du rendement graine en rendement de biomasse : 0,96 (coton), 0,85 (maïs), 5,48 (sorgho), 5,79 (mil) (Communication Autfray 2008).

Biomasse stockée = nb de charrette x poids d'une charrette

Biomasse consommée en vaine pâture = 190 kg/ha de coton consommé (Dugué, 1999), 25 % des biomasses de sorgho et de mil consommée, biomasse après stockage moins reliquat d'avril (Bandiougou, 2008)

Biomasse exportée (feux, termites, ...) = biomasse pesée en janvier – biomasse consommée en vaine pâture – biomasse restante en avril

Biomasse restante au champ = biomasse pesée en avril

Figure 21. Cycle théorique de la valorisation des biomasses végétales sur une exploitation

Afin de discuter des performances des pratiques de gestion de la fertilité sur le recyclage des biomasses végétales de l'exploitation en fumure organique, nous avons calculé le ratio suivant :

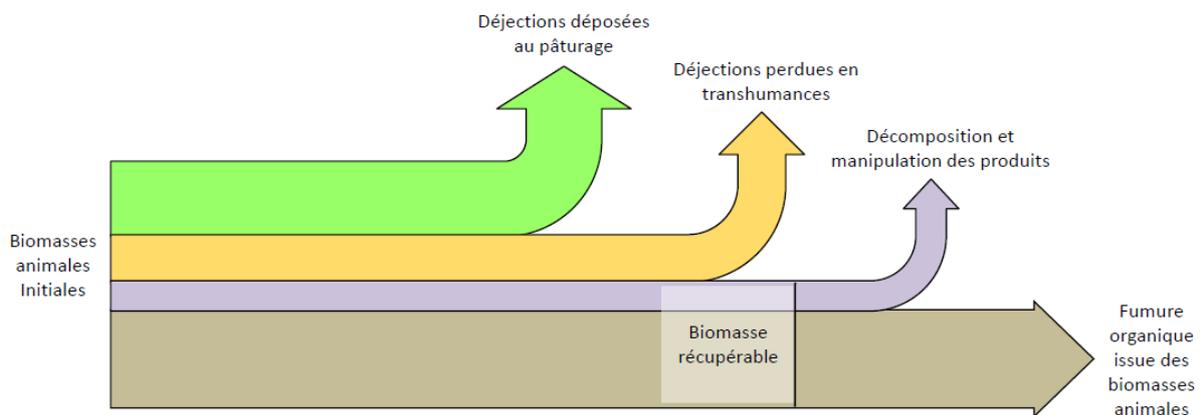
$Ratio Bv = \text{Quantité de fumure organique d'origine végétale produite (kg de MS)} / \text{Quantité de biomasse végétale disponible sur l'exploitation (kg de MS)}$

Efficiences des pratiques sur la valorisation des biomasses des effluents de ruminants

Selon les pratiques de conduite des animaux, les propriétaires d'animaux valorisent plus ou moins efficacement les déjections animales produites au cours de l'année.

Les déjections animales produites par les animaux pendant la journée au pâturage ne sont pas accessibles aux paysans et les départs en transhumances correspondent également à autant de pertes de déjections.

Les quantités de biomasses des effluents de ruminants théoriques des exploitations, celles déposées sur les parcelles au cours du pâturage journalier et la divagation nocturne, celles déposés lors des transhumances du bétail ont été estimées sur la base des données disponibles dans chaque exploitation suivie (Figure 22).



Équation pour l'estimation des biomasses

Quantité de biomasse animales initiales = $(Nb \text{ bœufs} + 0,1 \times Nb \text{ petits ruminants}) \times 1,4 \times 2 \times 365$

Quantité de biomasse déposée au pâturage = $(Nb \text{ bœufs conduits au pâturage} + 0,1 \times Nb \text{ de petits ruminants conduits au pâturage}) \times 1,4 \times 365$

Quantité de biomasse déposée en transhumance = $(Nb \text{ bœufs conduits en transhumance}) \times 1,4 \times 2 \times Nb \text{ jour de transhumance}$

Figure 22. Cycle théorique de la valorisation des biomasses des effluents des ruminants

Afin de discuter des performances des pratiques de gestion de la fertilité sur le recyclage des biomasses des effluents des ruminants sous forme de fumure organique, nous avons calculé le ratio suivant :

$Ratio Ba = \text{Quantité de fumure organique d'origine animale produite (kg de MS)} / \text{Quantité de biomasse des effluents des ruminants disponible sur l'exploitation (kg de MS)}$

Efficiencce des pratiques sur le recyclage du carbone et de l'azote

Pour juger de l'efficiencce des pratiques de gestion de la fertilité des sols mises en place par les paysans nous avons réalisé des bilans sur les teneurs en carbone et en azote des biomasses végétales et animales disponibles (r siduals de culture et déjections animales produits) et des différentes fumures organiques produites sur les exploitations.

Pour estimer les quantités de carbone et d'azote contenues dans les biomasses initiales, nous nous sommes appuyés sur la quantité de biomasse produite sur les exploitations et leurs teneurs obtenues par des analyses.

De même, les quantités de carbone et d'azote contenues dans les fumures organiques produites sur chaque exploitation ont été estimées à partir de la quantité de chaque type de fumure organique produite sur les exploitations (données du suivi) et des analyses de composition organique et minérale.

Effets de l'application de la fumure organique au champ

Sur chacune des parcelles suivies, un réseau de 5 placettes de 3 x 4 m a été mis en place en début de campagne le long de la diagonale principale. Les placettes ont été matérialisées avec des piquets et des rubans afin d'être observables à chaque période du cycle cultural.

Sur chacune de ces placettes, à la levée, au cours du cycle et à la période des récoltes, **l'état d'enherbement** des placettes a été relevé par une démarche de notation du recouvrement. Cette démarche en trois étapes consiste à comparer le recouvrement de la placette par rapport à des pourcentages moyens de recouvrement facilement observable à l' eil nu (50 %, 85 ou 15 %. Puis 92, 70, 30 ou 7 %). La démarche permet de noter l'enherbement des placettes avec une note allant de 1   9.

Le **nombre de poquets levés** a été compté sur 5 lignes et la **taille de plants** a été mesurée au mètre ruban (5 plants) de chacune des placettes.

Avant la récolte, sur chacune des placettes, les **productions en paille et en grain ou coton** ont été pesées. Des sous-échantillons composites, provenant de chacune des placettes de pailles, d'épis ou de capsules sont prélevés, séchés,  grain s dans le cas d'épis pour le calcul des **mat res sèches**.

Un exemple de fiches de mesure des performances est présenté en Annexe 8.

ELEMENTS DE CONCLUSION

Le travail est conduit dans deux villages présentant une situation contrastée :

- Dentiola appartient au « vieux bassin cotonnier » et représente un territoire sous fortes contraintes avec une forte emprise agricole (70 %) et une pluviométrie réduite. Il est caractérisé par une culture de céréales sèches et de coton et un élevage bovin cantonné sur un espace pastoral réduit.*
- Zanférébougou représente la « zone de transition de la culture cotonnière ». Le territoire villageois est parsemé de collines permettant le maintien d'un cheptel bovin important. L'emprise agricole apparente est relativement faible (28 %).*

Le travail s'appuie sur une série d'échantillon de paysans, parcelles, culture et sols. Les sols ont été étudiés par des méthodes classiques de pédologie (caractérisation physique et morphologique en laboratoire).

La grille développée pour caractériser les savoirs techniques locaux relatifs à la gestion de la fertilité des sols a été appliquée à des thèmes aussi variés que les sols, les fumures organiques ou minérales ou les arbres. Elle représente un aspect original de ce travail.

- Par des entretiens ouverts avec les paysans, l'enquêteur définit les entités du savoir technique local (types de sols, de fumures organiques...) et les principales variables qui permettent de les caractériser (variables de description, de fonction et de risque).*
- Cette « grille » est par la suite renseignée par les paysans afin d'appréhender les variantes individuelles du savoir.*
- Les données partagées par les différentes grilles de caractérisation font l'objet d'une restitution collective afin de rechercher un consensus autour du fonds commun de connaissances.*

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols (gestion des biomasses, production et utilisation de la fumure organique) ont fait l'objet d'un suivi par enquêtes et mesures au champ. L'évolution de ces pratiques, au cours de l'histoire de quelques exploitations, a été abordée par enquête. Enfin, l'analyse de la diversité de ces pratiques s'est appuyée sur une série d'analyses statistiques.

Une évaluation de l'efficacité des pratiques de gestion de la fertilité des sols a été réalisée à travers des analyses de la valorisation des biomasses animales et végétales, des bilans carbone et azote et de l'effet de l'application de la fumure organique au champ.

Partie IV : Résultats

La quatrième partie regroupe l'ensemble des observations et résultats analytiques sur la caractérisation des savoirs techniques locaux, l'étude des pratiques de gestion de la fertilité des sols et l'analyse de leur efficacité. Cette partie s'organise en trois sections :

La première section s'attache à présenter les résultats des enquêtes de caractérisation des savoirs techniques locaux mobilisés par les paysans pour la gestion de la fertilité des sols.

La seconde section décrit les analyses des pratiques de gestion de la fertilité des sols mises en place par les paysans de la zone d'étude.

Enfin, la troisième section est consacrée à l'évaluation de l'efficacité de ces pratiques.

Chaque section fera l'objet d'une introduction générale présentant son organisation en chapitres.

**Section 1 : Les savoirs techniques locaux
mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols**

La première section sur les savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols s'organise autour de cinq chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la description de la diversité des sols reconnus par les paysans. Les savoirs techniques locaux sur les sols sont présentés avant que le niveau d'appréciation de ces sols par les paysans ne soit analysé. Les typologies des sols sont ensuite comparées. Enfin, les sols reconnus par les paysans sont rapprochés des sols pédologiques sur la base d'analyses physico-chimiques.

Le second chapitre s'intéresse aux indicateurs de la fertilité utilisés par les paysans pour juger de l'état de leurs sols. La diversité de ces indicateurs est décrite avant une analyse de l'efficacité de certains indicateurs.

Dans le troisième chapitre, la perception des paysans du rôle des principaux arbres des champs pour la fertilité des sols est exposée.

Le quatrième chapitre décrit la diversité de fumure organique reconnue par les paysans. Les savoirs techniques locaux sur les fumures organiques sont présentés (variables de caractérisation et règles de gestion). Le niveau de corrélation des systèmes de classification paysans est discuté et les éléments partagés ou divergents sont spécifiés. Les savoirs techniques locaux sur les fumures sont rapprochés des connaissances des sciences agronomiques.

Dans le cinquième chapitre, les savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux sont décrits à travers les variables et règles de gestion que les paysans utilisent pour les caractériser. L'appréciation des engrais minéraux par les paysans est enfin présentée.

Afin de faciliter de lecture du manuscrit, chaque chapitre fera l'objet d'une introduction succincte, rappelant l'origine des données et sera conclue par un rappel des principaux résultats.

Chapitre 4.4.1. Une diversité de types de sols

Depuis toujours les hommes classent les terres cultivées de manière empirique en leur attribuant un nom vernaculaire. Les agronomes latins fournissent les premiers écrits illustrant la science du sol. Par exemple, la notion « d'huile » du sol explique la richesse des sols. A cette période, les graisses animales sont reconnues comme des éléments nobles utilisés pour les sacrifices, fournir de la lumière... Dans les sols, les caractères onctueux et la couleur foncée indiquent la fertilité des sols, rapportés à la présence de « graisse » dans les sols, selon les précurseurs de la pédologie latine. Marcus Terentius Varron (116-27 av. J.C.), encyclopédiste décrit les différents éléments des sols, ainsi la terre tire son nom des éléments qui la compose. Lucius Junius Moderatus Columelle (I^{er} siècle), auteur d'un traité d'agriculture, « *De re rustica* », fournit une description détaillée de six types de sols en s'attachant à la texture des sols (cité par Boulaine et al., 1989).

Qu'en est-il 2000 ans plus tard des paysans au Mali-Sud ?

Ce premier chapitre des résultats, sur les savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols, présente les résultats des entretiens menés auprès des paysans sur les savoirs techniques locaux sur les sols.

Après une présentation des types de sols pédologiques de la zone d'étude, la caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols des paysans des villages de Dentiola et de Zanférebougou sera suivie par une évaluation de l'appréciation de ces savoirs chez les paysans. Le chapitre se clôt par une discussion préliminaire avec une analyse des similitudes et divergences entre les deux typologies des sols.

Un des objectifs de ce premier chapitre est de déterminer les types de sol reconnus par les paysans et les variables qu'ils utilisent pour les caractériser et définir les règles de gestion particulières à certains sols, impliquant la mise en œuvre de pratiques spécifiques.

Deux approches pour un même sol

Les études sur les savoirs locaux ont débuté, dans les années 60, avec des travaux d'anthropologues et d'ethnologues américains en particulier (Lévi Strauss, 1962). Les connaissances des peuples sur l'environnement, la médecine ou les modes de vie étaient les principaux sujets d'étude. Dès cette période, les sciences agronomiques s'intéressent également aux connaissances des peuples autour de la production agricole avec les travaux d'un agronome français Dabin B. (1951 cité par Diallo 1995).

Dans les années 80, suite à un bilan mitigé sur l'adoption des nouvelles techniques agricoles proposées par la recherche, les modes d'intervention de la recherche-développement sont remis en cause et la participation paysanne à toute intervention est largement soutenue par les décideurs et les bailleurs (Lecomte, 1996). La recherche d'approche favorisant la participation des paysans aux processus de recherche et de développement fait naître la nécessité de prise en compte des savoirs techniques locaux en tant « *qu'élément central du système global*

d'information » (Röling cité par Diallo et Keita, 1995). Les études sur les savoirs locaux se multiplient et s'insèrent dans l'idéologie sur la reconnaissance des peuples autochtones. Dans le contexte de la crise de la fertilité annoncée des sols de l'Afrique de l'Ouest, l'adaptation des techniques agricoles à la diversité des paysans et des milieux est recherchée. Les recherches s'attachent à reconnaître les types de sols paysans pour définir des nouvelles organisations de l'espace qui aient du sens pour les paysans. Elles devaient asseoir les recommandations techniques.

La recherche agricole tente de développer alors des méthodes d'appréhension des savoirs techniques locaux avec des approches de recherche participative regroupant des équipes pluridisciplinaires, développant des partenariats entre organismes de recherche, de développement, d'encadrement agricole et travaillant à l'échelle des territoires villageois. Les savoirs techniques locaux sont alors recueillis pour la conservation des connaissances. Les recherches tentent de les inscrire dans un contexte, de les comprendre et enfin d'en évaluer la pertinence afin de définir les apports des savoirs techniques locaux pour le système global de connaissances.

Beaucoup de travaux se sont attachés à étudier et caractériser les savoirs techniques locaux sur les sols et d'en évaluer la pertinence sur la base d'analyses scientifiques. Les méthodes employées restent cependant peu décrites et fortement dépendantes des thèmes abordés.

Le recueil et la compréhension des systèmes de connaissances sur les sols ont été réalisés à l'échelle des territoires villageois en reconnaissant les différents types de sols paysans et en identifiant leurs caractéristiques distinctives (Diallo et Keita, 1995, Diallo et al., 1998, Ettema, 1994, Kanté, 2001, Kanté et Defoer, 1995, Kanté et al., 2003, M'Biandoun et al., 2003, Sangaré et al., 2007, Somé et al., 1997, Defoer et al., 2000).

Les types de sols pédologiques

Les types de sols de la zone ont été déterminés selon les classifications pédologiques existantes, avant d'être caractérisés selon les savoirs techniques locaux.

Le long des toposéquences de la zone Mali-Sud (voir la toposéquence présentée Figure 5, p 32), trois types de sols principaux peuvent être distingués, les sols peu évolués d'érosion sur cuirasse placés en haut de toposéquence, les sols ferrugineux tropicaux lessivés en milieu de toposéquence et les sols hydromorphes dans les bas-fonds.

Les **sols peu évolués d'érosion sur cuirasse** (CSPS, 1967) sont des sols largement représentés en zone Mali-sud. Les sols sont gravillonnaires et peu épais sur une cuirasse, dont des blocs peuvent apparaître en surface. Ils présentent un bon drainage des eaux de pluie et généralement un bon taux de matière organique.

Les **sols ferrugineux tropicaux lessivés** (CSPS, 1967) sont moyennement épais formés sur roche légèrement acide et riche en quartz. Ils appartiennent aux domaines des versants. De teinte claire, ils présentent un profil bien différencié avec des horizons marqués où l'argile et les oxydes de fer ont migrés séparément. Les argiles disparaissent des horizons de surface provoquant un éclaircissement de la teinte et l'apparition d'un horizon hydromorphe avec accumulation d'argile, à environ un mètre. Les hydroxydes de fer migrent verticalement, mais

aussi latéralement, pouvant former, aux points d'accumulation, des concrétions (plinthite), des nodules, ou des cuirasses (Dabin et al., 1979, Keita, 2000).

Les **sols hydromorphes** (CSPS, 1967) sont issus d'un excès d'eau temporaire ou permanent dû à une nappe d'eau ou la présence d'un horizon imperméable. L'hydromorphie, temporaire ou permanente, provoque une évolution différente de la matière organique. En cas d'hydromorphie permanente, les hydroxydes de fer restent sous forme réduite, donnant la couleur bleu-grise aux sols dits à gley. Si l'hydromorphie est temporaire, les périodes sèches permettent une réoxydation des hydroxydes de fer qui forment des tâches ocre dans le sol (sol à pseudogley) (Dabin et al., 1979, Keita, 2000). Ces sols de texture limono-sableux à argileux présentent un horizon de surface relativement humifères (2 à 5 % de MO) mais moyennement acides (pH 5,5 - 6,0).

Les types de sols reconnus par les paysans

Les savoirs techniques locaux reflètent les connaissances d'un groupe social inscrit dans un territoire donné. Ce fonds commun représente des savoirs reconnus, utilisés et partagés par l'ensemble du groupe social.

Nous proposons de présenter les savoirs techniques locaux sur les sols, tels qu'explicités par les paysans du village de Dentiola et ceux du village de Zanférébougou. Par la suite, nous proposons d'évaluer l'appréciation de ces types de sols par les paysans. Nous présentons, enfin, la diversité et les similitudes de ces deux systèmes de connaissances avec d'autres typologies des sols paysans qui ont été reconnues en Afrique de l'Ouest.

Les paysans font référence à la terre, au sol, sous le mot « *Dugukolo* » en dioula qui signifie terre ou terroir. Un autre terme moins utilisé, « *Bogo* » (terre, boue) fait davantage référence au matériel terre plus qu'au support de la culture (Père Bailleul, 2000).

Les sols reconnus par les paysans de Dentiola

Les paysans du village de Dentiola identifient six types de sols sur le territoire du village. Ces sols appartiennent à la zone cultivée mais également à la zone sylvo-pastorale : *Djekono*²⁷, le sol blanc, *Bele marion*, le sol gravillonnaire, *Dugukoloble*, le sol rouge, *Fouga*, le sol induré, *Dugukolofin*, le sol noir et *Cencen*, le sol sableux. Seulement 3 types de sol concernent les cultures principales : *Dugukoloble*, le sol rouge, *Cencen*, le sol sableux et *Dugukolofin*, le sol noir, suivant leur position sur la toposéquence. Les autres types de sol sont cités uniquement par certains paysans.

Les **sols rouges**, *Dugukoloble*, autrement appelés *Cencenble* (sable rouge), *Bléma* (de couleur rouge) ou *Bogoble* (boue rouge) sont considérés comme des sols ordinaires, relativement pauvres et peu prisés par les paysans. Ces sols sont de couleur rouge, de texture sableuse et de structure résistante et collante à l'état humide. Ils représentent une surface limitée du territoire villageois. Les sols rouges seraient difficiles à travailler car ils résisteraient au passage de l'outil tracté. Les paysans affirment qu'il leur faut 2 jours de travail par hectare pour les

²⁷ Les mots en italique dans le texte sont en langue Bambara et précèdent leur traduction en français

travaux de labour à moins qu'ils n'attendent une pluie d'au moins 30 mm de hauteur. Les sols rouges ne sont pas reconnus pour être de mauvais sols mais nécessiteraient des apports de fumure organique. Les apports de fumure organique favorisent la rétention de l'eau de pluie. Ces sols présenteraient un risque de dessèchement des plants en cas de sécheresse. De plus, les fortes pluies après la levée pourraient provoquer une fermeture des poquets ou un arrachage des jeunes plants car ils n'absorbent pas l'excès des eaux de pluies. Le sorgho n'est pas cultivé sur ce type de sol, ils sont réservés à la culture du coton en rotation avec le mil.

Les paysans établissent des règles de gestion pour chacun de leur type de sol. Les sols rouges doivent être labourés et semés après les autres sols. Les paysans doivent y implanter des cultures de mil ou de coton en rotation avec des apports de fumure organique occasionnels.

Les **sols sableux**, *Cencen*, font l'unanimité des paysans enquêtés. Tous reconnaissent qu'il s'agit de sols largement présents sur le territoire villageois, en milieu de versant. De couleur blanc à rouge et de texture sableuse, ils ne sont ni collants ni compacts mais s'effritent facilement sous les doigts. Sur ces sols, le travail à l'outil tracté serait possible dès une faible pluie (5 mm) et même après une forte pluie. Les paysans considèrent que ces sols sont de fertilité moyenne avec d'importants besoins en fumure organique, particulièrement pour la culture du coton et la lutte contre le striga. L'effet de la fumure organique, sur ces sols, serait de 2 à 3 ans avec de meilleurs rendements et un changement de couleur du sol. Les sols sableux représenteraient le type de sol valorisant le mieux les apports de fumure organique. Ils conserveraient peu l'humidité et les eaux de pluies s'y infiltreraient rapidement. Ces sols présenteraient un avantage en cas de pluviométrie moyenne, mais avec des pluies faibles, les risques de dessèchement et de brûlure existeraient. En cas de trop fortes pluies, les eaux de ruissellement pourraient fermer les poquets et recouvrir les jeunes plants.

Toutes les cultures pourraient y être emblavées. Une rotation coton-mil nécessiterait des amendements organiques pour lutter contre le striga. Les sols sableux doivent être préparés précocement et semés en coton ou maïs. Les apports de fumure organique doivent être réguliers et des engrais doivent être apportés.

Les **sols noirs**, *Dugukolofin*, sont appelés *Bogofin* (boue noire), *Fiman* (de couleur noire) ou *Woyon* (rigole) par les paysans du village. La majorité des paysans interrogés classe ces sols parmi les plus recherchés du village, d'après la caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols (71 %). Ces sols, de couleur noire à grise, présentent une texture fine sans sable. Leur structure est solide, dur à l'état sec et collant à l'état humide. Ils couvrent une petite superficie du territoire villageois en bas de toposéquence aux abords des cours d'eau. Le travail du sol en sec, avant les pluies, y serait impossible car ces sols devraient être humidifiés par une pluie de 30 à 50 mm avant d'être travaillés. De même, après une forte pluie, ces sols doivent sécher avant le passage de l'outil tracté, sinon ils risquent d'être trop collants. Les paysans auraient alors, une plage de temps pour le travail du sol très réduite. Les sols noirs présenteraient un risque d'enherbement important et supérieur aux autres types de sols. La gestion des adventices ne poserait cependant pas de problème tant que le passage de l'outil tracté est réalisable (pas trop sec ou trop humide). Ces sols sont considérés comme fertiles et

ne demandent pas d'amendements organiques. La couleur noire et la force des plants à la levée reflètent le niveau de fertilité de ces sols pour les paysans. Cependant, la fumure organique, si elle y est apportée aurait un effet long de 3 à 6 ans. Les sols noirs présenteraient le risque de dessèchement des plants car ils auraient une forte capacité de rétention des eaux, qui resteraient indisponible aux plantes cultivées. Toutes les cultures pourraient y être semées, le riz, les céréales sèches mais aussi le coton. Cependant, certains paysans reconnaissent que la culture du coton y est audacieuse à cause du risque d'excès d'eau.

Les propriétaires d'animaux ont appris également à reconnaître les propriétés particulières de ces sols qui ne présenteraient pas les bonnes conditions pour l'installation d'un parc à bétail, à cause de l'humidité

Les autres types de sols sont cités uniquement par certains paysans. Les **sols blancs**, *Djekono*, se situent au nord est du village, aux abords du bas-fond.

Les **sols indurés**, *Fouga*, sont localisés sur les zones où les sols squelettiques, sont cuirassés.

Les **sols gravillonnaires**, *Bele marion*, représentent une surface réduite du territoire villageois. Ils appartiennent à la zone sylvo-pastorale, peu mise en culture en haut de la toposéquence.

Les **sols rouges**, *Guini*, sont présents sur les versants. Ils sont considérés comme incultes. Ils présentent des qualités agronomiques médiocres et sont trop compacts pour le passage de l'outil tracté.

Ces connaissances partagées par les paysans du village de Dentiola sont présentées dans la grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols dans le Tableau 9.

La répartition de ces types de sols sur le territoire de Dentiola a été abordée par la réalisation d'une carte à dire d'acteurs d'après la méthode MARP²⁸ (Kanté et Defoer, 1995). Les paysans se sont ensuite appuyés sur un fond de carte géoréférencée comportant des repères, cités lors des enquêtes, pour réaliser une carte opérationnelle, présentée dans la Figure 23.

²⁸ MARP : Méthode d'Analyse Rapide et de Planification Participative des démarches de Recherche participative

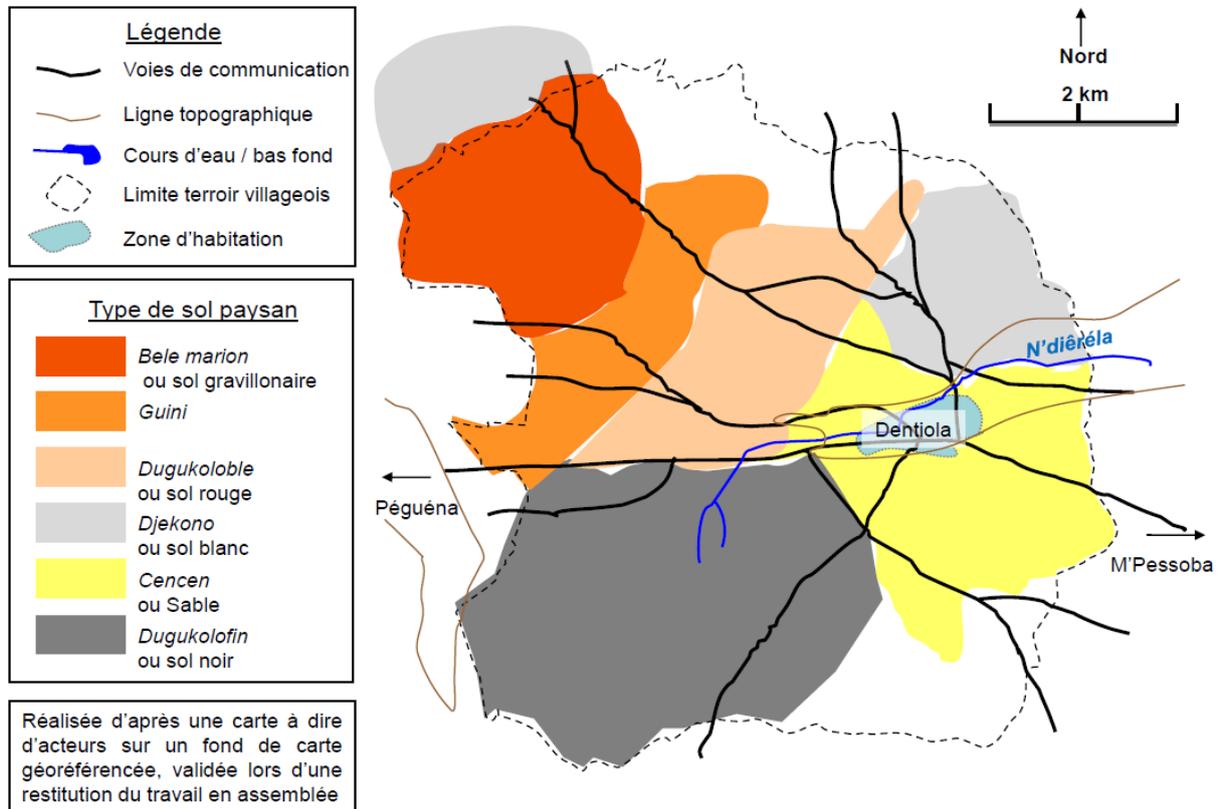


Figure 23. Carte à dire d'acteurs des sols paysans du village de Dentiola

Les sols noirs, *Dugukolofin* et les sols sableux *Cencen*, les deux principaux sols cultivés du village de Dentiola. Ils occupent la majorité de l'espace au sud du cours d'eau temporaire.

L'histoire de l'occupation du village révèle que les premiers habitants du village avaient réservé la partie nord du territoire à la zone sylvo-pastorale pour les activités de chasse, de coupe de bois et de pâturage des animaux. Cette zone correspond au sol rouge peu recherché car peu fertile. Lorsque que les premiers migrants sont arrivés au village, les responsables coutumiers les ont installés sur ces types de sol.

Aujourd'hui, les parcelles des exploitations sont réparties sur l'ensemble du territoire villageois mais les familles coutumières ne possèdent pas de grands champs sur des sols rouges alors que les descendants de migrants y ont leurs principaux champs.

Les sols gravillonnaires, *Bele*, se situent en haut de la toposéquence faiblement marquée au village, éloignés de la zone d'habitation, ils correspondent à des champs plus jeunes.

Tableau 9. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols de Dentiola

	Partie sommitale	Glacis intermédiaire	Bas glacis colluviale		Talweg	
	<i>Bele marion</i> Sol gravillonnaire	<i>Cencen</i> Sol sableux	<i>Dugukoloble</i> Sol rouge	<i>Dugukolofin</i> Sol noir	<i>Djekono</i> Sol blanc	
Citation	20 %	90 %	50 %	100 %	5 %	
Variable de description	Couleur, Structure et Texture	Gravillon	Blanc et rouge, s'effrite, sable	Tend vers le gris, solide, collant à l'état humide, pas de sable	Chaux, poussiéreux et fin	
	Localisation	Vers les collines	Grande surface, haut de pente	Petite surface	Petite surface	Proche des bas fonds
Variable de fonction	Travail du sol	 	Travail possible sans la pluie et après la pluie	Travail difficile, nécessite de la pluie (sol dur)	Travail difficile, nécessite de la pluie (dur), pas trop (sol collant)	
	Besoin en fumure et effet	 	Besoin de fumure, sol moyen, effet à moyen terme	Besoin important de fumure, sol pauvre	Faible besoin en fumure, sol riche, long effet dans le sol	
	Attitude face à la pluie	Sol sec, terre « avec de la chaleur »	Avantage, conserve peu d'humidité, infiltration rapide	Demande de bonnes pluies, conserve l'humidité	Demande de bonnes pluies (semis), conserve l'humidité	
	Culture possible	Pas de culture	Toutes les cultures sont possibles	Coton et mil, Pas de sorgho	Toutes les cultures sont possibles	Culture du riz
Variable de risques	Faibles pluies	Sécheresse, pertes des feuilles des arbres	Sécheresse en cas de très faibles pluies	Sécheresse	Sécheresse	
	Fortes pluies	 	Ruissèlement et fermeture des poquets	Pas de forte pluie juste après la levée, n'absorbe pas l'excès d'eau	 	
Règle de gestion	Pas de mises en culture, zone de pâturage et parcs à bétail	Peut être mis en culture tôt, rotation coton-maïs, apport de fumure organique régulier et apports d'engrais	Dernière terre mise en culture, rotation coton-mil, apport de fumure organique occasionnel	Mis en culture tôt, rotation coton-maïs et sorgho, apport de fumure organique sur céréales, et apport d'engrais	Culture précoce, riziculture des femmes, pas d'apport de fumure organique, faible apport d'engrais	

Les sols reconnus par les paysans et les sols pédologiques du village de Dentiola

Afin d'évaluer les différents types de sol du village de Dentiola, des analyses de granulométrie et de composition chimique des sols ont été réalisés. Ces analyses permettent de caractériser les types de sols reconnus par les paysans et de reconnaître les conditions d'application des règles de gestion sur ces sols. L'ensemble de ces analyses doit permettre d'apporter un nouveau regard sur l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols.

Le Tableau 10 présente les résultats des analyses de granulométrie effectuées sur les sols reconnus par les paysans du village de Dentiola. Le Tableau 11 présente les résultats des analyses de composition chimique des sols reconnus par les paysans du village de Dentiola.

Au village de Dentiola, les **sols hydromorphes** (ou sols noirs *Dugukolofin*), de pH 5,8, présentent une texture limono sableuse, riche en argile (6,25 %) et en limon fin (5,19 %), un très faible taux de matière organique (0,72 %), un taux d'azote de 0,32 ‰ et un rapport C/N de 13,24, Les faibles quantités ne permettent pas de préjuger de l'efficacité du processus d'humification. Le taux de phosphore total de 93,67 ppm est relativement peu élevé. Le pH de 5,8 indique que l'acidité reste supérieure aux conditions d'une toxicité aluminique ou d'un blocage du phosphate par des ions Fe^{3+} libres fréquents dans ces régions (pH à 4,72).

Les **sols ferrugineux tropicaux lessivés** correspondent aux sols sableux, *Cencen*, (pH 5,96) ainsi que les sols rouges, *Bogoblema*, (pH 6,41). Ils présentent une texture sableuse, un très faible taux de matière organique (0,66 %), un taux d'azote de 0,33 ‰ et un rapport C/N faible (11). Le taux de phosphore total est de 110 ppm.

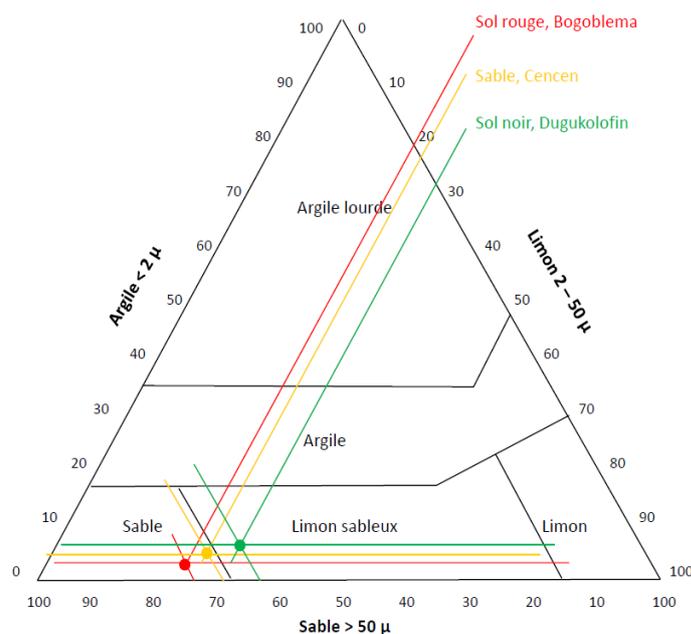


Figure 24. Les types de sol paysans du village de Dentiola placés sur le triangle des textures.

Tableau 10. Analyse de granulométrie des sols du territoire de Dentiola (moyenne et écart type)

Type de sol	Type de sol paysan	Nb	Argile (%)		Limon fin (%)		Limon (%)		Sable fin (%)		Sable (%)		Refus de tamis (%)		
			Unité	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type	Moyenne	Écart type
Sol ferrugineux tropical lessivé modal	Sol sableux, <i>Cencen</i>	5		5,85	0,89	2,80	1,51	19,41	4,46	33,58	4,89	38,36	10,00	1,10	1,33
Sol hydromorphe	Sol noir, <i>Dugukolofin</i>	4		6,25	1,77	5,19	1,33	20,90	1,95	33,41	1,88	34,18	3,52	0,47	0,82

Tableau 11. Composition chimique des sols des territoires villageois de Dentiola

Type de sol	Type de sol paysan	Nb	Matière organique		Azote		Phosphore total		Rapport C/N		Acidité		
			(%)		(‰)		(ppm)		Unité		Unité		
			Moy	Ecart type	Moy	Ecart type	Moy	Ecart type	Moy	Ecart type	pH _{KCl}	pH _{eau}	Potentielle
Sol ferrugineux tropical lessivé modal	Sol rouge, <i>Bogoblema</i>	1	0,72		0,36		137,86		11,46		5,49	6,41	0,92
	Sol sableux, <i>Cencen</i>	14	0,66	0,19	0,33	0,09	110,56	29,07	11,74	0,74	4,77	5,96	1,19
Sol hydromorphe	Sol noir, <i>Dugukolofin</i>	11	0,72	0,17	0,32	0,07	93,67	31,16	13,24	1,67	4,72	5,89	1,17

Les sols reconnus par les paysans de Zanférebougou

Au village de Zanférebougou, les paysans reconnaissent cinq types de sols, depuis le haut de la toposéquence jusqu'au bas-fond, *Bele*, les sols gravillonnaires, *Bogoble*, les sols rouges, *Cencen*, les sols sableux, *Bogofin*, les sols noirs et *Bogodje*, les sols blanc.

Les **sols gravillonnaires**, *Bele*, d'après les savoirs techniques locaux sur les sols, sont de couleur rouge, gravillonnaires et largement répandus sur les collines du territoire villageois. La préparation de ces sols serait facile après une pluie, mais les paysans doivent déplacer les blocs de cuirasses, les cailloux et les pierres sur les bords des champs avant le passage de l'outil tracté. Toutes les cultures pourraient être semées sur ces sols, mais la pluie doit être bonne après le semis. Ces sols nécessiteraient des apports de fumure organique car ils sont reconnus comme peu fertiles. La fumure organique aurait cependant un effet à long terme sur ces sols. Ils sont positionnés sur des pentes et présenteraient donc des risques de ruissellement important. L'envahissement par les adventices y serait réduit.

Les paysans définissent des règles de gestion propre à ces sols. Les sols gravillonnaires doivent être préparés précocement et emblavés en maïs ou en coton. Ils doivent recevoir des apports de fumure organique tous les 3 à 5 ans et des aménagements antiérosifs doivent y être réalisés.

Les **sols rouges**, *Bogoble*, sont des sols rouges, compacts à collants avec dominance de sables et de gravillons. Ces sols seraient faciles à travailler avec l'outil tracté avant l'installation des fortes pluies. Ils conserveraient l'humidité et resteraient frais. Ils présenteraient de faible besoin en fumure organique car les paysans les considèrent comme riches. L'effet de la fumure organique apportée sur ces sols serait long. Toutes les cultures pourraient y être emblavées. Ils ne présenteraient pas de risque particulier en cas de faibles pluies, mais risqueraient de devenir collants avec les grandes pluies. L'envahissement par les adventices y serait limité.

La préparation de ces sols doit intervenir dès l'arrivée des pluies. Ils doivent être emblavés en coton, en rotation avec le maïs, et recevoir de la fumure organique.

Les **sols sableux**, *Cencen* sont des sols durs, de couleur rouge avec une dominance de sable. Ils sont circonscrits à un sous terroir au nord-est du territoire villageois, le terroir de Loubiéni. La préparation de ces sols doit être réalisée après les premières pluies car ils seraient durs, et avant qu'ils ne deviennent trop humides car ils risqueraient de devenir trop collants. Toutes les cultures pourraient y être implantées à l'exception du coton car ces sols seraient trop humides au milieu de l'hivernage. Ces sols nécessiteraient des apports de fumure organique réguliers. L'effet de la fumure organique y serait court car elle disparaîtrait rapidement par lessivage. Les sols sableux présenteraient des risques de sécheresse des plants en cas de faible pluie et des risques d'inondation des parcelles en cas de forte pluie. L'envahissement par les adventices n'y serait pas négligeable.

Ces sols doivent être préparés après les premières pluies et être emblavés en céréales. Les apports de fumure organique y sont localisés et la lutte contre les adventices doit faire intervenir des sarclages en début de cycle.

Les **sols noirs**, *Dugokolofin*, sont des sols durs à l'état sec et collants à l'état humide. Ils représentent une petite surface du territoire villageois. Situés à proximité des collines, ils sont peu accessibles par une charrette. Ces sols devraient être travaillés avant l'installation des pluies, et de façon manuelle avec une daba large sinon ils seraient trop collants. Les paysans les considèrent comme des sols riches, qui ne nécessitent pas d'apports de fumure organique. L'effet de la fumure organique y serait cependant considéré comme éphémère. Ces sols, durs à l'état sec, conserveraient cependant bien l'eau au moment du ressuyage. Ils seraient emblavés en riz par les femmes et en tomates, piment et maïs par les hommes. Le coton et l'arachide ne devraient pas y être semés. Ces sols présenteraient, en effet, des risques importants d'inondation. L'envahissement par les adventices y est important.

Ces sols doivent être travaillés les premiers et ne pas recevoir d'apports de fumure organique. La lutte contre les adventices doit faire intervenir des sarclages précoces ou l'utilisation d'herbicides si l'exploitation en a les moyens.

Les **sols blancs**, *Djekono* ou *Bogodje*, sont des sols fins et durs qui contiennent un peu de sable. Ils sont localisés sur le bas des versants, qui correspond à la plaine du territoire villageois. Le travail du sol y serait difficile sans pluies car ces sols resteraient durs. Ils présenteraient des besoins en fumure organique et celle-ci aurait un effet bref dans ces sols. Ils conserveraient l'humidité et l'eau s'y infiltrerait rapidement. Toutes les cultures pourraient y être emblavées. En cas de faibles pluies, ils représenteraient un avantage, mais en cas de mauvaise pluviométrie, ils présenteraient un risque élevé d'inondations et de ruissellement. L'envahissement par les adventices y serait important.

Les paysans expliquent que les sols blancs doivent être travaillés après le début de l'hivernage. Les apports de fumure organique doivent y être réguliers, tous les 1 à 3 ans. Enfin, la lutte contre les adventices doit être régulière avec des sarclages et l'utilisation de produits herbicides.

La grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols du village de Zanférébougou est présentée dans le Tableau 12.

La carte à dire d'acteurs des types de sols paysans du village de Zanférébougou, présentée Figure 25, permet d'apprécier la répartition des types de sol paysans dans l'espace du territoire villageois.

Tableau 12. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols de Zanférébougou

Système de classification des sols (Citation)		Sol gravillonnaire	Sol rouge	Sable	Sol noir	Sol blanc
		Bεε (80 %)	Bogoble (50 %)	Cεcεn (20 %)	Bogofin, Lè (100 %)	Bogodje, Djekono (60 %)
Variable de description	Couleur, Structure et Texture	Rouge, gravillons	Rouge, compact, collant, gravillon et Sable	Tend vers le rouge, dur, sable	Noir, dur (sec), collant (humide), sable par endroit	Blanc, dur et fin, sable
	Localisation	Sur les collines	Milieu de pente	Sous terroir de Loubeini	Proche des collines, peu accessible et petite surface	Vers le village de N'tiosso, (plaine d'épandage)
Variable de fonction	Travail du sol	Travail facile après la pluie, retirer les cailloux	Facile à travailler avec peu de pluie puis colle à la daba	Travail nécessite de la pluie, difficile si inondé	Travail avant la pluie, sinon difficile	Travail du sol difficile sans pluie (dur)
	Besoin en fumure et effet	Besoin de fumure, sol peu fertile, long effet dans le sol	Faible besoin en fumure, sol riche, long effet dans le sol	Besoin de fumure, effet court dans le sol	Faible besoin de fumure, Sol riche, effet court dans le sol	Besoin de fumure, effet court dans le sol
	Attitude face à la pluie	Demande de bonnes pluies pour les semis	Sol frais, conserve l'humidité	Sol dur, demande de la pluie	Sol dur, conserve l'humidité	Avantage, conserve l'humidité et infiltration
	Culture possible	Toutes cultures, coton et céréales	Toutes cultures, coton	Toutes cultures, mil, sauf coton	Toutes cultures riz (femmes) maraichage, pas de coton et d'arachide	Toutes cultures, coton et céréales
Variable de risque	Face aux faibles pluies	Risque pour les semis	Pas de risques	Sècheresse	Pas de risques	Avantage si peu de pluie
	Face aux fortes pluies	Zone à risques de ruissellement	Risque de sol collant	Inondation	Inondation	Inondation
	envahissement des adventices	Peu d'herbes	Peu d'herbes	Présente d'herbes	Beaucoup d'herbes	Beaucoup d'herbes

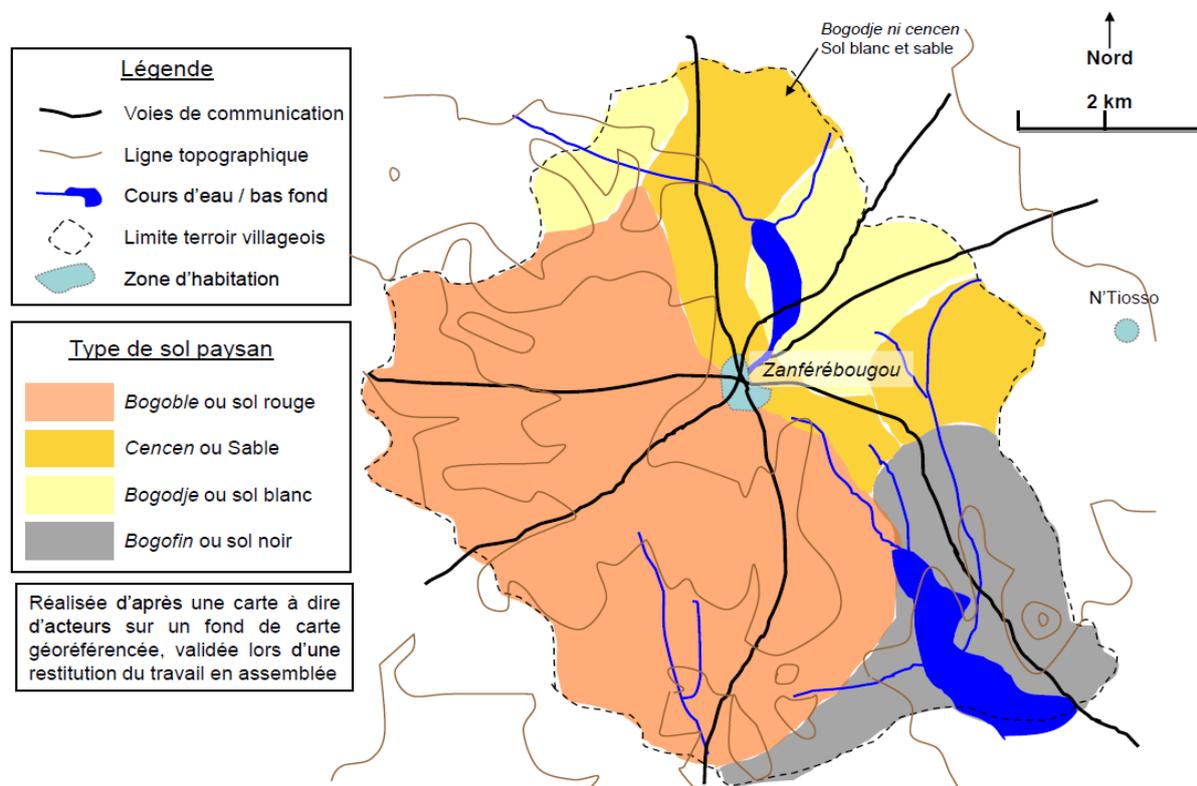


Figure 25. Carte à dire d'acteurs des sols paysans du village de Zanférébougou

Les sols rouges sont appréciés des paysans qui le considèrent comme des sols « riches ». Ce sont les sols qui dominent largement l'espace villageois, en occupant toute la surface des collines au sud, sud-ouest et ouest du village.

Les sols noirs sont reconnus comme des sols « riches » mais qui sont difficiles à travailler. De plus, ils sont situés à l'extrême sud-est du territoire villageois avec un accès difficile.

L'espace cultivé par les paysans du village de Zanférébougou appartient, selon les règles coutumières, aux territoires villageois des villages avoisinant. Les sols blancs, qui présentent l'avantage de conserver l'humidité, se situent à l'est du village à la proximité du village de N'Tiosso. Ces sols sont également prisés par les habitants de N'Tiosso, qui souhaitent, s'ils le peuvent, récupérer des terres pour étendre leur zone de culture.

Les sols reconnus par les paysans et les sols pédologiques du village de Zanférébougou

Au village de Zanférébougou, les sols **hydromorphes** (ou sols noirs *Dugukolofin*) (pH 6,36) présentent un taux de matière organique plus riche que les sols du village de Dentiola (1,86 %), un taux d'azote de 0,57 ‰, et un rapport C/N est plus élevé (18). Le C/N élevé peut indiquer un mauvais fonctionnement du processus d'humification par les microorganismes. Le taux de phosphore total est également plus élevé (213 ppm).

Les **sols ferrugineux tropicaux lessivés** (ou sol rouge, *Bogoblema*) (pH 6,03) présentent également un taux de matière organique plus riche (1,66 %), un taux d'azote de 0,57 ‰ et un rapport C/N plus bas (16). Le taux de phosphore total est de 212 ppm.

Enfin, les **sols peu évolués d'érosion sur cuirasse** paraissent relativement très riches (2,06 % de matière organique, 0,66 ‰ d'azote et 202,68 ppm de phosphore total. Ce sol correspond à un sol gravillonnaire présentant un volume de gravillons important, ce qui réduit la quantité réelle d'éléments fins disponibles pour les plantes.

Tableau 13. Composition chimique des sols des territoires villageois de Zanféroubou

Type de sol	Type de sol paysan	Nb	Matière organique		Azote		Phosphore total		Rapport C/N		Acidité			
			(%)		(‰)		(ppm)		Unité		Unité			
			Moy	Ecart type	Moy	Ecart type	Moy	Ecart type	Moy	Ecart type	pH _{KCl}	pHeau	Potentielle	
Sol peu évolué d'érosion sur cuirasse	Sol gravillonnaire, <i>Bele</i>	1	2,06	0,66			202,68			17,99		4,52	5,74	1,22
Sol ferrugineux tropical lessivé modal	Sol rouge, <i>Bogoblema</i>	3	1,66	0,46	0,57	0,13	212,05	76,40	16,80	2,15	4,92	6,03	1,11	
Sol hydromorphe	Sol noir, <i>Dugukolofin</i>	1	1,86		0,57		213,83		18,92		5,00	6,36	1,36	

Appréciation des sols par les paysans

Les paysans interrogés décrivent souvent plus de types de sols qu'ils n'en disposent dans leur exploitation. Les savoirs techniques locaux se construisent par l'acquisition d'expériences, lors du travail sur les champs de l'exploitation, mais aussi, lors des travaux de groupe et des échanges de journée de travail entre exploitations.

Appréciation de la fertilité des sols par les paysans

Les paysans apprécient la fertilité d'un sol sur la base de connaissances empiriquement acquises et de leur perception de la fertilité des sols. D'après les paysans, un sol riche est un sol de couleur foncée, qui renferme de la pourriture. Un sol devient moins fertile ou « *perd sa force* », quand la fumure organique ou minérale disparaît en s'infiltrant dans le sol.

Un bon sol est un sol qui offre une bonne levée des plantes et qui permet d'obtenir une bonne production par unité de surface. Le rendement est ici indissociable de la pratique agricole nécessaire pour l'obtenir. Un sol offrant une bonne production mais requérant des investissements en travail et/ ou en intrants importants seront considérés comme moins intéressants qu'un sol à production moyenne nécessitant moins d'investissements. Par exemple, les sols noirs, *Dugukolofin*, sont reconnus par beaucoup de paysans comme étant le type de sol le plus fertile car il permet d'espérer la meilleure production en cas de bonnes pluies sans beaucoup d'apports en fumure organique. Cependant, le sol sableux, *Cencen*, offre

la liberté de pouvoir effectuer les travaux de labour avec beaucoup plus de souplesse tout en diminuant le risque en cas de mauvaise saison des pluies. Les paysans utilisent la flexibilité offerte par le travail sur certains types de sols et la réduction des risques comme critères pour juger de l'état d'un sol en plus du critère de productivité de la terre ou du travail. Le caractère fertilité d'un sol ne s'appuie pas sur un unique facteur, mais sur une série de critères à prendre en compte (productivité, flexibilité du travail, niveau de risque...).

Evaluation de l'appréciation des sols par les paysans

Sur la base des enquêtes sur les savoirs techniques locaux sur les sols, deux critères permettent de porter un jugement d'appréciation sur la richesse de ces variantes individuelles des savoirs techniques locaux sur les sols.

Pour juger de la **richesse des savoirs**, une note représentant la diversité des types de sols reconnus par le paysan a été définie en attribuant 4 points par type de sol décrit par chacun des paysans (note sur 20).

Une seconde note a été définie pour évaluer la **richesse du jeu de variables** utilisées, par chaque paysan, pour caractériser ces types de sols.

Les variables de caractérisation ont été organisées en sept groupes de variables : la couleur, la texture, la structure, le travail du sol, la gestion des adventices (avec l'importance des adventices et le risque d'enherbement), la réaction vis-à-vis de l'eau (avec l'attitude face à la pluie, le risque de sécheresse ou d'inondation) et l'aptitude culturale (avec le besoin en fumure organique, la durée de son effet et les cultures possibles).

Chaque groupe de variable a été affecté d'un coefficient qui doit refléter le caractère commun, ou spécifique, de la variable et ainsi former une seconde note sur 20.

Les variables communes, comme la **couleur, la texture et la structure** des sols ont reçu un coefficient 1.

La **réaction vis-à-vis de l'eau** a été affectée d'un coefficient 3 et le **travail du sol** d'un coefficient 4, car ils correspondent à des variables plus spécifiques, se rapportant au fonctionnement de l'agro-système, au delà de la simple description.

Enfin la **gestion des adventices** et l'**aptitude culturale** des sols ont été affectées d'un coefficient 5 reflétant une description sur le fonctionnement des sols, mais aussi un indicateur de la valeur des types de sols.

La Figure 26 illustre l'évaluation de l'appréciation des sols par les paysans de Dentiola.

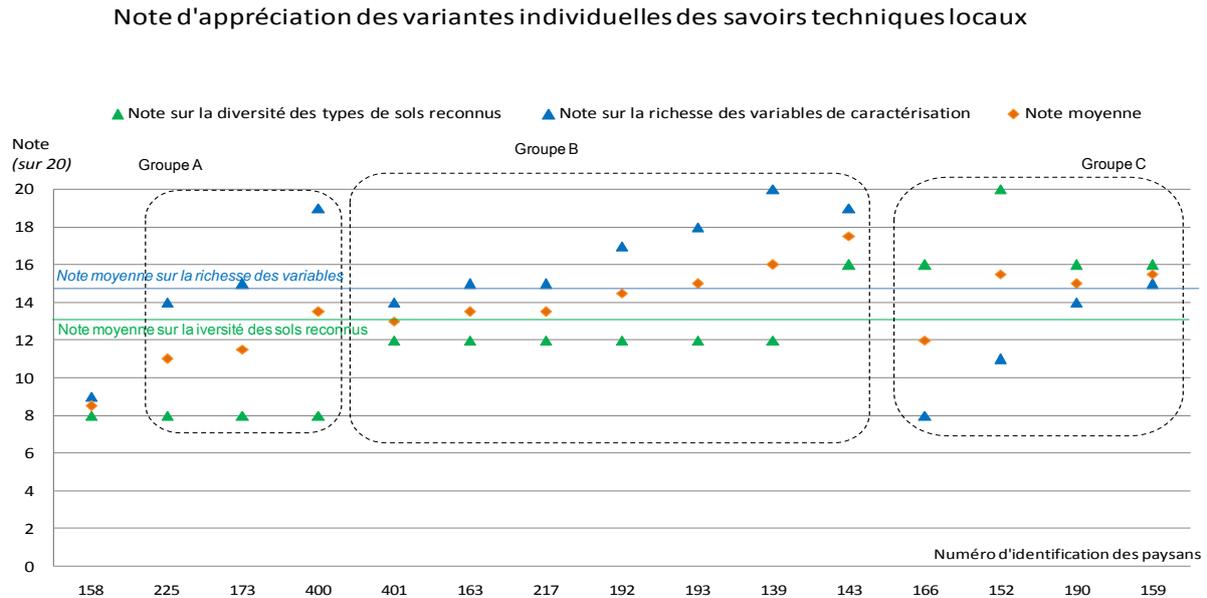


Figure 26. Appréciation de la richesse des variantes individuelles des savoirs techniques locaux sur les sols

Les paysans se répartissent en trois grands groupes, à travers cette analyse de la richesse des variantes individuelles des savoirs techniques locaux sur les sols.

Dans le groupe A, les paysans ne reconnaissent que deux types de sol mais en fournissent une description riche, en s'appuyant sur de nombreuses variables. L'individu 400 fait référence à toutes les catégories de variables définies (la couleur, la texture, la structure, le travail du sol, la gestion des adventices, la réaction vis-à-vis de l'eau et l'aptitude culturale).

Le groupe B, correspond aux paysans qui connaissent davantage de types de sol. Les trois types de sol reconnus représentent la moyenne des paysans interrogés. La description de ces types de sols est moyenne à riche (note de 14 à 20).

Enfin, le groupe C, hétérogène, regroupe les paysans qui reconnaissent beaucoup de type de sols mais en font une description réduite. Ces types de sol sont décrits à partir des variables les plus partagées, comme la couleur, la texture, la réaction vis-à-vis de l'eau et l'aptitude culturale.

La Figure 27 représente la richesse des variables utilisées par les paysans de Dentiola pour décrire les sols.

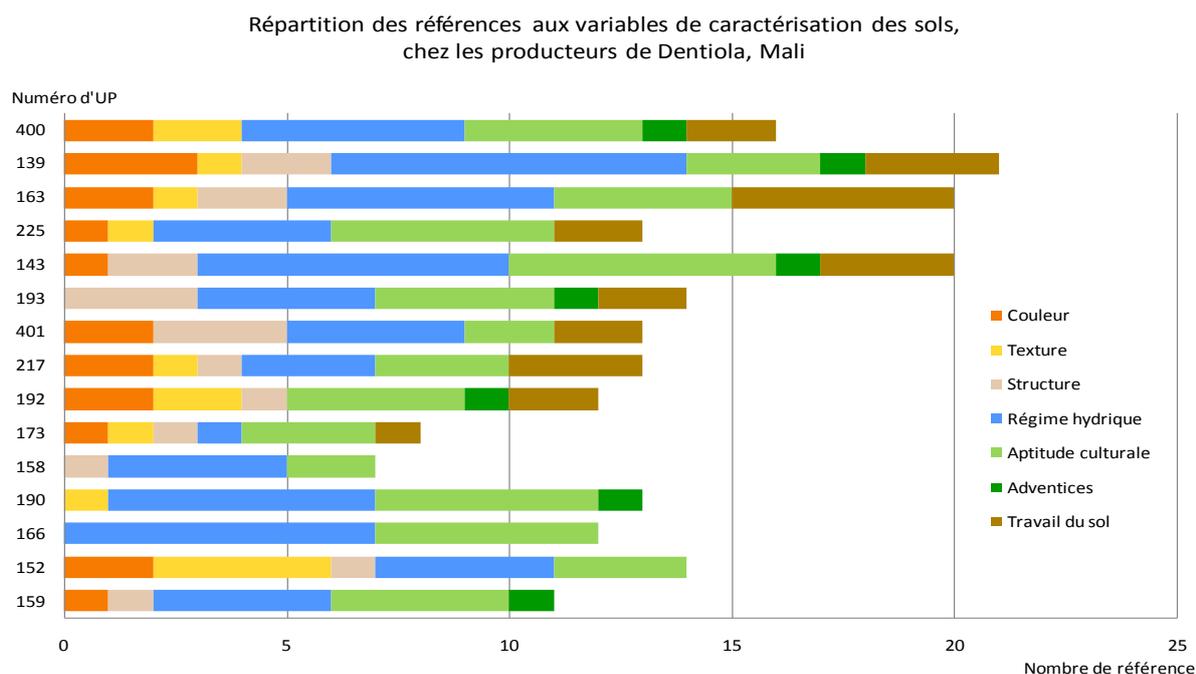


Figure 27. Richesses des variables utilisées par les paysans de Dentiola pour décrire les sols

Les variables de caractérisation sont inégalement utilisées par les paysans du village de Dentiola pour définir leurs types de sols.

Ainsi, le doublet de variable couleur et texture n'est pas systématiquement rappelé par les paysans interrogés, lors des enquêtes, car ces éléments sont, souvent, rappelés simplement par les noms donnés aux types de sol (*Cencen* qui signifie sable, *Bele* qui signifie graviers, gravillons).

La couleur est une variable davantage citée par les paysans (11 sur 15).

La réaction vis-à-vis de l'eau est une variable de caractérisation partagée par l'ensemble des paysans²⁹, avec 14 paysans sur les 15 interrogés (attitude face à la pluie, risque de sécheresse, risque d'inondation).

De même, les paysans font largement référence à l'aptitude culturale (besoin en fumure organique, durée de l'effet de la fumure organique dans le sol, type de culture possible) pour décrire leur type de sol (15 sur 15).

La gestion des adventices (importance des adventices, risque d'enherbement) est une variable citée par la moitié des paysans interrogés. Les paysans ont expliqué que l'enherbement, même s'il est plus important sur les sols noirs (*Dugukolofin*), reste non problématique car les moyens de lutte existent.

La variable travail du sol n'est pas une variable partagée par tous les paysans. Elle est employée uniquement par les paysans qui décrivent de façon fine les types de sols, avec plus de 10 variables citées (9 paysans sur 15).

²⁹ La campagne agricole 2007-08 a été caractérisée par une mauvaise pluviométrie (voir partie Climat et pluviométrie, Figure 4, p 26).

Niveau de corrélation des deux typologies des sols

Précautions dans l'analyse des typologies des sols

Les typologies de sols paysans font référence à des territoires disjoints, dans les zones agro-écologiques différentes et surtout sur des formations pédologiques distinctes.

Les sols de Dentiola sont issus de la dégradation de grès (plateau gréseux de Koutiala) et de dépôts alluviaux du quaternaire. Les sols produits sont ferrugineux avec des cuirasses. La toposéquence donne naissance à des sols de bas-fond noirs et limoneux, à des sols sableux sur les versants et à des plateaux cuirassés et sols gravillonnaires en haut de toposéquence (Quak et al., 1996).

Le territoire de Zanférébougou est à la limite d'un grès et d'un granite. La pédogénèse sur ces roches donne naissance à une diversité de sols (Sangaré et al., 2006 b). Le granite crée une cuirasse sommitale, un talus (sol gravillonnaire) et des sols riches en minéraux et en argile en bas de pente. Les sols issus de l'altération du grès sont relativement riches en argile. Hydromorphes, ils sont de couleur claire en saison sèche et semblent sensibles à la formation de croûtes superficielles.

Les noms utilisés par les paysans des villages de Dentiola et Zanférébougou pour identifier leurs sols se ressemblent, même s'il s'agit de sol aux origines et propriétés très différentes. Les paysans utilisent les références à la couleur et à la texture pour nommer ces types de sols. La caractérisation des deux typologies paysannes des sols ne vise pas à déterminer une typologie universelle qui aurait du sens pour tous les paysans du Mali-Sud, mais une telle analyse devrait éclairer l'organisation et le fonctionnement des typologies des sols paysans, postulat avant toute utilisation pour la recherche ou le développement agricole.

Des systèmes de connaissances diversifiés

Le recensement et la description des sols paysans dans les villages de Dentiola et Zanférébougou ont permis de distinguer une diversité de type de sols paysans.

Les connaissances des paysans sur l'agro-système travaillé sont diversifiées. Les paysans de Dentiola reconnaissent 6 types de sol sur leur territoire qui s'insèrent pourtant sur une roche mère homogène et sur des toposéquences peu développées (0,5 % de pente en moyenne du haut au bas d'une toposéquence de 5 km). De plus, les paysans connaissent et décrivent souvent plus de sols qu'ils n'en travaillent dans leur exploitation. L'apprentissage se déroule également au cours des travaux collectifs et échanges de journée de travail avec d'autres agriculteurs.

Une organisation courante des systèmes de connaissances

Les savoirs techniques locaux sont issus d'un double processus de distinction et d'association des objets du réel en entités homogènes. Chaque entité prend du sens, pour l'auteur de la typologie, qui lui attache des caractéristiques lui donnant une qualité unique. Chaque entité est donc définie autour de variables de caractérisation qui permettent de la distinguer des autres entités. Les savoirs techniques locaux sont donc organisés dans un système de connaissance composé (entités et variables).

Lors de la caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols dans les deux villages, nous avons regroupé les variables des paysans selon leur sens. Les similitudes et les dissemblances entre les deux grilles de caractérisation des sols paysans peuvent donc être analysées.

Chaque entité, qu'elle appartienne à l'un ou l'autre des systèmes d'information locaux, se définit par des variables qui permettent une description fine de l'entité : les variables de description.

Ces variables sont la couleur, la texture, la structure de l'horizon superficiel du sol ainsi que sa localisation sur le territoire villageois (appartenance à un sous terroir, distance au village, étendue de sa surface ou position sur la toposéquence).

Des variables fonctionnelles traduisent l'insertion du type de sol paysan dans le fonctionnement de l'agro-système. Les paysans s'attachent à décrire la réaction des types de sol vis-à-vis des eaux de pluies, les besoins en fumure organique et minérale, l'effet de celles-ci dans les sols (durée et intensité de l'effet), les spéculations pouvant être emblavées et les modalités de travail du sol.

Enfin, des variables de risques exposent les risques encourus sur chaque type de sol. Ils caractérisent leurs types de sols à travers le niveau de risque d'enherbement, l'aptitude des types de sols face à de fortes ou de faibles pluies et le risque d'érosion et de ruissellement.

Cette organisation basée sur trois grandes catégories de variables est commune aux deux typologies des sols paysans de Dentiola et Zanférébougou et peut être comparée aux organisations établies par d'autres études sur les typologies paysannes des sols. Certains auteurs parlent de critères distinctifs (ou *physical dimension* pour les auteurs anglophones) (Ettema, 1994) pour parler des variables de description et de critères de potentialités et de contraintes (Kanté et al., 1995) ou *perceptual dimension* (Ettema, 1994) qui recouvrent les variables de risques et de fonctionnement précédemment décrites.

Les organisations des typologies de sols paysans présentées sont comparables même si les entités et les variables utilisées ne sont pas nécessairement partagées par tous les paysans et équivalentes dans tous les territoires.

D'après Olivier de Sardan (1995), le savoir « *règle les pratiques* ». Sur la base des savoirs techniques locaux, les paysans établissent des règles de gestion afin de construire la théorie des pratiques à mettre en œuvre sur chacun des types de sol. La conduite de chaque type de sol est donc cadrée par un cortège de règles de gestion préétablies. Les savoirs techniques locaux, qui forment un ensemble de savoirs pour l'action pour un groupe social, sont à l'interface entre le système de connaissance et le système opérant.

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols par les paysans du Mali-sud peuvent donc être analysées par « *la pensée des sujets, la façon de concevoir les choses et de leurs donner des valeurs* » (Darré et al., 2004). La caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols participe à l'étude des déterminants des pratiques de gestion de la fertilité des sols.

Quelques éléments similaires

Des entités de sols communes

La comparaison des typologies des sols paysans caractérisées dans diverses zones du Mali-sud est possible tant que ces zones représentent les mêmes systèmes de culture conduits en agriculture familiale. Une telle comparaison permet de définir des éléments superposables, qui ont valeur de caractère ordinaire des savoirs car partagés par un large ensemble de paysans.

Cependant, une correspondance entre deux types de sols appartenant à des territoires et des zones agro-écologiques distinctes et sur des substrats différents n'implique pas une équivalence à l'identique. La mise en relation des différentes typologies étudiées au Mali-sud est présentée dans le Tableau 14.

Certaines entités sont partagées par les typologies, elles ont donc un caractère usuel. Les sols gravillonnaires, *Bele*, *Bele dugukolo* ou *Niangtioón*, sont décrits par l'ensemble des typologies prises en compte, (Kanté et al., 1995, Diallo et al., 1995, 1998, Defoer et al., 2000) ainsi que les typologies paysannes de sols de Dentiola et Zanférébougou. Ces sols, situés en haut de la toposéquence correspondent aux sols peu évolués d'érosion sur cuirasse de la classification CSPS. Ils appartiennent à la zone sylvo-pastorale et même s'ils ne présentent pas les meilleures propriétés agronomiques, ils sont mis en culture dans tous les territoires villageois concernés.

Les typologies paysannes des sols identifient des sols de milieu de toposéquence de la famille des sols ferrugineux tropicaux lessivés (CSPS, 1967). Les typologies y distinguent cependant souvent deux types de sols paysans. Un des sols paysans est reconnu pour son caractère sableux (*Cencen*, *Dasigué*) alors que l'autre est reconnu pour être de couleur rouge (*Ble*, *Kankoungo*). Ces deux sols paysans ne correspondent pas nécessairement à deux ensembles homogènes de sol, mais sans doute à des sols ayant évolués différemment suivant leur position sur la toposéquence, à des degrés divers de dégradation ou à des sols sur substrats différents.

De même les sols hydromorphes à pseudogley ou gley (CSPS, 1967) ont leurs références dans les typologies paysannes concernées. Ils portent cependant des noms variés dans chacune des typologies. Les noms de sols font référence à la couleur de l'horizon de surface et à leur lourde texture. Il n'est pas exclu que les sols hydromorphes à gley ne soient pas connus dans certains villages car représentant de faible surface ou non présent.

Tableau 14. Résultats obtenus replacés dans les typologies de sol du Mali-sud

	Classification française des sols	Typologie des sols du Djitoumou	Typologie des sols de Zanférébougou	Typologie des sols de Noyaradougou	Typologie des sols de la zone du Falo	Typologie des sols de Danzana *	Typologie des sols de Dentiola
Classification	CPCS 1967	Diallo D., Keita D. 1995	Blanchard M.	Defoer T. Kanté S., Sanogo J-L. 2000	Diallo D. 1998	Kanté S. Defoer T. 1995	Blanchard M.
	Couverture mondiale	Zone guinéenne, 1000-1400 mm, Haut Bani Niger (Bambara)	Zone soudanienne, 650-1300 mm, Kéné Dougou (Sénoufo)	Zone soudanienne, 650-1300 mm, Kéné Dougou (Sénoufo)	Zone soudanienne, 650-1300 mm, Plateau de Koutiala (Bambara)	Zone soudanienne, 650-1300 mm, Plateau de Koutiala (Bambara)	Zone soudanienne, 650-1300 mm, Plateau de Koutiala (Bambara)
	Sol peu évolué d'érosion sur cuirasse	Bélé dugukolo	Bele	Bele	Bélé dugukolo	Niangtioón	Bele marion
Types de sol	Sol ferrugineux tropical lessivé induré, Lithosol	Fuga gilin		Fouga	Fuga		Fouga
	Sol ferrugineux tropical lessivé modal	Cincin dugukolo	Bogoble Cencen	Cencenble	Cencen blé Cencen fing	Kankoungo Dasigué	Dugukoble Cencen
	Sol hydromorphe à pseudogley ou gley	Bira dugukolo Fala djé dugukolo Fala fing dugukolo	Bogodje Bogofin, Iè	Moura Dugukolo fin	Boa dié Boa fing	Faraka Bouôo	Djékono Dugukolofin
Variables		Modelé Conditions hydriques Texture Couleur Végétation	Couleur, texture Localisation, modelé Aptitude au travail Besoin en fumure organique Attitude face aux pluies Aptitude culturale Sensibilité à la sécheresse, érosion Enherbement	Modelé Couleur, texture Niveau de fertilité Aptitude au travail Régie Hydrique Enherbement Sensibilité à l'érosion	Modelé Régime hydrique Sensibilité à la dégradation Aptitude culturale	Aptitude au travail Couleur et Texture Végétation (indicateur de fertilité) Sensibilité à la sécheresse Sensibilité à l'érosion Niveau de fertilité Modelé Enherbement	Couleur, texture Localisation, modelé Aptitude au travail Besoin en fumure organique Attitude face aux pluies Aptitude culturale Sensibilité à la sécheresse, érosion

* : la correspondance des types de sols a été réalisée sur la base des descriptions des types de sols paysans

Des variables partagées

Les paysans s'appuient sur leurs sens olfactif, visuel et tactile, pour distinguer les sols sur lesquels ils travaillent, ou ont travaillé et ainsi déterminer le type de sol paysan. **Les savoirs techniques locaux s'appuient donc sur des connaissances sensorielles qui apportent des savoirs discriminatifs qualitatifs puis des appréciations quantitatives** (par Helmholtz (cité par Piéron, 1932)).

Les paysans font, en premier lieu, référence au sens visuel et tactile pour apprécier un sol de manière intuitive, sans mesure ou échelle objective d'analyse.

La couleur, la texture et la structure du sol s'explique d'ailleurs en langue Bambara sous un terme unique, *dugukolo cogoya*³⁰ (Père Bailleul, 2000). La couleur et la texture sont citées dans toutes les typologies présentées et dans de nombreuses typologies des sols à travers le monde, comme le montre Ettema (Ettema, 1994). Ces variables ont donc un caractère universel, directement issus des perceptions sensorielles. Les paysans des deux villages d'étude établissent une relation entre la couleur et le niveau de fertilité des sols. Un sol riche est un sol qui renferme de la pourriture, donc il est de couleur foncée. Cette relation couleur-fertilité se retrouve dans de nombreuses typologies des sols et correspond à la base de la détermination du niveau de fertilité des sols, longtemps retenue en sciences agronomique, la relation taux de matière organique-niveau de fertilité.

Le modelé ou la localisation des types de sol paysan est une variable souvent présentée dans les typologies paysannes des sols. Les paysans reconnaissent qu'un type de sol se définit par sa position sur la toposéquence. Diallo *et al.* (1995) et Kanté *et al.* (1995) avancent même des typologies paysannes des sols hiérarchisées et organisées en deux niveaux supérieurs et inférieurs. Le niveau supérieur concerne les terrains ou positions sur la toposéquence et le niveau inférieur les terres ou type de sols paysans. Les paysans des villages de Dentiola et de Zanférébougou n'ont pas fait référence à deux niveaux dans la typologie, mais à la position sur la toposéquence en tant que variables au même titre que l'éloignement au village et l'étendue du territoire villageois recouverte par le type de sol. Ils identifient, sur le territoire villageois, des espaces particuliers portant des noms de « lieux dits » qui se rapportent à un trait dominant qui caractérise l'espace. La zone de brousse appelée *Pérékolobougou*, à Dentiola, porte le nom du chasseur qui y avait installé son campement. Au nord-est du village, l'espace appelé *Foroni*, correspond à la zone des petits champs (traduction littérale du Bambara). L'importance de la localisation des types de sol paysan (position sur la toposéquence, distance, surface) illustre l'intérêt des travaux de cartographie à dire d'acteurs pour faciliter les échanges entre chercheurs, développeurs et paysans. L'utilisation de telles cartes nécessitent cependant qu'elles soient géo-référencées, afin de les rendre plus facilement utilisables (Figure 23).

³⁰ Dugukolo cogoya : la manière du sol [dugucolo tchogoya]

Enfin, il est fait référence à la **réaction vis-à-vis de l'eau** des sols, dans toutes les typologies paysannes des sols présentées. Cette réaction vis-à-vis de l'eau se décline en attitude face à la pluie, à la sensibilité à la sécheresse et à la sensibilité à l'érosion hydrique. Quelques typologies apportent des détails fonctionnels, connaissances pour l'action, avec l'aptitude d'un type de sol à être travaillé et le risque de dessèchement des cultures en cas de faibles pluies.

Les paysans des deux villages s'appuient sur les mêmes variables descriptives pour décrire leurs sols agricoles même s'il s'agit de paysans de différentes ethnies et de sols différents. Les variables utilisées par les paysans pour caractériser leurs sols sont comparables aux variables utilisées par les pédologues (couleur, structure et texture).

Quelques éléments divergents

Des entités peu partagées

Une entité de sol paysan n'est pas citée dans toutes les typologies de sol présentées. Le type de sol *Fuga* ou *Fouga* correspond au sol ferrugineux tropical lessivé induré ou lithosol (CSPS, 1967). Son absence dans certaines typologies peut s'expliquer par sa faible représentation sur des territoires villageois. De plus, ce sol appartient à la zone sylvo-pastorale avec de faibles intérêts agronomiques, les paysans ont pu ne pas y faire référence lors des enquêtes. Au village de Dentiola, un seul paysan sur les 15 enquêtés y a fait référence. Cependant, ce sol est reconnu par les éleveurs peulhs sous le nom de *Bowal* et quelques études sur les milieux de l'Afrique de l'Ouest y font référence dès les années 50. Les *Fouga* seraient des « zones plates de la zone de savane soudanienne où le sol fait place à de grandes cuirasses rougeâtres » (Brasseur, 1958) reconnu par les éleveurs peulhs sous le nom de *Fuukaawo* comme des zones de savanes arbustives sur cuirasse (Diallo, 2006).

Certaines variables peu partagées qui ont du sens

La végétation naturelle n'a pas été citée comme variable de caractérisation des types de sols paysans dans l'ensemble des typologies. Les paysans des villages de Dentiola et Zanférébougou ont expliqué qu'ils n'abordent pas la végétation naturelle comme une variable qui caractérise un type de sol mais plutôt comme un indicateur du niveau de fertilité pour un type de sol donné. Les paysans expriment davantage des variables orientées vers la production agricole lors des entretiens sur les types de sol.

L'aptitude culturale des types de sols reconnus par les paysans est exprimée dans l'ensemble des typologies présentées. Elle fait cependant référence à des éléments très différents selon les typologies. Elles présentent soit la productivité attendue de la terre, comme le montre M'Biandoun auprès des paysans du Nord Cameroun (M'Biandoun et al., 2003), soit une appréciation subjective du niveau de fertilité des sols, exprimée à travers l'appréciation des besoins en fumure organique (savoirs techniques locaux sur les sols Tableau 9 et Tableau 12). Cette variable de fonctionnement des sols, largement orientée vers la production agricole, représente une connaissance « actionnable », ayant un effet direct sur les pratiques agricoles.

La prise en compte du taux d'enherbement est peu fréquente dans les typologies paysannes des sols. Le désherbage représente pourtant un poste important de travail pour les paysans et demande une gestion particulière des différents moyens de lutte disponibles (herbicides sélectif ou total, sarclage, désherbage). La prise en compte du risque d'enherbement excessif révèle la nécessité du respect des délais avant le sarclage, de l'application d'herbicides ou des difficultés dans la lutte contre les adventices sur certains types de sols. Les adventices des champs ont longtemps été étudiées comme indicateurs de la succession culture-jachère-culture (Pontanier et Floret 2003, Donfack et al., 1996) ou comme indicateur du niveau de fertilité des sols (M'Biandoun et al., 2003).

Les paysans considèrent la présence, l'état ou l'abondance des adventices comme un indicateur du niveau de fertilité des sols (voir le Chapitre 4.1.2. Des indicateurs de fertilité des paysans), mais l'abondance et le niveau de risque d'enherbement excessif sont analysés comme variables caractérisant un type de sol. Cette variable a un caractère actionnable car elle implique la mise en œuvre d'un programme particulier de lutte contre les adventices. Les sols sont davantage sableux à Dentiola. L'importance du sable, la raréfaction des herbes et des arbres limitent le risque causé par les adventices, même si quelques paysans y font référence, ils expliquent que cela n'a pas d'incidence sur les pratiques de lutte contre les adventices. A Zanférébougou, les sols, plus diversifiés, se caractérisent à travers le niveau de risque d'apparition d'adventices, car la zone plus arrosée présente une pression des adventices plus forte et la lutte contre les adventices y est difficile.

Des règles de gestion particulières sur les types de sol

Par la démarche adoptée dans cette approche de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols, nous avons cherché à mettre en exergue le caractère « actionnable » des savoirs techniques locaux et de déterminer le fonctionnement des relations entre savoir paysan et pratiques agricoles.

Les savoirs techniques locaux sont des éléments déterminants des pratiques. Les paysans apprécient les caractéristiques des sols pour les distinguer et les identifier. Certaines caractéristiques impliquent la mise en œuvre de pratiques culturelles particulières. Les paysans définissent alors un cortège de règles de gestion, applicable à chaque type de sol, pour encadrer la mise en œuvre des pratiques agricoles. Ces règles restent souples et sont adaptées à la situation du moment de la décision.

La présentation des règles de gestion, établies par les paysans, pour chaque type de sol, est un élément nouveau des études de caractérisation des types de sols paysans.

Les paysans des villages de Dentiola et de Zanférébougou ont fait référence à trois groupes de règles de gestion pour la conduite des cultures selon les types de sol :

- le travail du sol,
- les apports de fumure organique et d'engrais minéraux,
- et l'emblavement.

Les paysans de Zanférébougou ont spécifié des règles de gestion de lutte contre les adventices.

Les règles paysannes de gestion du **travail des sols** définissent des périodes de préparation des types de sols selon l'avancée de la saison des pluies.

A Dentiola, les sols blancs doivent être préparés précocement, les sols noirs et les sols sableux peuvent être préparés dès les premières pluies alors que les sols rouges doivent avoir été humidifiés suffisamment avant le passage de l'outil tracté.

A Zanférébougou, au contraire, les sols blancs ne peuvent être labourés qu'après le début de l'hivernage. Les premiers sols labourés sont les sols noirs et les sols sableux. Les sols rouges et les sols gravillonnaires peuvent être préparés dès les premières pluies. Les règles d'organisation des travaux de labour en début d'hivernage évoluent d'un territoire villageois à l'autre car les sols n'ont pas les mêmes caractéristiques. Cependant, les paysans reconnaissent que les sols sableux sont friables et présentent un ressuyage rapide et peuvent donc être préparés en début de saison et/ ou après de fortes pluies dans les deux territoires. Les sols les plus lourds, devant être préparés après quelques pluies, avant qu'ils ne soient trop humides ne correspondent pas aux mêmes types de sols dans les deux villages (sol noir au village de Dentiola et sol rouge au village de Zanférébougou). De plus, la mise en pratique de cette règle de gestion de la préparation des sols dépendra de la disponibilité des sols dans les exploitations agricoles, mais les paysans possédant divers types de sols paysans ont plus de degrés de libertés en début de campagne pour répartir les travaux de préparation des champs.

Les paysans des deux villages ont élaboré des règles de gestion des **apports de fumure organique** en s'appuyant sur les besoins des sols, la durée de l'effet de fumure organique et la productivité de la terre. Au village de Dentiola, les apports de fumure organique doivent aller occasionnellement sur les sols rouges qui présentent une productivité réduite. Les sols sableux doivent recevoir des apports réguliers de fumure organique (effet limité dans le temps) alors que les sols noirs, considérés comme riches doivent recevoir des apports avant chaque emblavement en céréales (bonnes productivité des terres). Les sols blancs ne doivent pas recevoir de fumure organique (riziculture des femmes, culture individuelle). A Zanférébougou, les sols noirs ne doivent pas recevoir de fumure organique car ils sont considérés comme déjà fertiles et localisés sur un terroir difficile d'accès. Les sols blancs, gravillonnaires et rouges doivent recevoir des apports réguliers (tous les 3 à 5 ans) alors que les sols sableux doivent être amendés de façon localisée.

Les règles de gestion **d'implantation des spéculations** sur les types de sol varient dans les deux villages. A Dentiola, la règle veut que la rotation coton-maïs-sorgho soit installée sur les sols noirs ou sableux. A Zanférébougou, la rotation coton-maïs doit occuper les sols gravillonnaires et rouges. Cette différence s'explique par les surfaces respectives de chacun de ces types de sols dans les deux territoires villageois. Les sols noirs et sableux représentent le rapport qualité- surface des sols le plus favorable du village de Dentiola. De même, à

Zanférébougou, les sols gravillonnaires et rouges occupent la majorité de la surface du territoire villageois tout en étant de bonne qualité.

Les règles de gestion de **lutte contre les adventices** ne sont explicitées qu'au village de Zanférébougou. Les paysans font la différence entre les sols nécessitant le respect des délais avant sarclage (sols sableux et sols rouges) et des sols nécessitant une bonne gestion des sarclages et l'utilisation d'herbicides (sols noirs et sols blancs). L'année de la récolte des données (2007) correspondait à une période de remise en question de la culture cotonnière par les paysans du Mali-sud suite à une mauvaise installation de la pluviométrie, un fort niveau d'endettement et un prix peu attractif d'achat du coton-graine (160 Fcfa/kg, campagne 2007-08). Les paysans ont limité leurs dépenses en herbicides même s'ils considéraient qu'il aurait été bon d'en appliquer sur certains types de sols.

ELEMENTS DE CONCLUSION

La caractérisation des savoirs techniques sur les sols permet de reconnaître la diversité des types de sol et de variables reconnues par les paysans ainsi que la forme sous laquelle ils les expriment.

Les paysans de Dentiola identifient six types de sols sur le territoire du village : Djekono, sol blanc, Bele marion, sol gravillonnaire, Dugukoloble, sol rouge, Fougua, sol induré, Dugukolofin, sol noir et Cencen, sol sableux.

Les paysans de Zanférébougou reconnaissent cinq types de sols : Bele, sol gravillonnaire, Bogoble, sol rouge, Cencen, sol sableux, Bogofin, sol noir et Bogodje, sol blanc.

Les savoirs techniques locaux sur les sols sont organisés dans un système de connaissance composé d'entités et de variables.

- *Chaque entité est définie à travers des variables de description comme la couleur, la texture, la structure de l'horizon superficiel ou la localisation sur le territoire villageois.*
- *Des variables de fonction décrivent leurs réactions vis-à-vis des eaux de pluies, leurs besoins en fumure organique et minérale, ses effets, les spéculations qui peuvent y être implantées ou les modalités de travail du sol.*
- *Des variables de risque exposent les risques reconnus par les paysans comme le risque d'enherbement, l'aptitude face aux pluies, à l'érosion ou au ruissellement.*
- *Enfin, les paysans définissent un cortège de règles de gestion applicable à chaque type de sol pour encadrer la mise en œuvre des pratiques agricoles (travail du sol, apports de fumure organique et d'engrais minéraux, spéculation à emblaver, lutte contre les adventices).*

Des analyses de granulométrie et de composition chimique de chaque type de sols ont permis de caractériser les sols paysans avec des critères scientifiques, et de reconnaître les conditions d'application des règles de gestion de ces sols.

Les analyses permettent également de rapprocher les savoirs techniques locaux aux sciences exactes, même si les deux types de savoirs présentent des objectifs et perceptions différentes et s'appuient sur leurs propres méthodes.

Les deux types de savoirs sont complémentaires avec des entités et des variables peu partagées par les deux systèmes de pensée, source de changement.

La caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols permet aux agronomes de disposer d'un langage commun avec les paysans pour analyser les pratiques agricoles et faire de la recherche intervention.

Chapitre 4.1.2. Des indicateurs de fertilité des paysans

Nous présentons, dans ce second chapitre, les résultats d'entretiens conduits auprès de paysans des deux villages, sur les observations d'indicateurs de la fertilité sur leurs parcelles. L'objectif de ce chapitre est de déterminer la diversité des indicateurs de la fertilité des sols utilisés par les paysans. Nous tenterons, également, d'évaluer la pertinence de l'un de ces indicateurs à travers des mesures au champ.

Nous appellerons **indicateurs de fertilité des sols**, les indicateurs liés à une bonne productivité et une richesse des sols et **indicateurs de sols dégradés**, les indicateurs attachés à une mauvaise productivité de la terre ou du travail, et une certaine pauvreté des sols.

Les indicateurs de fertilité des sols, utilisés par les paysans, leur indiquent une relation de causalité entre la présence d'un indicateur (ou son état) sur les sols, les plantes cultivées et les adventices et le niveau de fertilité des parcelles (Figure 28).

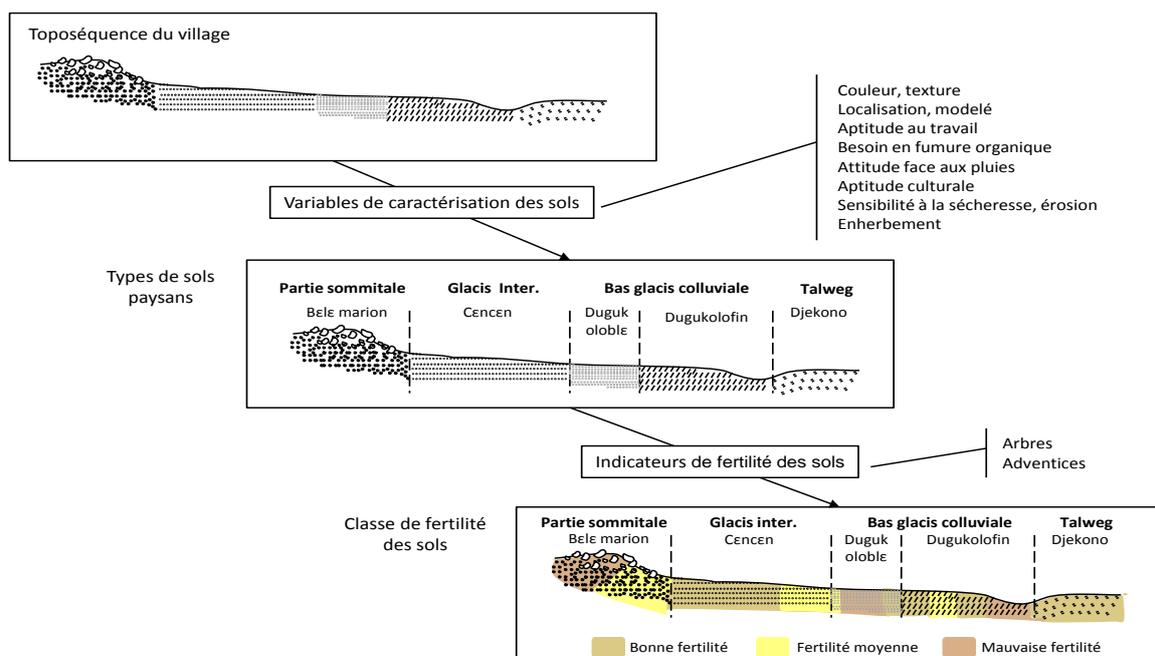


Figure 28. Caractérisation théorique du réel par les paysans

Observation des indicateurs de fertilité « dans le temps et l'espace »

Au cours des travaux de préparation du sol, d'installation puis d'entretien des cultures, les paysans parcourent leurs parcelles, observent les composantes de l'agro-système et analysent l'état de la ressource en terre à travers un ensemble d'indicateurs. Ces indicateurs ont été

listés par mes soins, au cours des observations effectuées sur les champs en leur compagnie. 18 indicateurs ont ainsi pu être reconnus.

Ces indicateurs permettent aux producteurs de juger du niveau de fertilité ou de pauvreté des sols cultivés. Ils sont directement observables sur les sols avec l'état de surface, la couleur ou les marques d'érosion ou observables sur des éléments de l'agro-système indirectement corrélés avec le niveau de fertilité des sols. L'état des plantes cultivées (taille, couleur, résistance à la sécheresse...) et la présence et l'abondance des adventices des champs sont autant d'indicateurs indirect de l'état des sols. Les indicateurs varient au cours des périodes du cycle cultural. Certains indicateurs n'ont de sens qu'en début d'hivernage ou au contraire à la période de la récolte.

Appréciation par les paysans de la fertilité des sols

Évolution des indicateurs utilisés dans le temps

Les indicateurs utilisés par les paysans pour définir le niveau de fertilité des sols cultivés n'ont de sens qu'à une période donnée car chaque indicateur correspond au reflet du bon fonctionnement de l'agro-système qui n'a de sens qu'à un moment donné du cycle. Nous avons suivis ces indicateurs lors de la campagne 2006-07, pour les périodes de la levée, au milieu du cycle et à la période de la récolte. Les 29 observations réalisées à chacune des périodes sur les parcelles du village de Dentiola permettent de suivre l'évolution de l'importance des indicateurs auxquels font référence les paysans. La Tableau 15 présente la répartition des indicateurs observés au cours des différentes périodes par les paysans des villages de Dentiola et Zanférebougou au cours de la campagne 2007-08.

Tableau 15. Références aux indicateurs au cours du temps

<i>% de référence</i>	<i>Au cours de la levée</i>	<i>Au milieu du cycle</i>	<i>A la récolte</i>
<i>État des plantes à la levée</i>	48%		
<i>Levée des plants</i>	18%		
<i>Taille des plants</i>	34%	97%	93%
<i>Croissance des plants</i>	7%	45%	29%
<i>Développement des plantes</i>			
<i>Largeur des feuilles</i>	19%	59%	93%
<i>Largeur des tiges</i>	18%	41%	79%
<i>Couleur des feuilles</i>	41%	100%	96%
<i>Taille des fruits</i>			89%
<i>Rendement</i>			21%
<i>État de la surface du sol</i>	59%	55%	11%
<i>Marque d'érosion</i>	27%	34%	4%
<i>Etat du sol</i>	34%	48%	11%
<i>Adventices</i>	70%	45%	39%
<i>Autre indicateur</i>	18%	0%	0%
<i>Résistance à la sécheresse</i>	0%	0%	25%
<i>Présence d'eau</i>	0%	3%	0%
<i>Faune du sol</i>	0,1%	0%	0%

Une diversité d'indicateurs utilisés par les paysans

Les paysans s'appuient sur un ensemble d'indicateurs afin de juger de l'état de fertilité de leurs sols. Ces 18 indicateurs peuvent être classés en trois grandes catégories :

- les indicateurs physiques d'état des sols,
- les indicateurs bio-écologiques,
- et les indicateurs de productivité.

Afin de tenter de juger de la pertinence des indicateurs utilisés par les paysans, nous proposons de les décrire, d'évaluer leur caractère universel ou nominal pour les paysans et de les replacer par rapport aux connaissances scientifiques (écologiques, pédologiques et agronomies). Seuls les indicateurs de productivité ne seront pas décrits spécifiquement. Ils correspondent uniquement au niveau de production agricole des années précédentes.

Les indicateurs physiques d'état des sols

La **couleur, la texture et la structure des sols** sont des éléments qui indiquent aux paysans le type de sol auquel appartient la parcelle. Le type de sol est un indicateur de la classe de fertilité. Même si un champ anciennement mis en culture peut présenter une fertilité inférieure aux autres sols du même type, l'appartenance à un type de sol permet de juger de la classe de fertilité et du potentiel qui pourrait être atteint. Les variables de description caractéristiques de la typologie des sols paysans (couleur, texture et structure) sont les premiers éléments observés sur l'horizon de surface d'un champ. L'état de surface du sol est largement cité par les paysans pour justifier d'un niveau de fertilité des sols, particulièrement à la levée et au milieu du cycle (Figure 29).

La présence excessive de sable en surface, les marques d'une érosion hydrique (tassement, rigole, langue de sable, plants arrachés...) ou une structure dure et compacte sont présentées par les paysans comme des indicateurs d'une certaine pauvreté de leur sol. Un sol riche et fertile ne serait pas soumis à une forte érosion hydrique pour les paysans, car il serait plus résilient face aux agressions. Les marques d'érosion sont citées en début de campagne (pluies violentes sur des sols nus) et en milieu de campagne (matérialisation de rigoles de ruissellement) mais très peu en fin de campagne où les seuls indicateurs concernent la plante cultivée, son développement et sa fructification.

A l'inverse, un sol de structure aérée, qui gonfle en présence d'eau et qui maintient l'humidité après la pluie est un indicateur paysan de fertilité correspondant à un bon taux d'éléments fins et de matière organique et qui apporte souplesse et maintien de l'humidité.

Enfin, la couleur de l'horizon travaillé, à l'état humide, est appréciée pour juger du niveau de fertilité des sols. Les paysans associent une teinte foncée à la présence de matière organique en décomposition dans le sol.

L'évaluation du niveau de fertilité d'un sol à travers sa couleur reste donc subjective car sa définition reste soumise au jugement de chacun, sans l'utilisation d'un outil spécifique comme le code Munsell³¹.

De plus, la couleur est le résultat visible du taux de matière organique mais aussi d'autres éléments qui participent à l'établissement du niveau de fertilité ou à son niveau de pauvreté. La valeur de la teinte n'a alors de sens qu'en référence à une catégorie de sols donnés.

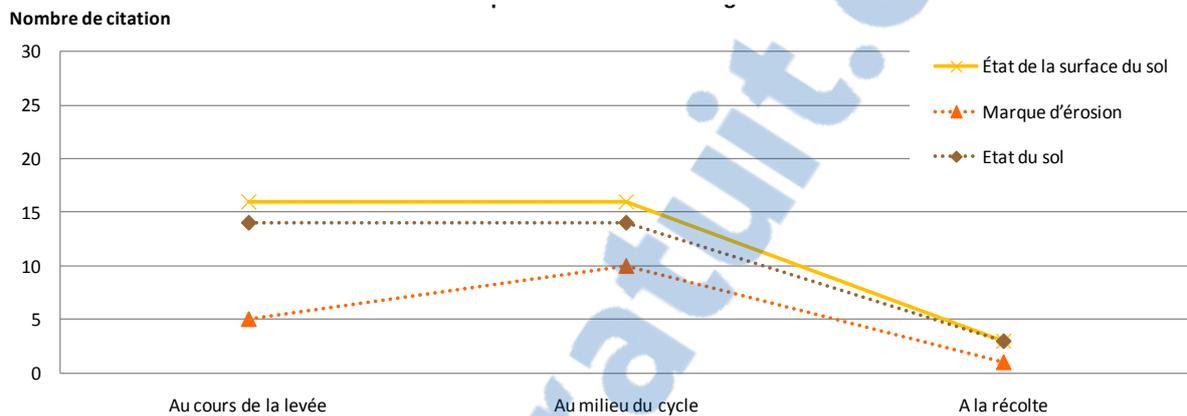


Figure 29. Références aux indicateurs d'état des sols au cours de la campagne agricole

Les indicateurs bio-écologiques

Le développement végétatif et la fructification des plantes cultivées

Le premier indicateur présenté est **la levée des plantes cultivées**. Après les semis, le temps de latence entre la mise en terre des graines et la levée des premiers plants et donc la densité de levée des graines est un indicateur largement utilisé. Les paysans analysent ces indicateurs, selon les cultures, et s'en servent également comme un indicateur de la qualité des semences, particulièrement pour les graines de coton dont ils n'ont pas la maîtrise de la qualité. La levée s'explique en langue bambara sous la terminologie de « *wuli cogo* » (la manière de lever) (Père Bailleul, 2000).

L'état de la levée des plantes se traduit par l'observation, le long d'une ligne, du nombre de poquet « vide », n'ayant pas germé. Mais, il s'agit également de la hauteur des plants à la levée et du facteur de croissance. Les paysans observent la taille des plants sur les différentes parties de la parcelle, et analysent cette hauteur ou ces hauteurs dans le temps... la vitesse de croissance est analysée, particulièrement entre les semis et les re-semis.

Un second indicateur de fertilité des sols au début du cycle est **l'état du développement des plantes** à la période de la levée. Les paysans regardent et analysent la couleur des feuilles, la largeur des feuilles et des tiges pour juger de la fertilité de leur sol et de sa répartition dans l'espace. Les feuilles qui tendent à être de couleur foncée voir « noire » indiquent un sol fertile. Les feuilles jaunes ou rouges indiquent une forte concurrence avec des adventices, un

³¹ Code Munsell : Référentiel international des couleurs, il propose des comparaisons entre un échantillon de sol et des pastilles de couleur afin de définir la couleur du sol à travers sa teinte de base, sa clarté et sa saturation.

sol pauvre, sec ou à l’opposé inondé. L’indicateur de couleur des feuilles semble être plus utilisé sur les cultures de maïs, qui serait peut être plus sensibles.

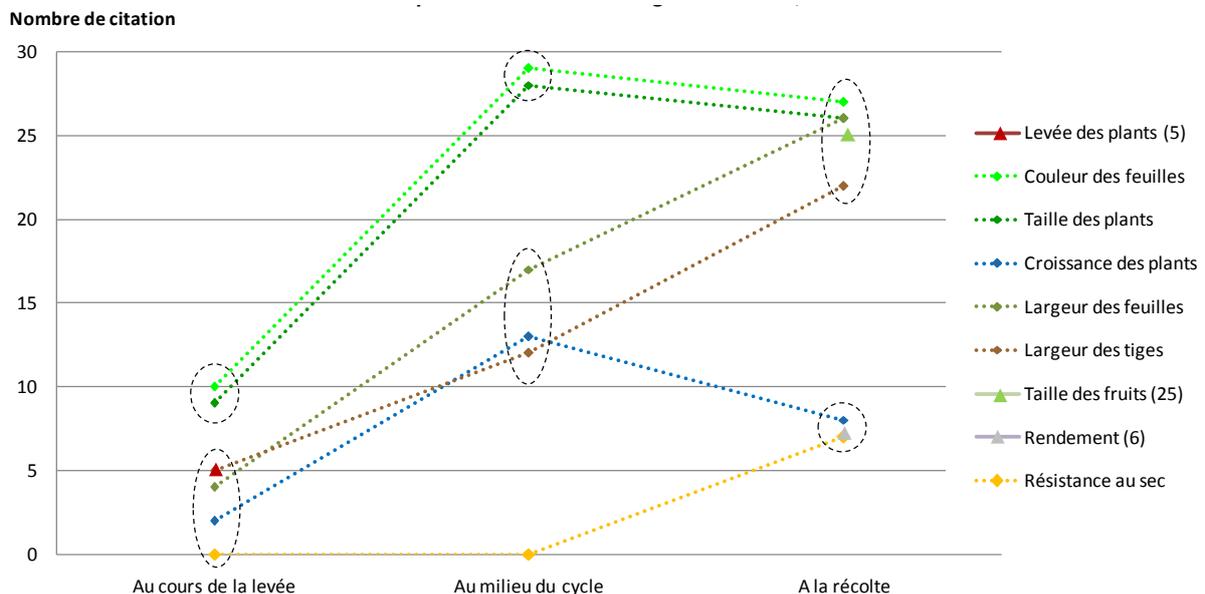


Figure 30. Références aux indicateurs propres aux plantes cultivées au cours de la campagne agricole

En début de cycle cultural, les indicateurs relatifs aux plantes qui servent aux paysans comme reflet de l’état de leur sol sont **les couleurs et la taille des plants**. Ces deux indicateurs sont d’ailleurs les principaux indicateurs de fertilité ou de pauvreté employés au milieu du cycle cultural. La largeur des feuilles et la largeur des tiges prennent de l’importance au milieu du cycle jusqu’à la période de la récolte. La vitesse de croissance des plants n’a d’importance qu’au cours de la première moitié du cycle cultural et la résistance à la sécheresse prend un sens en fin de cycle, quand, malgré l’arrêt des pluies, les cultures se maintiennent vertes.

Les adventices des cultures

Les **adventices** enfin sont des indicateurs observés tout au cours de la période de mise en culture des terres par les paysans pour évaluer la fertilité de leurs terres et son évolution. Ils intègrent dans leur analyse « l’importation » de certaines plantes par les déjections animales (indicateur de fertilité d’un sol) ou la dominance de plantes due à une résistance aux herbicides (indicateur de sols dégradés). La terminologie française parle d’adventices des cultures ou de mauvaises herbes³². En bambara, le terme utilisé « *Bin* » (herbe) ne fait pas de distinction entre les herbacées des zones de pâturages et celles combattues par les agriculteurs dans leurs champs.

Cet indicateur est largement utilisé par les paysans (57 % des paysans y font référence) cependant, les paysans expliquent que cet indicateur, même s’il a du sens en début de campagne agricole en a davantage aux autres périodes du cycle. Les travaux de labour et

³² Même si ce terme tend à disparaître du langage français depuis l’avènement de l’agroécologie et la reconnaissance de l’intérêt économique, écologique et même sociale de certaines plantes rudérales.

l'utilisation éventuelle d'herbicides limitent en effet le développement d'adventices avant la levée des plantes cultivées.

Évolution du nombre de citation faites aux indicateurs sur les adventices au cours des différentes période du cycle culturale, sur 29 parcelles suivies sur le village de Dentiola, Mali



Figure 31. Références aux indicateurs propres aux adventices au cours de la campagne agricole

De manière générale les paysans font référence à l'état des adventices pour déterminer le niveau de fertilité de leurs champs. L'état végétatif, l'abondance ou la rareté des herbes, toutes espèces confondues, sont des indicateurs au même titre que le développement végétatif des plantes cultivées. La taille, la couleur des feuilles sont donc observées. Le niveau de concurrence avec les cultures et la facilité de lutte sont des aspects qui entrent dans l'évaluation de la pression des adventices sur les champs et influent la perception de la fertilité agronomique.

Les paysans reconnaissent que les adventices répondent, comme les cultures aux conditions du milieu. La végétation spontanée est le résultat d'une combinaison des facteurs écologiques du milieu. Lorsque le sol est riche, les adventices se développent (indicateur de fertilité des sols). Cependant, le niveau d'enherbement et la technicité nécessaire pour la lutte représentent un frein important pour les paysans.

Les paysans reconnaissent la présence de certaines espèces d'adventices comme étant des indicateurs de fertilité des sols ou au contraire de sols dégradés (pauvreté chimique ou difficulté de lutte contre les herbes par exemple). Ainsi, quelques espèces sont présentées comme étant des indicateurs de fertilité des sols ou de sols dégradés.

Toutes les parcelles suivies appartiennent à la zone agro-écologique soudanienne, donc la diversité d'appréciation des espèces indicatrices de fertilité par les paysans ne dépend pas du facteur climatique. Cela peut cependant expliquer la différence d'appréciation avec des paysans appartenant à d'autres zones. Le caractère indicatif des adventices dépend surtout des moyens des unités de production. Une espèce d'adventice se développant préférentiellement sur terrain humide et riche indiquerait a priori une certaine fertilité des sols, mais pourrait être perçue comme une espèce invasive, donc un indicateur de sols dégradés si aucun moyen de lutte efficace n'est disponible sur l'exploitation.

Le Tableau 16 présente les 12 adventices auxquelles les paysans du village de Dentiola ont fait référence pour illustrer la fertilité relative de leur sol.

Tableau 16. Espèces indicatrices du niveau de fertilité des sols cultivés pour les paysans

<i>Indicateurs de fertilité des sols</i>	<i>Indicateurs de sols dégradés</i>
	Commelina benghalensis Linnaeus - Commelinaceae (Boroboro)
	Cynodon dactylon (L.) Pers., Poaceae (Narakata)
Eleusine indica Linnaeus Gaertner, Poaceae (Goentime)	Eragrostis tremula (Lam.) Hochst. ex Steud.- Poaceae (Piélé)
Pennisetum pedicellatum Trin. Poaceae (Ngolo)	Bulbostylis barbata (Rottb.) C.B. Clarke, Cyperaceae (Tchogabile)
Eragrostis tremula (Lam.) Hochst. ex Steud.- Poaceae (Piélé)	Eleusine indica (L.) Gaertn, Poaceae (Goentime)
	Dactyloctenium aegyptium, (Linnaeus) Palisot de Beauvois Poaceae (Ntégélé)
	Digitaria horizontalis Willd., Poaceae (Mendragua)
	Pennisetum pedicellatum Trin. Poaceae (Ngolo)
	Mitracarpus villosu (Sw.)DC., Rubiaceae, (Nguereda)

Quelques espèces d'adventices indicatrices de fertilité des sols

La présence de certaines espèces d'adventices est analysée avec beaucoup de prudence par les paysans. Les espèces appréciées par les animaux d'élevage et dont les graines sont disséminées par les déjections animales via la fumure organique indiquent un apport récent de fumure organique qui n'entraîne pas forcément une fertilité intrinsèque du sol. Les paysans jugent donc souvent la présence et l'abondance des espèces en fonction des pratiques de fertilisation récente.

Trois espèces sont présentées par des paysans comme des espèces indicatrices de la fertilité des sols et, par d'autres paysans, comme des espèces indicatrices de sols dégradés. Ces espèces d'adventices, si elles indiquent une certaine richesse des sols, sont également difficiles à combattre. La fertilité d'un sol étant la combinaison de la productivité de la terre, de la flexibilité du travail et de la réduction des risques, ces espèces peuvent devenir indicatrices de sols dégradés, pour certaines exploitations qui ne disposent pas des mêmes moyens de lutte.

Eleusine indica (Linnaeus Gaertner, Poaceae ou Goentime en bambara) est citée, en début de cycle cultural, comme étant indicatrice de fertilité des sols. Cependant, lorsqu'elle ne peut être maîtrisée par les paysans, elle devient un indicateur des sols dégradés.

L'*Eleusine indica* est une espèce rudérale des jeunes jachères et des parcelles cultivées qui se développe sur des sols bien drainés et devient abondante sur les sols dégradés ou sableux. Les labours tardifs ne les affectent que peu car leur enracinement est efficace. Les herbicides de pré-levée sont inefficaces sur les individus en place et les herbicides de contact ont une efficacité réduite car les plants sont denses. C'est une espèce annuelle à reproduction sexuée des zones sahélo-soudaniennes et soudaniennes. La germination intervient au moment des premières pluies provoquant de nouvelles levées avec le labour. La fructification intervient d'octobre jusqu'en décembre (Le bourgeois et Merlier, 1995).

Pennisetum pedicellatum (Trin. Poaceae ou Ngolo en bambara) est une espèce annuelle qui se multiplie par graines. Espèce rudérale, elle est abondante dans les jeunes jachères et fréquente sur les parcelles cultivées. Elle supporte tous les types de sols s'ils sont bien

drainant comme les sols à horizon superficiel sableux (sols ferrugineux). Les herbicides de pré-levée sont inefficaces et les herbicides de contact ont une faible efficacité. Après les labours précoces, les graines lèvent dès les premières pluies. Les labours tardifs ne l'affectent peu car les plants sont vigoureux. L'envahissement des parcelles peut donc être rapide (Le bourgeois et Merlier, 1995).

Eragrostis tremula (Lam. Hochst. ex Steud.- Poaceae ou *Piélé* en bambara) est indicatrice des sols dégradés. Cette espèce annuelle est caractéristique des sols légers comme les sols ferrugineux dont l'horizon superficiel est très sableux. Elle est abondante sur les vieilles parcelles cultivées et rares sur les sols plus humides et lourds. Elle est présente principalement en milieu et fin de cycle cultural car la germination n'intervient qu'en juillet (Le bourgeois et Merlier, 1995).

Les espèces d'adventices indicateur de sols dégradés

Cynodon dactylon (L. Pers., Poaceae ou *Narakata* en bambara) est une espèce vivace à reproduction sexuée mais qui se développe principalement par bouturage et drageonnage. Cette espèce des milieux secs et ensoleillés préfère les sols sableux et bien drainant (dont les sols mis en culture depuis de nombreuses années appelés sol dégradés).

Bulbostylis barbata (Rottb. C.B. Clarke, Cyperaceae ou *Tchogabile* en bambara) est une espèce annuelle à reproduction uniquement sexuée, commune des champs cultivée avec peu d'intrants qui se développe sur sols pauvre en matière organique, acide et bien drainant avec un horizon sableux (sols mis en culture depuis de nombreuses années).

Mitracarpus villosus (Sw. DC., Rubiaceae ou *Nguereda* en bambara) est une espèce annuelle se reproduisant uniquement par voie sexuée. Elle se développe sur des sols légers à horizon superficiel sableux (dont les sols mis en culture depuis de nombreuses années). Elle est commune dans les champs cultivés depuis plus de 10 ans. Elle peut être limitée par l'utilisation d'herbicide.

Commelina benghalensis (Linnaeus - Commelinaceae ou *Boroboro* en bambara) est une espèce annuelle à fort développement végétatif qui peut se disperser par bouturage et qui est résistante à la dessiccation. Elle se développe sur sols sableux. Elle apparaît comme adventice après quelques années de culture et devient rapidement une espèce invasive en culture intensive (labour, herbicide de pré-levée peu efficace et apport d'engrais répété).

Dactyloctenium aegyptium (Linnaeus, Palisot de Beauvois, Poaceae, *Ntégré* en bambara) est une espèce qui indique la présence de fumure organique car elle est apportée par les déjections animales. Cette espèce annuelle produit une importante quantité de graines et se multiplie également végétativement. Cette adventice peut être abondante sur les sols filtrants. La lutte contre l'envahissement par cette herbe nécessite l'utilisation d'herbicides de pré-levée (coton ou maïs) et des sarclages précoces. La floraison et la fructification sont rapides, pouvant entraîner une germination dès le premier sarclage.

L'ensemble des adventices présentées par les paysans comme indicatrices de sols dégradés se développent préférentiellement sur des sols légers et bien drainant. Cette caractéristique

correspond aux sols dégradés à horizon superficiel sableux. Ces espèces sont indicatrices de sols dégradés à cause des difficultés de lutte contre l'envahissement des parcelles (peu d'effet des herbicides ou du travail du sol) ou à leur développement agressif (production de grande quantité de graine, plusieurs germinations, floraison et fructification au cours de la campagne agricole ou du multiplication par bouturage).

Evaluation de l'efficacité des indicateurs de fertilité des sols

La recherche de corrélation entre le niveau de fertilité des champs et les indicateurs reconnus par les paysans est possible pour les indicateurs qui ont pu être mesurés au cours du développement des cultures, comme le niveau d'enherbement des parcelles.

L'indicateur enherbement par les adventices

Chacune des parcelles suivies a été classées selon trois classes de productivité de la terre afin de pouvoir comparer les résultats agronomiques entre les différentes spéculations, le coton, le maïs, le sorgho ou le mil.

Une première classe de productivité de la terre a été définie quand le rendement obtenu était supérieur au 3^e quartile (donc appartenant aux 25 % supérieur de la population statistique). La classe de productivité moyenne a été définie pour un rendement proche de la médiane et la mauvaise productivité pour un rendement inférieur au rendement du 1^{er} quartile (Tableau 17).

L'enherbement des parcelles est reconnu par les paysans comme étant un indicateur de fertilité des sols. Pour les paysans, plus une parcelle est enherbée, plus elle fournit aux adventices des nutriments, donc plus elle est fertile.

Tableau 17. Classes de productivité des terres par culture et niveau enherbement des parcelles

<i>En kg/ha</i>	Mauvaise productivité	Productivité moyenne	Bonne productivité
<i>Culture</i>	<i>1^{re} quartile Inférieur ou égale</i>	<i>Médiane Environ</i>	<i>3^e quartile Supérieur ou égale</i>
Rendement des produits limite (kg de MS /ha)			
<i>Coton</i>	990	1300	1 540
<i>Maïs</i>	2 330	2 715	3 750
<i>Mil</i>	2 360	2 375	3 350
<i>Sorgho</i>	980	1 330	1 830
Enherbement en début de cycle *			
<i>Moyenne</i>	1,7	2,2	1,7
<i>Ecart type</i>	0,5	0,6	0,7
Enherbement en milieu de cycle *			
<i>Moyenne</i>	2,6	2,1	2,4
<i>Ecart type</i>	1,3	0,89	1,2
Enherbement en fin de cycle *			
<i>Moyenne</i>	3,9	2,8	2,3
<i>Ecart type</i>	1,6	1,7	1,0

Note d'enherbement de 1 : 1 % de recouvrement du sol par les adventices, note de 2 : 7 % de recouvrement, note de 3 : 15 % de recouvrement, note de 4 : 30 % de recouvrement et note de 5 : 50 % de recouvrement

Les écarts type sur l'enherbement des parcelles sont relativement faibles en début de cycle (0,5 à 0,7), ce qui illustre des bonnes pratiques de lutte contre les adventices au moment de l'installation des cultures.

En milieu de cycle, les écarts types sur les notes d'enherbement sont plus forts et les notes moyennes d'enherbement sont plus élevées. Les parcelles à faible productivité présentent un enherbement plus fort que les parcelles à productivité moyenne (moindre effort de désherbage). Les parcelles à forte productivité présente une note d'enherbement supérieure aux parcelles à productivité moyenne (développement importante des adventices dû aux bonnes conditions du sol).

En fin de cycle, les écarts types des notes d'enherbement augmentent (de 1 à 1,7). L'enherbement devient plus fort pour les parcelles ayant une mauvaise productivité.

A la récolte, le taux d'enherbement ne présente pas, du point de vue agronomique, des conséquences importantes pour la production à venir. Cependant, l'enherbement à la récolte reste, pour les paysans, un sujet sensible car il rend difficile les travaux de récolte, en faisant obstacle au passage de la main-d'œuvre. Lors de la récolte du coton, si la main-d'œuvre passe entre les lignes de coton, sans être gêné, cela contribuera au maintien des fibres de coton blanches et sans résidus de feuilles. Le déplacement de la main-d'œuvre entre les plants de céréales permet, également, une récolte plus facile des épis et des tiges des céréales.

La Figure 32 illustre l'augmentation du temps de travail par le désherbage des parcelles selon la classe de productivité des terres.



Figure 32. Temps de travail pour le désherbage suivant la productivité des terres

Le désherbage nécessite plus de temps sur les terres classées en bonne productivité que sur les parcelles de mauvaise productivité, avec cependant un écart-type important. Beaucoup de parcelles nécessitent peu de désherbage, mais celles qui ont subi d'important travaux de désherbage se classent toute dans la catégorie de bonne productivité de la terre. Les paysans investissent plus de travail sur les parcelles où ils attendent une bonne productivité. Les champs présentant une bonne production sont désherbés avant les travaux de récolte pour faciliter le travail.

Discussion partielle sur les indicateurs de fertilité des sols

Des indicateurs de la fertilité des sols issus d'un processus d'apprentissage

Chaque paysan développe son propre cortège d'indicateurs de la fertilité des sols. Ces indicateurs peuvent être usuels, partagés par le plus grand nombre, ou au contraire, n'avoir de sens que pour un nombre réduit de paysans. Le caractère universel d'un indicateur, n'engage pas sa pertinence. De même, un indicateur reconnu par peu d'individus ne présage en rien de sa validité.

Les indicateurs paysans de la fertilité des sols reflètent leur propre vision et compréhension des phénomènes écologiques en cours, dans les agro-systèmes. Ils ont été définis au cours d'un processus d'apprentissage, basé sur des observations successives et des relations de cause à effet, établies par les paysans, entre les observations sur les composantes de l'agro-système (sol, plantes cultivées, adventices...) et le niveau de fertilité des sols.

Ces indicateurs peuvent faire référence à des données quantitatives mesurables (nombre, taille) ou des données qualitatives estimées ou jugées par le paysan (abondance, vigueur, couleur, ...). Ces indicateurs nécessitent donc également un apprentissage d'une échelle de valeur particulière comme des teintes de vert pour les feuilles de plants de maïs, l'abondance relative d'une adventice ou la hauteur de plants de mil...

Une utilisation limitée des indicateurs paysans de la fertilité des sols

Pour que les indicateurs paysans de la fertilité des sols soient utilisables par la recherche et le développement, il faut que la relation entre l'état de fertilité des sols et l'état de ces indicateurs soit définie et validée. L'état des indicateurs doit être quantifié, afin d'être comparé à une valeur de références et, ainsi, se forger un jugement sur l'état de la fertilité du sol. Il est donc nécessaire de disposer de méthodes de quantification de l'état des indicateurs et de références de l'état de la fertilité des sols qui y est associée.

Des indicateurs paysans de la fertilité reconnus par la recherche

La couleur des sols

La relation entre la couleur des sols et leur niveau de fertilité a été révélée par de nombreuses études sur les typologies paysannes des sols, dans des zones variées et auprès de populations hétérogènes (Diallo et Keita, 1995, Ettema, 1994, Kanté et Defoer, 1995, Somé et Alexandre, 1997). Elle est reprise par les paysans des deux villages d'étude.

Les sciences exactes reconnaissent que la couleur d'un sol est une variable synthétique qui reflète un ensemble de propriétés du sol, comme le taux de matière organique, de fer, de calcium, l'humidité ou les caractéristiques des éléments fins (Courault et al., 1988). La relation entre l'état de fertilité d'un sol et sa couleur dépendrait du type de sol lui-même. La couleur d'un sol indiquerait donc son niveau de fertilité, comparativement à d'autre sol du même type.

La présence ou l'abondance des adventices

Les adventices des cultures sont depuis longtemps étudiées comme indicateur de la succession mise en culture, mise en jachère, remise en culture (Floret et al., 1993). Le développement d'un cortège floristique, l'apparition ou la disparition d'une espèce sont reconnues pour refléter l'évolution des conditions écologiques du milieu (M'Biandoun et al., 2003). Certaines adventices peuvent devenir indicatrices de l'état d'un sol lorsque la présence ou l'abondance d'une espèce est liée à un niveau de fertilité. Les paysans laissent un champ en jachère suite à l'enherbement excessif de celui-ci, qu'ils ne peuvent maîtriser (Somé et Alexandre, 1997). Ils remettent en culture une jachère, lorsque certaines herbacées apparaissent ou disparaissent.

De plus, il apparaît qu'une espèce d'adventice peut être indicatrice de fertilité par sa présence ou son abondance, mais si elle devient difficile à maîtriser dans les conditions techniques de l'exploitation, elle peut devenir indicatrice d'un sol dégradé.

La hauteur des plants

La hauteur des plants est un indicateur paysan de la fertilité des sols utilisé également par les sciences agronomiques. Il sert à porter un jugement de valeur sur la production d'une culture, lors d'un suivi d'essais en plein champ. Les mesures de hauteur d'un échantillon de plants de maïs, répartis sur l'essai, permettent d'estimer la production en grain. La relation mathématique reliant la hauteur moyenne des plants, pour une variété de maïs, et la production en grain a été modélisée, permettant cette estimation (Tittonell et al., 2005). Les mesures de production sont plus rapides, non destructives et ne nécessitent pas d'échantillon.

Des mesures de l'état des indicateurs difficilement applicables

La quantification de l'état de certains indicateurs implique le développement de méthodes de mesures minutieuses, qui peuvent être difficilement applicables sur le terrain.

Pour quantifier la levée des plants, des mesures de densité de plants devraient être réalisées régulièrement après le semis. Les mesures de largeur des feuilles et des tiges et de grosseur des fruits nécessiteraient des mesures précises sur un large échantillon d'organe. L'état des plantes à la levée fait référence à l'état de turgescence des cultures, difficile à quantifier. La croissance des plants fait référence à la vitesse de développement et nécessiterait, pour être mesurée, des mesures de hauteur des plants à des pas de temps réguliers après le semis. La couleur des feuilles nécessiterait d'utiliser un nuancier de couleur sur des plantes dans des conditions d'humidité et d'exposition à la lumière identiques.

De plus, la quantification de l'état de l'indicateur se justifie quand la corrélation entre l'état de l'indicateur et l'état de fertilité des sols est validée.

ELEMENTS DE CONCLUSION

La diversité des indicateurs utilisés par les paysans pour juger de l'état de fertilité de leurs sols montre la richesse des compartiments de l'agro-système observés par les paysans. Ces observations évoluent au cours des saisons

Les 18 indicateurs d'état de la fertilité des sols identifiés par ce travail peuvent être classés en trois grandes catégories :

- *les indicateurs physiques d'état des sols qui regroupent la couleur, la texture et la structure des sols ;*
- *les indicateurs bioécologiques qui correspondent à la levée des plantes cultivées, l'état de développement des plantes, la couleur et la taille des plantes et le cortège d'adventices présent ;*
- *enfin, la dernière catégorie correspond aux indicateurs de productivité avec la production des années précédentes.*

Ces indicateurs d'état de la fertilité des sols très diverses ne peuvent pas tous faire l'objet d'une quantification, ou d'une caractérisation fine, car leur observation reste souvent subjective (couleur des feuilles, vigueur des plantes...) et difficilement quantifiable.

L'efficacité de l'indicateur « niveau d'enherbement » a été analysée sur les parcelles suivies sur la base du niveau d'enherbement des parcelles, des classes de productivités et du temps consacré au désherbage.

L'enherbement est plus important sur les parcelles ayant une mauvaise productivité. Les paysans investissent plus de temps de désherbage sur les parcelles où ils attendent une bonne production.

Chapitre 4.1.3. Le rôle des arbres pour la fertilité des sols

Au cours des entretiens sur le rôle des arbres sur la fertilité des sols, les paysans se sont attachés à nous décrire les arbres des champs comme un compartiment de l'agro-système qui participe à la fertilité des sols et non comme des indicateurs de la fertilité des sols, même s'ils peuvent l'être également.

Nous présenterons dans ce chapitre les résultats des enquêtes sur le rôle des arbres sur la fertilité des sols, conduites auprès des paysans des villages de Dentiola et Zanférébougou avant de présenter une discussion partielle sur la perception du rôle des arbres sur la fertilité des sols par les paysans et l'application des règles de gestion des arbres reconnues par les paysans.

Le rôle des arbres par les paysans de Dentiola

Les principaux arbres des champs à Dentiola

Au cours des entretiens sur le rôle des arbres pour la fertilité des sols, les paysans du village de Dentiola ont identifié huit principaux arbres de leurs champs. Les espèces présentées semblent avoir une importance relative selon le nombre de citations. Cette importance est quantitative mais aussi culturelle ou socio-économique.

L'arbre le plus fréquemment cité par les paysans est le karité³³ (Shi en bambara, *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn, Sapotaceae) suivi du néré de Gambie (néré, *Parkia biglobosa*). L'*Acacia albida* (Balanzan, *Acacia albida*, A. Chev., Mimosaceae), le baobab (Sira, *Adansonia digitata* L., Bombacaceae) et le tamarinier (N'Tomi, *Tamarindus indica* L., Fabaceae) sont cités régulièrement, mais se font plus rare. Enfin, les trois arbres les moins fréquemment cités appartiennent aux espèces naturelles, dites de brousse. Il s'agit du terminalia (Wolo, *Terminalia sp.*), du ptérocarpus (Guéno, *Ptérocarpus erinaceus* Poiret, Fabaceae) et du rônier (Sébé, *Borassus sp.*, Arecaceae).

Le karité et le néré sont des arbres largement répandus dans les champs. Les paysans sélectionnent leurs repousses, permettant de former des parcs à karité ou à néré. Un parc est un « système d'utilisation des terres dans lequel des végétaux ligneux pérennes sont délibérément conservés » (Bonkoumguo et al., cité par Traoré, 2003). Les deux arbres sont utilisés par les hommes pour les produits qu'ils procurent. Le karité permet de produire de l'huile (ou beurre de karité) de grande qualité. Ce beurre représente une source de lipide pour les paysans et rentre dans un marché de plus en plus organisé. Il représente une source de revenus non négligeable pour les producteurs³⁴. Les fruits du néré renferment une poudre jaune, riche en protéines, qui est appréciée par les hommes et le bétail. Les graines sont

³³ Les espèces d'arbres sont notées, lors de leur première apparition dans ce chapitre, par leur nom commun en français, suivi, entre parenthèse, par leur nom bambara, leur nom latin et le nom de l'auteur qui l'a publié.

³⁴ Les noix de karité étaient vendues à 150 Fcfa/kg en saison sèche 2007. Le beurre de karité est recherché par l'industrie cosmétique et depuis l'autorisation d'introduire d'autres graisses que le beurre de cacao dans le chocolat, par l'industrie du chocolat (moins cher, conserve le fondant, assure la brillance).

transformées en épice, le *Soumbala*. Le plus souvent autoconsommé, elle peut cependant être vendue localement.

La présence d'*Acacia albida* se limite à l'est du village. La dissémination de l'espèce serait liée à la stabulation du bétail, d'après les paysans. La présence de l'*Acacia albida* serait également lié à la présence d'une nappe phréatique peu profonde (Traoré, 2003). Le baobab est une espèce plantée par les paysans dans leur champ pour matérialiser et délimiter l'espace cultivé. Enfin, les espèces dites de brousse, sont plus rares et dépendent des choix des paysans lors du défrichage des nouvelles parcelles.

La description de la grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les arbres des champs de Dentiola ne concernera uniquement que les quatre premières espèces : le karité, le néré, l'*Acacia albida* et le baobab. Les variables de caractérisation, utilisées par les paysans, pour décrire le rôle de ces arbres pour la fertilité des sols sont présentées, sans jugement de valeur ci-dessous.

Les variables de description

Pour donner une première description des arbres de leurs parcelles et les distinguer les uns des autres, les paysans utilisent des variables de description comme la forme des feuilles, la couleur du tronc, la forme du fruit ou l'utilisation des produits issus de ces arbres. Les mêmes variables sont reconnues, en botanique, pour décrire les espèces arborées (Arbonnier, 2002).

Les paysans utilisent également d'autres variables comme la résistance des feuilles, la taille du tronc et de son écorce ou la couleur des fruits, même s'ils y font référence moins souvent. Enfin, la période de feuillaison, la couleur des feuilles et l'étendue de l'ombre sont très rarement utilisés par les paysans pour décrire ces arbres.

Les variables de fonction liées à la fertilité des sols

Afin de décrire le rôle de chaque arbre sur les sols, les paysans décomposent le rôle des arbres sur le vent, l'eau de pluie et l'érosion hydrique, ou sur la fertilité des sols (au sens de richesse organique et minérale). Les paysans décrivent ces caractéristiques à travers trois principales variables de fonction explicitées ci-dessous.

Alors que le karité et le néré limiteraient l'**action du vent** sur les sols et les cultures par, respectivement un feuillage dense et beaucoup de branche ou des larges branches, l'*Acacia albida* et le baobab auraient peu d'effet sur le vent.

Le karité serait reconnu pour limiter l'**action de l'eau de pluie**, sous le houppier, grâce à son feuillage dense, mais ses racines, petites et peu profondes, limiteraient faiblement l'érosion hydrique. Le néré limiterait peu l'action de l'eau de pluie car son feuillage ne serait pas dense et ses branches seraient espacées. Par contre, ses larges racines limiteraient l'érosion hydrique sous l'arbre. L'*Acacia albida* et le baobab auraient peu d'effet sur l'action de l'eau de pluie et sur l'érosion hydrique car ils auraient peu de feuilles et de petites racines.

Enfin, les feuilles de karité seraient reconnues pour avoir un **effet sur la fertilité des sols** lorsqu'elles tomberaient et se décomposeraient sur le sol. Les feuilles de néré, plus petites, participeraient moins à la fertilité des sols. Un paysan précise même qu'elles contiendraient

de la « soude » et dégageraient de la chaleur en se décomposant sur le sol, provoquant un effet néfaste sur les cultures et les adventices. Les feuilles de baobab, utilisées par l'homme pour l'alimentation, n'auraient pas d'effet sur la richesse organique et minérale des sols. Par contre, l'*Acacia albida* participerait à enrichir les sols grâce à la décomposition des feuilles tombées avant l'hivernage mais surtout grâce aux déjections des animaux qui séjourneraient sous le houppier en saison sèche pour profiter de l'ombre ou du fourrage ligneux qui leur serait distribué.

Les variables de risque

Les paysans expliquent que les arbres présents sur leurs parcelles peuvent également entraîner des risques par rapport au vent, aux cultures et aux adventices.

Le karité présenterait des branches fragiles face à l'**action du vent** alors que l'*Acacia albida* et le baobab auraient des branches solides qui ne risqueraient pas d'être cassées par le vent.

Le karité entrainerait peu de **risque pour les cultures** car l'arbre couvrirait peu le sol et permettrait, ainsi de conserver l'humidité. Le néré, au contraire, couvrirait le sol, faisant obstacle à la lumière et « *réduisant le passage de l'air* ». La chaleur, accumulée sous l'arbre de néré, représenterait un risque pour le développement des cultures. L'*Acacia albida* n'entrainerait aucun risque pour les cultures puisque cet arbre n'a pas de feuilles en hivernage. Le baobab ne présenterait aucun risque pour les cultures.

Enfin, le dernier risque présenté fait référence au **développement des adventices** sous le houppier du karité où l'humidité serait bien conservée par le feuillage. Le néré présenterait un risque plus réduit de développement des adventices, car même si l'humidité serait maintenue sous le houppier, la chaleur dégagée correspondrait à un risque également pour les adventices.

Les règles de gestion des arbres

Les paysans de Dentiola ont décrit les règles théoriques de gestion de ces arbres dans les champs. Ces règles de gestion concernent la plantation, le défrichage, la gestion des jeunes pousses, la taille et la coupe des arbres.

Le baobab serait le seul arbre planté. Le karité et le néré ne seraient pas défrichés lors de l'ouverture d'un nouveau champ. La raison évoquée par les paysans est qu'ils seraient peu présents naturellement dans la zone non cultivée. L'*Acacia albida* pourrait être défriché dans le cas où il gênerait le passage de l'outil tracté ou de la main-d'œuvre lors des travaux agricoles (arbre épineux).

Les jeunes pousses de karité et de néré seraient éliminées à l'exception des parcelles où leur nombre serait jugé insuffisant.

Le karité pourrait être taillé. Les branches latérales, descendant vers le bas, seraient retirées afin de limiter l'ombre sur les cultures et de faciliter le passage de l'outil tracté et de la main-d'œuvre lors des travaux agricoles. De même, les branches basses du néré pourraient être taillées afin de permettre une « *aération* » et faciliter le passage de l'outil tracté et de la main-d'œuvre sous l'arbre. L'*Acacia albida* serait taillé dans le but de donner du fourrage aux

animaux. Les feuilles du baobab seraient juste récoltées pour permettre la confection de sauce pour l'alimentation humaine.

En théorie, enfin, parmi les karités et les nérés, seul les individus ne donnant pas de fruit ou étant trop vieux seraient abattus.

Tableau 18. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les arbres des champs à Dentiola

Nom Français/ Bambara	Karité / Shi	Néré de Gambie / Néré	Acacia Albida / Balanzan	Baobab / Sira	
Utilisation	Fruit comestible, Huile à base des noix	Fruit comestible, « Soumbala », épice à base des graines	Feuilles et fruit comestibles par le bétail	Fruit et feuilles comestibles par les humains	
Protection officielle	Protégé	Protégé	Non Protégé	Non protégé	
Variable de description	Forme et taille	Pas très haut et peu large	Plus ou moins haut mais large	Haut et plus ou moins large	Le plus haut, le plus large
	Croissance	Pas très rapide	Relativement rapide	Rapide	Très rapide
	Feuillage	Dense	Plus ou moins dense	Peu dense	Peu dense
	Feuilles	Longues et larges, simples	Petites, composées	Pas très longues, composées	Larges et grosses, simples
	Racines	Peu horizontales, plus ou moins profondes, Pas très grosses	Horizontales, peu profondes, Grosses	Pas horizontales mais profondes	Peu profonde, Grosses
Variable de Fonction « Action de l'arbre sur... »	Le vent	Limite le vent : feuillage dense, grandes feuilles et beaucoup de branches.	Limite le vent : Large envergure, larges branches	Limite peu le vent : pas de feuilles en hivernage	Limite peu le vent : peu de branches
	L'eau de pluie, L'érosion	Limite l'action de l'eau : feuillage dense Limite peu l'érosion : racines petites et profondes.	Limite peu l'action de l'eau : Peu dense, branches espacées Limite l'érosion : larges racines	Limite peu l'action de l'eau : pas de feuilles en hivernage Limite l'érosion : racines	Limite peu l'action de l'eau : peu dense Limite peu l'érosion
	La fertilité du sol	Fertilise : Grandes feuilles nombreuses, tombent avant hivernage	Fertilise peu : petites feuilles, tombent pas toute l'année	Fertilise : feuilles tombent en hivernage, déjections animales sous le houppier	Fertilise peu : beaucoup de feuilles, tombent mais utilisées par les hommes
Variable de Risque « Risque par rapport ... »	Au vent	Branches peu résistantes	Risque partagé : branches cassent mais risque faible	Branches résistantes	Branches résistantes
	Aux cultures	Couvre peu, conserve l'humidité, lumière réduite (densité du feuillage)	Couvre, lumière réduite, faible passage d'air, chaleur	Pas de risque : pas de feuille en hivernage	Pas de risque : bon développement des cultures
	Aux herbes	Humidité conservée au sol par la densité du feuillage	Risque partagé : chaleur dégagée (gêne), humidité (favorise pousse)	Pas de risque	Pas de risque
Règles de gestion	Plantation	Non planté	Non planté	Non planté	Peut être planté
	Défrichage	Pas défriché, peu présent dans la brousse	Pas défriché, peu présent dans la brousse	Pas défriché, sauf s'il gêne le travail avec épines	Pas défriché
	Elagage, coupe des branches	Branches du bas et latérales : limiter la gêne des cultures, du travail, l'ombre	Branches du bas : circulation de l'air, limiter la gêne du travail	Petites branches latérale : Fourrage pour le bétail	Petites branches : Récolte des feuilles, créer une forme
	Gestion des jeunes pousses	Enlevées sous les arbres, peuvent être protégées ailleurs	Protégées ou replantées si le nombre de plants est jugé insuffisant	Enlevées sous les arbres, peuvent être protégées ailleurs	Systématiquement replantées : Repoussent rare
	Coupe des arbres	Coupe des arbres qui ne donnent pas de fruit.	Coupe des arbres qui ne donnent pas de fruit ou ceux qui gênent le labour	Coupe des arbres trop vieux	Coupe des arbres qui ne produisent pas, sauf protection.

Le rôle des arbres par les paysans de Zanférébougou

Les principaux arbres des champs à Zanférébougou

Les paysans de Zanférébougou ne citent, en général, que deux arbres principaux appartenant à leurs champs. Les deux espèces les plus fréquemment citées sont le néré et le karité. Parmi les autres espèces ligneuses citées par les paysans du village, il y a l'*Acacia albida*, le caïcedrat (Djala, *Khaya senegalensis*, A. Juss., Méliaceae) et le vitex (Koronifin, *Vitex sp.* Verbenaceae).

La description de la grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les arbres des champs de Zanférébougou concernera le karité et le néré. Les variables de caractérisation, présentées ci-dessous, sont celles utilisées par les paysans pour décrire le rôle des arbres des champs sur la fertilité des sols.

Les variables de description

Les paysans de Zanférébougou décrivent les arbres des champs à travers des variables de description, comme les paysans de Dentiola.

Le néré serait un arbre à croissance rapide. Il ne serait pas très haut, mais serait large avec des branches basses. Son tronc serait lisse et blanc. Son feuillage serait peu touffu avec de petites feuilles composées. Ses racines seraient larges et orientées à l'horizontal.

Le karité aurait une croissance plus lente. Il serait plus haut mais moins large. Son écorce serait noire et son feuillage dense serait composé de longues feuilles simples et résistantes. Ses racines, plus petites seraient moins apparentes à l'horizontal.

Les variables de fonction liées à la fertilité des sols

L'action du vent sur les cultures serait limitée par le feuillage des arbres. Le karité, avec son feuillage dense, limiterait davantage l'action du vent que le néré. Cependant, il ne résisterait pas toujours aux violents coups de vent qui pourraient le déraciner.

L'action de l'eau sur les sols serait limitée par la densité du feuillage. Les feuilles du karité ralentiraient davantage les eaux de pluies que les feuilles du néré. L'action de l'eau sur le sol serait également limitée par les racines barrant son passage et limitant l'érosion hydrique des éléments fins de la surface du sol. Les racines du néré seraient orientées en surface et limiteraient ainsi plus l'érosion hydrique que les racines du karité qui seraient plus profondes.

L'action de l'arbre sur la **fertilité du sol** dépendrait de la quantité de feuilles déposées au sol à la défeuillaison et de leur décomposition. D'après les producteurs, les grandes feuilles de karité apporteraient des éléments au sol améliorant la fertilité du sol alors que les feuilles de néré renfermeraient de la "*Soude*". La décomposition des feuilles du néré provoqueraient de la chaleur, néfaste pour les cultures.

Les variables de risque

Le karité présenterait plus de **risque face au vent** à cause de ses petites racines, plus fragiles que le néré qui aurait des racines larges et solides.

Le karité entrerait moins en **concurrence avec les cultures** que le néré grâce à ses branches moins basses et ses racines moins orientées en surface. Le karité maintiendrait l'humidité du sol à proximité du tronc. Le néré, avec ses branches basses, créerait de l'ombre sur les cultures et ses racines de surfaces entreraient en concurrence avec les cultures.

Le karité, avec son feuillage dense et ses grandes feuilles, conserverait mieux l'humidité du sol et favoriserait ainsi le développement des **adventices**. Le néré conserverait moins bien l'humidité du sol. Le développement des adventices ne serait donc pas favorisé par la présence de néré.

Les règles de gestion des arbres

Sur la base de ces variables de description, de fonction et de risque, les paysans de Zanférébougou ont décrit les règles théoriques de gestion des arbres. Ces règles correspondent aux règles reconnues par les paysans pour la gestion des arbres des champs, en dehors de la réglementation administrative et coutumière. Elles régissent le défrichage, la gestion des repousses et la coupe des arbres.

Les règles de gestion des arbres sont étroitement liées au mode de tenure foncière. Les paysans de Zanférébougou, en plus de leur champ en propriété, mettent tous en culture des terres qui ne leur appartiennent pas et qui relèvent de la gestion des villages voisins. La relation entre les paysans de Zanférébougou et les propriétaires des terres peut être très variable selon les villages où se situent les champs. C'est pourtant le propriétaire de la terre qui a les droits de plantation et de coupe des arbres selon le droit coutumier. Ainsi, pour expliquer les règles de gestion des arbres, les paysans de Zanférébougou ont tous fait allusion à la nécessité d'obtenir l'accord préalable du propriétaire des terres qu'ils mettent en culture avant toute action sur les arbres du champ.

L'élagage des arbres permettrait aux paysans de modeler l'arbre selon leurs objectifs et leurs besoins, en limitant l'impact négatif des arbres sur les cultures, sans abattre l'arbre, ce qu'ils reconnaissent comme étant interdit. Les paysans élaguent donc les branches des nérés afin de limiter l'ombre de l'arbre sur les cultures.

Les paysans laisseraient, en général les jeunes pousses de karité et de néré sur les parcelles sauf si la densité des arbres déjà forte, ne nécessiterait plus de nouveaux arbres.

Les grands arbres ne pourraient pas être abattus. Les paysans expliquent que le droit coutumier interdit l'abattage des karités ou des nérés des champs et le paysan qui dérogerait à cette règle serait menacé d'un retrait du droit d'usage de la terre. Les paysans pourraient donc gérer le nombre de plants de karité et néré sur leurs parcelles, en ajustant le nombre de jeunes plants.

Tableau 19. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les arbres des champs à Zanférébougou

Entité	Français/ Bambara	Karité / Shi	Néré de Gambie/ Néré
Variable de Description	<i>Utilisation</i>	Fruit comestible, Noix sert à fabriquer d'huile (consommé et vendu)	Fruit consommé (homme et bétail), Graines sert à fabriquer le Soumbala (épice)
	<i>Protection</i>	Protégé	Protégé
	<i>Forme et taille de l'arbre</i>	Grand arbre peu large. Le tronc est noir à écorce	Arbre moins haut, mais large (branches et tronc). Le tronc est lisse et blanc
	<i>Vitesse de pousse</i>	Croissance peu rapide	Croissance plus rapide
	<i>Feuillage</i>	Feuillage dense	Feuillage peu dense
	<i>Feuille : taille et composition</i>	Grandes feuilles longues, simples et résistantes	Feuilles petites et composées
	<i>Racine : forme</i>	Racines peu horizontales, peu grosses, plus ou moins profondes	Racines horizontales, profondes et grosses
Variable de Fonction « Action de l'arbre sur... »	<i>le vent</i>	Feuillage dense limite le vent, mais arbre résiste peu au vent	Petites feuilles limitent moins le vent
	<i>l'eau de pluie et l'érosion</i>	Feuillage limite l'action de l'eau, Racines limitent moins l'érosion	Feuillage limite moins l'action de l'eau, Racines limitent l'érosion
	<i>la fertilité du sol</i>	Fertilise le sol grâce à ses grandes feuilles	Fertilise moins le sol avec ses petites feuilles
Variable de Risque « Risque par rapport ... »	<i>au vent</i>	Les racines moins nombreuses ou profondes entraînent un risque pour l'arbre. Les branches cassent.	Arbre résiste mieux aux vents (force des racines)
	<i>aux cultures</i>	Selon la densité du feuillage, l'air et la lumière pénètrent difficilement sous l'arbre. Les branches ne sont pas basses sur les cultures. Maintient de l'humidité	les branches longues créent de l'ombre sur les cultures et les racines entre en concurrence avec les cultures.
	<i>aux herbes</i>	Le feuillage maintient l'humidité sous l'arbre. Risque d'enherbement. Cependant moins important	L'arbre conserve un peu l'humidité et les herbes se développent un peu.
Règles de gestion	<i>Plantation</i>	Non planté	Non planté
	<i>Défrichage</i>	Défrichage selon la propriété de la terre. Les Jeunes et les vieux.	Défrichage des grands arbres ou des jeunes pour l'ouverture d'une parcelle. Moins d'attention portée à cet arbre moins important économiquement.
	<i>Elagage, coupe des branches</i>	Elagage des branches les plus basses (protection des cultures) et les branches d'en haut.	Elagage des branches d'en bas (protection cultures, ombre, air), branches d'en haut (formation d'une cime pour cueillir les fruits)
	<i>Gestion des jeunes pousses</i>	les jeunes pousses sont laissées si elles sont "inaperçues" ou laissées si elles sont en plein champs	Les jeunes pousses sont laissées ou coupées selon les besoins de la parcelle en ombre.
	<i>Coupe des arbres</i>	Coupe les arbres jeunes et vieux (les arbres en production sont gardés). Les terres ne sont pas en propriété.	Les petits arbres sont coupés en "gérant" le nombre d'arbre (interdiction sur les grands)

Discussion partielle sur le rôle des arbres pour la fertilité des sols

La perception par les paysans du rôle des arbres sur la fertilité des sols

Le rôle des arbres des champs dans le processus de la fertilité des sols est expliqué, par les paysans, à partir des caractéristiques morphologiques et fonctionnelles de chacune des parties des arbres. Les trois compartiments des arbres qui semblent essentiels, pour les paysans, afin d'expliquer leur rôle pour la fertilité des sols sont les feuilles, l'ombre et les racines.

Le rôle des feuilles des arbres

Les paysans reconnaissent que les feuilles des arbres enrichissent le sol et le rendent plus meuble en se décomposant sur le sol, après leur chute. Les paysans déduisent qu'elles apportent donc des éléments nutritifs aux plantes et participent à conserver l'humidité du sol. Les feuilles représentent donc, pour les paysans, une source de fertilité, qui est comparée à la fumure organique.

Cette appréhension des paysans du rôle des feuilles des arbres correspond à un phénomène qui a été caractérisé par la recherche, pour certaines espèces d'arbres. Dans la monographie du CTFT sur le *Faidherbia albida*, les mesures de la quantité de feuilles, d'écorce, de bois et de fruits, déposées au sol, sont présentées et converties en équivalent fumier afin de quantifier les éléments minéraux stockés par l'arbre et qui reviennent au sol (CTFT, 1988).

Bado et al., analysent comparativement les teneurs en éléments minéraux des feuilles de karité et de néré, leur évolution dans les sols au cours de la dégradation ainsi que leurs effets sur les cultures (2003). Les feuilles de néré semblent plus riches en éléments minéraux que celles du karité qui seraient plus riches en cellulose et polyphénol. Les feuilles de néré se décomposeraient plus vite, libérant rapidement des éléments minéraux. Les feuilles de karité composées d'éléments moins facilement dégradables, se décomposeraient plus lentement et provoqueraient une immobilisation de l'azote du sol (teneur plus faible en azote et présence de composés phénoliques). Comme l'observent les paysans dans leur champ, les feuilles de néré entraîneraient un effet dépressif sur les cultures alors que les feuilles de karité participeraient à une augmentation des rendements grain et pailles.

Les paysans ne font pas de distinction entre la matière organique formée par la dégradation des feuilles dans le sol et les éléments minéraux issues de la minéralisation de la matière organique qui sert à la nutrition des plantes.

Le rôle de l'ombre

A l'unanimité, les paysans reconnaissent que l'ombre des arbres permet de maintenir l'humidité du sol. Cependant, en limitant l'ensoleillement au sol et le « *passage de l'air* », l'ombre des arbres peut limiter le développement des cultures, comme le reconnaissent les paysans pour le néré. Ils expliquent également que l'humidité du sol, conservée par l'ombre des arbres, permet une croissance rapide des cultures et des adventices et un changement de

couleur des feuilles (de vert clair à vert foncé), cependant sans développement conséquent ces plants. L'ombre peut donc avoir, pour les paysans, un second effet dépressif sur les cultures.

L'ensoleillement, l'humidité relative sous houppier ou la température sont des variables évaluées par les sciences pour caractériser le rôle des arbres sur les systèmes agro-sylvo-pastoraux (CTFT, 2003).

Le rôle des racines

Les paysans reconnaissent que les racines participent à limiter l'érosion hydrique en freinant les eaux de ruissellement par leurs racines superficielles. Elles protègent ainsi les particules du sol, selon leur taille et leur forme. Les paysans expliquent qu'elles permettent également d'aérer le sol par les fissures qu'elles provoquent dans le sol. De plus, elles participent à l'enrichissement des sols par la décomposition des écorces des racines dans les sols.

D'après les paysans, les racines ont également un rôle sur le développement des cultures. En limitant les eaux de ruissellement, elles limiteraient les risques d'ensevelissement des jeunes plants par le sable. Les paysans reconnaissent enfin, que les racines peuvent empêcher le développement des racines des plantes par une occupation de l'espace par les racines de surface, et ainsi réduire de développement des cultures.

Le rôle des racines sur les adventices semble moins important. En ralentissant le flux d'eau de ruissellement, les racines maintiendraient également des graines des adventices sur la parcelle tout en conservant de l'humidité du sol. Les racines auraient donc un effet favorable sur les adventices des champs.

L'application des règles de gestion des arbres

Les paysans des deux villages ne semblent pas reconnaître le code forestier de 1968 qui interdit la coupe des branches de néré et de karité mais aussi l'abattage de ces arbres (Traoré, 2003). Les restrictions pour l'élagage et l'abattage des arbres semblent venir uniquement du respect des règles coutumières et de l'accord passé entre le propriétaire de la terre et l'utilisateur.

Sur le terrain, il semble que les parcs arborés se dégradent depuis plusieurs décennies. La densité moyenne des parcs aurait diminuée, dans toute l'Afrique de l'Ouest, depuis les années 50 (Lafleur, 2008). Gijssbers *et al.*, montre également, à travers la fréquence du diamètre des troncs des arbres, que les parcs de karité sont vieillissant (1994). Certains mécanismes responsables de la faible régénération des parcs sont présentés par Lafleur, comme le non-respect de la réglementation (code forestier et règles coutumières), l'abattage par les paysans (besoin de bois, gêne pour le passage des outils tractés, ...), le parasitisme, la réduction des jachères, le pâturage par les animaux ou encore le stress hydrique...

Les paysans décrivent de manière détaillée le rôle des arbres dans la fertilité des sols. Ces descriptions font appels à une organisation systémique des connaissances sur le milieu. Mais, les pratiques sylvicoles ne semblent pas refléter les règles de gestion évoquées par les paysans. Il ne semble pas y avoir de réelle protection des jeunes plans par les paysans ou d'entretien de la densité des parcs arborés.

A Zanférébougou, où les propriétaires ne sont souvent pas les mêmes qui mettent la terre en valeur, la mise en pratique de ces règles de gestion reste souvent dépendante du respect des règles coutumières qui régissent le foncier.

ELEMENTS DE CONCLUSION

Le rôle des arbres des champs dans la fertilité des sols est décrit par les paysans des deux villages. Au village de Dentiola, les paysans se sont attachés à décrire le karité, le néré de Gambie, l'Acacia albida et le baobab. Au village de Zanférébougou, le karité et le néré sont les principaux arbres des champs présentés par les paysans.

Les paysans utilisent une diversité de variables pour décrire le rôle des arbres dans la fertilité des sols :

- *les variables de description permettent de décrire physiquement les arbres (la forme des feuilles, la couleur du tronc, la forme du fruit, etc...);*
- *les variables de fonction définissent le rôle de l'arbre sur l'action du vent, de l'eau de pluie ou son effet sur la fertilité des sols ;*
- *les variables de risques précisent les risques engendrés par la présence des arbres par rapport au vent, les risques sur les cultures ou les risques de développement des adventices.*

Enfin, les producteurs reconnaissent un cortège de règles de gestion des arbres des champs avec la plantation, le défrichage, la gestion des jeunes pousses, la taille ou la coupe.

Ces règles de gestion restent cependant théoriques puisqu'elles doivent respecter certaines règles coutumières de gestion du foncier plus contraignantes.

La perception paysanne du rôle des arbres pour la fertilité des sols est décrite à partir des caractéristiques des différentes parties des arbres comme les feuilles, l'ombre et les racines et d'après la perception des relations entre ses parties de l'arbre et le milieu (sol, eau, vent).

Chapitre 4.1.4. Une diversité de types de fumures organiques

Ce quatrième chapitre présente les résultats des entretiens menés auprès des paysans des deux villages sur les savoirs techniques locaux sur les fumures organiques.

Après un bref rappel bibliographique sur les processus biologiques en cours en compostage, nous décrivons les types de fumures organiques reconnues par les paysans de Dentiola et de Zanférébougou et les règles de gestion qui y sont attachées. Une analyse du niveau de corrélation de ces deux systèmes de classifications paysans précèdera une analyse des valeurs agronomiques de ces types de fumure organique.

Bref rappel sur les processus biologiques en cours de compostage

Il existe de nombreuses définitions du compostage. Nous retiendrons celle proposée par Mustin (1987), dans son ouvrage de référence sur le compost, selon laquelle, le compostage est un « *procédé biologique contrôlé de conservation et de valorisation des substrats organiques [...] en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques* ». Il précise qu'il s'agit du « *résultat d'une activité microbiologique complexe survenant dans des conditions particulières* ».

Au cours du processus de compostage, les premiers éléments à être décomposés sont les substances simples, fermentescibles et facilement dégradables par les micro-organismes, comme les nitrates, l'urée, les protéines, les acides aminés, les sucres simples (sucres solubles, amidon, hémicellulose) ou les sels minéraux. Les populations de bactéries et de levures se développent alors rapidement dans le milieu. Elles se servent de l'énergie des sucres fermentescibles et élaborent leurs protéines à partir de l'azote et des sels minéraux du milieu.

Cette activité bactérienne provoque une augmentation de la température du milieu, qui sera d'autant plus forte que le volume sera confiné, en tas ou en fosse (de 60 à 70°C). La transformation des matières carbonées et azotées entraîne un dégagement de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et d'un peu d'ammoniac. Sous l'effet des pertes gazeuses et du tassement, le volume du compost diminue. La production d'acides carboniques ou d'acides organiques, à partir des sucres, créent un environnement acide (pH de 5 à 6). La décomposition des glucides simples et des protéines, en milieu aérobie est présentée dans la Figure 33.

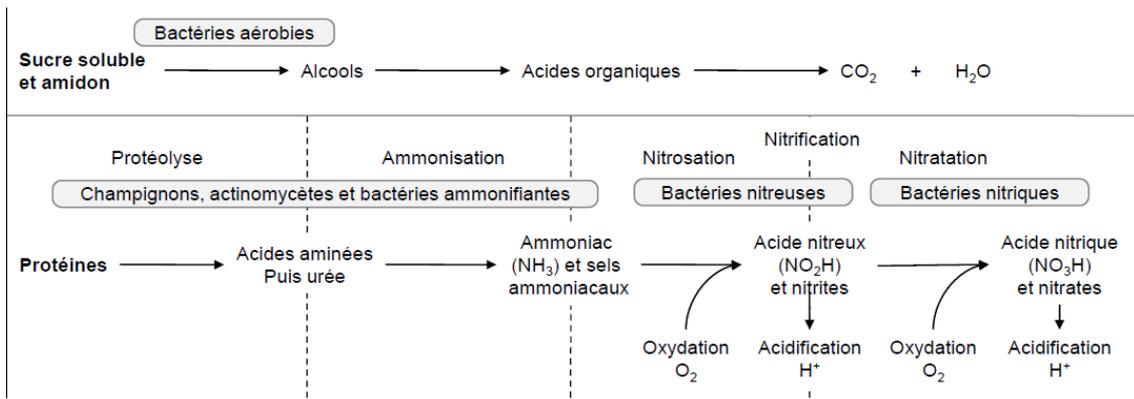


Figure 33. Décomposition des glucides simples et des protéines, en milieu aérobie

Dans une seconde phase, lorsque les éléments fermentescibles sont dégradés, l'activité bactérienne diminue et la température baisse. Les éléments fibreux des matières organiques, comme la cellulose et la lignine, sont fragmentés sous l'action de champignons, d'insectes (collemboles, acariens, cloportes...) et de vers Enchytréides et Lumbricidae (comme *Eisenia sp.*). La cellulose et la lignine sont des polymères complexes plus difficilement attaquables.

La cellulose est un polysaccharide formé d'unité de glucose (C₆H₁₀O₅)_n. La dégradation de ce sucre complexe nécessite une enzyme spécifique, la cellulase présente chez certaines bactéries de la flore intestinale d'espèces de la faune du sol. Elle fournit, selon les voies de dégradation, soit du glucose simple, des acides organiques (milieu anaérobie) ou de l'humus (milieu neutre et aérobie).

La lignine est un bio-polymère tridimensionnel de structure très variable, à noyau aromatique formé par déshydrogénation et polymérisation d'alcools phénylpropénoïques (C₉H₁₀O₃)_n. Sa minéralisation est lente à cause de son caractère aromatique, mais également parce que peu de micro-organismes l'utilisent comme source d'énergie et de carbone. Elle est donc considérée comme un des principaux précurseurs des substances humiques (Mustin, 1987).

Les conditions du milieu (aération, humidité) mais aussi la teneur en azote, le niveau d'humidification des éléments ou la teneur en calcium (pH non acide) influence la décomposition de la cellulose et la lignine. Quelques voies de décomposition de la cellulose et la lignine sont présentée dans la Figure 34.

Enfin, la fumure organique entre dans une phase de maturation qui correspond à un ralentissement de l'activité des micro-organismes. Les produits, formés au cours des phases précédentes, se minéralisent, en partie, sous forme d'éléments minéraux simples qui seront soit perdus par lessivage ou dégagement gazeux soit maintenus dans la fumure organique donc disponibles pour les plantes. Les hydrates de carbones produits entament une recombinaison avec les éléments minéraux, formant des acides humiques, plus complexes. C'est la phase d'humification, de formation de l'humus. Ces trois phases peuvent être résumées par le graphique suivant présenté par Mustin (1987).

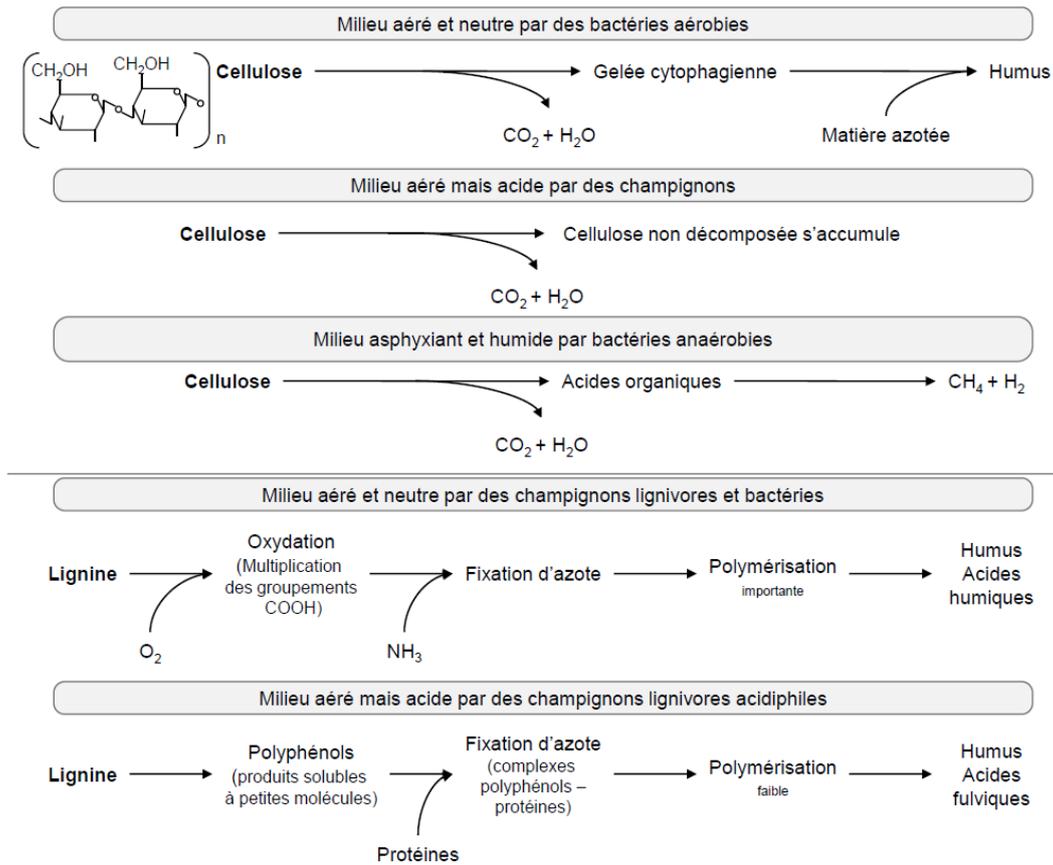


Figure 34. Quelques voies de décomposition de la cellulose et de la lignine

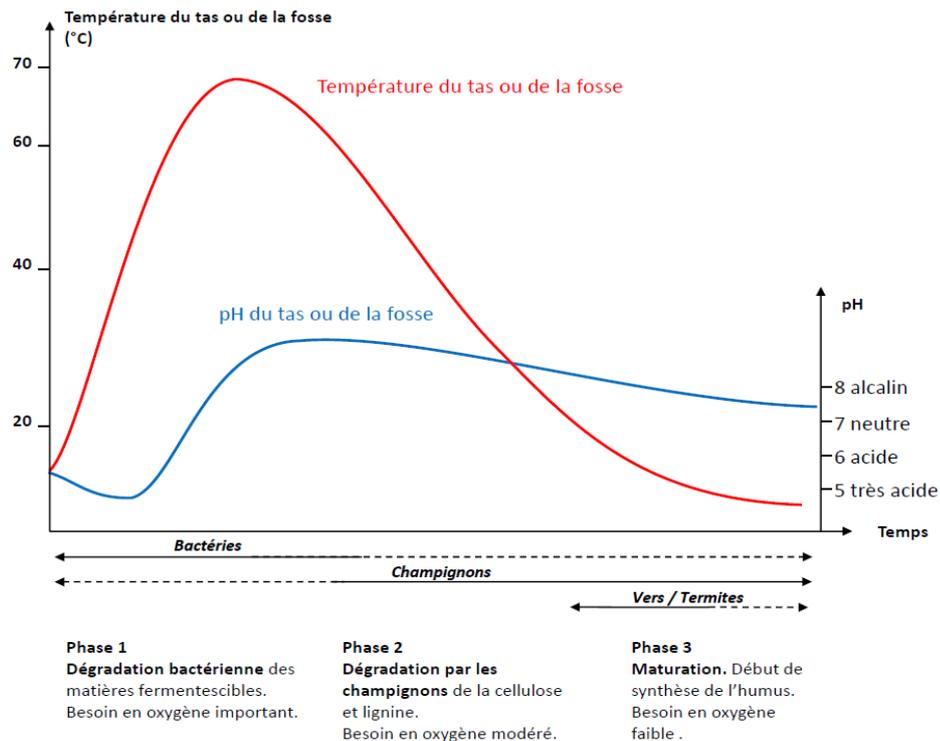


Figure 35. Evolution de la température et du pH au cours du compostage (Mustin, 1987).

Les fumures organiques riches en matériaux fibreux ou ligneux (compost à base de tige de coton, tas d'ordures avec des résidus de battage,...) peuvent se décomposer lentement, sans passer par une phase d'activité bactérienne intense (phase 1). La décomposition réalisée par les champignons, et autres décomposeurs des éléments fibreux, se fait à température moyenne et à pH neutre voir alcalin. Les fumures organiques produites par ce processus de décomposition, peuvent fournir des quantités élevées d'humus stable, s'il y a suffisamment d'humidité et d'azote apportées en complément pour favoriser la décomposition. En effet, si le carbone se retrouve en excès ou est difficilement dégradable, l'azote sera le facteur limitant de la fermentation aérobie. L'azote doit donc nécessairement être fourni à la chaîne trophique pour favoriser la destruction des molécules par les microorganismes (Mustin, 1987).

Description des types de fumures organiques reconnus par les paysans

Les paysans ont développé des systèmes de connaissances sur les fumures organiques, auxquels ils se réfèrent pour la gestion des biomasses et la production de fumure organique dans leurs exploitations.

Ils caractérisent les fumures organiques à travers des variables descriptives (éléments utilisés, accessibilité, travail) et précisent l'intensité, la rapidité et la durée de l'effet de ces fumures sur les sols (variables de fonction). Chaque type de fumure organique présente, également, un niveau de risque face aux pluies et au développement des adventices dans les champs après une application de fumure.

L'ensemble des types de fumure organique reconnus par les paysans enquêtés au village de Dentiola et de Zanférébougou sont présentés dans la Figure 36.

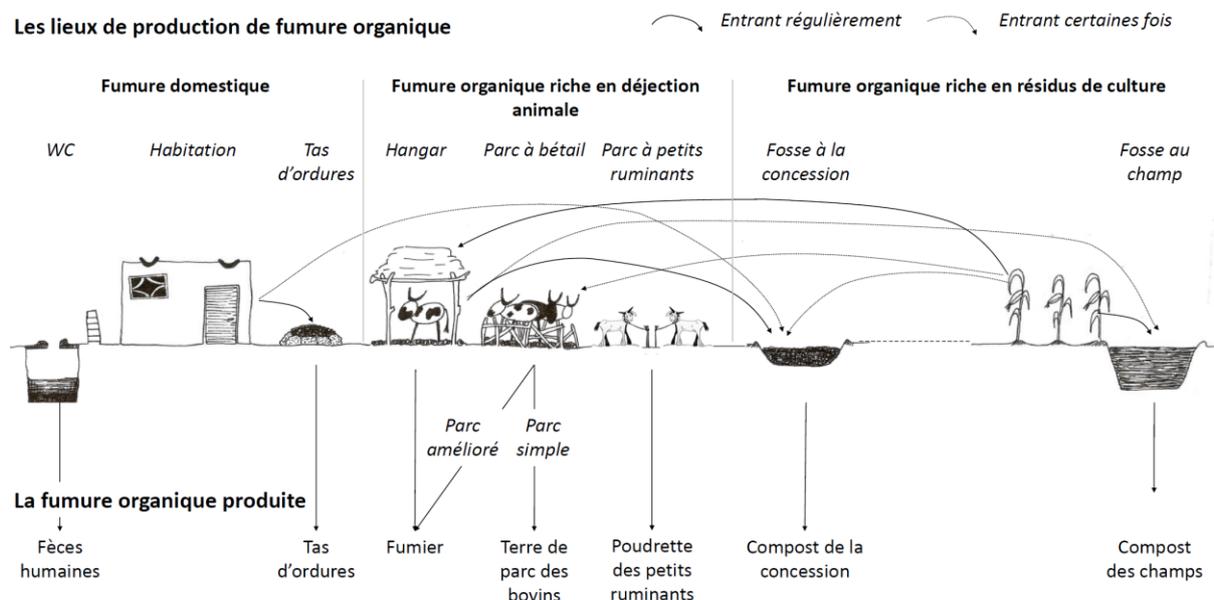


Figure 36 : Classification des types de fumures organiques reconnus par les paysans

Les types de fumures organiques reconnus par les paysans de Dentiola

La majorité des paysans du village de Dentiola interrogés reconnaissent quatre principaux types de fumures organiques : le tas d'ordures domestiques, *Sununkun nɔgɔ*³⁵, le fumier et la terre de parcs, *Misi bô ou Bagan nɔgɔ*³⁶, le compost de la concession, *Nɔgɔ dinge*³⁷, le compost des champs, *Kala nɔgɔ*³⁸.

Les fumures d'origines domestiques

Les tas d'ordures, Sununkun nɔgɔ

Les paysans décrivent largement les tas d'ordures comme un type de fumure organique. Cette fumure organique est fabriquée à partir des ordures de la concession et de la terre qui a été balayée lors du nettoyage de la concession. Ce type de fumure peut être produit en quantité importante, même sans animaux en propriété. Les ordures domestiques doivent être rassemblées en tas afin de limiter leurs pertes par dispersion par le vent, les animaux... Le tas doit être couvert afin d'y maintenir la chaleur. Enfin, il doit être arrosé pour favoriser la décomposition des ordures. Ce travail est réalisé par les femmes lors du nettoyage de la concession, mais les hommes les encouragent à réaliser les travaux afin de disposer de fumure de qualité et en quantité. Quelques paysans précisent que les ordures non dégradables (sachets plastiques, bouteilles...) doivent être triées pour être brûlées. Cette fumure organique a un effet dès la première année suivant l'application qui dure 2 à 4 ans dans le sol. Cette fumure organique se mélange rapidement au sol, « *elle prend la terre* », car elle contient de la terre ; ce qui explique son effet rapide dans le sol. Elle permet de conserver l'humidité du sol, ce qui représente un avantage en cas de sécheresse. Elle provoque un changement de couleur du sol et ne provoque pas de risque de brûlure des plants en cas de faibles pluies.

Les paysans de Dentiola n'ont pas décrit, lors des enquêtes, les fèces humaines comme un type de fumure organique.

Les fumures riches en déjections animales

Le fumier ou la terre de parc, Misi bô ou Bagan nɔgɔ

Les déjections animales issues des parcs à bétail (cheptel conséquent de plus de 10 têtes) ou des hangars (abris à bétail pour de petits effectifs moins de 10 animaux), avec ou sans apport de litière, constituent un second type de fumure organique décrits par les paysans du village de Dentiola.

Pour produire ce type de fumure organique, les paysans expliquent qu'il est nécessaire de posséder au moins des bœufs de trait et de disposer de fourrage pour maintenir les animaux

³⁵ *Sununkun nɔgɔ* : fumure organique issue des ordures domestiques (Père Bailleul, 2000).

³⁶ *Misi bô* : déjections des bœufs, *Bagan nɔgɔ* : fumure issue des animaux (Père Bailleul, 2000).

³⁷ *Nɔgɔ dinge* : fumure venant des fosses (Père Bailleul, 2000).

³⁸ *Kala nɔgɔ* : fumure issue des tiges ou des pailles (Père Bailleul, 2000).

parqués la nuit, même en saison sèche. Le parcage permettrait d'obtenir de la fumure organique en quantité, de favoriser la décomposition des éléments et d'éviter les dégâts des animaux sur les cultures avant les récoltes.

L'apport de litière sous les animaux permettrait d'augmenter la quantité de fumure produite et d'obtenir un parc sain pour les animaux. Certains paysans cependant y voient une augmentation du risque d'apparition de maladies pour les bœufs (blessures avec des tiges de cotonniers encore cassantes, humidité maintenue...).

Ce type de fumure organique représente, donc, une catégorie très hétérogène depuis la simple terre de parc (déjections animales sans apport de résidus végétaux) à des fumiers issus des parcs améliorés ou des étables fumières (déjections animales mélangées à des résidus végétaux apportés comme litière ou les refus de l'affouragement). Les variables qui caractérisent ce type de fumure organique prennent donc des valeurs très diverses selon les techniques de fabrication de ces fumiers.

Le fumier produit est ramassé régulièrement et disposé en tas à côté du parc ou du hangar. Les paysans estiment que l'effet du fumier dans le sol serait de longue durée (3 à 5 ans) avec un effet qui se renforcerait la seconde année. L'effet du fumier s'observerait par une levée plus rapide et des plants plus vigoureux. Les urines contenues dans le fumier entraîneraient un effet plus « *fort* » (si elles sont piégées par la litière apportée). Le fumier permettrait une conservation de l'humidité du sol, « *le sol gonfle sous la pluie* » et un changement de coloration. Cependant, il entraînerait des risques de brûlure des plants avec jaunissement des feuilles en cas de faibles pluies. Le fumier pourrait également être vecteur d'adventices.

Les paysans du village reconnaissent que, dans le cas du parc d'hivernage (avec apport de litière), les animaux favorisent la transformation de la litière grâce au piétinement, l'apport d'urines et la chaleur des animaux couchés.

Les déjections animales des animaux domestiques

Certains paysans du village attribuent des qualités distinctes aux déjections animales des différents animaux domestiques.

Les **déjections des ânes** ne sont pas appréciées par les paysans qui les trouvent « fibreuses et contenant peu de poudre », ce qui indique une faible qualité.

Les **déjections des ovins et des caprins** sont reconnues, par les paysans, pour avoir un effet plus « *fort* » dans le sol parce qu'elles sont poudreuses, renferment plus de « *chaleur* » et ont un effet sur le sol immédiat et de longue durée. Elles provoqueraient une bonne levée des plants et la production d'épis de maïs « bien remplis ». Elles seraient disponibles en faible quantité mais ne seraient pas négligeable.

Les **déjections de bovins** renferment des particules mal décomposées (résidus ou fibres), ce qui explique leur effet moins important sur les sols. De plus, elles contiendraient d'avantage de graines d'adventices. Ces déjections ont cependant un effet sur les sols et sont disponibles en quantité importante chez les propriétaires d'animaux.

Enfin, les **fientes de volaille** sont reconnues pour être de très bonne qualité, « *renfermant beaucoup de chaleur* », mais produites en très faible quantité (Figure 37).

Variables	Entités	Déjections des ovins	Déjections des ânes	Déjections des bovins	Indicateurs
Efficacité		+ + +	+	+ +	Niveau de levée des plants
Risque pour les cultures					Niveau de risque de brûlure des plants
Risque d'envahissement par les adventices					Taux d'enherbement
Décomposition		+ + +	+	+ +	État de décomposition des déjections
Quantité					Quantité pouvant être produite

Figure 37. Les déjections animales des animaux domestiques vues par les paysans

Quelques paysans enquêtés reconnaissant une différence de qualité entre les déjections animales produites en saison sèche et celles produites en hivernage. Les déjections animales produites au cours de la saison sèche seraient « *plus fortes* » et « *concentrées* » que celles produites en hivernage qui auraient été lessivées par les pluies. Les paysans ne mentionnent pas un apport différent de graines d'adventices entre les différentes saisons comme les paysans burkinabés. Ces paysans expliquent que les déjections animales produites en hivernage, après la fructification des adventices, apportent plus de graines d'adventices au champ que celle produites en saison sèche.

Les fumures organiques issues des fosses

Le compost de la concession, Nɔgɔ dinge

Le compost de la concession est une fumure d'origine principalement végétale, avec un apport plus ou moins important de déjections animales et d'ordures ménagères. Il s'agit donc d'un compost produit à proximité du lieu d'habitation. Les paysans l'appellent Nɔgɔ dinge : fumure de la fosse.

Les paysans reconnaissent une diversité d'éléments pouvant être utilisés dans les fosses suivant leur disponibilité et leur vitesse de décomposition. Les pailles des céréales sèches (mil, sorgho), placées sur les hangars pour alimenter les animaux et qui n'ont pas été utilisées avant les premières pluies, seraient des éléments disponibles pour la production de compost de la concession. Le mil, souvent cultivé sur des parcelles éloignées du village, fournirait moins de résidus pour ce type de fosses. Les pailles de maïs se décomposaient rapidement. Les tiges de coton seraient disponibles mais se décomposeraient lentement. Les paysans reconnaissent également l'utilisation des feuilles des arbres, des pailles de brousses, des ordures domestiques et des déjections des animaux parqués à proximité de la fosse. Ces éléments seraient mis en fosse au fur et à mesure de leur disponibilité.

La production de fumure organique en fosse nécessiterait de creuser des fosses non loin d'un point d'eau et à l'ombre d'un arbre et de ramasser et transporter les résidus, depuis les champs jusqu'à la fosse. Les fosses devraient être arrosées en saison sèche, tassées et couvertes de terre afin d'augmenter la température, favoriser la décomposition des éléments en fosse et limiter les pertes en éléments. Le fait de mettre en fosse les éléments permettrait de conserver l'humidité.

D'après les paysans, l'effet de cette fumure serait immédiat (1^{re} année), mais de courte durée (1 à 2 ans). L'effet serait moins intense et provoquerait une croissance plus faible et moins rapide des cultures que les autres types de fumure organique. Elle ne permettrait pas de conserver beaucoup d'humidité du sol, mais provoquerait un changement de couleur du sol. Elle n'entraînerait pas de risque de brûlures des plants en cas de faibles pluies, en revanche, elle serait vecteur de graines d'adventices et nécessiterait donc des sarclages et/ ou l'utilisation d'herbicides.

Le compost des champs, Kala nɔgɔ

Il s'agit d'une fumure organique d'origine strictement végétale, produit dans les champs. Les paysans l'appellent *Kala nɔgɔ* : fumure issue des tiges ou des pailles.

Le compost des champs est décrit, par les paysans, à partir des éléments qu'ils utilisent pour le produire. Les paysans mobiliseraient les éléments disponibles dans les champs, sans transport (les résidus de culture, refus du battage, les feuilles des arbres et le reste de l'affouragement).

Les fosses devraient être installées à l'endroit où il y a de l'humidité et où les éléments sont disponibles afin de réduire les charges en transport. La production de compost des champs nécessiterait beaucoup de travail (ramassage, remplissage) et de disposer d'une charrette.

Les paysans expliquent que les éléments doivent être ramassés dès qu'ils sont disponibles. Les résidus de culture seraient ramassés et mis en tas dès la fin des récoltes. Les feuilles des arbres seraient rassemblées à la défeuillaison et les adventices lors des travaux de désherbage au cours de l'hivernage. Les fosses seraient remplies avec des résidus de culture en saison sèche et le remplissage serait complété en hivernage.

Les fosses devraient être couvertes après l'hivernage avec de la terre, afin de conserver l'humidité et la chaleur, et arrosées en saison sèche pour favoriser la décomposition des éléments.

L'effet du compost des champs serait de courte durée et moins intense que les autres types de fumure. Il aurait cependant l'avantage de ne pas causer de dégâts sur les cultures en cas de faible pluie. Cette fumure organique reste peu prisée par les paysans, car elle aurait peu d'effet sur les sols et les cultures. Les paysans produiraient encore du compost des champs afin de disposer de fumure en quantité importante.

Les règles de gestion sur les fumures organiques

A partir des types de fumures organiques et des variables de caractérisation identifiées, les paysans définissent des règles de gestion qui doivent normaliser la production et l'utilisation des différentes fumures organiques.

Les paysans ont décidé d'implanter les lieux de production de chaque type de fumure organique selon la disponibilité des constituants, l'accessibilité à l'eau et les difficultés liées au transport des éléments à transformer et de la fumure produite. La fumure organique peut donc être produite directement au champ dans des fosses à compost, à la concession (tas d'ordures, fosse de la concession, étable ou hangar) ou en zone sylvo-pastorale dans des parcs à bétail dans le cas où les risques de vol de bétail sont faibles ou quand le berger loge à proximité.

Les **tas d'ordures domestiques**, *Sununkun nɔgɔ*, sont compostées à la concession, tout au cours de l'année, par les femmes. Elles sont utilisées tous les ans dans les champs. Certaines exploitations les utilisent également pour des apports localisés.

Le **fumier et la terre de parcs**, *Misi bô ou Bagan nɔgɔ*, sont produites sous des hangars à la concession ou dans des parcs à la périphérie du village ou en zone sylvo-pastorale, quand les risques de vol de bétail sont faibles ou quand le berger loge à proximité. Ces fumures organiques sont produites, en saison sèche ou en hivernage, selon la gestion du temps de présence des animaux entre les départs en transhumance et la divagation des animaux en saison sèche. Quand il existe plusieurs lieux de production de fumure organique sur l'exploitation, le parc ou le hangar représente le premier poste d'utilisation des résidus de culture de l'exploitation (fourrage et litière). La fumure est transportée tous les ans dans les champs.

La **fosse à compost de la concession**, *Nɔgɔ dinge*, est remplie dès la fin des récoltes avec les résidus encore disponibles et d'autres éléments accessibles comme les feuilles des arbres ou les herbes sèches... C'est la première fumure transportée au champ avant que les pluies ne viennent l'alourdir.

Au contraire, les **fosses à compost des champs**, *Kala nɔgɔ*, ne sont vidées que certaines années, quand le temps consacré aux travaux le permet. Les fosses sont remplies avec les résidus de culture des champs voisins. Les fosses à compost sont vidées et le compost transporté dans le champ si les pluies n'ont pas rendu impossible le travail, en humidifiant la fumure la rendant trop lourde.

La grille de caractérisation des différents types de fumure organique reconnus par les paysans du village de Dentiola est présentée dans le Tableau 20.

Tableau 20. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures organiques à Dentiola

Variables (nombre de référence sur 15 enquêtes)		Tas d'ordures	Fumures riches en déjections animales		Fumure des fosses	
			Terre de parc	Fumier	Compost de la concession	Compost des champs
		Sununkun <i>ນគ្រង</i>	Misi bô ou Bagan <i>ນគ្រង</i>		<i>នគ្រងធាន</i>	<i>ក្រា នគ្រង</i>
Variables de description	Composition	Eléments de la concession (5), terre (3)	Déjection animale sans résidus de culture	Déjection animale avec résidus de culture	Maïs (décomposition rapide), Coton (disponible, décomposition difficile), Mil (éloigné) (5), Terre, feuilles d'arbres, pailles de brousses, ordures domestiques, fumier (2).	Eléments disponibles : résidus de battage (2), terre (1), feuilles d'arbres et reste des fourrages (1)
	Lieu	Concession	Concession ou brousse, parc ou lieu d'attache		Fosse proche de l'eau, à l'ombre	Champs où les éléments sont disponibles, humidité et pas animaux
	Moyen/Quantité	Quantité importante sans animaux (4).	Faible quantité	Quantité avec litière (6)	Selon la disponibilité des éléments	Quantité si travail investit et charrette (3)
	Travail	Arroser (décomposition) (5). Maintenir en tas et Couvrir (chaleur, limite les pertes) (7). Encourager le travail des femmes (2) Trier les plastiques et autres éléments à brûler (2).	Disposer de bœufs de trait, Disposer de fourrage. Parquer les animaux (quantité, décomposition, évite les dégâts). Mettre de la litière (parc sain, quantité). Ramasser déjections en tas progressivement (parc propre)		Creuser, Ramasser et transporter des résidus, Arroser en saison sèche (7) Couvrir (5) et tasser (3). Permet de garder humidité (4) mais difficultés de temps et d'eau (2).	Ramasser de résidus, entasser. Couvrir de terre après l'hivernage (3) (humidité et chaleur) Arroser (saison sèche, décomposition) (3)
Variable de fonction	Durée de l'effet	Moyenne, de 2 à 4 ans (12)	Longue, de 3 à 5 ans (10)		Courte de 1 à 2 ans	Courte (2)
	Rapidité de l'effet	Effet rapide (1er année) (3)	Effet renforcé en année 2 (1)		Effet rapide (1er année)	
	Effet sur les plantes		Plus de force (12) par les urines (2) la levée rapide (8)		Moins fort (1), croissance plus faible et moins rapide (6) bon rendement (2)	Moins fort (2)
	Effet sur la rétention en eau	Conserve l'humidité, avantage en cas de faibles pluies (2)	Conserve l'humidité (2)		Ne conserve pas beaucoup d'humidité	
	Effet sur le sol	Apport de terre au sol (2) "prend la terre"	Sol gonfle avec la pluie (2), Change de coloration (4)			
	Visibilité de l'effet	Changement de couleur (1)			Changement de couleur (1)	
Variable de risques	Risque vis-à-vis de l'eau	Pas de risque de brûlure en cas de faibles pluies (4)	Risque de brûlure (couleur des feuilles) en cas de faibles pluies (7)		Pas de risque de brûlure en cas de faibles pluies (3)	Avantage en cas de faibles pluies (1)
	Risque vis-à-vis des adventices		Provoque l'apparition d'adventices (5)		Provoque l'apparition d'adventices, herbicides etou sarclage (2)	
	Risque vis-à-vis des animaux		Litière entraîne des meilleures conditions ou au contraire des risques de maladies			

Les types de fumures organiques par les paysans de Zanférébougou

La majorité des paysans du village de Zanférébougou interrogés reconnaissent cinq types de fumure organique : le tas d'ordures domestiques, *Sununkun nɔgɔ*, le fumier et la terre de parc, *Misi bô* ou *Bagan nɔgɔ*, le compost de la concession, *Nɔgɔ dingɛ*, le compost des champs, *Kala nɔgɔ* et les fèces humaines issues des latrines.

Les savoirs techniques locaux sur les fumures organiques des paysans de Zanférébougou seront décrits à travers leur corrélation avec ceux des paysans du village de Dentiola. Les éléments superposables des deux grilles pourront être considérés comme largement partagés par les paysans. Le rapprochement des savoirs techniques locaux des paysans de Dentiola et de Zanférébougou met aussi en exergue des éléments dissociables, caractérisant chacun des systèmes de connaissances.

Niveau de corrélation des deux systèmes de classification paysans

La recherche de corrélations entre les deux grilles de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures organiques fait ressortir des éléments partagés par les paysans de Dentiola et de Zanférébougou, n'appartenant pas au même environnement, mais aussi des éléments divergents, peu partagés.

Quelques éléments partagés

Les entités de fumure organique partagées

Les paysans des villages de Dentiola et Zanférébougou reconnaissent les mêmes types de fumures organiques issues des tas d'ordures domestiques sur les lieux d'habitation, des lieux de parcage des animaux (fumier et terre de parc) ou des fosses (compost au champ ou à la concession). Seuls les paysans de Zanférébougou semblent reconnaître, collectivement, la fumure organique issue des latrines (compostage des fèces humaines).

Les variables de caractérisation communes

Les paysans de Dentiola et de Zanférébougou partagent une même manière de décrire les types de fumures organiques, en s'appuyant sur un jeu de variables de description communes. Les éléments nécessaires à la production sont décrits par tous les paysans pour expliquer chaque type de fumure organique (variable de description du au fonds commun). Les moyens à mobiliser, la quantité pouvant être produite, ainsi que le lieu de production sont également partagés. Le transport apparaît comme une contrainte persistante pour ces paysans, qui même s'ils sont équipés en charrette, restent limités dans les volumes déplacés.

L'ensemble des paysans enquêtés explique les différences entre les types de fumures organiques par des différences d'effet (intensité, délais, durée). La production et l'observation des effets, suite à l'application au champ de ces différentes fumures organiques, leur a permis de se forger un jugement et de construire une grille de valeur. En effet, les paysans quantifient

la rapidité et la durée de l'effet des fumures sur les sols en année. L'effet du compost de la concession est rapide (1 an) mais de courte durée (1 à 2 ans). Les tas d'ordures domestiques ont un effet rapide (1 an) et de plus longue durée (2 à 4 ans) alors que les fumiers ont un effet renforcé en année 2 et de longue durée (3 à 5 ans d'effet sur les sols).

Les paysans décrivent enfin les types de fumure organique à travers les effets de ces fumures sur le triptyque sol-plante-eau.

Les règles de gestion sur les fumures organiques similaires

Les paysans reconnaissent que les tas d'ordures domestiques doivent être produits de façon continue. Ce travail, se rattachant aux tâches domestiques réservées aux femmes (gestion des ordures, balayage des concessions), suppose une implication, même minimale, des femmes dans la gestion des biomasses de l'exploitation. Les règles de gestion sur la production de fumure organique spécifient les priorités pour l'utilisation des résidus de culture entre le parc amélioré (litière), les hangars (fourrage), les fosses à compost à la concession ou au champ.

Les paysans déclarent qu'ils commencent par charger avec le stock de fourrage sur les hangars (pailles de maïs, de riz et fanes de légumineuses). Même si le fourrage ne représente, qu'environ, 8 % de la quantité de résidus ramassés, assurer l'alimentation des animaux, pour une partie au moins de la saison sèche, est une priorité pour les paysans. La production de fumier dans les parcs améliorés est le premier poste d'utilisation des résidus de culture (litière, estimé à 53 % des résidus ramassés) devant la production de compost à la concession ou au champ. Le compost à la concession est fréquemment mélangé avec les ordures domestiques et les refus de l'affouragement en saison sèche.

La fumure des tas d'ordures domestiques est la première fumure transportée au champ (fumure lourde). Les parcs, fournissant du fumier ou de la terre de parc, sont ensuite vidés. Les fosses à compost de la concession sont vidées en troisième position, et quelque fois, en même temps que la fin de la vidange des parcs à bétail. Enfin, le compost des champs est la dernière fumure organique transportée au champ. Ce compost est souvent abandonné dans les champs, car quand les pluies l'ont alourdi, la qualité médiocre que les paysans reconnaissent dans cette fumure ne justifie pas des travaux de transport et d'épandage pénibles.

Quelques éléments divergents

Un type de fumure organique décrit à Zanférébougou

Au village de Zanférébougou, deux paysans ont cité la production de fumure organique à partir des fèces humaines. Le procédé de compostage des fèces humaines a été décrit. Lorsque la fosse des latrines de la concession est remplie (2 à 4 ans), certains paysans cassent la dalle de ciment et couvrent la fosse de pailles de céréales ou pailles de brousse. La décomposition se déroule pendant un à deux ans avant que la fumure organique produite, ne soit transportée au champ pour l'épandage. La fosse ainsi vidée est réaménagée et la dalle reconstruite pour être utilisée de nouveau. La fumure organique issue du compostage des fèces humaines aurait un effet long dans le sol (de 5 à 7 ans).



Les paysans qui décrivent ce type de fumure organique expliquent qu'ils ont appris la technique auprès de paysans revenus d'un voyage en Côte d'Ivoire. Même si les paysans qui décrivent ce type de fumure organique reconnaissent que son usage est encore tabou au village, ils pensent qu'aujourd'hui la pratique dépasse les déclarations d'intention chez les paysans du village.

Des variables peu partagées qui ont du sens

Les paysans de Dentiola semblent davantage préoccupés par les risques de brûlure des plants, dus à l'application de fumure organique suivie d'une faible pluviométrie, que les paysans de Zanférébougou.

Au village de Zanférébougou, les paysans expriment leur préoccupation face à l'envahissement des parcelles par les adventices et décrivent plus finement l'effet des fumures organique sur les cultures que les paysans de Dentiola (fumure organique favorable au coton ou aux céréales, favorisant la fructification ou la croissance végétative...).

Tableau 21. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures organiques à Zanférébougou

Variables	Entités	Tas d'ordures	Fumure organique riche en déjection animale		Fumure des fosses		Fèces humaines
		6 et 5 UP/12	Terre de parcs	Fumier	Compost à la concession	Compost au champ	
			11 UP/12		7 UP/12 et 5UP/12		
De Description	Composition	Cendres, Résidus de battage, Ordures, Feuilles des arbres et Pailles de brousses et des hangars.	Déjections animales sans résidus de cultures.	Déjections animales avec résidus de cultures.	Tiges de coton, Pailles de brousse, Pailles de céréales, Feuilles des arbres, Déjections animales et Pailles de riz	Résidus de culture et pailles de brousse	Produit des fosses septiques
	Lieu	Tas ordures	Parc ou Hangar		En fosse	En fosse au champ	Fosse sceptique
	Moyen/Quantité	Bonne qualité	Production simple si animaux en propriété. Quantité et conservation des urines avec litière		Eléments accessibles et disponibles, Décomposition rapide et facile, Effet moyen, mais production en quantité	Technique particulière, Utilisation de résidus sans transport, Main-d'œuvre disponible	Usage tabou
	Travail	Travail des femmes, Vielle technique de production, Ramasser, couvrir et arroser les tas (saison sèche)	Parquer les animaux (fourrage), Ramasser les déjections, Déplacer le parc périodiquement, Apporter de la litière		Ramasser et stocker des résidus, Les disposer en fosse, arroser et couvrir de paille. En fosse en hivernage ou sous les animaux.	Ramasser et stocker des résidus de culture. Les disposer en fosse. La pluie assure la décomposition	Casser la dalle, couvrir la fosse de résidus, décomposition
De Fonction	Durée et rapidité de l'effet	Effet long	Effet variable : 2 ans avec litière, 3 à 6 ans déjections simples, 10 ans avec urines		Effet moyen (3 ans) Immédiat, accentué 2 ^e année	/	Effet long (5 à 7 ans)
	Effet sur les plantes	Favorable au coton Favorise la fructification	Favorable aux céréales (fructification), moins au coton (développement végétatif plus que fructification) Croissance rapide des plants à la levée		Favorise la fructification sur des plants robustes. Favorise le développement des plantes et adventices	/	/
	Effet sur la rétention en eau	Favorise l'humidité du sol	Favorise l'humidité du sol, le sol « gonfle »		Favorise l'humidité du sol	/	/
	Effet sur le sol	Fumure « lourde », se mélange rapidement au sol	Fumure « légère », se mélange lentement au sol, Rend le sol meuble (labour facilité)		Si application à forte dose	/	/
De Risques	Risque / eau	/	Risque de brûlure avec des faibles pluies ou répartition inégale		Pas de risque de brûlure en cas de surdosage ou répartition inégale	/	/
	Risque / plantes et adventices	/	Apport de graines d'adventices, Possibilité de les dégrader par une décomposition en fosse		Risque d'apport de graines d'adventices (mauvaise décomposition)	/	/



Photo 2. Tas d'ordures dans une concession au village de Zanférébougou



Photo 3. Fosse à compost à la concession au village de Zanférébougou



Photo 4. Fosse à compost au champ au village de Zanférébougou



Photo 5. Terre de parc dans un parc simple au village de Dentiola



Photo 6. Transport de fumure organique en charrette au champ au village de Dentiola

Valeur agronomique des types de fumures organiques

La valeur agronomique des types de fumures organiques reconnues par les paysans peut être évaluée à travers leur valeur amendante (apport de matière organique) et leur valeur fertilisante (apport d'éléments minéraux).

La composition organique et minérale de ces fumures organiques a été étudiée à partir d'une diversité d'analyses issue de la bibliographie et d'analyses de fumures organique produites chez des paysans du Mali (Pcp Gesed dans le cadre du projet Pase 1) ou de fumures organiques produites chez des paysans du Burkina Faso (projet Fertipartenaires).

Les fumures organiques reconnues par les paysans ont pu être identifiées grâce aux descriptions jointes aux analyses. Nous avons distingué les déjections des petits ruminants de celles des bovins afin d'analyser leur caractéristiques propres, comme le précisent les savoir techniques locaux.

La richesse en éléments minéraux, pour chaque fumure organique, est présentée dans le Tableau 23. Le Tableau 24 présente la composition organique et minérale des éléments utilisés pour la fabrication des fumures organiques.

Valeur amendante des types de fumure organique

Les apports de fumure organique modifient les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols selon les types de fumures organiques et les types de sol. La matière organique, apportée par les fumures organiques aura d'autant plus d'effet sur un sol sableux qu'elle permettra d'augmenter la capacité d'échange cationique et la capacité de rétention en eau, faible dans ce type de sol.

D'après les analyses, les fumures organiques issues des tas d'ordures et des fosses à compost au champ sont pauvres en **matière organique** et en **carbone** (teneurs respectives en carbone de 2,99 et 2,88 % de la MS). La fumure organique des tas d'ordures contient, sans doute, du sable mélangé aux ordures lors du balayage de la concession. De même, les fosses à compost au champ peuvent avoir été envahies par du sable (fosse non construite, sans rebords) et le compost peut avoir été consommé, en partie, par des termites. En comparaison, dans le cadre d'un projet de recherche action en partenariat au Burkina Faso³⁹, une expérimentation de production de compost au champ a été lancée (fosse construite au ciment, apport de déjections animales mélangées aux résidus de culture). Les analyses de composition de ces composts présentent des taux de carbone supérieurs (10,2 % de la MS).

La teneur en carbone du compost de la concession (15,4 % de la MS). Les apports de terre et de sable peuvent être également importants dans les fosses à compost à la concession (érosion hydrique éolienne, balayage, fosse sans rebords).

La terre de parc des petits ruminants présente une teneur en carbone relativement faible (11 % de la MS). Cette fumure organique a été séchée au soleil, dégradée par des termites et mélangée à la terre par le piétinement des animaux. Le fumier et la terre de parc des bovins sont des fumures organiques riches en carbone et en matière organique (teneur en carbone

³⁹ Projet Fertipartenaires

respectivement 27,26 et 38,20 % de la MS). Les terres de parcs des bovins pourraient cependant être également mélangées à de la terre par le piétinement des animaux et présenter une teneur en matière organique plus réduite. La période de l'échantillonnage, le rapport de la taille du troupeau sur la surface du parc et la saison du parcage influencent sans doute la teneur en matière organique des terres de parc.

Le **rapport C/N** des fumures organiques est un « facteur d'ordre écologique et nutritif » d'après Mustin (1987). Il dépend de la composition des constituants initiaux, et est le résultat de la décomposition de ces éléments par les microorganismes. Il permet d'apprécier le degré de décomposition de la fumure organique.

Lors de la fermentation aérobie, les microorganismes consomment plus de matière carbonée, qui est leur source d'énergie, que d'azote. Ainsi, le rapport C/N a tendance à décroître au cours de la décomposition. Au moment du remplissage, le rapport C/N optimal serait compris entre 70 et 20, pour atteindre, en fin de décomposition, un rapport C/N de 15 à 8 (Mustin, 1987). Si le carbone est en excès, l'azote en déficit devient le facteur limitant de la fermentation aérobie. La dégradation des molécules organiques dépendra, alors, de la fourniture en azote à la chaîne trophique. Au contraire, si le rapport C/N est bas, l'azote libéré en excès lors de la fermentation, risque d'être perdu sous forme d'ammoniac ou de nitrate. Cependant, le rapport C/N optimal reste théorique. Il doit être ajusté en fonction du caractère fermentescible des molécules organiques. Un substrat riche en lignine ou cellulose aura un rapport C/N optimal plus élevé. Même si la teneur en carbone est élevée, il sera peu accessible pour la dégradation par les microorganismes. L'ajout d'une quantité limitée d'azote permettra alors de soutenir la décomposition des molécules organiques par les microorganismes (Mustin, 1987).

Une fumure organique, de rapport C/N supérieur à 15, peut fournir de l'humus stable au sol, mais sa décomposition se poursuivra, entraînant une consommation de l'azote du sol avec un risque de « *faim d'azote* » pour les cultures (Pépin, 2008).

Les fumures organiques des fosses à compost au champ, des fosses à compost à la concession et des tas d'ordures présentent un rapport C/N relativement faible (respectivement 11,7, 13 et 14,2). Ces fumures organiques devraient se décomposer rapidement dans les sols et se minéraliser, sans inconvénients pour les cultures.

Le fumier des parcs améliorés présente un rapport C/N plus élevé (18,8) et la terre de parc de petits ruminants, un rapport C/N moyen (13,8). Le rapport C/N de la terre de parc des bovins est très élevé (26,6). Ce type de fumure organique est reconnu par les paysans, pour contenir des éléments mal décomposés « *fibreuse* ». Sa décomposition devrait se poursuivre dans le sol.

La composition en polysaccharide des résidus de culture utilisés pour la production de fumure organique est présentée dans le Tableau 22.

La composition en polysaccharides des résidus utilisés pour la production de fumure organique influence le processus de compostage. Les tiges de coton représentent les résidus

de culture les plus fibreux (17,7 % de la MS de lignine et 75 % de la MS de cellulose). Ces résidus sont composés de molécules organiques peu fermentescibles, complexes qui sont dégradés lentement par des bactéries et des champignons. Les pailles de céréales, contenant moins de lignine, sont plus facilement dégradables car elles contiennent plus d'éléments fermentescibles.

Tableau 22. Composition en polysaccharide des résidus de culture utilisés pour la production de fumure organique

Résidus de culture	Matière sèche (%)	Hémicellulose (% de la MS)	Cellulose (% de la MS)	Lignine (% de la MS)
Tiges de coton *	91,7	3,3	75	17,7
Pailles de maïs *	92,3	4,9	61,2	9,9
Pailles de mil *	92,4	5,5	64,3	11,4
Pailles de sorgho *	92	4,8	60,1	9,3

* Analyses du Pcp-Gesed, Pase 1, 2006

La Valeur fertilisante des types de fumures organiques

L'application de fumure organique sur les sols cultivés correspond également à un apport d'éléments nutritifs. Ces éléments peuvent être, assimilables par les cultures, s'ils sont sous forme minérale (une partie de l'azote et du phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium) ou nécessitent une minéralisation, s'ils sont sous forme organique (une partie de l'azote et du phosphore).

Seules les fumures organiques issues des déjections animales (terre de parc de bovin, fumier de parc amélioré, terre de parc de petits ruminants) sont riches en **azote total** (1,44 % de la MS pour la terre de parc des bovins, 1,45 % de la MS pour les fumiers et 0,80 % de la MS pour la terre de parc des petits ruminants). La digestion des herbivores fournit des déjections riches en azote avec 1,44 % de la MS pour les fèces des bovins et 2,60 % de la MS pour les fèces des petits ruminants. Ces compositions varient suivant les espèces domestiques, comme le reconnaissent les paysans, mais aussi selon les saisons et le régime alimentaire des animaux (Landais et al., 1993).

Les teneurs en azote total des composts des champs et des tas d'ordures sont plus faibles (respectivement 0,25 et 0,21 % de la MS). Ces fumures organiques sont en effet formées à partir de résidus de culture et de débris végétaux peu riches en azote (0,34 à 0,54 % de la MS pour les tiges de coton ou pailles de céréales). Le compost de la concession présente une teneur en azote total moyenne (1,14 % de la MS), car les résidus de culture sont mélangés, dans ce type de fosse, avec les déjections des animaux présents dans la concession.

Le **phosphore**, contenu dans les fumures organiques, provient essentiellement des déjections animales (1,30 % de la MS des fèces des petits ruminants et 0,8 % de la MS des fèces de

bovins). Les pailles de maïs, sorgho et mil ont des teneurs en phosphore faibles (entre 0,02 et 0,03 % de la MS). Les tiges de coton sont relativement plus riches en phosphore (0,05 % de la MS). La teneur en phosphore des composts évolue peu au cours de la décomposition de la matière organique. Il s'agit d'un élément peu soluble, qui aurait tendance à se concentrer dans les composts par réduction de volume. La teneur en phosphore dépend donc des éléments utilisés pour la production de la fumure organique.

Les teneurs en **potassium** des résidus de culture sont comparables à celles des déjections des bovins, à l'exception de celle des pailles de mil qui paraissent plus faibles (0,46 % de la MS des pailles de mil contre 0,70 % de la MS des pailles de maïs voir 0,90 % de la MS des fèces des petits ruminants ou 0,93 % de la MS pour les pailles de sorgho). Les fumures organiques contenant des déjections animales présentent les teneurs en potassium les plus riches (2,02 % de la MS pour le fumier, 2,38 % de la MS pour la terre de parc).

Landais et Lhoste (1993) présentent, dans leur synthèse sur l'élevage et les transferts de fertilité, une diversité de résultats d'analyses qui montre que les conditions de prélèvements et de conservation des échantillons de fumure organique entraînent une grande variabilité sur leur composition chimique (d'après des analyses de Hamon cité par Landais et Lhoste, 1993). Ces analyses de composition doivent donc être prises en compte à travers leur tendance générale.

Tableau 23. Composition organique et minérale des types de fumures organiques

Type de fumure organique	Carbone (% de la MS)	Azote total (% de la MS)	Phosphore total P2O5 (% de la MS)	Potassium, K2O (% de la MS)	Calcium, CaO (% de la MS)	Magnésium, MgO (% de la MS)	Rapport C/N
Compost des champs ⁽¹⁾	2,99	0,25	0,22	0,81	0,92	0,28	11,77
Compost de la concession ⁽²⁾	15,4	1,14	0,18	0,9			13
Tas d'ordures domestiques ⁽¹⁾	2,88	0,21	0,13	0,58	0,49	0,17	14,21
Terre de parc de bovin ⁽³⁾	38,20	1,44	0,35	2,38	0,51	0,69	26,6
Fumier de parc amélioré ⁽⁴⁾	27,26	1,45	0,45	2,02	1,29	0,36	18,8
Terre de parc de petit ruminant ⁽⁵⁾	11,00	0,80	0,40	0,80	1,30	0,70	13,80

⁽¹⁾ Analyses du Pcp-Gesed, Pase 1, 2006 ; ⁽²⁾ Dugué, 1996 ; ⁽³⁾ Bacyé et al, 1998 ; ⁽⁴⁾ Somé et al, 2004, ⁽⁵⁾ Pessinaba, 1989

Tableau 24. Composition organique et minérale des éléments utilisés pour la production de fumure organique

Résidus de culture	Matière sèche (%)	Carbone (% de la MS)	Azote total (% de la MS)	Phosphore total P2O5 (% de la MS)	Potassium, K2O (% de la MS)	Calcium, CaO (% de la MS)	Magnésium, MgO (% de la MS)	Rapport C/N
Tiges de coton ⁽¹⁾	91,70	47,45	0,54	0,05	0,71	0,49	0,12	88,59
Pailles de maïs ⁽¹⁾	92,30	45,46	0,48	0,03	0,70	0,15	0,12	95,51
Pailles de mil ⁽¹⁾	92,40	46,02	0,42	0,02	0,46	0,13	0,11	109,75
Pailles de sorgho ⁽¹⁾	92,00	46,65	0,34	0,03	0,93	0,14	0,15	136,70
Fèces de petit ruminant (fraîches) ⁽²⁾	48	32,00	2,60	1,30	0,90	1,20	0,70	12,31
Fèces de bovins (fraîches) ⁽³⁾		51,74	1,44	0,80	0,70	1,37	35,90	

⁽¹⁾ Analyses du Pcp-Gesed, Pase 1, 2006 ; ⁽²⁾ Pessinaba, 1989 ; ⁽³⁾ Landais et al. 1993

ELEMENTS DE CONCLUSION

La caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures organiques permet d'identifier la diversité de fumures organiques reconnues par les paysans et l'ensemble des variables qu'ils utilisent pour les décrire.

Les paysans identifient quatre principaux types de fumures organiques : le tas d'ordures domestiques (Sununkun nɔgɔ), le fumier et la terre de parc (Misi bô ou Bagan nɔgɔ), le compost de la concession (Nɔgɔ dinge) et le compost des champs (Kala nɔgɔ).

Pour caractériser chaque type de fumure organique, les paysans utilisent des variables de description (éléments et moyen à mobiliser pour la production, quantité produite, lieu de production), des variables de fonction (intensité, délais et durée de l'effet sur le sol, les plantes et l'eau du sol), et des variables de risque (sur l'eau, sur les adventices ou sur les animaux).

Les systèmes de classification des fumures organiques des deux villages présentent des entités communes (tas d'ordures domestiques, fumier, terre de parc, compost de la concession, compost des champs) et des entités peu partagées (compost de fèces humaines).

Certaines variables utilisées par les paysans sont peu partagées, même si elles ont du sens comme le risque de brûlure des plants suite à l'application de fumure avec une faible pluviométrie ou le risque d'envahissement par les adventices suite à l'application de fumure organique.

Les valeurs agronomiques de chaque type de fumure organique reconnu par les paysans est présenté à travers sa valeur amendante (teneurs en matière organique) et sa valeur fertilisante (apports en éléments minéraux). Les types de fumures organiques sont caractérisées ainsi par des variables reconnues par les sciences (taux de matière organique, rapport C/N...).

Chapitre 4.1.5. Les savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux

Ce cinquième et dernier chapitre de la première section présente les résultats des entretiens menés auprès des paysans des deux villages sur les savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux.

Après une présentation des engrais minéraux utilisés dans la zone Mali-Sud, ces engrais seront décrits par les paysans de Dentiola et de Zanférébougou. Les règles de gestion qu'ils définissent pour régler leur utilisation seront par la suite discutées avant que la comparaison qu'ils réalisent de l'effet des fumures organique et des engrais minéraux ne soit présentée.

Les engrais minéraux utilisés au Mali-Sud

Les paysans utilisent, sur les cultures de coton et de céréales, des complexes NPK et de l'urée, apportant de l'azote, du phosphore et du potassium essentiels à la croissance des plantes cultivées.

L'approvisionnement au engrais minéraux (complexe NPK coton ou céréales et urée) utilisés par les paysans de la zone Mali-Sud, était géré par la filière cotonnière qui s'appuyait sur un mécanisme de crédit assuré par des retenus sur la vente du coton graine. La société cotonnière, les banques agricoles de développement et de crédit et les organisations paysannes fournissaient ainsi des engrais pour la culture cotonnière, mais aussi pour les cultures vivrières (maïs, sorgho et mil, arachide ou riz), à des paysans organisés en groupements ou coopératives. Aujourd'hui, l'approvisionnement en intrants a été privatisé et les paysans, à travers les organisations paysannes, sont devenus des acteurs clefs de l'approvisionnement et de la distribution des engrais. Les engrais sont toujours fournis à crédit aux paysans, mais de nouveaux acteurs interviennent dans la gestion des crédits. Le marché des intrants au Mali est soumis à une politique libérale où des appels d'offre sont lancés à diverses structures nationales, sous régionales ou internationales.

Auparavant, la majorité des engrais restaient importés entraînant des surcoûts importants (taxe d'importation, transport, stockage). En 2007, une usine de production d'engrais « *made in Mali* » a été créée à Bamako (Togouna- Industries) ce qui offre des espoirs de diminution du coût des engrais pour les paysans, avec des possibilités d'exporter vers les pays de la région.

La diversité d'acteurs intervenant dans l'approvisionnement en intrants au Mali-sud ne garantit pas l'homogénéité des produits utilisés par les paysans dans les champs, comme cela était le cas sur les parcelles de coton lorsque les engrais étaient fournis par la société cotonnière. L'utilisation des engrais minéraux est officiellement normalisée par l'encadrement agricole, qui précise les doses à appliquer sur les différentes cultures, les dates et le mode d'application afin d'assurer une efficacité optimum des produits. Les doses, recommandées par l'encadrement agricole, dépendent cependant des objectifs de rendement attendus (de 1,5 à 2,5 t/ha par exemple sur le coton), de l'état de dégradation des sols et de la maîtrise des techniques d'entretien des cultures (CMDT, 1995 a). L'encadrement prévoit des doses d'engrais élevées dans le cas d'une intensification de la culture (objectif de rendement élevé

et investissement important en travail) et des doses réduites en cas de risque de mauvaise valorisation des engrais (difficultés de lutte contre les adventices ou engorgement des parcelles).

Les industriels ont fait évoluer les compositions des engrais au cours du temps. Les compositions en P_2O_5 , K_2O et $CO(NH_2)_2$ des engrais utilisés lors des campagnes 2006-07 et 2007-08 et les doses intermédiaires prévues sont présentées dans le Tableau 25.

Tableau 25. Composition et doses des engrais minéraux utilisés au Mali-sud (CMDT 1995 a, Témé, 2003)

	Urée	Complexe NPK coton	Complexe NPK céréales
Composition	46. 0. 0	14. 22. 12. 7S 1B	17. 17. 17. 4S
Dose recommandée			
Coton	50 kg/ha	150 kg/ha	/
Maïs	100 kg/ha	/	100 kg/ha
Sorgho et Mil	50 kg/ha	/	100 kg/ha
Application	Poquet ou ligne avant buttage	Poquet ou ligne avant buttage	Poquet ou ligne avant buttage

Il est recommandé d'appliquer les complexes NPK coton et céréales au moment des semis.

Sur le coton, l'urée peut être appliquée 30 jours après le semis. Dans le cas de semis tardifs (après le 10 juillet), l'urée peut être appliquée au moment du semis, mélangée au complexe NPK coton. L'application d'urée ne doit pas dépasser le 30 juillet.

Sur les céréales, l'urée peut être appliquée dès que les plantes sont développées ou au moment du semis, mélangée au complexe NPK céréale.

L'encadrement recommande également, pour limiter les pertes en éléments, d'enfouir les engrais dans le sol, par une application au poquet à la daba ou déposé le long de la ligne suivi d'un sarclage ou d'un buttage à la traction animale (CMDT, 1995 a).

Descriptions des engrais minéraux par les paysans

Les paysans reconnaissent trois types d'engrais : l'urée (*Nɔgɔjɛ*⁴⁰, *Séguéni*), le complexe NPK coton (*Nɔgɔfin*, *Korinɔgɔ*) et le complexe NPK céréale (*Nɔgɔfin*, *Nionnɔgɔ*, *Kabanɔgɔ*).

Les grilles de caractérisation des savoirs techniques locaux partagés par les paysans de Dentiola et ceux de Zanférébougou sont présentées dans le Tableau 26, le Tableau 27 et le Tableau 28.

Les variables de caractérisation utilisées

Les variables de description

Les paysans s'appuient sur des variables de description pour identifier les types d'engrais minéraux qu'ils utilisent dans leurs champs. La couleur du produit, sa forme, la couleur du sac

⁴⁰ *Nɔgɔjɛ* : fumure blanche, *Nɔgɔfin* : fumure noire, *Kori nɔgɔ* : fumure du coton, *Nionnɔgɔ* : fumure des céréales, *Kabanɔgɔ* : fumure du maïs (Pére Bailleul, 2000).

et son prix sont cités. Les paysans sont unanimes sur la forme poudreuse de l'urée et granuleuse des complexes NPK coton et céréales. Les couleurs de l'urée et du complexe NPK céréales sont partagées par les paysans à la différence du complexe NPK coton.

Les variables de fonction

Selon les paysans, le complexe NPK coton ou céréales et l'urée ont des effets particuliers sur les compartiments de l'agro-système (plantes, sols, adventices). Les complexes NPK provoqueraient un changement de couleur des plants et favoriseraient le développement végétatif des cultures de coton et de céréales alors que l'urée favoriserait la fructification (nombre de capsules par plants de coton et remplissage des graines de céréales). Les engrais entraîneraient les mêmes effets sur les adventices que sur les cultures, avec un développement végétatif des adventices et la formation de fruits. L'application de complexe NPK favoriserait la croissance végétative des adventices, entraînant un risque d'enherbement des parcelles. L'application d'urée soutiendrait la fructification des adventices, avec un risque d'enrichissement du stock de graines d'adventices du sol.

Enfin, les engrais rendraient le sol meuble, facilitant le travail du sol. Les complexes NPK auraient un effet plus intense sur les sols que l'urée, à cause de leur composition plus complète.

Pour les paysans, les engrais doivent se décomposer dans le sol avant d'agir. Cette décomposition demanderait de l'eau. Ils expliquent qu'en cas de faibles pluies, les engrais « tirent l'humidité du sol », asséchant les cultures au risque de les brûler. La recherche agricole a décrit l'effet des engrais sur les besoins en eau des cultures (Bertrand et al., 2000). La mise en solution des éléments minéraux est nécessaire pour leur absorption par les racines. De plus, l'application des engrais provoque une augmentation des besoins en eau par une évapotranspiration plus forte et l'augmentation du volume de sol exploré par les racines. Enfin, les racines qui croissent dans un volume de sol riche en éléments minéraux (particulièrement en phosphore) développent des racines secondaires, augmentant ainsi la capacité d'absorption en eau. Selon la profondeur d'enfouissement des engrais, les plantes peuvent être plus résistantes à la sécheresse (engrais profondément enfouis) ou sensibles aux épisodes secs (engrais en surface).

Les variables de risques

Les paysans associent à l'utilisation d'engrais dans les champs, des variables de risque sur les cultures, les sols et les exploitations.

Les paysans reconnaissent que l'utilisation d'engrais peut entraîner des **risques sur les cultures**. L'application d'urée pourrait provoquer la chute des fleurs de coton si l'application se fait après la floraison et en absence de pluie. Les complexes NPK pourraient empêcher la floraison des cultures, si l'application se fait sans humidité. La recherche reconnaît que l'absorption des éléments minéraux par les cultures est maximale au moment de la floraison. L'augmentation des besoins en eau des plantes amendées peut entraîner un stress hydrique en cas de faibles pluies, pouvant engendrer, au moment de la floraison, la chute des fleurs

(Bertrand et al., 2000). Les paysans notent que l'application de complexes NPK ne doit pas s'effectuer avec la rosée. L'engrais risquerait d'être collé à l'humidité des feuilles et d'entraîner des brûlures. De plus, l'urée risquerait d'entraîner des brûlures des feuilles si, lors de l'application, elle se retrouverait dans le creux des tiges des céréales.

Les paysans reconnaissent, également, que l'application répétée d'engrais sur une parcelle, entraîne des **risques pour les sols**. Une utilisation répétée de complexe NPK et d'urée sur une parcelle entraînerait « *une dépendance du sol aux engrais* », la nécessité d'appliquer des engrais minéraux à chaque mise en culture. L'application d'engrais entraînerait également, un appauvrissement des sols par le développement excessif des adventices. Ces risques correspondent aux effets secondaires des engrais présentés par la recherche agronomique avec l'acidification des sols et l'épuisement en éléments minéraux par le développement accrue des cultures et des adventices (Bertrand et al., 2000).

La perte des éléments minéraux apportés au sol est un risque reconnu par les paysans. Ils appréhendent une perte de l'urée par lessivage (mouvement d'eau vertical) et des complexes NPK par érosion et ruissellement (mouvement d'eau horizontal).

Pour les paysans, les exploitations qui utilisent des engrais s'engagent à rembourser un crédit à partir de revenus tirés d'une production agricole largement dépendante de la pluviométrie, non maîtrisable. Ce risque d'endettement correspond un **risque pour les exploitations**. Il correspond à la principale contrainte définie par Honfoga dans ses travaux sur les systèmes d'approvisionnement en intrants au Bénin (Honfoga, 2007). Les paysans mentionnent également le prix élevé de ces produits et leur qualité variable comme un facteur de risques pour les exploitations.

Les règles de gestion sur les engrais minéraux

Les paysans définissent des règles de gestion sur les engrais minéraux en spécifiant les modalités, les doses, les périodes d'application et les périodes après lesquelles il n'est plus rentable d'appliquer des engrais.

Il apparaît une relative conformité des doses paysannes d'engrais à appliquer sur le coton, en accord avec les recommandations de l'encadrement (150 kg/ha de complexe NPK coton et 50 kg/ha d'urée). Les paysans de Dentiola expliquent cependant, qu'en cas de risques accrus de mauvaise production, ils appliquent une dose réduite d'urée sur le coton (25 kg/ha). Sur les céréales, les paysans présentent des doses paysannes d'urée plus fortes que celles recommandées par l'encadrement pour une culture moyennement intensive. Ils considèrent devoir appliquer 150 kg/ha d'urée sur les cultures de maïs au lieu de 100 kg/ha, et 100 kg/ha sur les cultures de sorgho au lieu de 50 kg/ha. Ces doses paysannes d'urée sur les céréales correspondent aux doses recommandées par l'encadrement dans le cas d'une intensification des cultures (objectif de rendement élevé et investissement important en travail).

Les paysans reconnaissent une diversité de périodes d'application des engrais (période conseillée et période limite). Ces périodes d'application définie par les paysans, sont présentées dans la Figure 38 et la Figure 39.

Les paysans du village de Dentiola préconisent des périodes d'application du complexe NPK coton plus tardives que les périodes recommandées par l'encadrement, à l'exception de quelques paysans qui appliquent le complexe NPK quelques jours après les semis. Les périodes d'application de l'urée se rapprochent des recommandations (à 30 jours après les semis).

Les paysans de Dentiola expliquent que l'application de l'urée sur les cultures de maïs doit être fragmentée, la moitié de la dose est appliquée, comme le veut la recommandation, à 30 jours après les semis et l'autre moitié, 10 à 30 jours après application du complexe NPK céréale.

Les paysans du village de Zanférébougou définissent des règles d'application des engrais différentes. Les complexes NPK doivent être appliqués 35 jours après les semis et l'urée 15 jours après le complexe NPK. Les paysans sont cependant unanimes sur la nécessité d'exécuter un désherbage ou un traitement herbicide avant l'application des engrais, ce qui nécessite une certaine humidité du sol.

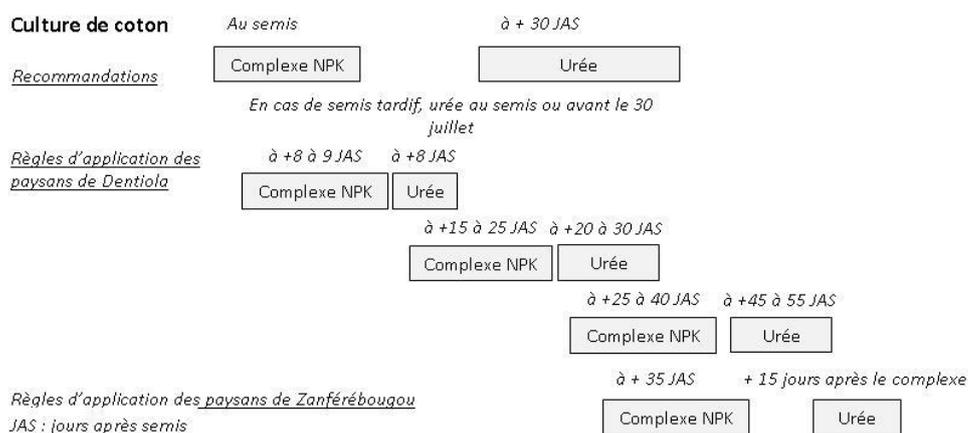


Figure 38. Période d'application des engrais sur le coton reconnue par les paysans et recommandations

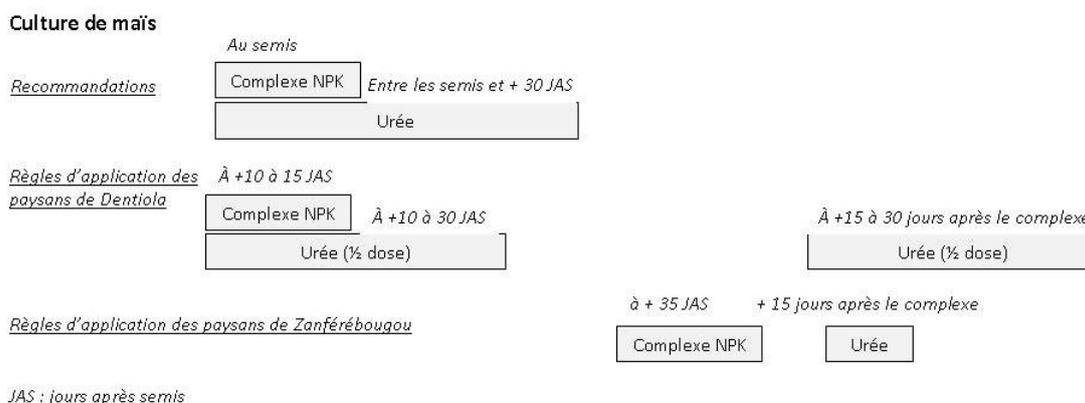


Figure 39. Période d'application des engrais sur le maïs reconnue par les paysans et recommandations

Tableau 26. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures minérales à Dentiola

Système de classification		UREE	COMPLEXE NPK COTON	COMPLEXE NPK CEREALES
Nom Bambara		<i>Nɔɔɔjɛ, Séguéni</i>	<i>Nɔɔɔfin, Korinɔɔɔ</i>	<i>Nɔɔɔfin, Nionɔɔɔ, Kabanɔɔɔ</i>
Variables de Description	Couleur	Blanc	Bleu; Blanc, rouge, noir et jaune; Blanc sale; Noir	Rouge, blanc
	Composition	-	-	-
	Forme	Fin	Granuleux	Granuleux mais fin aussi
	Prix	+ (peu)	+++ (plus)	++ (moyen)
	Sac	Blanc et bleu; Blanc	Bleu, vert, blanc	Rouge, bleu, blanc
Variables de Fonction	Effet sur les cultures	Rend les cultures noires	Rend les cultures noires, Développement végétatif	Rend les cultures noires, Développement végétatif
	Effet sur les fleurs	Donne beaucoup de fleurs	/	/
	Effet sur les fruits	Donne beaucoup de fruit	/	/
	Effet sur les herbes	Fructification des herbes et enherbement rapide	Enherbement rapide	Enherbement rapide
	Effet sur le sol	Donne de la force (fertilise) et Rend le sol meuble	Fertilise, Change de couleur et Rend le sol meuble	Fertilise, Change de couleur et Rend le sol meuble
Variables de Risque	Sur les cultures	Perte de fleurs si utilisation après floraison ou pas de pluies 15 jours après application <i>Provoque la chaleur</i>	Sèche les plants si utilisation sans pluie, en grande quantité ou à la rosée <i>Tire l'humidité du sol</i>	Sèche les plants si utilisation sans pluie, en grande quantité ou dans la rosée <i>Tire l'humidité du sol</i>
		Brûlure des plants si utilisation en grande quantité, à la rosée, pas de pluies 10 jours après application ou entre dans le creux des plants <i>Tire l'humidité du sol</i>	Empêche la floraison si utilisation sans humidité	Empêche la floraison si utilisation sans humidité
		Problème de conservation sur une longue période	Problème de conservation sur une longue période	Problème de conservation sur de longue période
	Sur les herbes	Enherbement rapide problème de main-d'œuvre	Enherbement rapide problème de main-d'œuvre	Enherbement rapide problème de main-d'œuvre
	Sur le sol	Rend le sol dur si utilisation sans pluie	Rend le sol dur si utilisation sans pluie	Rend le sol dur si utilisation sans pluie
		Appauvrissement du sol par enherbement excessif	Appauvrissement du sol par enherbement excessif	Appauvrissement du sol par enherbement excessif
		Dépendance	Dépendance	Dépendance
	Sur l'exploitation	Crédit dont le remboursement dépend de la pluie	Crédit dont le remboursement dépend de la pluie	Crédit dont le remboursement dépend de la pluie
		Problème de qualité	Problème de qualité	Problème de qualité
Coût élevé		Coût élevé	Coût élevé	

Tableau 27. Règles de gestion sur les fumures minérales par les paysans de Dentiola

Système de classification		UREE	COMPLEXE NPK COTON	COMPLEXE NPK CEREALES	
Règles de gestion	Mode d'application	Coton	en ligne, au poquet	en ligne, au poquet	
		Maïs	en ligne, au poquet	en ligne, au poquet	
		Mil et Sorgho	en ligne, au poquet	au poquet	
	Doses	Coton	25 à 50 kg/ha	Coton : 150 kg/ha	
		Maïs	50 à 150 kg/ha		100 à 150 kg/ha
		Mil et Sorgho	25 à 100 kg/ha		50 à 100 kg/ha
	Période de l'application	Coton	8 jours après le semis, 20 à 30 jours après le semis ou 15 à 25 jours après le complexe NPK coton.	8 à 9 jours après le semis 15 à 25 jours après semis Ou 25 à 40 jours après semis	
		Maïs	10 à 30 jours après le semis (1er sac) Ou 15 à 30 jours après le complexe NPK céréales (2 ^e sac)		10 jours après le semis 15 ^{ème} jour après semis 15 à 25 jours après semis 25 à 30 jours après semis Ou 40 jours après semis
		Mil et Sorgho	60 à 70 jours après semis		Sorgho et Mil : 20 jours après semis 60 à 65 jours après semis
	Période limite d'application		Avant l'apparition des fleurs		Avant l'apparition des fleurs
		Coton	20 à 45 jours après le semis	5 à 7 jours après semis 15 jours après semis 20 à 30 jours après le semis Ou 45 à 60 jours après semis	
		Maïs	15 à 30 jours après le semis (1er sac) 10 à 50 jours après le complexe NPK céréales (2 ^e sac)		7 jours après semis 15 jours après semis 20 à 25 jours après le semis 30 jours après semis 60 jours après semis
Mil et Sorgho		50 à 80 jours après le semis ou 20 jours après le complexe céréale		15 jours après semis 45 à 50 jours après semis 65 à 80 jours après semis	

Tableau 28. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures minérales à Zanférébougou

	Bambara	Nꞎꞎꞎꞎꞎ	Nꞎꞎꞎꞎꞎ, Korinꞎꞎꞎꞎ	Nꞎꞎꞎꞎꞎ, Kabanꞎꞎꞎꞎ
Entités	Sénoufo	Ganféré	Gangoré	Gangoré
	Français	Urée	Complexe NPK coton	Complexe NPK céréales
Variables de Description	Couleur	Blanc	Noir et Blanc	Noir, Blanc et Rouge
	Texture	Poudreux	Granuleux	Granuleux
	Sac	Sac plus gros	Sac plus petit	Sac plus petit
	Prix	à crédit : le moins cher au marché noir : peut devenir très cher	à crédit : le plus cher	à crédit : le plus cher
Variables de Fonction	Décomposition	Décomposition rapide	Décomposition demande de l'humidité, moins rapide	Décomposition demande de l'humidité, moins rapide
	Effets sur les cultures	Fructification : Coton, beaucoup de capsules, Maïs, beaucoup de graines dans les épis	Développement végétatif des plants	Développement végétatif des plants
	Effets sur les sols	Fertilise moins le sol.	Fertilise mieux le sol par sa composition.	Fertilise mieux le sol par sa composition
Variables de Risques	Coûts	Achat si les moyens financiers le permettent	Achat si les moyens financiers le permettent	Achat si les moyens financiers le permettent
	Faibles pluies	RAS	Perte d'effet du complexe NPK si pas de pluie Effet du soleil ne permet pas sa décomposition	Perte d'effet du complexe NPK si pas de pluie Effet du soleil ne permet pas sa décomposition
	Fortes pluies	Lessivage si pluie trop longue, mouvement vertical	Erosion, mouvement d'eau horizontal	Erosion, mouvement d'eau horizontal
	Main d'œuvre	Charge en travail si pas de désherbage avant	Charge en travail si pas de désherbage avant	Charge en travail si pas de désherbage avant
	Enherbement	Développement des adventices : nécessité de désherber avant application	Développement des adventices : nécessité de désherber avant application	Développement des adventices : nécessité de désherber avant application
	Brûlure	Brûlure des plants si contact avec les fleurs Peut faire tomber les fleurs de coton	Brûlure des feuilles si application à la rosée	Brûlure des feuilles si application à la rosée
Règles de gestion	Mode d'application	Après désherbage, stade 2 ou 3 feuilles	Après désherbage, disparition de la rosée, sol humide	Après désherbage, disparition de la rosée, sol humide
		Application en ligne : évite les brûlures	Au poquet : Diminution des pertes/ évite les brûlures	Au poquet : Diminution des pertes/ évite les brûlures
	Doses et variation	Coton : 50 kg/ha	Coton : 150 kg/ha	Maïs : 100 kg/ha
		Maïs : 150 kg/ha		
		Diminution sur le Maïs : 100 kg/ha	Pas de changement	Pas de changement
Période idéale	15 jours après l'application du complexe NPK	35 jours après le semis	35 jours après le semis	
Période possible	Coton : avant floraison	Semis tardif : au moment du semis	Semis tardif : au moment du semis	

Comparaison de l'effet des fumures organiques et minérales vue par les paysans

Les effets des fumures minérales sur les plantes, les sols et les adventices sont comparés aux effets des fumures organiques par les paysans de Dentiola (Tableau 29).

Les paysans expliquent que les fumures organiques favorisent le développement de plantes vigoureuses et une bonne fructification des cultures. Ils reconnaissent que les engrais agissent plus rapidement sur le développement des cultures.

Les fumures organiques auraient des effets plus importants sur les sols (durée de l'effet, meilleure rétention de l'eau, sol structuré et meuble, travail du sol facilité).

Les fumures organiques et minérales aideraient le développement des adventices et les fumures organiques seraient vectrices de graines d'adventices. Les deux types de fumures participeraient à la lutte contre le striga, adventice parasite des cultures de céréale, en favorisant la culture au détriment du parasite. Enfin, les effets des deux types de fumures sur les cultures, les sols et les adventices resteraient complémentaires.

Les paysans ne semblent pas distinguer que les engrais minéraux contiennent des éléments directement assimilables, alors que les fumures organiques se minéralisent progressivement dans les sols, libérant les éléments minéraux absorbés par les cultures. L'effet des fumures organiques que les paysans observent correspond, sans doute plus, à une amélioration de la capacité d'échange cationique et de la capacité de rétention en eau des sols.

Tableau 29. Effets comparés de la fumure organique et minérale par les paysans de Dentiola

<i>Effets</i>	<i>Sur les Plantes</i>	<i>Sur le sol</i>	<i>Sur les adventices</i>
<i>Nombre de référence sur 11 enquêtes à Dentiola</i>			
<i>Fumure organique</i>	Développement des plantes (3) Plantes plus vigoureuses (6) Meilleure fructification (1)	Effet plus long (11) Rend le sol humide (3) et meuble (6) en changeant sa structure (2) Rend le sol facile à cultiver (1)	Développement des adventices (3) Apport de graines d'adventices (7) Lutte contre le striga (1)
<i>Fumure minérale</i>	Développement rapide des plantes (8)	/	Développement des adventices (6) Lutte contre le striga (1)

ELEMENTS DE CONCLUSION

La caractérisation des savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux permet de connaître les types d'engrais reconnus par les paysans et la diversité de variables qu'ils utilisent pour les décrire.

Les paysans de deux villages reconnaissent trois types de fumures minérales : l'urée (Nɔgɔɛ, Séguéni), le complexe NPK coton (Nɔgɔfin, Korinɔgɔ) et le complexe NPK céréales (Nɔgɔfin, Nionnɔgɔ, Kabanɔgɔ).

Pour décrire ces engrais minéraux, les paysans font appel à des variables de description (couleur du produit, forme, couleur du sac, prix), des variables de fonction (effets sur les plantes, les sols et les adventices), et des variables de risque (risque sur les exploitations, les sols et les cultures).

Les engrais minéraux font l'objet de règles de gestion particulières qui peuvent être comparées aux recommandations de l'encadrement (modalités des apports, doses, périodes d'application et périodes limites).

Enfin, les paysans expliquent que l'effet des engrais minéraux et des fumures organiques est complémentaire. Ils reconnaissent que les fumures organiques favorisent le développement des plantes et la fructification des cultures, et que leurs effets sont plus importants sur les sols. Les engrais minéraux auraient une action rapide sur le développement des cultures.

Section 2 : Les pratiques de gestion de la fertilité des sols

La seconde section consacrée à l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols s'organise autour de trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la description des pratiques actuelles de production de fumure organique et à leurs évolutions dans les exploitations des deux villages au cours des dernières décennies.

Le second chapitre s'intéresse à la diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols, avec l'établissement d'une typologie des exploitations.

Enfin, le troisième chapitre décrit cette diversité des pratiques de gestion de la fertilité replacée dans l'espace des exploitations (territoire des exploitations).

Afin de faciliter de lecture du manuscrit, chaque chapitre fera l'objet d'une introduction succincte, rappelant l'origine des données. La section sera conclue par un rappel des principaux résultats.

Chapitre 4.2.1. Pratiques actuelles de production de fumure organique et évolution

La production de fumure organique dans les deux villages

La production de fumure organique a fait l'objet d'enquêtes auprès de l'ensemble des exploitations du village de Dentiola (167 UP) et de Zanférébougou (118 UP).

Le pourcentage des exploitations de villages de Dentiola et Zanférébougou produisant chaque type de fumure organique est présenté dans la Figure 40. Les exploitations pouvant mettre en œuvre plusieurs modes de production de fumure organique.

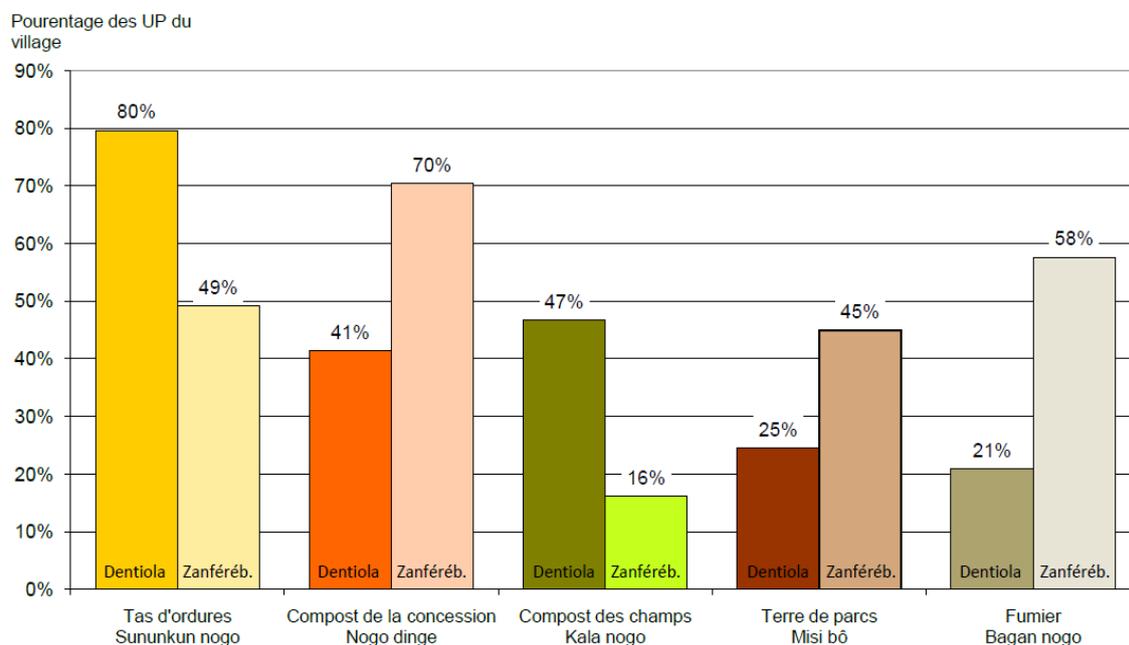


Figure 40. Production de fumure organique dans les villages de Dentiola et de Zanférébougou

A Zanférébougou, la production de fumures organiques est fondée sur l'élevage. Les exploitations produisent du fumier de parc amélioré (58 % des UP), de la terre de parc (45 % des UP). La production de compost des champs y est peu développée (16 % des UP) ; en revanche, la production fumure organique à partir des tas d'ordures l'est d'avantage (49 % des UP). La production de compost de la concession, riche en déjections animales représente le mode de production le plus développé au village (70 % des UP).

À Dentiola, la place de l'élevage pour la production de fumure organique paraît réduite à quelques exploitations propriétaire d'animaux, qui s'organisent pour les maintenir au village après les récoltes (25 % des UP produisent de la terre de parc et 21 % du fumier). La production de fumure organique est largement fondée sur l'utilisation des résidus végétaux comme la production de tas d'ordures (80 % des UP), de compost de la concession (41 % des UP) ou de compost des champs (47 %).

Les pratiques de production de fumure organique

Les tas d'ordures

La valorisation des ordures domestiques, en tas, sans mélange avec des résidus de culture ou des déjections animales est une pratique rare. Elle demeure dans les exploitations où les décideurs n'ont pas encore rendu collective une source de fumure anciennement dédiée aux femmes. Généralement, les tas d'ordures (ou de fosses légèrement creusées) sont alimentés, en permanence, par des ordures domestiques mélangés avec des résidus de culture, faciles à décomposer, apportés en saison sèche (pailles de maïs). En hivernage, le désherbage aux abords des concessions enrichit la fosse avec des herbes vertes (comme le *Cassia occidentalis*, Césalpinaceae, N'palanpalan). Les boeufs de trait, maintenus à la concession, sont souvent parqués la nuit sur le tas, ou la fosse, afin de favoriser la transformation des résidus. De même, les déjections des petits ruminants sont balayées régulièrement sur le tas, ou la fosse. Le tas d'ordures à la concession est donc un mode de production mixte de fumure organique, par compostage de matériaux d'origine végétale (ordures, vieilles pailles) et animale.

Le compost de la concession

Le compost de la concession, décrit par les paysans des deux villages, correspond à un compostage en fosse de résidus de culture et de déjections animales, sur le lieu d'habitation ou aux alentours. La fosse est remplie, après les récoltes avec des résidus transportés du champ au village, après les premières pluies avec des vieilles pailles ou seccos, et toute l'année avec les ordures domestiques et les déjections des boeufs de trait et/ ou des petits ruminants attachés à la concession. La fosse peut être couverte et arrosée en saison sèche pour conserver l'humidité et favoriser la décomposition des composants mis en fosse.

Le compost des champs

Afin de multiplier les sources de fumure organique, de mieux gérer les distances et les temps de transport, les paysans délocalisent certains lieux de production de fumure dans les champs éloignés des concessions. Les fosses, creusées au bord des champs, sont remplies des résidus de culture. Il s'agit souvent de résidus plus longs à décomposer (tiges de coton et pailles de mil). Les fosses sont couvertes de terre et l'eau pour la décomposition provient essentiellement des pluies, ou des eaux de ruissellement (entraînant des risques d'ensablement ou d'inondation des fosses). La fosse est vidée après deux ans de transformation, mais peut être abandonnée par les paysans si la vidange ne peut intervenir avant l'arrivée des pluies.

Les paysans n'y apportent généralement pas de déjections animales pour amorcer l'activité bactérienne comme le recommande la recherche, mais ajoute, en hivernage, des adventices issus des sarclages (destruction des adventices par la mise en fosse).

La valorisation des déjections animales

Dans les villages de Dentiola et Zanférébougou, tous les propriétaires d'animaux utilisent une partie des déjections produites par leurs bovins lors de leur séjour sur le territoire. Alors que les déjections bovines sont insérées dans des modes de production complexes (parc amélioré, compostage à la concession), les déjections des petits ruminants (ovins, caprins) sont souvent utilisées dans des procédés plus simples (parc simple) ou intégrées à celle des tas d'ordures. L'utilisation des déjections des petits ruminants est peu reconnue par l'encadrement, mais elle est très répandue chez les paysans de la zone Mali-Sud.

La valorisation des déjections animales passe par la mise en place de parcs simples, fournissant la terre de parc, ou de parcs améliorés fournissant du fumier. Dans les parcs simples, le seul apport de matière végétale correspond au refus de l'affouragement (pailles de maïs), quand il est distribué aux animaux. Le temps de parcage dépend de la taille des troupeaux et de son mode de conduite (gestion de l'alimentation en saison sèche et hivernage).

Certains paysans réalisent des parcs améliorés en ramassant et stockant, à proximité du parc, une litière de tiges de cotonnier et/ ou des pailles de céréales sèches (mil, sorgho). La litière, stockée en fin de saison sèche, est apportée sous les animaux, suivant la saison de leur retour de transhumance. Lorsqu'elle est apportée en fin de saison des pluies, les tiges et les pailles sont alors molles et pré-transformées. Lorsqu'elle est apportée dès la saison sèche, la litière est cassante et se brise rapidement.

Evolution des modes de production de fumure dans les villages

Evolution des pratiques au sein des exploitations

Une enquête a été conduite auprès des paysans sur les évolutions de leurs pratiques de production de fumure organique, d'affouragement et de complémentation du bétail. Cette approche, par étude de cas, nous permet de présenter des aspects de l'évolution de la production de fumure organique, dans les exploitations de la zone, et des aspects du contexte expliquant ces changements techniques avec quelques trajectoires d'évolution.

Lors des enquêtes, les paysans ont décrit les changements techniques qui sont survenus au cours du temps. Les paysans ont situé chaque changement à une période donnée et dans un contexte précis. Ils ont expliqué les facteurs importants des changements techniques (production de fumure organique, affouragement et complémentation des animaux). Les données sont donc issues des explications du chef d'exploitation, appuyées par d'autres membres de l'exploitation (père ou oncle pour les jeunes chefs d'exploitation) sur les pratiques réalisées au cours des dernières décennies.

L'utilisation d'un échantillon très réduit d'exploitations et de données déclaratives ne permet pas d'établir l'évolution des pratiques de production de fumure organique de la zone Mali-Sud, mais de proposer des tendances générales d'évolution de ces pratiques.

La Figure 41 illustre l'évolution au cours du temps des techniques mises en pratiques par les paysans des deux villages.

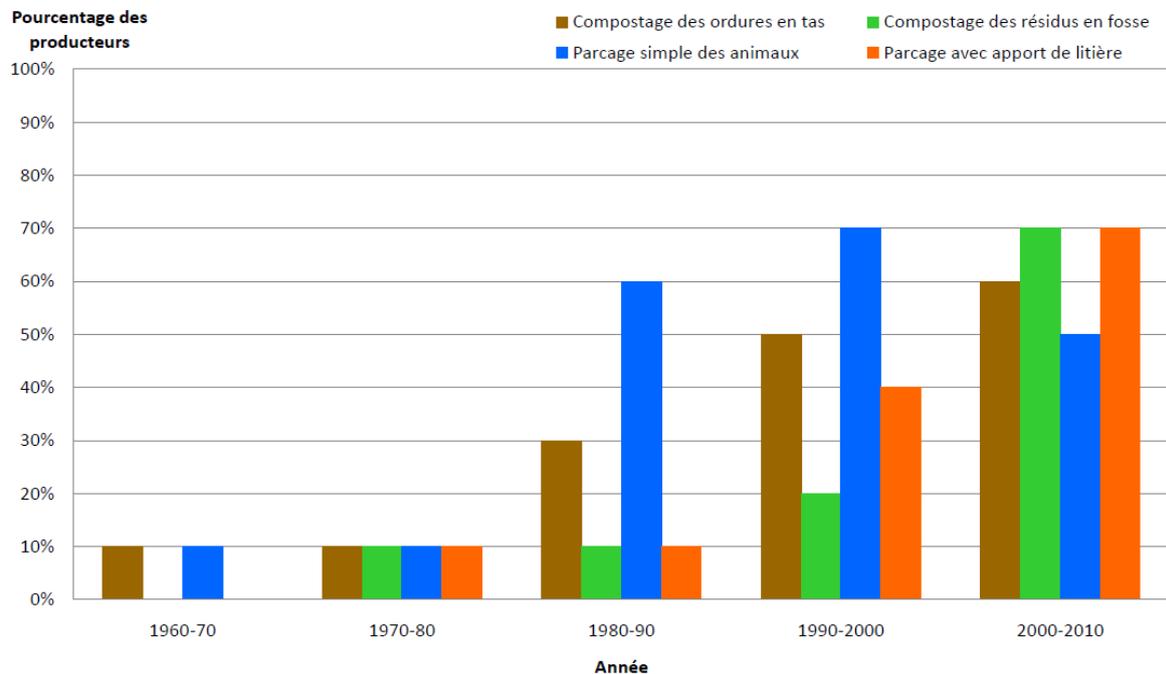


Figure 41. Evolution des techniques de production de fumure organique chez les paysans enquêtés

Toutes les exploitations de l'échantillon existent depuis les années 60, même si elles étaient alors dirigées par un autre membre de la famille. Les pourcentages présentés dans la figure correspondent donc au pourcentage des exploitations enquêtées.

D'après les données déclaratives, le **compostage des ordures domestiques en tas**, sur les lieux d'habitation, existe depuis longtemps dans les exploitations, même s'il n'a pas toujours été formel. Il s'agissait du premier modèle de gestion des ordures pour le maintien de la propreté des concessions. Non systématiquement ramassés, quelques fois brûlés ou abandonnés dans des espaces collectifs, ces tas ont pris de la valeur dès les années 80 et sont systématiquement ramassés et établis avec plus de soin dans leur préparation. Quand il s'agissait d'une simple gestion de déchet, l'activité appartenait aux tâches ménagères des femmes, mais aujourd'hui, les hommes y portent de l'intérêt (suivi des pratiques, conseils).

Le **parcage simple** des bœufs existe également depuis longtemps pour faciliter le gardiennage de nuit des animaux (éviter les vols, les dégâts sur les cultures). Au cours des années 80, les producteurs acquièrent des animaux de trait (extension de la traction animale) et d'élevage (investissement des revenus agricoles). Ils mettent donc en place des parcs simples. Parallèlement, la production de fumure organique dans les parcs améliorés se développe depuis les années 70-80, suite aux formations de l'encadrement, et prennent de l'importance depuis les années 90. La **valorisation des résidus de culture**, sous forme de litière apportée sous les animaux au parc représente, la dernière évolution sur les pratiques de production de

fumure organique. Depuis les années 2000, le pourcentage des exploitations qui mettent en place des parcs simples semble diminuer, sans doute au profit de l'installation de parcs améliorés, qui permettent d'augmenter la quantité de fumure organique produite.

Le **compostage** de résidus de culture commence dans les années 70, avec les premières formations de l'encadrement, mais la technique reste peu mise en pratique. Depuis les années 2000, un nombre croissant de producteurs déclare composter des résidus de culture en fosse.

D'après les tendances générales, les producteurs de Dentiola ont produit une diversité de fumure organique plus tôt (formations plus anciennes, emprise agricole plus forte) et pratiquent davantage le compostage en fosse. La transformation des résidus de culture par les animaux (parc amélioré) semblent disparaître chez certains producteurs (départ en transhumance et arbitrage entre fourrage et litière pour le stockage des biomasses).

La **place de l'élevage** dans la production de fumure organique semble différente entre les deux villages. Chez les paysans de Dentiola, les animaux partent en transhumance une partie de l'année, limitant la production de fumier ; par la suite, les paysans ont développé le compostage au champ. A Zanférébougou, les paysans valorisent les résidus de culture grâce à une transformation par les animaux, avec la technique du parc amélioré.

Les tas d'ordures autrefois abandonnés à l'extérieur des concessions sont ensuite produits à l'intérieur des concessions et deviennent la propriété de la famille. L'acquisition de bœufs de trait et le développement de l'élevage sur les territoires se sont accompagnés du ramassage des déjections animales (sur les zones de pâturage journalier ou sur les lieux d'attache des animaux), puis, avec la mise en place du parcage, la production de fumure s'est orientée vers le parcage des animaux dans des parcs clôturés (bœufs d'élevage) et la stabulation des boeufs de trait sous des hangars (modèle local de l'étable).

L'acquisition de charrettes par les paysans a permis le transport de biomasses végétales depuis les champs vers les parcs et les concessions. Les tas d'ordures se sont enrichis alors de biomasses ; ils se transforment en tas de compost et les parcs et les hangars sont enrichis de litière. Parallèlement, les techniques de production de fumure en fosse se développent. Le creusement des trous permet de conserver l'humidité et de produire plus de fumure en limitant les pertes en composants, par éparpillement.

Le développement du cheptel villageois entraîne une augmentation de la charge animale et l'extension des surfaces cultivées une diminution du disponible fourrager. Les résidus des céréales sont davantage mobilisés par les paysans pour l'affouragement des animaux, au détriment du compostage et des fosses. Le compostage, qui était pratiqué avec des pailles de céréales (décomposition plus rapide), s'oriente vers l'utilisation des tiges de coton (tissus ligneux, difficiles à décomposer). Les propriétaires des grands troupeaux envoient leurs animaux en transhumance vers des territoires offrant des zones de pâturages plus riches. Le temps de présence réduit des animaux d'élevage sur le territoire favorise le développement du parcage amélioré en trois mois, où les animaux participent à la transformation des résidus de cultures avant de partir en transhumance.

La filiation des techniques de production de fumure organique développées par les paysans peut être synthétisée selon la quantité de fumure organique produite et le niveau de technicité et la charge en travail requis (Figure 42).

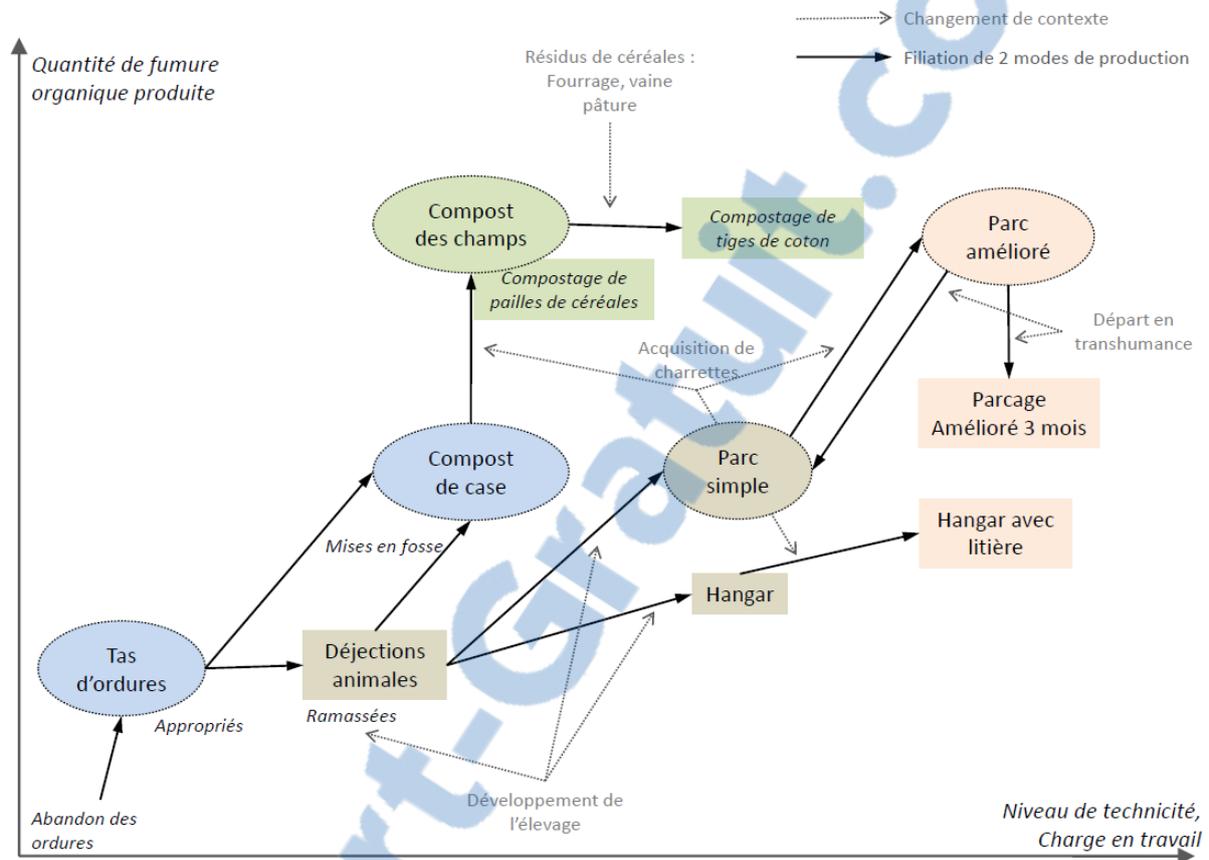


Figure 42. Filiation des pratiques de production de fumure organique au Mali-Sud

Exemples de trajectoire d'évolution des pratiques des exploitations

L'étude de cas des exploitations et du contexte de leur changement de pratique fait ressortir, à travers une série de trajectoires d'évolution, une diversité d'individus qui réagissent différemment aux changements, aux contraintes et aux formations.

Les actions de formation et d'encadrement ne sont pas partout homogènes. Les paysans n'ont pas la même attitude face au changement et les enquêtes s'appuient sur une déclaration, sans avoir pu parfois recouper les informations. Il est clair que les formations ou actions de l'encadrement agricole (expérimentation, visite de parcelle, formation théorique...), qui n'ont pas marqué les paysans, n'apparaissent pas, mais elles ont sans doute également participé au changement de pratiques.

Les facteurs mis en avant par les paysans pour expliquer leur changement de pratique sont de trois ordres :

- le renforcement de capacité : formations, expérimentations formelles, mais aussi discussions avec d'autres producteurs, voyages ou visites informelles, radio, ... ;

- les nouveaux moyens de production disponibles ou, au contraire, la disparition de moyens de production : réduction de la disponibilité des résidus de culture, départ en transhumance des animaux, acquisition de charrettes, ... ;
- le changement du détenteur du pouvoir décisionnaire au sein de l'exploitation : succession de père à fils, séparation entre frères.

Les changements de pratiques-particulièrement sur la production de FO-demandent une implication forte de la main-d'œuvre, donc une organisation du travail dans l'exploitation.

Les responsables de l'exploitation qui souhaitent développer la pratique doivent alors convaincre également les membres de l'exploitation du bien-fondé de la pratique, afin de justifier auprès de tous de l'intérêt de réaliser les investissements dans la pratique et non ailleurs. De plus, l'histoire de l'exploitation influence l'évolution des pratiques au moment de l'héritage, avec le changement de génération. Les plus jeunes peuvent imposer leurs idées, jusque-là refusées, et arrêter la mise en pratique des idées de leurs parents.

Trois exemples de « profils paysans » retraçant l'histoire des pratiques de production de fumure organique sont présentés dans la Figure 43, la Figure 44 et la Figure 45.

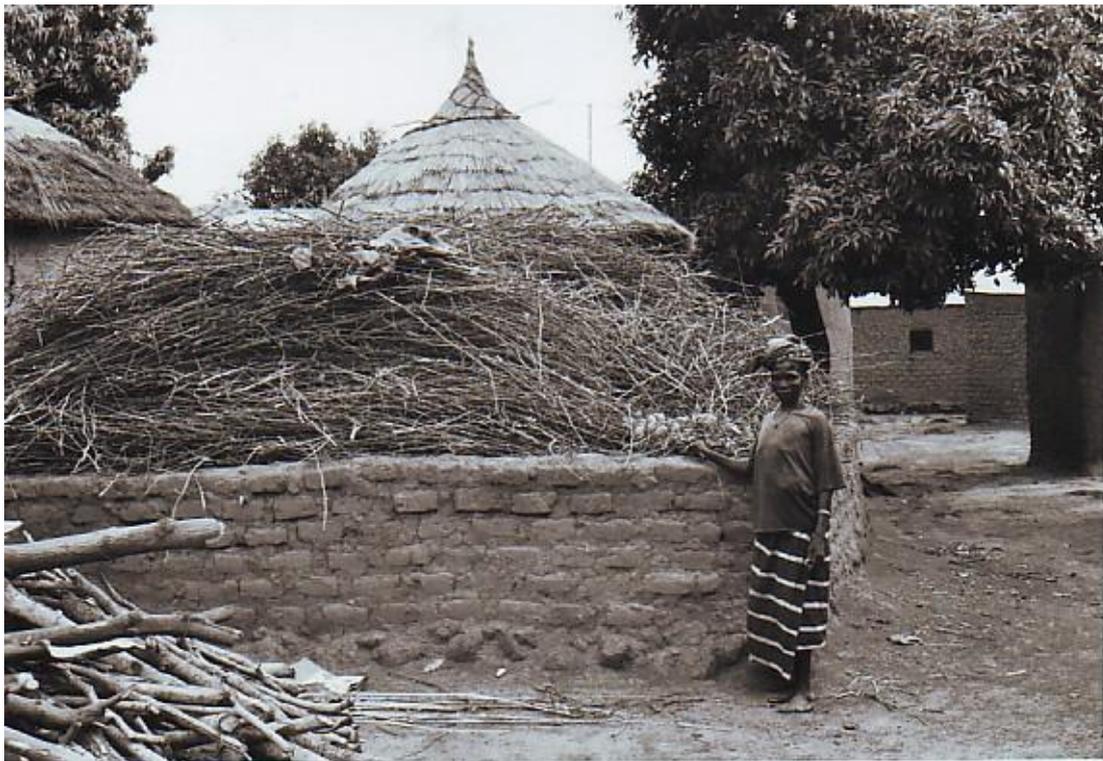


Photo 7. Fosse à compost à la concession dans une exploitation de Zanférébougou

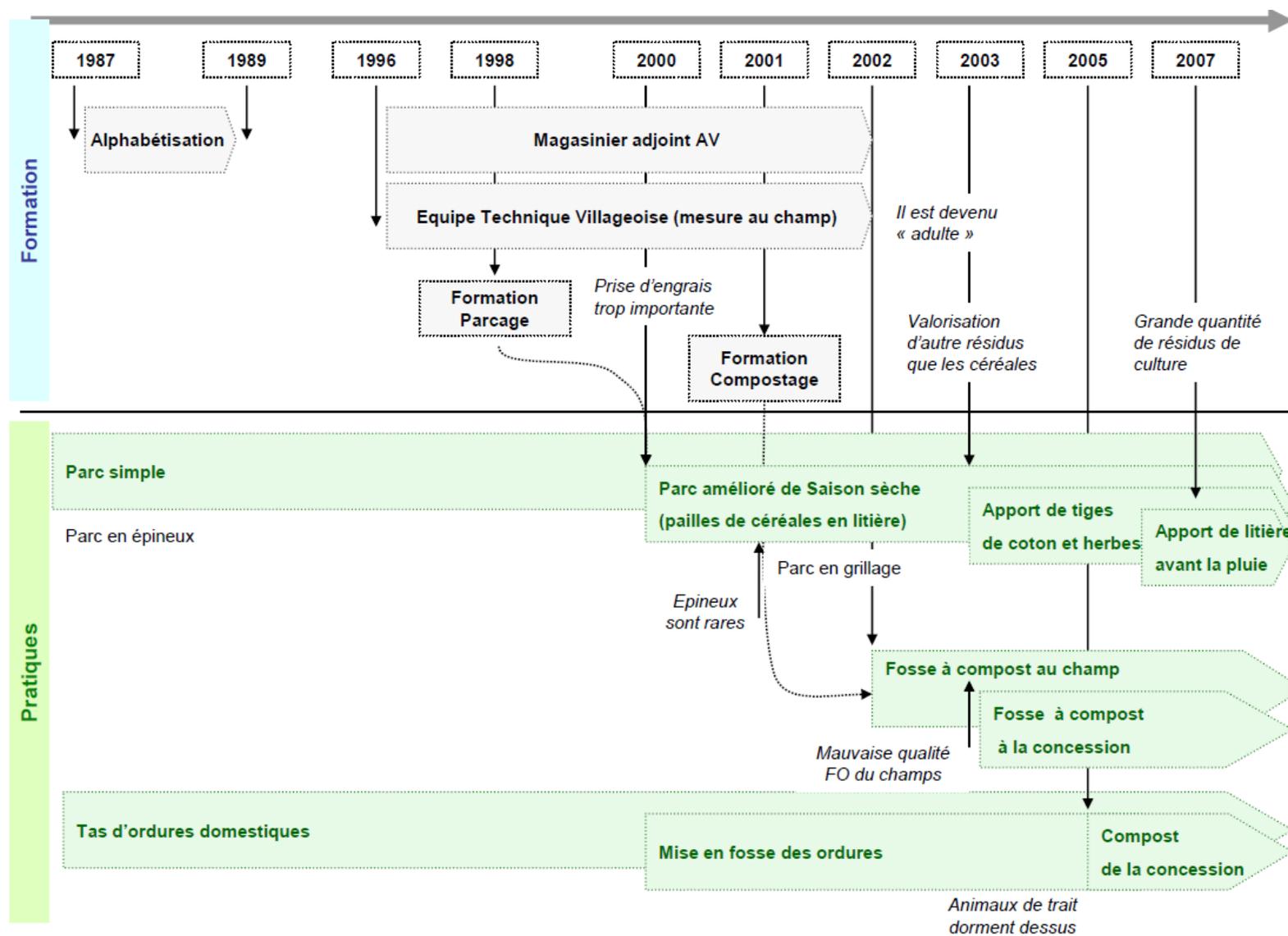
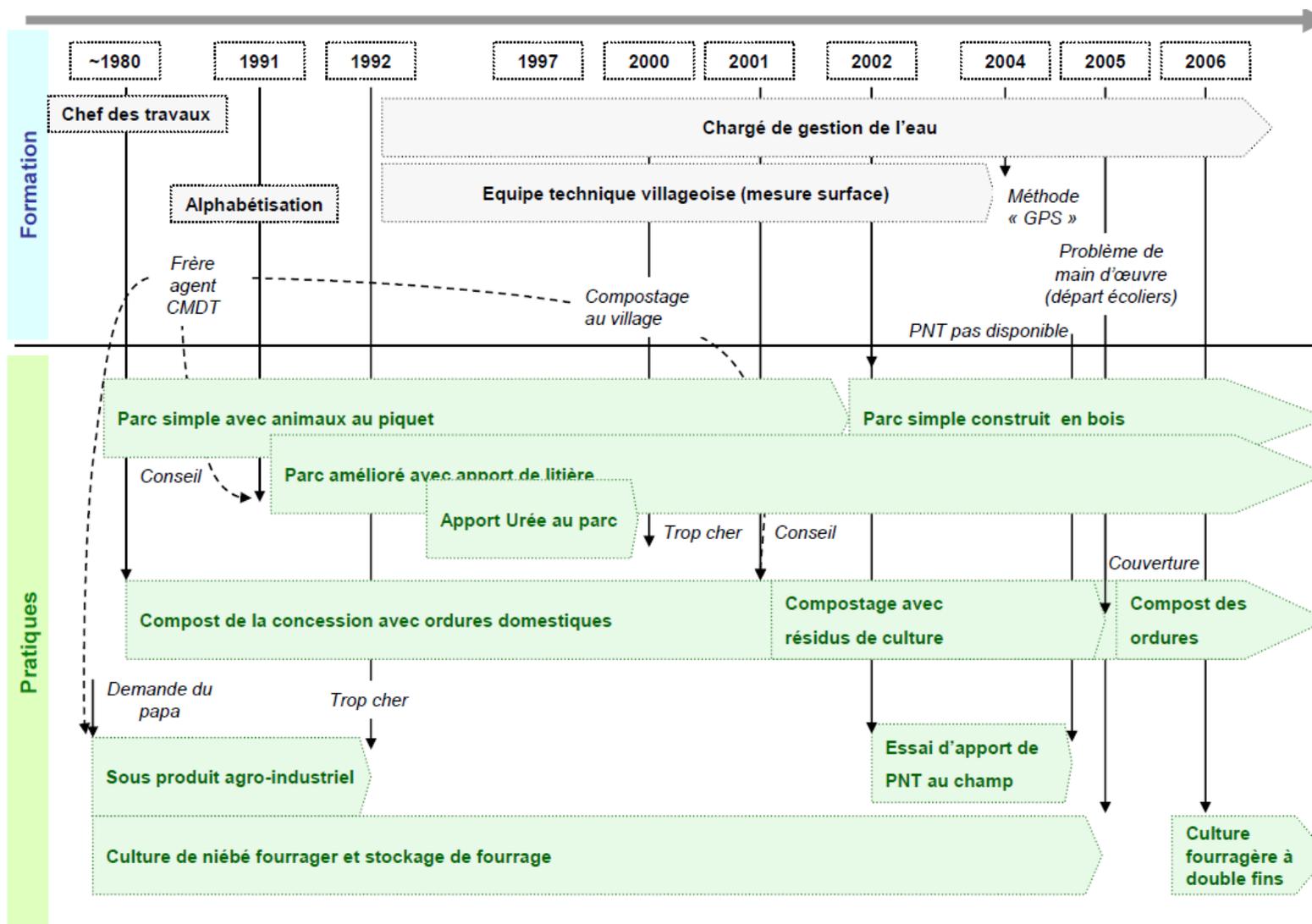


Figure 43. Evolution des pratiques de production de fumure organique chez Sékou, producteur de Dentiola



PNT: Phosphate naturel de Tilemsi

Figure 44. Evolution des pratiques de production de fumure organique chez Madou, producteur de Zanférébougou

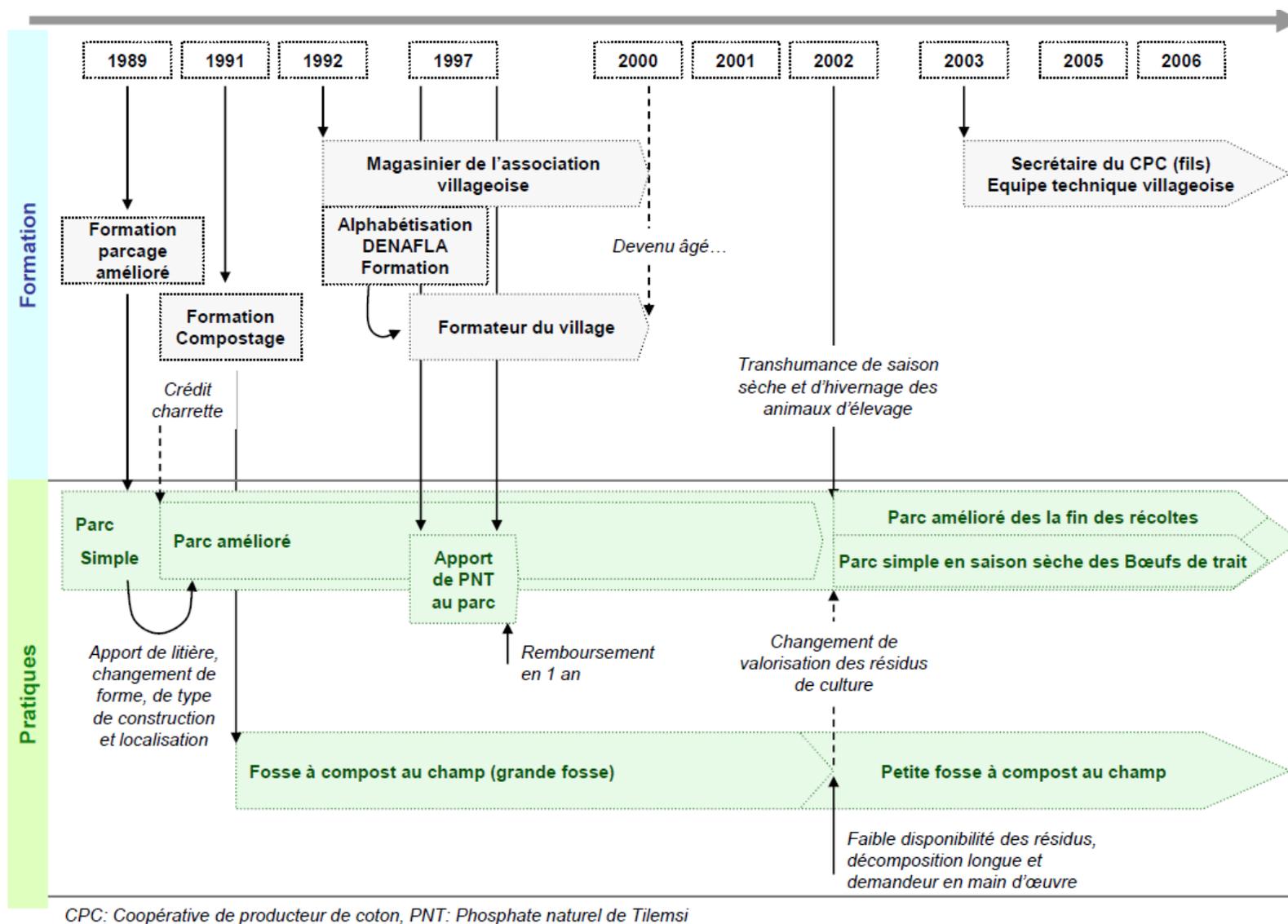


Figure 45. Evolution des pratiques de production de fumure organique chez Dramane, producteur de Dentiola

Chapitre 4.2.2. Diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols

La diversité de la production et de l'utilisation de fumure organique dans les exploitations des deux villages a été analysée à travers une série d'analyses statistiques. Une analyse en composante principale a permis de décrire la variabilité de la série de données observées dans les exploitations par la définition d'une variable de synthèse exprimant le plus d'inertie de chaque variable. Une classification ascendante hiérarchique sur la série de données a permis de répartir des individus dans des groupes le plus homogènes possible et le plus différents possible les uns des autres. Enfin, une analyse de la variance a permis de vérifier que les valeurs des variables étaient significativement différentes ou non et de comparer leurs moyennes par type.

Typologie des pratiques de gestion de la fertilité des sols

Diversité de variables décrivant la production et l'utilisation de fumure organique

Une série de variables a été sélectionnée afin de représenter les spécificités de la production et de l'utilisation de fumure organique dans les exploitations. Les variables peuvent être décrites en quatre principaux groupes : la production de fumure organique, le stockage de fourrage, l'application de fumure organique au champ et la structure des exploitations. Une synthèse de l'ensemble des variables utilisées est présentée en Annexe 7.

La **production de fumure organique** est décrite par douze variables. Le nombre de point de production de fumure organique et le nombre de lieux de production se situant à plus de 2 km (dit en brousse) décrivent la diversité des modes de production de fumure organique mis en place par les exploitations et leur répartition spatiale (importante par rapport aux contraintes de transport). La quantité totale de fumure organique produite, dont celle des lieux de production en brousse, décrit le niveau de production de fumure organique et sa répartition spatiale. Enfin, les quantités de fumure organique produites pour chaque point de production (parc à petits ruminants, compost de la concession, tas d'ordures, compost des champs, fèces humaines, parc simple ou amélioré ou hangar des boeufs de trait) décrivent les pratiques de production mises en place par les paysans.

Le **stockage de fourrage et de litière** est décrit par trois variables : le volume de fourrage ou de litière stocké, le pourcentage du stockage en paille de céréales (sorgho, maïs et riz) et la proportion en fanes de légumineuse (niébé, arachide).

L'**application de fumure organique au champ** est décrite à travers cinq variables. La surface totale fumée et la dose moyenne de fumure organique appliquée reflètent les pratiques d'utilisation de la fumure produite et les écarts par rapport aux recommandations de la recherche (de 5 t/ha tous les deux ans). La répartition des apports de fumure entre les cultures de coton et de maïs est exprimée en pourcentage. Enfin, la répartition spatiale de la fumure organique produite dans les différents points de production est représentée par un coefficient

élaboré à partir de la quantité de fumure organique transportée et de la distance entre le champ fumé et le lieu de production de la fumure.

La **structure des exploitations** a souvent été utilisée pour l'élaboration de typologies d'exploitations. Les neuf variables décrivant les structures révèlent souvent des freins à la mise en place de certaines pratiques. Dans le cas de la production et de l'utilisation de la fumure organique, nous nous sommes attachés à décrire la structure à partir du nombre d'actifs, de charrettes de transport, de boeufs de trait et de boeufs d'élevage, rapporté au temps de présence sur l'exploitation, le nombre de petits ruminants, la surface totale cultivée, la surface en coton, en maïs et en céréales sèches (sorgho et mil).

Analyse en composante principale

L'analyse en composante principale (ACP), méthode de statistique multivariée, permet de décrire graphiquement la variabilité d'une série de variables quantitatives observées chez des individus en analysant les corrélations entre ces variables et en réduisant le nombre de variables nécessaires pour représenter l'inertie maximale.

L'ACP, conduite sous Xlstat selon la méthode de Pearson, a été appliquée à vingt variables actives décrivant les pratiques de production et d'utilisation de fumure organique (décrites ci-dessus) renseignées chez vingt-huit individus. Les variables représentant la structure des exploitations ont été ajoutées comme variables supplémentaires à l'analyse.

Selon les valeurs propres de l'ACP, le plan principal exprime 40,25 % de la variabilité du jeu de données. La répartition des variables sur chacun des axes est illustrée par le cercle des corrélations (Annexe 9).

Les variables fortement liées au premier axe caractérisent le **niveau de production de fumure organique**.

Ainsi, le nombre de points de production de fumure organique est représenté à 47 % sur l'axe 1 et le niveau de la production de fumure organique à 80 % ou 70 % dans le cas de la production en zone de brousse. Le volume de fourrage/ litière stocké est représenté à 51 % par le premier axe. Les variables représentant la production de fumure organique, attachées à l'axe 1, sont la production dans des parcs simples (représentée à 45 % par l'axe 1) et, dans une moindre mesure, la production sous les hangars et dans les fosses à compost à la concession. Enfin, la variable surface fumée est représentée à 61 % par l'axe 1. Les variables de structures sont liées au premier axe et évoluent toutes dans le même sens. Le nombre de charrettes est représenté à 69 % sur l'axe 1, le cheptel de trait et d'élevage à 51 et 49 %, et les surfaces totales cultivées et en coton à 45 et 60 %.

L'axe 1 discrimine les exploitations selon leur taille (à droite les grandes exploitations et à gauche les exploitations plus modestes) et le niveau de production de fumure organique (à droite des exploitations produisant de grands volumes et à gauche les exploitations produisant des volumes plus réduits).

Les variables liées au second axe illustrent la mise en place de **modèles classiques de production de fumure organique** fondée sur l'élevage (parcage amélioré et fosse à compost de la concession).

Les productions de fumure organique dans des fosses à compost de la concession et des parcs améliorés sont respectivement représentées à 31 et 21 % sur l'axe 2. Le stockage de pailles de céréales (maïs, sorgho et riz) semble lié à ces deux modes de production de fumure organique, car représenté principalement sur le même axe (stabulation des animaux et stockage de litière). Enfin, le second axe illustre la répartition de la fumure organique entre les cultures de coton et de maïs et la distance parcourue par la fumure organique.

L'axe 2 discrimine donc les exploitations selon les **modèles de production de fumure organique**. Vers le haut, les exploitations suivent les modèles classiques de production de fumure organique basés sur le parc amélioré et la fosse à compost de la concession. Ils appliquent la fumure organique principalement sur le coton. Vers le bas, les exploitations plus innovantes, avec une production de fumure organique en zone de brousse avec les fosses à compost au champ et une application de fumure organique en partie sur le maïs.

Classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique a été menée sous Xlstat, sur l'ensemble des vingt-huit individus et sur les vingt variables décrivant la production et l'utilisation de la fumure organique. Cette méthode de classification automatique, qui permet de répartir les individus dans des groupes cohérents, s'appuie sur des mesures de disparité entre les individus (distance euclidienne) et par agrégation des individus à l'individu le plus proche selon la méthode de Ward. La classification a permis de distinguer quatre types de paysans qui sont décrits par une analyse de variances des variables retenues. Le dendrogramme est présenté en Annexe 10.

Analyse des variances

Une analyse des variances (Anova sous Xlstat) sur les vingt-huit individus et vingt-neuf variables décrivant les pratiques de production et d'utilisation de fumure organique, mais aussi les variables de description des exploitations, permet d'étudier le comportement des variables selon les types de paysans (variables explicatives catégorielles). Les types de paysans peuvent ainsi être décrits à partir de variables validées par le test F de Fisher, dont la variabilité est expliquée par les quatre types retenus pour un risque faible.

L'analyse permet d'identifier les variables pour lesquelles les types de producteurs sont significativement différents. Une synthèse de l'analyse des variances est présentée en Annexe 11.

La représentation des types de producteurs sur le plan principal de l'ACP permet d'illustrer la position des types selon les variables synthétisant la diversité des pratiques de production et d'utilisation de fumure organique (Figure 46).

Quelques variables peu prises en compte par les analyses

Quelques variables sont reconnues comme étant peu significatives par l'analyse en composante principale et la classification ascendante hiérarchique.

Le **nombre d'actifs** ne semble pas être discriminant dans l'analyse, même s'il suit l'évolution de la production de fumure organique. Les paysans expliquent que trois à cinq personnes sont chargées de réaliser les travaux de production et d'utilisation de la fumure (ramassage des résidus et des déjections animales, vidange des fosses et des parcs, transport) au cours d'une période donnée (un mois à un mois et demi en saison sèche). Les petites exploitations, limitées en main-d'œuvre, ont la possibilité de produire de la fumure organique en affectant de la main-d'œuvre à cette activité pendant la saison sèche.

Le **nombre de petits ruminants** et la **quantité de déjections de petits ruminants** sont deux variables peu discriminantes dans l'analyse. Les exploitations qui possèdent des petits ruminants utilisent leurs déjections pour produire une fumure qu'ils reconnaissent comme étant très efficace (voir Les déjections animales des animaux domestiques, page 158). Les grandes exploitations, qui possèdent un cheptel plus conséquent de petits ruminants, ont donc des ressources supplémentaires en fumure de qualité.

Enfin, les **fèces humaines**, peu discriminante dans l'analyse, illustre une pratique qui se développe au Mali-Sud avec l'utilisation des excréta humains, mais qui est le fait d'un petit nombre d'individus (migration et voyage), reste largement taboue (pas toujours mentionnée) et n'intervient qu'une fois la fosse septique pleine. L'utilisation des excréta humains est analysée et vulgarisée aujourd'hui par des projets de recherche-développement⁴¹.

⁴¹ Projet Ecosan du Centra Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût (CREPA)

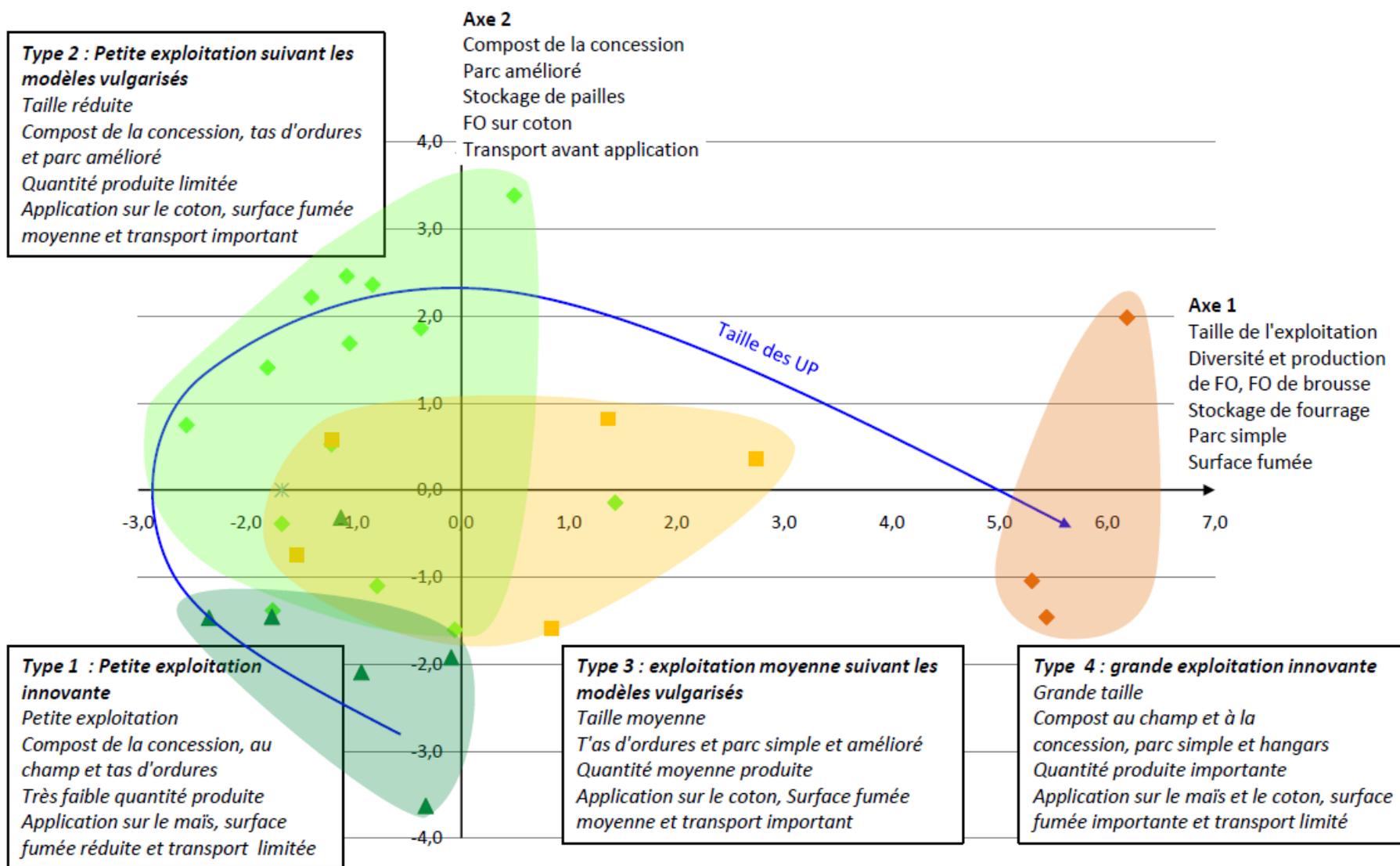


Figure 46. Représentation des types de producteur selon le plan principal de l'Analyse en composante principale

Des exploitations aux pratiques de gestion de fertilité diversifiées

Le type 1 : petite exploitation aux pratiques innovantes de gestion de la fertilité

Les petites exploitations aux pratiques innovantes de gestion de la fertilité (type 1) correspondent à de petites exploitations équipées d'une charrette pour le transport et possédant une paire de bœufs de trait ainsi que quelques animaux d'élevage. Ils emblavent chaque année 8,8 hectares, dont 3,3 en coton, avec 0,7 actif/ha cultivé.

Ces petites exploitations produisent de faibles quantités de fumure organique (9 t de MS en moyenne/an), principalement à proximité de la concession mais aussi en zone de brousse avec le développement de fosse à compost au champ (2 t de MS en moyenne/an produites à plus de 2 km de la concession).

La fumure organique est produite par la technique de la fosse à compost à la concession et du tas d'ordures. Les producteurs de type 1 utilisent peu les déjections animales pour la production de fumure organique (parc simple ou amélioré et hangar). Les paysans possèdent un cheptel réduit pour leur surface cultivée avec 1,1 bovin/ha. En zone de brousse, la fumure organique peut être produite dans des fosses à compost au champ.

Le stockage de résidus est limité à 2,8 m³ en moyenne (moins de 30 cm de résidus sur un hangar de 12 m²).

La fumure organique produite est appliquée sur les cultures de maïs, sur des surfaces réduites (0,8 ha/an) et à des doses relativement fortes, avec 11 t/ha effectivement fumée ou, en suivant la surface totale cultivée, 1 038 kg/ha. La fumure organique, enfin, est appliquée sur les parcelles à proximité du lieu de fabrication, avec une quantité transportée limitée (Figure 47).

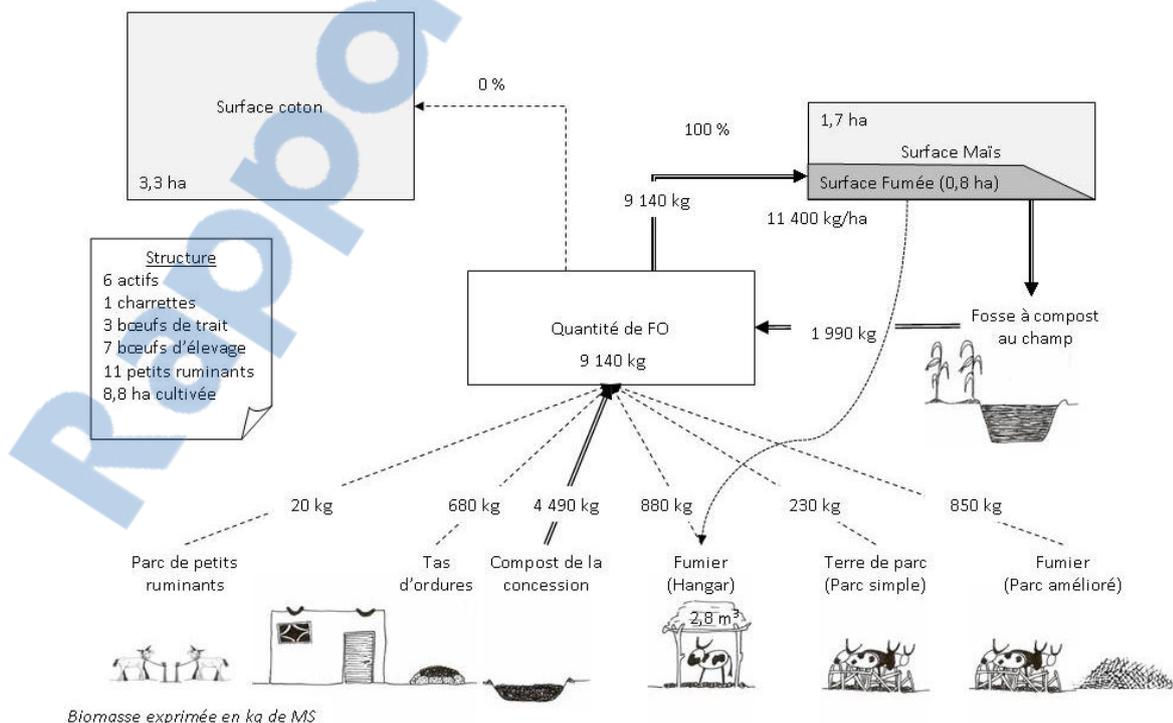


Figure 47. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 1

Le type 2 : Petite exploitation suivant les modèles de gestion de la fertilité des sols vulgarisés

Les petites exploitations qui suivent les modèles de gestion vulgarisés (type 2) correspondent à des exploitations de taille réduite, avec treize actifs, une charrette pour le transport, deux paires de bœufs de trait et un petit troupeau d'élevage (dix têtes). Les surfaces cultivées représentent 10 ha, dont 3,1 ha sont cultivés en coton.

Ces exploitations produisent une quantité limitée de fumure organique (13 t de MS/an), principalement à proximité de la concession avec peu de lieux de production implantés en brousse. Elles produisent de la fumure à partir des fosses à compost à la concession, des tas d'ordures et du parc amélioré. Les techniques de production comme les fosses à compost au champ, le parcage simple ou le hangar sont peu utilisées. Ces exploitations disposent d'un cheptel réduit par rapport à leur surface cultivée (1,3 bovin/ha) et stockent 15,5 m³ de biomasse (litière).

Les surfaces fumées sont deux fois plus importantes que chez les paysans du type 1 (1,8 ha/an). La fumure organique est appliquée à doses relativement faibles (7 188 kg/ha) et, par rapport à la surface totale cultivée, elle reste également relativement faible, avec 1,2 t/ha/an contre 2,5 t/ha/an recommandées (Berger, 1996). La fumure organique est principalement appliquée à la culture du coton, espérant un arrière effet sur la culture du maïs implantée l'année suivante.

Ces producteurs peuvent transporter une grande quantité de fumure organique pour fumer des parcelles éloignées, car la fumure organique est principalement produite à la concession (coefficient de 18,5 tonnes kilométriques (t.km) en moyenne) (Figure 48).

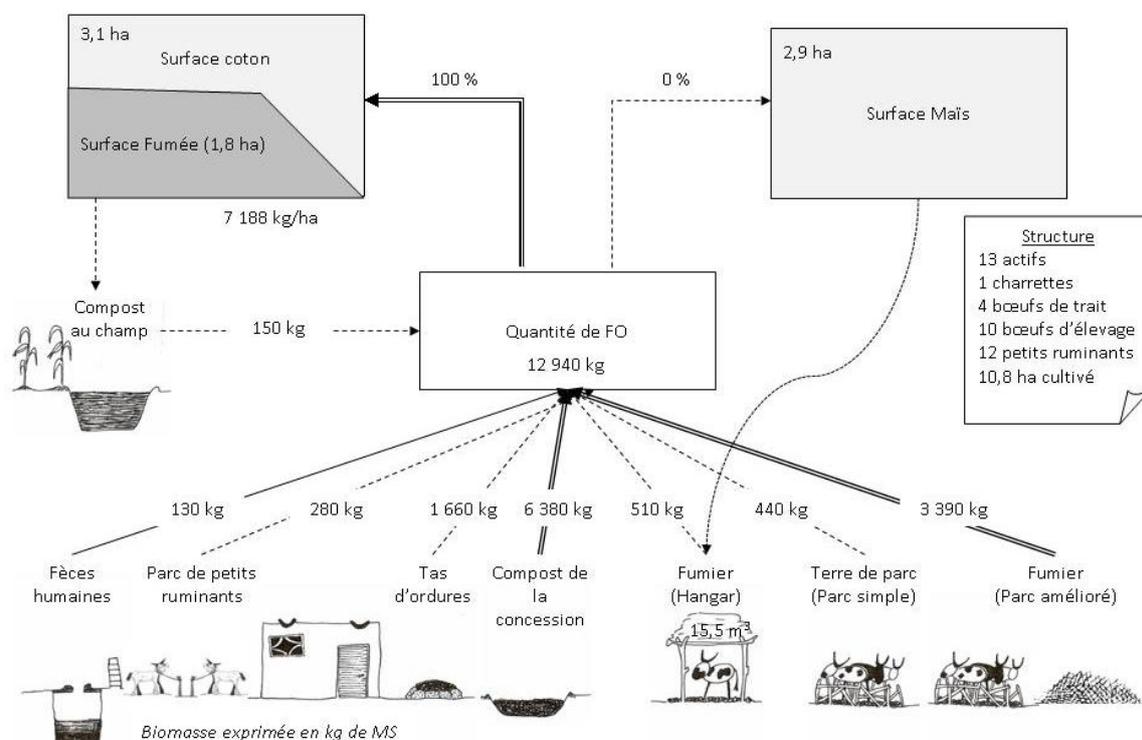


Figure 48. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 2

Le type 3 : Exploitation de taille moyenne suivant les modèles de gestion de la fertilité des sols vulgarisés

Les exploitations de taille moyenne qui suivent les modèles conventionnels de gestion de la fertilité (type 3) correspondent à des exploitations de taille moyenne, avec seize actifs et deux charrettes pour le transport. Le cheptel est composé de onze bœufs de trait et quarante-quatre bœufs d'élevage. Les surfaces cultivées s'étendent sur 16 ha, dont 5,7 ha emblavés en coton.

Ces exploitations produisent des quantités conséquentes de fumure organique (26 t de MS/an), réparties entre deux lieux de production, la production en brousse étant limitée à 4 t de MS/an.

Les techniques de production de fumure organique utilisées s'appuient sur les tas d'ordures et le parc simple ou amélioré. L'utilisation de fosses à compost de la concession ou au champ, ou de hangars est très faible. Les exploitations stockent peu de biomasse, principalement composée de fanes de légumineuse (7,2 m³ en moyenne), quantité faible par rapport au nombre d'animaux pour la surface cultivée (3,4 bovins/ha). La production de fumure organique à proximité de la concession entraîne des travaux de transport important (35,4 t.km).

Les surfaces fumées sont comparables à celles fumées par les producteurs de type 2 (1,4 ha/an), à des doses cependant beaucoup plus importantes. 18 t/ha sont appliquées sur la surface fumée et 1,6 t/ha sur la surface totale cultivée. Les parcelles fumées sont emblavées principalement en coton (Figure 49).

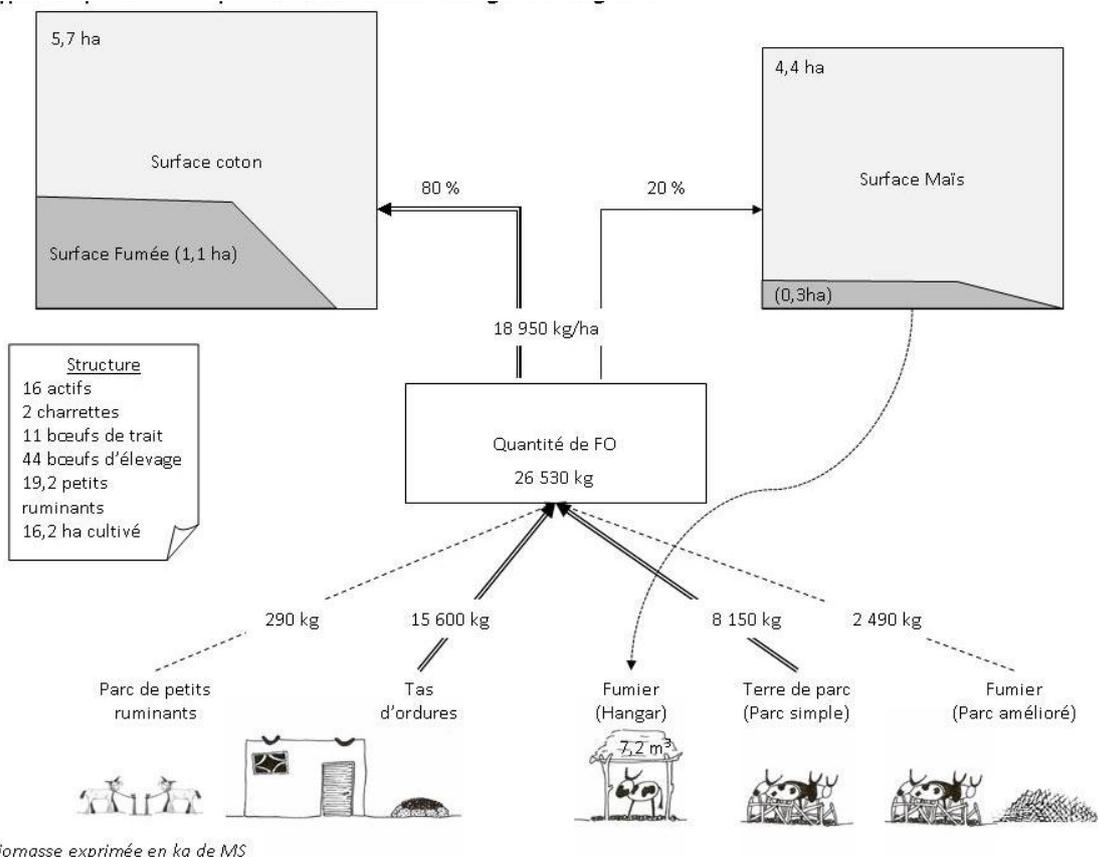


Figure 49. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 3

Le type 4 : Grande exploitation aux pratiques de gestion de la fertilité des sols innovantes

Les paysans de type 4 correspondent à de grandes exploitation (24 actifs en moyenne), bien équipées pour le transport (3 charrettes). L'élevage représente une activité importante, avec en moyenne quatorze bœufs de trait et un troupeau conséquent (60 têtes). Les surfaces cultivées sont importantes avec 26,2 ha cultivés, dont 10 ha en coton.

Les grandes exploitations aux pratiques de gestion innovantes ont en générale plus de trois sites de production de fumure organique, dont au moins un se situe en brousse.

La fumure organique est produite principalement dans des fosses à compost au champ et dans des parcs simples. Les producteurs produisent également de la fumure organique à partir des hangars et des fosses à compost de la concession. Les quantités produites sont très importantes (47 t de MS /an).

Les biomasses stockées sont principalement composées de fanes de légumineuses et d'un peu de pailles de céréales (61,1 m³).

Les surfaces fumées sont importante (5,6 ha/an). La fumure est cependant appliquée à des doses plus faibles, avec 8 t/ha sur la surface effectivement fumée ou 1,7 t/ha sur la surface totale cultivée. Le coton reste la culture principale amendée. La fumure organique produite peut être transportée sur des parcelles éloignées, mais la production de fumure organique en brousse permet de maintenir le coefficient représentant la quantité de fumure transportée au même niveau que chez les producteurs de type 3 (37,9 t/km) (Figure 50).

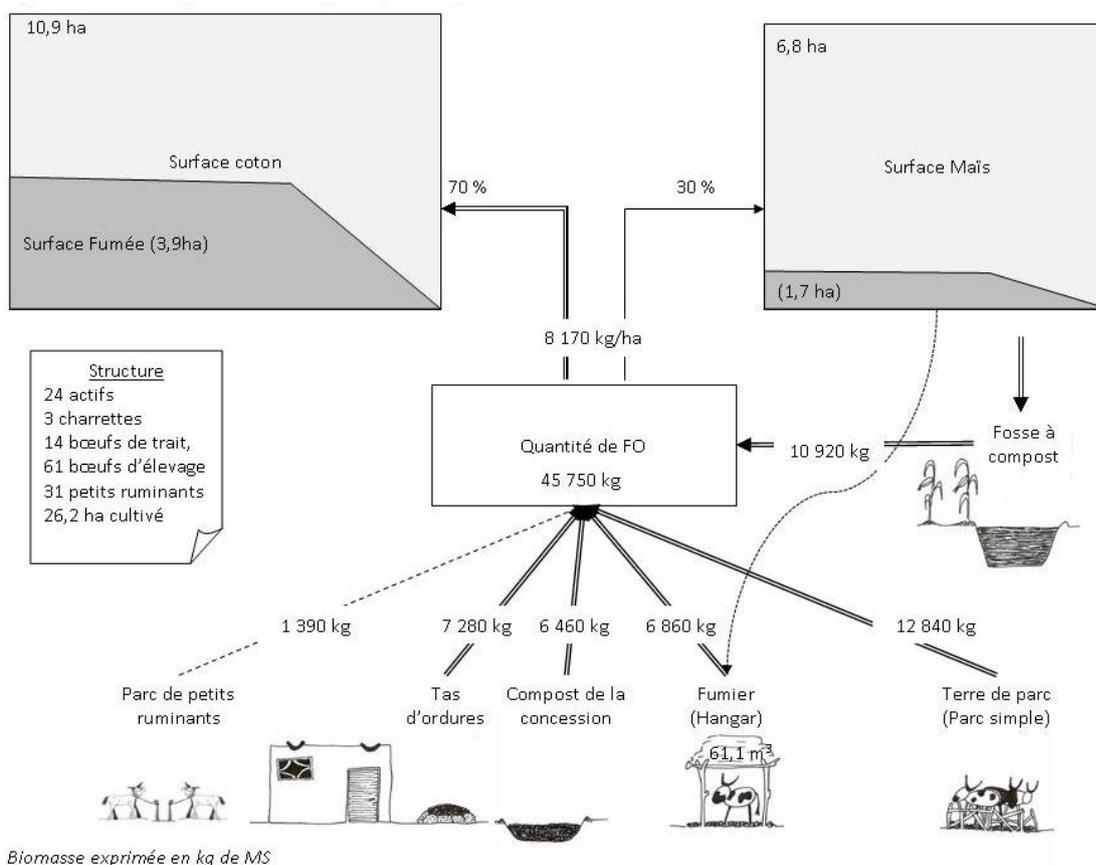


Figure 50. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 4

Planification de la gestion de la fertilité des sols

Au cours de l'hivernage, les paysans analysent l'état de fertilité des sols à travers leurs indicateurs de fertilité, observables directement ou indirectement sur leurs parcelles. Cette 1^{re} phase de perception par les paysans de l'état de la fertilité des sols, recouvre l'analyse de l'état de la fertilité des champs, les savoirs techniques locaux sur les sols et la contribution des arbres à la fertilité.

Au cours de la saison sèche suivante, les paysans gèrent les résidus de culture des champs, l'affouragement et la présence des animaux et poursuivent la production de la fumure organique, selon une diversité de pratique. Les savoirs techniques locaux sur les fumures organiques sont sollicités. Les paysans élaborent alors leur programme de gestion de la fertilité pour la future campagne agricole. Les paysans doivent décider des parcelles qui seront fumées, de la surface fumée, de la quantité de fumure organique appliquée, de la commande en engrais pour le coton et les céréales (ou achat au comptant) parallèlement aux décisions sur les surfaces cultivée en coton, maïs ou céréales sèches et la répartition de ces cultures sur les champs. Ce programme de gestion de la fertilité des sols sera adapté, au cours du temps, aux conditions exogènes de production (prix d'achat des productions, prix des intrants, prévisions pluviométrique, début de saison...). À cette période, ils sollicitent également les savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux.

Enfin, au cours de l'hivernage suivant, les paysans appliquent le plan de fumure préétabli par leurs soins.

Cette démarche théorique, adoptée par les paysans pour définir le mode de gestion de la fertilité des sols à appliquer sur leurs parcelles est présentée dans la Figure 51.

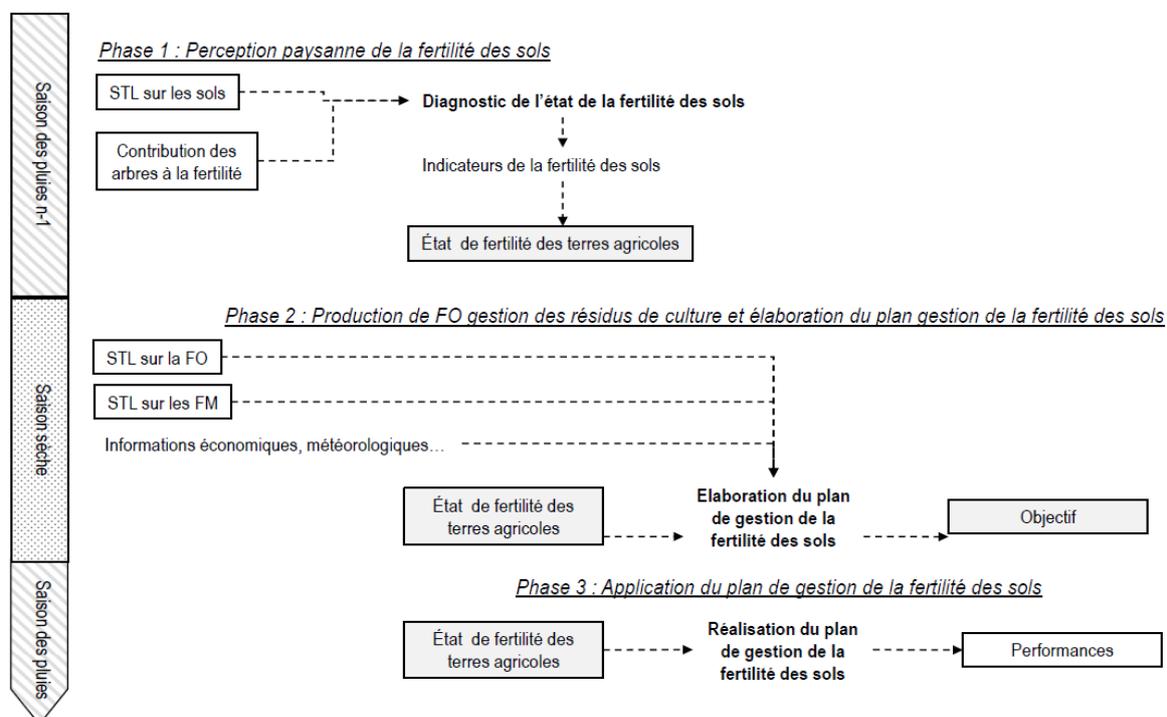


Figure 51. Démarche théorique des paysans pour la gestion de la fertilité des sols

Chapitre 4.2.3. Pratiques de gestion de la fertilité des sols replacées dans l'espace

Le travail de transport des résidus de culture des champs vers le lieu d'habitation (fourrage et litière) et des fumures organiques produites du lieu d'habitation vers les champs a longtemps été reconnu comme un facteur limitant la production de fumure organique dans les exploitations familiales d'Afrique de l'ouest. Des efforts importants ont été consentis pour renforcer l'équipement des exploitations dans le domaine du transport avec des crédits « charrette » et, aujourd'hui, la majorité des exploitations de la zone sont équipées pour le transport.

Le transport reste-il un facteur limitant les pratiques de gestion des biomasses, de production et d'utilisation de la fumure organique dans les exploitations du Mali-Sud ?

Distinguer la fumure organique produite en zone de brousse, soit à plus de deux km du lieu d'habitation, permet de replacer dans l'espace la diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols et d'analyser ainsi la contrainte du transport.

Les pratiques de gestion des biomasses, de production et d'utilisation de la fumure organique d'un producteur, pour chaque type d'exploitation, sont illustrées, comme études de cas, sur des cartes d'exploitations (Figure 52, Figure 53, Figure 54 et Figure 55).

L'organisation dans l'espace des pratiques dépend de l'emplacement des champs cultivés par chacune des exploitations. L'étude de cas présentée garde cependant son sens et les cas peuvent être comparés les uns aux autres. En effet, l'ensemble des quatre cas présentés - même l'exploitation de type 2 qui dispose d'un territoire réduit - disposent de champs de « case » à proximité du village et de champs de « brousse » situés à plus de deux km de la concession.

Le producteur représentant les **petites exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité des sols dites innovantes** (type 1) présente des parcelles fumées réparties dans deux zones, l'une à proximité du village et l'autre en zone de brousse. La répartition des zones fumées entraîne peu de transport de biomasse. Les résidus de culture et la fumure organique sont utilisés sur place, aspect important pour ces exploitations qui ne possèdent qu'une charrette et disposent d'une main-d'œuvre limitée. Les transferts sont centrés autour de ces deux zones.

Le producteur représentant les **petites exploitations suivant les modèles de gestion de la fertilité des sols vulgarisés** (type 2) dispose de parcelles fumées à proximité du village. Les transferts de biomasse se font donc nécessairement sur de plus faibles distances, avec une production et une utilisation de la fumure organique à proximité du village, rappelant l'auréole fumée autour des villages (Dugué, 1999).

Les **exploitations de taille moyenne suivant les modèles de gestion de la fertilité des sols vulgarisés** (type 3) sont illustrées par le cas d'un producteur dont les champs fumés sont bien répartis sur le territoire de l'exploitation. Cette répartition est rendue possible par des transferts de biomasse entre la zone centrale de l'exploitation et la zone de brousse, ce qui

implique des charges importantes de transport. L'exploitation, qui est équipée de deux charrettes et dispose de seize actifs en moyenne, couvre ces charges de transport sans grandes difficultés.

Enfin, le producteur qui illustre le cas des **grandes exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité des sols dites innovantes** (type 4) présente des parcelles fumées étendues et réparties sur le territoire villageois. Cette répartition est rendue possible par des transports de fumure organique d'origine animale entre les différentes zones de l'exploitation et une utilisation des biomasses végétales directement sur place, sans transport.

La représentation spatiale des pratiques de gestion des biomasses, de production et d'utilisation de la fumure organique montre que le modèle d'un système de culture concentrant les biomasses autour du village et plus extensif en zone de brousse est modifié dans certaines exploitations, qui développent des systèmes concentrant les biomasses en zone de brousse. Le territoire villageois est aujourd'hui composé d'une mosaïque de systèmes de culture accumulant les biomasses ou les perdant.

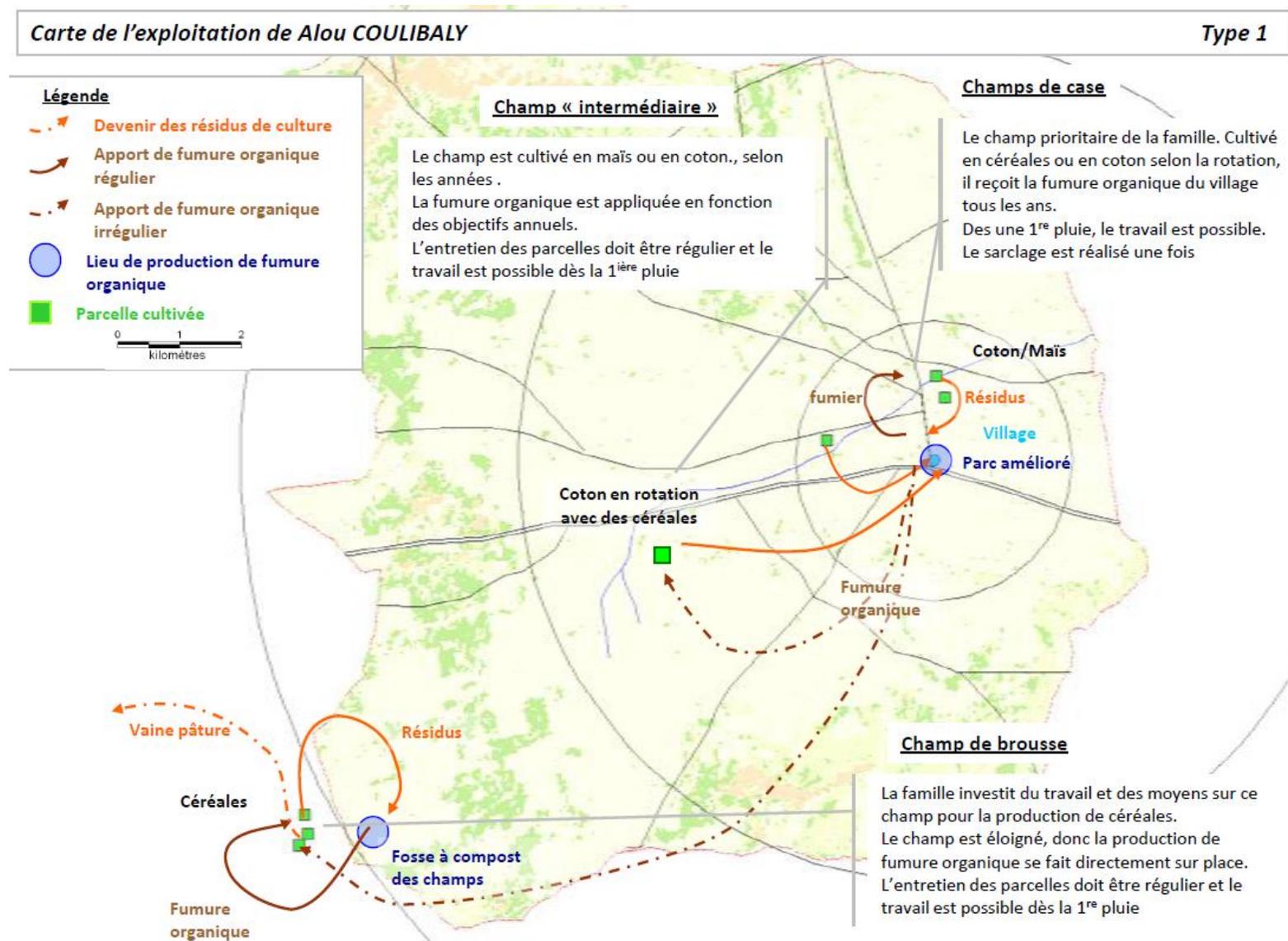


Figure 52. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 1)

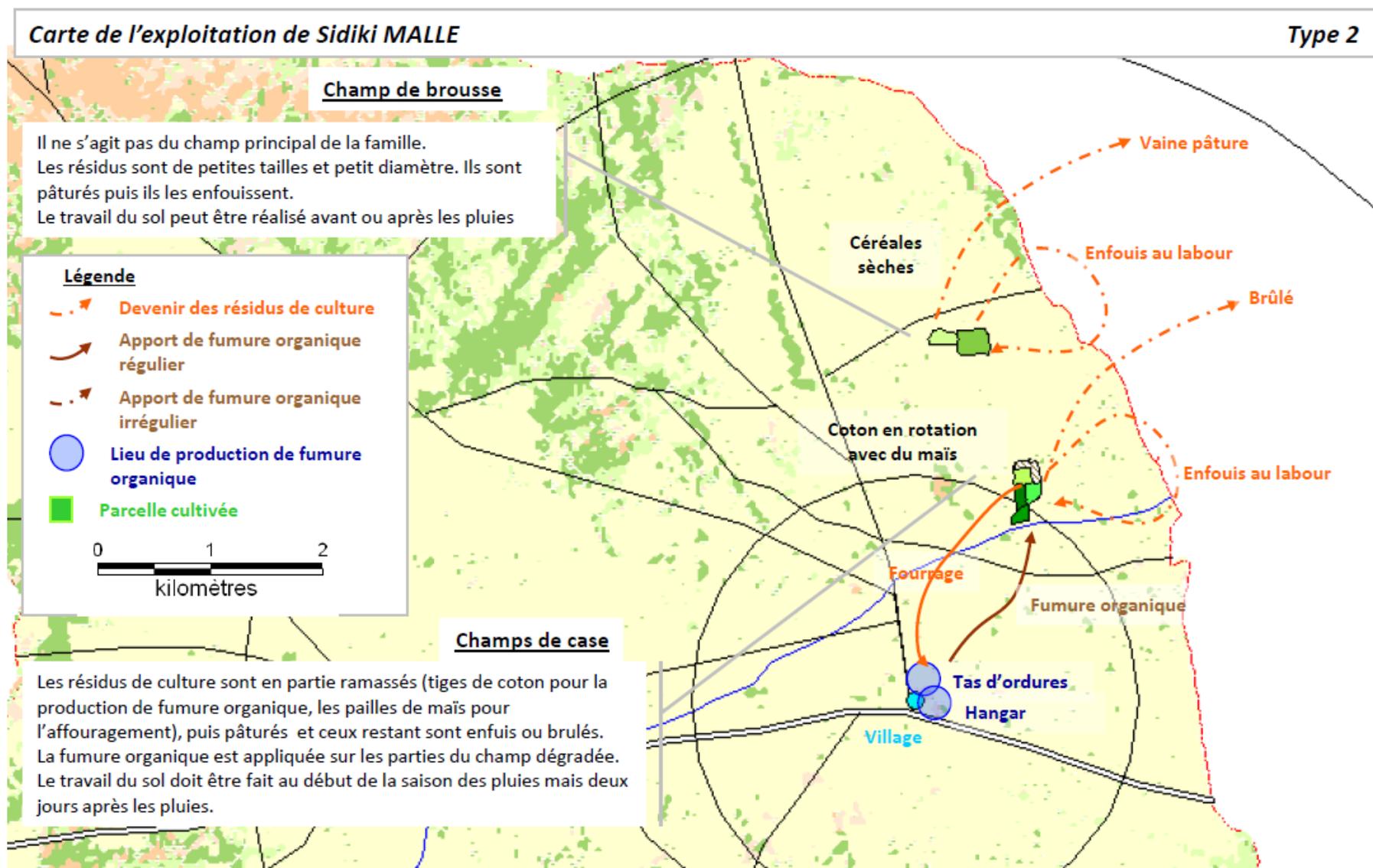


Figure 53. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 2)

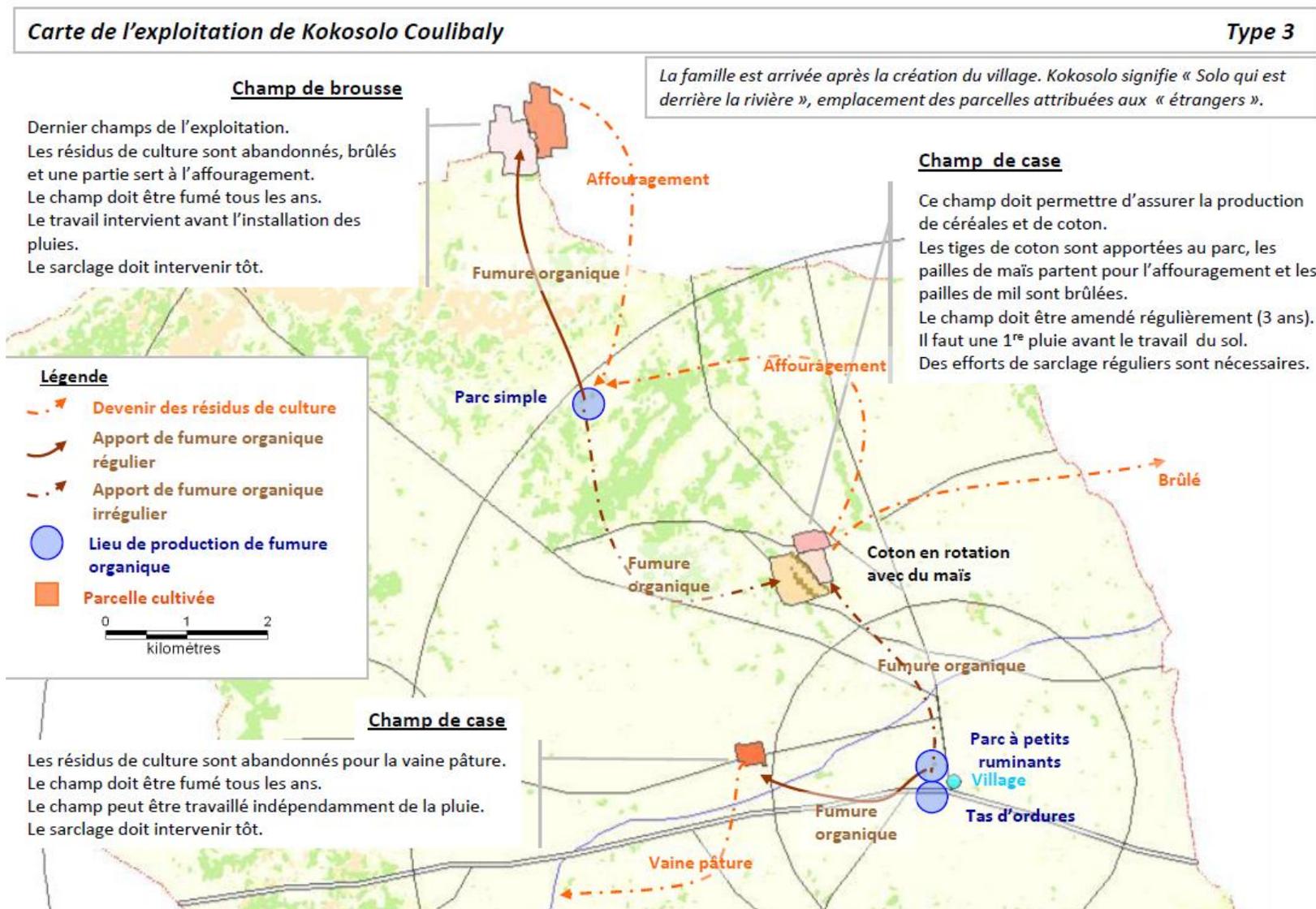


Figure 54. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 3)

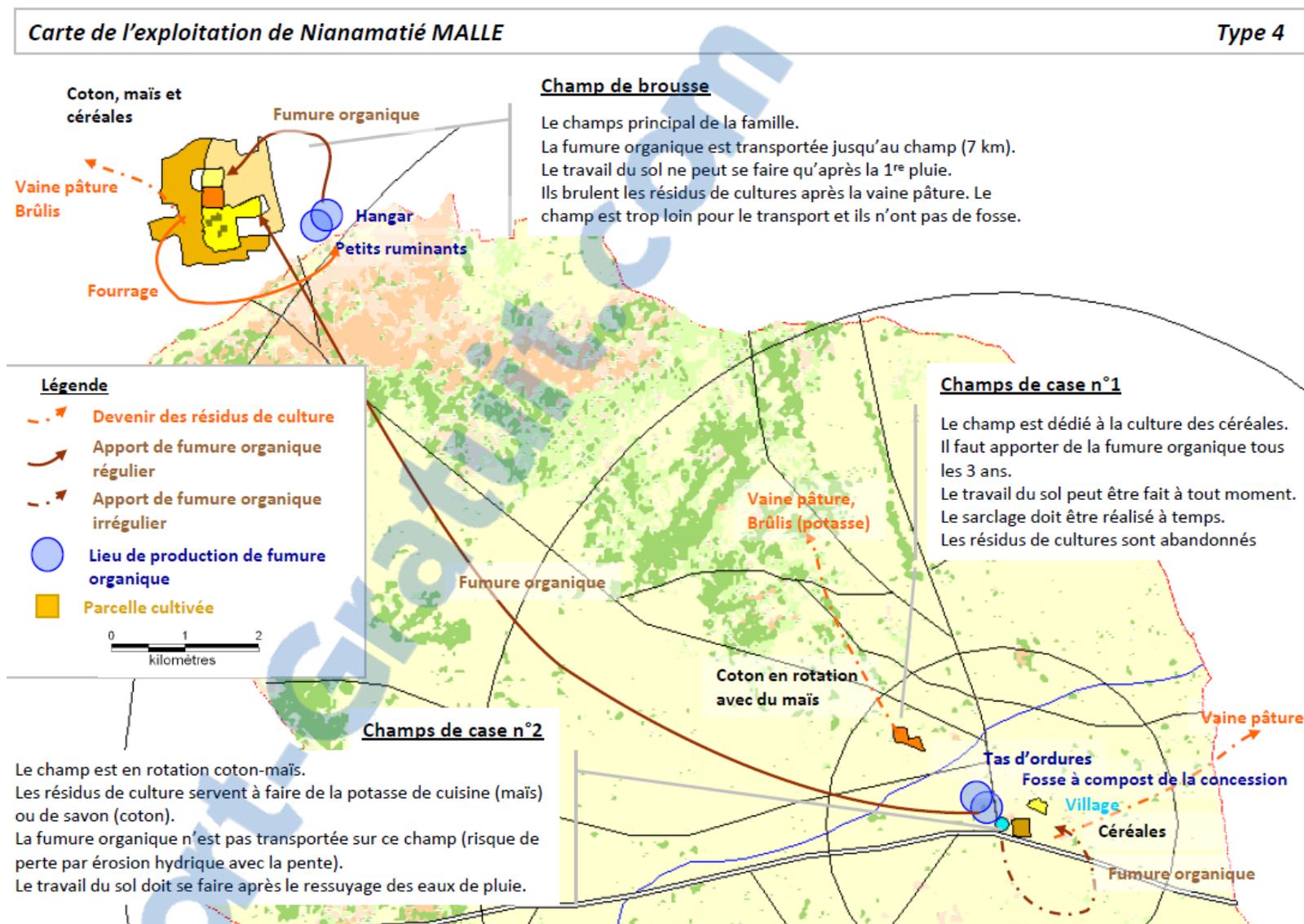


Figure 55. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 4)

ELEMENTS DE CONCLUSION

L'étude des pratiques de production de fumure organique à travers les entités des savoirs techniques locaux permet de jeter un regard nouveau sur les pratiques de gestion de la fertilité des sols chez les paysans du Mali-Sud.

Les pratiques de production de fumure organique, actuellement développées par les paysans du Mali-Sud sont décrites (tas d'ordures, compost de la concession, compost des champs, terre de parc et fumier du parc amélioré). L'évolution de ces pratiques dans les exploitations est présentée sur les dernières décennies. Le compostage en fosse aurait tendance à progresser avec le parcage amélioré au détriment des tas d'ordures et du parcage simple.

La diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols est analysée à travers les pratiques de production de fumure organique, de stockage des résidus de culture et d'utilisation de la fumure au champ. Cette analyse a fourni une typologie d'exploitation de quatre types, selon le caractère innovant des modèles de gestion de la fertilité et la taille des exploitations, avec :

- *des petites exploitations aux pratiques de gestion innovantes (type 1),*
- *des petites exploitations suivant le modèle de gestion vulgarisé (type 2),*
- *des exploitations moyennes suivant le modèle de gestion vulgarisé (type 3),*
- *et des grandes exploitations aux pratiques de gestion innovantes (type 4).*

Cette typologie s'appuie sur une description fine des pratiques de production de fumure organique, au-delà du point de vue habituel de la quantité de fumure produite ou de la taille des exploitations, mais avec la quantité produite pour chaque type de fumure organique, la fumure produite en zone de brousse, ...

La description des pratiques de gestion de la fertilité des sols (production de fumure organique, gestion des résidus de culture) est donc renouvelée.

Section 3 : Evaluation de l'efficience des pratiques de gestion de la fertilité des sols

La troisième section de la partie résultats est consacrée à l'évaluation de l'efficacité des pratiques de gestion de la fertilité des sols. Elle s'organise en quatre chapitres.

Le premier chapitre s'intéresse à l'efficacité de la diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols sur la valorisation des biomasses végétales et animales des exploitations sous forme de fumure organique.

Dans le second chapitre, l'évaluation porte sur le recyclage sous forme de fumure organique, du carbone et de l'azote contenus dans les biomasses de l'exploitation.

Le troisième chapitre décrit l'effet de l'application du plan de gestion de la fertilité des sols avec une description des pratiques d'application de la fumure organique et des engrais minéraux, ainsi que des modes de gestion des adventices.

L'effet de la diversité de pratiques de gestion de la fertilité des sols sur les rendements fait l'objet du quatrième et dernier chapitre.

Afin de faciliter de lecture du manuscrit, chaque chapitre fera l'objet d'une introduction succincte, rappelant l'origine des données. La section sera conclue par un rappel des principaux résultats.

Chapitre 4.3.1. Efficience des pratiques sur la valorisation de biomasses des exploitations

Les résidus de cultures et les déjections animales produites sur les exploitations représentent une matière première pour la production de fumure organique. Dans ce chapitre, nous proposons d'analyser la valorisation de ces biomasses d'origine végétale ou animale selon les pratiques de gestion de la fertilité des sols mises en œuvre par les types d'exploitation.

Valorisation des biomasses végétales disponibles sur les exploitations

Selon les pratiques qu'ils mettent en œuvre, les paysans peuvent influencer le taux de valorisation des biomasses végétales. Les biomasses végétales initiales correspondent aux pailles de céréales (maïs, mil, sorgho), aux fanes des légumineuses (arachide, niébé) et aux tiges de coton. Elles peuvent également être composées des herbes de brousse, des feuilles des arbres et des adventives. Leurs devenir sont représentés dans la Figure 56.

- 1) Avant l'ouverture de la vaine pâture, les paysans stockent une partie des pailles de céréales et des fanes de légumineuse pour l'affouragement de leurs animaux (pailles de maïs, de sorgho, de mil et fanes d'arachide, de niébé).
- 2) Dès la fin des récoltes (décembre), les bergers conduisent les animaux sur les parcelles pour pâturer les résidus de coton (feuilles et capsules vertes), les pailles de maïs, les résidus de sorgho et de mil (feuilles ou tiges fines).
- 3) En pâturant, les animaux cassent les tiges et piétinent une partie des résidus qui, une fois déposés au sol, ne pourront plus être ramassés par les paysans (tronçons de 10-15 cm observables dès le mois de février). Ces reliquats de résidus seront transformés sur place par la micro et macro faune du sol ou seront en partie perdus par le passage de feux de brousse.
- 4) Au cours de la vaine pâture, certains paysans ramassent des tiges de coton et des pailles de céréales sèches (sorgho, mil) de grandes dimensions pour la production de fumure organique (directement en fosse ou sous forme de litière sous les animaux).

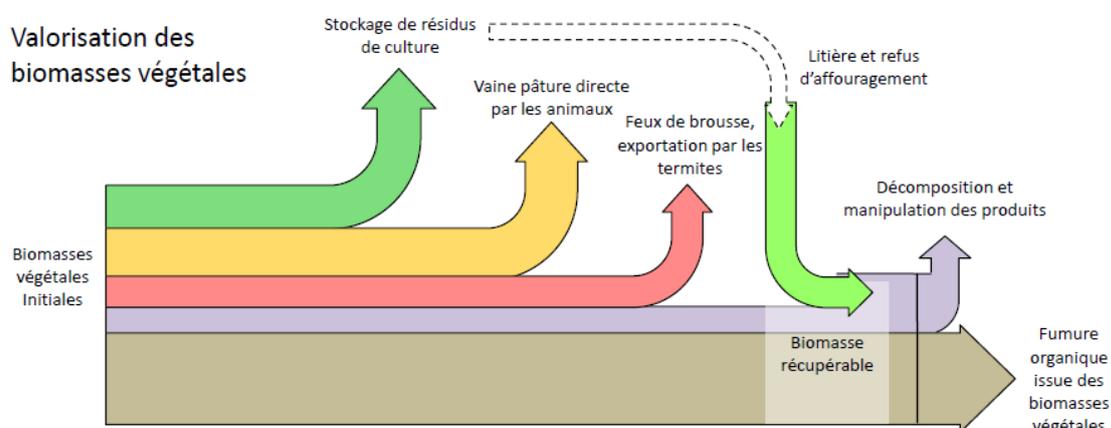


Figure 56. Valorisation théorique des biomasses végétales pour la production de fumure organique

Le Tableau 30 présente les quantités de fumure organique fabriquées à partir des résidus de culture et le pourcentage de biomasse valorisé sous forme de fumure organique pour chaque type d'exploitation. La fumure organique des tas ordures domestiques n'est pas comprise dans l'estimation car il s'agit d'une fumure organique pas uniquement composé de résidus de culture ou d'autre biomasse végétale.

Tableau 30. Valorisation des biomasses végétales sous forme de fumure organique selon les types d'exploitation

Valorisation des biomasses végétales	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
<i>Quantité de fumure organique d'origine végétale</i>				
<i>Fumure organique (kg de MS)</i>	4 805	4 641	830	16 434
<i>Fumure organique par hectare (kg de MS/ha)</i>	546	430	51	627
<i>Fumure organique par hectare par actif (kg de MS/ha/actif)</i>	93	32	3	26
<i>Ratio de fumure organique produite sur les biomasses initiales (végétale)</i>	19%	16%	2%	24%

Les petites exploitations aux pratiques de gestion de fertilité des sols dites innovantes (type 1) ou plus conventionnelles (type 2) valorisent toutes deux une part relativement importante de biomasse végétale (19 % pour le type 1 et 16 % pour les type 2).

Les exploitations de tailles moyennes qui produisent de la fumure organique selon les techniques conventionnelles (type 3) valorisent une proportion réduite des biomasses végétales produites dans leurs champs (2 %).

Les grandes exploitations de type 4 disposent de grandes quantités de résidus de culture et de main-d'œuvre pour les valoriser ; elles produisent une grande quantité de fumure organique d'origine végétale (16 t de MS). Le ratio pour les biomasses végétales est important, avec 24 % des biomasses végétales valorisées sous forme de fumure organique. Cependant, la quantité de fumure organique d'origine végétale rapportée à la surface cultivée ne permet de disposer que de 627 kg de MS de fumure organique d'origine végétale par hectare cultivé et de seulement 26 kg de MS par hectare et par actif, contre quatre-vingt treize pour les petites producteurs de type 1.

Les grandes exploitations, dites innovantes, valorisent un pourcentage important de biomasse végétale sous forme de fumure organique, mais les petits producteurs innovants (type 1) valorisent une plus grande quantité de biomasse végétale par rapport à leur main-d'œuvre.

Valorisation des biomasses animales produites sur les exploitations

Selon les pratiques de conduite des animaux, les propriétaires d'animaux valorisent plus ou moins efficacement les déjections animales produites au cours de l'année.

Les déjections animales produites par les animaux pendant la journée au pâturage ne sont pas accessibles aux paysans et les départ en transhumances correspondent également à autant de pertes de déjections. Les devenir des biomasses animales produites sur l'exploitation sont représentés dans la Figure 57.

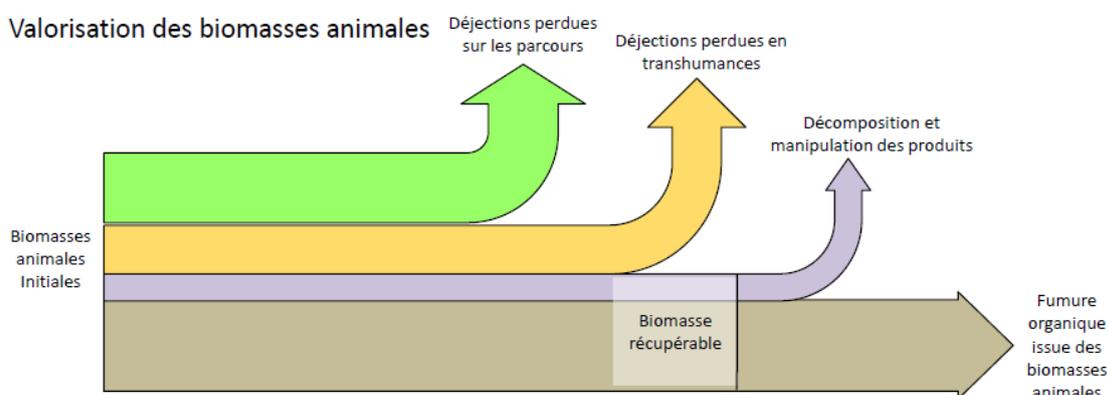


Figure 57. Valorisation théorique des biomasses animales pour la production de fumure organique

Le Tableau 31 présente les quantités de fumure organique fabriquées à partir des déjections animales et le pourcentage de biomasse valorisé sous forme de fumure organique pour chaque type d'exploitation.

Tableau 31. Valorisation des biomasses animales sous forme de fumure organique selon les types d'exploitation

Valorisation des biomasses animales	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
<i>Quantité de fumure organique d'origine animale</i>				
<i>Fumure organique (kg de MS)</i>	3 643	6 509	10 100	22 031
<i>Fumure organique par tête (kg de MS/tête)</i>	340	465	185	293
<i>Fumure organique par hectare (kg de MS/ha)</i>	414	603	623	841
<i>Ratio de fumure organique produite sur les biomasses initiales (animale)</i>	31%	38%	15%	21%

Les petites exploitations aux pratiques de gestion innovantes (type 1) ou plus conventionnelles (type 2) disposent de moins d'animaux et produisent donc des volumes plus réduits de fumure organique à base de déjections animales (respectivement 3,6 t et 6,5 t). Cependant, la quantité de fumure organique d'origine animale ramenée à la taille du troupeau montre que ces petites exploitations valorisent plus de déjections par animal que les autres exploitations plus grandes (340 et 465 kg de MS/tête). Respectivement 31 % et 38 % des déjections animales sont valorisées sous forme de fumure organique.

Il demeure néanmoins d'importantes pertes ayant fait l'objet d'une évaluation, puisque les références font état d'une production potentielle de 1 000 kg de MS par animal et par an (Berger, 1996). Les petites exploitations aux pratiques conventionnelles s'appuient sensiblement plus sur la valorisation de biomasse des effluents des ruminants que les petites exploitations aux pratiques innovantes.

Les exploitations de taille moyenne, qui fabriquent de la fumure organique selon les techniques conventionnelles (type 3), produisent d'importantes quantités de fumure à base de déjections animales (10 t de MS). Par rapport à la taille de leur cheptel, ils ne valorisent que 185 kg de MS/tête, occasionnant ainsi d'importantes pertes. La valorisation des déjections animales en fumure organique est estimée à seulement 15 %.

Enfin, les grandes exploitations de type 4 sont propriétaires de grands troupeaux (soixante-quinze têtes en moyenne) et valorisent 290 kg de MS/ tête. Ne pouvant pas maintenir au village les animaux toute l'année, les exploitants gèrent les départs en transhumance, afin de valoriser au mieux les résidus de culture (litière) et de ramasser les déjections animales. La valorisation des déjections animales est estimée à 21 %.

Le Tableau 32 présente les pourcentages des biomasses totales (végétales et animales) valorisées sous forme de fumure organique pour chaque type d'exploitation.

Tableau 32. Valorisation des biomasses totales sous forme de fumure organique selon les types d'exploitation

	<i>Petite UP aux pratiques innovantes</i>	<i>Petite UP aux pratiques conventionnelles</i>	<i>UP moyennes aux pratiques conventionnelles</i>	<i>Grande UP aux pratiques innovantes</i>
	<i>Type 1</i>	<i>Type 2</i>	<i>Type 3</i>	<i>Type 4</i>
<i>Ratio de fumure organique produite sur les biomasses initiales</i>	23%	24%	10%	22%

De manière générale, les petites exploitations (types 1 et 2) valorisent un pourcentage moyen de biomasses (animales ou végétales) sous forme de fumure organique (respectivement 23 et 24 %). La part des biomasses animales est plus importante chez les producteurs appliquant les techniques conventionnelles (type 2).

Les exploitations de taille moyenne appliquant les techniques de production conventionnelles (type 3) valorisent peu de biomasse sous forme de fumure organique (10 %), et principalement d'origine animale (parc simple). Il s'agit du type d'exploitation qui met en place des pratiques peu diversifiées et peu innovantes.

Enfin, les grandes exploitations aux pratiques innovantes (type 4) produisent de grandes quantités de biomasse des effluents des ruminants et de biomasse végétale et en valorisent en moyenne 22 % pour produire la fumure organique dont elles disposent pour amender leurs champs. Elles s'appuient sur une valorisation équivalente des biomasses végétales et des effluents (respectivement 24 et 21 %).

Chapitre 4.3.2. Efficience des pratiques sur le recyclage du carbone et de l'azote

L'efficience de la diversité de pratiques de gestion de la fertilité des sols a été évaluée, dans ce second chapitre, à travers un bilan sur les teneurs en carbone et en azote des biomasses végétales et animales initialement disponibles (résidus de culture et déjections animales) et celles des différents types de fumures organiques produites sur les exploitations.

L'estimation de la quantité de carbone et d'azote des biomasses produites dans les champs et par les troupeaux s'est appuyée sur les analyses de compositions organiques et minérales des résidus de culture et des déjections animales présentées dans le Tableau 24 et sur la quantité de biomasse produite sur les exploitations.

Les quantités de carbone et d'azote contenues dans les fumures organiques produites sur chaque exploitation ont été estimées à partir des quantités de chaque type de fumure organique produite et des compositions organiques et minérales (Tableau 23).

Efficience des pratiques sur le recyclage du carbone

Le carbone contenu dans les biomasses produites sur les exploitations n'est que partiellement recyclé sous forme de fumure organique. Les biomasses animales ne sont pas toutes collectées par les paysans, et une partie est perdue sur les parcours et lors des départs en transhumances. Les paysans ne ramassent pas tous les résidus de culture produits sur les champs. Une partie de cette biomasse végétale est brûlée pour la fabrication de la potasse, pâturée ou piétinée par les animaux ou ramasser pour un autre usage. Le carbone contenu dans ces biomasses est ainsi perdu du point de vue de la production de fumure organique. De la même manière, il y a des pertes lors du ramassage, du transport et de la manipulation des biomasses. Enfin, une partie du carbone est perdu lors de la transformation des biomasses en fumure organique sous forme de dioxyde de carbone produit par les microorganismes.

Les quantités de carbone des biomasses initialement disponibles et des fumures organiques produites sont présentées, pour chaque type d'exploitation dans le Tableau 33.

Dans les petites exploitations (type 1 et 2) propriétaires d'un cheptel réduit, le carbone initialement disponible est contenu majoritairement dans la biomasse végétale (résidus de culture).

Dans les exploitations de taille moyenne et grande (type 3 et 4), propriétaires d'un cheptel important et cultivant de grandes surfaces, le carbone initialement disponible est largement contenu dans les déjections animales et, dans une moindre mesure, dans les biomasses végétales.

La quantité de carbone initialement disponible est liée à la taille du cheptel, à la surface totale cultivée, et à la part de l'assolement en céréales sèches (sorgho, mil) qui produisent une grande quantité de biomasse (4 t de MS/ha contre 1 t de MS en moyenne pour le coton).

Tableau 33. Effet des pratiques de gestion des biomasses sur le bilan carbone

QC	Quantité de carbone (kg)	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
QC _i <i>animale</i>	dans la biomasse initiale d'origine animale	5 846	8 652	35 210	53 881
QC _i <i>végétal</i>	dans la biomasse initiale d'origine végétale	11 874	12 993	18 187	31 369
QC _i	dans biomasse initiale	17 720	21 646	53 398	85 250
QC _{fo}	dans fumure organique				
	Basse qualité des composts au champ	1 311	2 249	3 825	8 248
	Haute qualité des composts au champ	1 504	2 382	3 825	8 248
$r_c = \frac{QC_{fo}}{QC_i}$	Ratio du carbone de la fumure organique sur le carbone initial	7,4 %	10,4 %	7,2 %	9,7 %
	Basse qualité des composts au champ				
	Haute qualité des composts au champ	8 %	11 %	9 %	11 %

Basse qualité des composts au champ : analyse du Pcp 2006 et Haute qualité des composts : analyses du projet Fertipartenaires

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité dites innovantes** (type 1) présentent un ratio illustrant le pourcentage de carbone des biomasses initiales recyclé sous forme de fumure organique (r_c) relativement faible (7,4 %). Ces paysans produisent de la fumure organique à partir de fosses à compost au champ qui présentent des teneurs en carbone très réduites ce qui explique le bilan peu performant. Une amélioration de la qualité du compost des champs permet d'améliorer seulement faiblement le pourcentage de recyclage du carbone (de 7,4 à 8 %).

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité plus conventionnelles** (type 2) présentent un taux de recyclage du carbone appréciable (10,4 %). La production de compost de la concession et de fumier dans des parcs améliorés apparait favorable au recyclage du carbone.

Les exploitations **de taille moyenne aux pratiques de gestion de la fertilité conventionnelles** (type 3) valorisent une faible proportion du carbone par la production de fumure organique (7,2 %). Le parc simple et le tas d'ordures ne représentent pas les modes de production les plus favorables au recyclage du carbone.

Enfin, les **grandes exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité dites innovantes** (type 4) présentent un taux de recyclage du carbone appréciable (9,7 %) grâce à la production de fumures riches en carbone (compost de la concession, fumier des hangars).

Efficienc e des pratiques sur le recyclage de l'azote

Selon le même procédé que le carbone, l'azote contenu dans la biomasse des effluents et biomasse végétale produite sur les exploitations n'est que partiellement recyclé sous forme de

fumure organique à cause des pertes en biomasses et de la transformation des produits (lessivage et volatilisation d'ammoniac et de dioxyde d'azote).

Les quantités d'azote initialement disponibles dans les biomasses et finalement contenues dans les fumures organiques produites sont présentées, pour chaque type d'exploitation dans le Tableau 34.

Tableau 34. Effet des pratiques de gestion des biomasses sur le bilan azote

QN	Quantité d'azote (kg)	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
QN_i animale	dans la biomasse initiale d'origine animale	183	262	1 013	1 553
QN_i végétal	dans la biomasse initiale d'origine végétale	110	119	170	298
QN_i	dans la biomasse initiale	293	381	1 183	1 851
QN_{f_0}	dans fumure organique Basse qualité des composts au champ	85	138	156	396
	Haute qualité des composts au champ	90	142	192	434
$r_N = QN_{f_0} / QN_i$	Ratio de l'azote de la fumure organique sur l'azote initiale Basse qualité des composts au champ	29%	36%	13%	21%
	Haute qualité des composts au champ	31 %	37 %	16 %	23 %

Basse qualité des composts au champ : analyse du Pcp 2006 et Haute qualité des composts : analyses du projet Fertipartenaires

L'azote contenu dans les biomasses des effluents et biomasses végétales produites sur les exploitations est majoritairement contenu dans les déjections des animaux, même chez les petites exploitations disposant de peu d'animaux (type 1 et 2). Chez les exploitations de taille moyenne et grande (type 3 et 4) la quantité d'azote contenue dans des biomasses des effluents est particulièrement importante (1 013 kg de N pour les biomasses des effluents contre seulement 170 kg de N pour les biomasses végétales pour le type 3). La quantité d'azote contenue dans les biomasses initialement disponibles sur les exploitations évolue avec la taille des troupeaux.

Les **exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité innovantes**, qu'elles soient petites ou grandes (type 1 et 4), recyclent environ un quart de l'azote des biomasses produites (respectivement 29 et 21 %). Les efforts de récupération et de transformation des biomasses des effluents des ruminants par ces deux types d'exploitation permettent un bon recyclage de l'azote. Les petites exploitations valorisent les déjections animales dans des fosses à compost à la concession et les grandes exploitations dans des fosses à compost de la concession, des hangars et des parcs simples.

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité plus conventionnelles** (type 2) maintiennent un tiers de l'azote des biomasses produites sous forme de fumure organique. Cette performance est permise par la production de compost de la concession et de fumier dans des parcs améliorés, aux teneurs en azote élevées.

Enfin, les **exploitations de taille moyenne aux pratiques de gestion de la fertilité des sols plus conventionnelles** (type 3) ne recyclent que 13 % de l'azote présent initialement dans les biomasses végétales et animales. Ces exploitations présentent d'importantes pertes de déjections animales par la divagation des animaux et les départs en transhumance qui correspondent également à d'importantes pertes en azote (estimée à 500 kg). Des efforts sur la collecte des déjections, le maintien des animaux sur les exploitations et la limitation des pertes au cours de la fabrication de la fumure organique devraient être envisagés.

Importance de la qualité des fumures organiques

Les teneurs en éléments organiques et minéraux des fumures organiques produites en milieu paysans restent cependant très variables selon les biomasses utilisées et les conditions de fabrication des fumures organiques (arrosage et humidité, protection de la chaleur, de l'inondation, préparation des résidus de culture, apport de déjections animales...).

L'estimation de l'effet des pratiques de gestion des biomasses sur les bilans en carbone et en azote, présentée ci-dessus, doit donc être analysée avec prudence. Elle s'est basée sur des teneurs moyennes en carbone et en azote des fumures organiques. Elle ne tient pas compte de la qualité des fumures organiques effectivement produites par les exploitations.

Les teneurs en carbone et en azote des composts au champ et des tas d'ordures sont sans doute sous estimées par les analyses de compositions présentées. Les analyses réalisées par le projet Fertipartenaires dans le cadre de la production de compost dans des fosses au champ présentent des teneurs en carbone plus proches des résultats d'essai de compostage en station (15 % au lieu de 3 % de la MS).

Les bilans sur le recyclage du carbone par les pratiques de gestion de la fertilité des sols des paysans méritent donc d'être précisés en tenant compte de la variabilité des qualités des fumures organiques, influencées par le niveau de maîtrise des techniques de compostage (gestion de l'humidité, protection, couverture, ...).

Chapitre 4.3.3. Effet de l'application du plan de gestion de la fertilité des sols

L'effet de l'application de plus de gestion de la fertilité des sols sur les rendements et les cultures est analysé dans ce troisième chapitre. A partir des données du suivi des pratiques des exploitations nous présenterons une description des pratiques d'application de la fumure organique au champ (épandage, choix des parcelles fumées, application de la fumure organique), des pratiques d'application des engrais minéraux et des modes de gestion des adventices.

Pratiques d'application de fumure organique

Épandage de la fumure organique

La fumure organique est transportée sur la parcelle environ un mois avant l'arrivée des pluies (mars/avril). Le transport est plus facile avec un produit sec, donc moins lourd. Chaque charrette est déposée en un ou deux tas le long des billons, puis les tas sont épandus sur la surface à fumer et le labour intervient rapidement.

Il y a une grande diversité dans les quantités de fumure organique appliquées sur la surface effectivement fumée selon les types d'exploitation (de 7 t/ha à 19 t/ha). Ces différences s'expliquent par les choix des producteurs sur la quantité de fumure organique à appliquer sur la surface choisie. Les pratiques d'épandage leur permettent de moduler les doses de fumure organique : le niveau de chargement des charrettes (selon l'état de fatigue des animaux de transport), le nombre de tas par charrette et les distances entre les tas.

Ces variables dépendent des décisions du chef d'exploitation et des pratiques des travailleurs chargés du transport et de l'épandage de la fumure.

Choix des parcelles fumées.

Les agriculteurs des villages explicitent leurs choix des parcelles à fumer par quatre critères de choix présentés dans le Tableau 35.

Tableau 35. Pourcentage des paysans s'appuyant sur un critère pour le choix de la parcelle à fumer

Critère de choix des parcelles à fumer	Petite exploitation aux pratiques innovantes	Petite exploitation aux pratiques conventionnelles	Exploitation moyenne aux pratiques conventionnelles	Grande exploitation aux pratiques innovantes	Tous types d'exploitation
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	
Localisation du champ	44%	4%	12%	7%	14%
Etat de fatigue du sol	7%	18%	32%	11%	18%
Plan de fumure	18%	30%	35%	22%	27%
Culture mise en place	30%	47%	22%	59%	41%

Le premier critère de choix de la parcelle à fumer peut être **la culture** mise en place (41 % des producteurs). La majorité préfère apporter la fumure en tête de rotation sur les parcelles de coton, avant la culture du maïs en année 2. Certains producteurs amendent également le maïs en complément du coton. Dans de rares cas, la fumure est transportée en totalité sur le maïs (importance de la production céréalière pour la sécurité alimentaire et la vente). Enfin, en cas de retard dans l'arrivée des pluies, certains agriculteurs détournent la fumure du coton sur le maïs ou le sorgho, afin de favoriser exceptionnellement la production de céréales (changement de spéculation au moment des semis).

Le second critère de choix présenté dépend d'**un plan d'assolement pluriannuel**. Les producteurs établissent des plans de fumure pour maintenir un niveau de production moyen sur tous les champs (27 % des producteurs) (Figure 58).

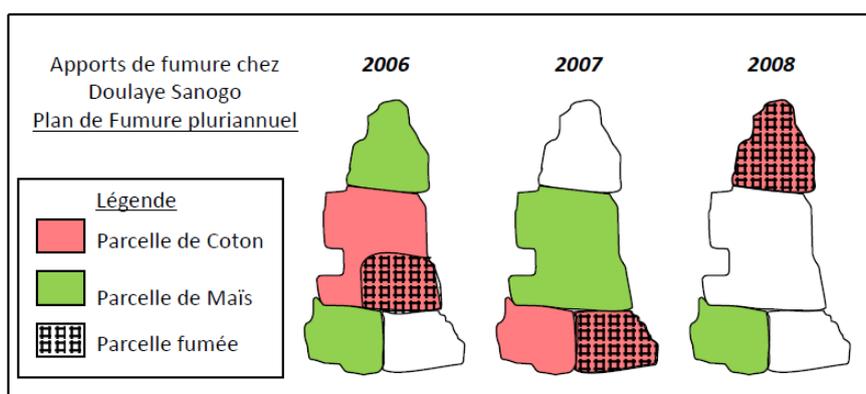


Figure 58. Plan de fumure pluriannuel chez un producteur de Zanférébougou

L'**état de fertilité des terres** observé à travers des indicateurs de fertilité représente le troisième critère de choix présenté. La fumure organique est apportée en fonction de l'observation de l'état des sols, pour permettre une correction de la fertilité (18 % des producteurs).

Enfin, la **distance entre les lieux de production de fumure organique et les parcelles** influence le choix de la parcelle à fumer chez 14 % des producteurs interrogés.

Les petites exploitations aux pratiques innovantes (type 1) apportent la fumure organique principalement sur les champs de case ou à proximité des lieux de production de fumure organique, car elles ont des capacités de transport limitées (peu de charrettes et main-d'œuvre réduite). Les exploitations de petite taille aux pratiques plus conventionnelles (type 2) appliquent un plan de fumure organique pluriannuelle et pratiquent une rotation des apports de fumure organique sur l'ensemble de la surface cultivée. Elles gèrent les apports de fumure organique avec l'implantation des cultures (coton-maïs). Les exploitations moyennes aux pratiques dites conventionnelles (type 3) gèrent les apports de fumure organique selon un plan pluriannuel, qu'elles ajustent en fonction de l'état de fatigue des sols. Enfin, les exploitations de grande taille, aux pratiques dites innovantes (type 4), appliquent, en majorité, leur fumure organique de manière classique, en tête de rotation avant une culture de coton.

Application de fumure organique

Les pratiques d'application de fumure organique selon les types de sol sont comparées aux variables utilisées par les paysans pour expliquer les types de sol (savoirs techniques locaux).

Le Tableau 36 et le Tableau 37 présentent, pour chaque type de sol, la dose moyenne de fumure organique appliquée, avec, en correspondance, la richesse des sols, ses besoins en fumure organique et la durée de l'effet de la fumure organique expliquée par les savoirs techniques locaux.

Tableau 36. Pratiques d'application de la fumure organique selon les types de sol et savoirs techniques locaux au village de Dentiola

Sol du village de Dentiola		Pratiques		Savoirs techniques locaux		
		Dose de fumure organique (kg/ha)		Richesse du sol	Besoin de fumure organique	Durée de l'effet de la fumure
		Moyenne	Ecart type			
Sol ferrugineux tropical lessivé modal	Sol rouge, Bogoblema	0		-- Sol pauvre	++ Besoin important	/
	Sable, Cencen	2 145	5 541	- Sol moyen	+ Besoin de fumure	Effet à moyen terme
Sol hydromorphe	Sol noir, Dugukolofin	1 398	4 843	++ Sol riche	-- Faible besoin	Effet long
Tous types de sol		1 775	5 107			

Dans le village de Dentiola, les pratiques d'application de fumure organique sont en accord avec les savoirs techniques locaux, puisque les sols noirs, sols hydromorphes ou *Dugukolofin*, considérés comme riches et à faible besoin, reçoivent une dose de fumure organique plus faible que les sols sableux, sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux ou *Cencen*, qui nécessitent des apports de fumure organique (1 400 kg/ha contre 2 150 kg/ha). Les sols rouges, sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux ou *Bogoblema*, sont reconnus pour être des sols pauvres par les paysans, qui n'y investissent pas de fumure organique, même s'ils reconnaissent qu'il faudrait des apports importants pour avoir une bonne production.

Tableau 37. Pratiques d'application de la fumure organique selon les types de sol et savoirs techniques locaux au village de Zanférébougou

Sol du village de Zanférébougou		Pratiques		Savoirs techniques locaux		
		Dose de fumure organique (kg/ha)		Richesse du sol	Besoin de fumure organique	Durée de l'effet de la fumure
		Moyenne	Ecart type			
Sol peu évolué d'érosion sur cuirasse	Sol gravillonnaire Bele	2 020	3 954	- Sol peu fertile	+ Besoin de fumure	Effet long
	Sol rouge, Bogoblema	1 544	3 749	++ Sol riche	+ Besoin de fumure	Effet court
Sol hydromorphe	Sol noir, Dugukolofin	1 513	4 785	++ Sol riche	-- Faible besoin	Effet court
Tous types de sol		1 703	4 025			

Dans le village de Zanférébougou, la correspondance entre pratiques d'application de fumure organique et savoirs techniques locaux doit être expliquée. Les sols gravillonnaires, sols peu évolués d'érosion sur cuirasse ou *Bélé*, sont perçus comme peu riches. Ils reçoivent donc une dose plus forte de fumure organique que les sols rouges, sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux, ou *Bogoblema*, qui sont plus riches. Dans ce cas, la correspondance entre pratique et savoir est claire. En revanche, les sols noirs, sols hydromorphes ou *Dugukolofin*, reconnus pour être les sols les plus riches et nécessitant peu de besoin de fumure organique, reçoivent une dose de fumure organique identique à celle des sols rouges, reconnus comme moyens. Les paysans expliquent que l'apport de fumure organique sur des sols noirs correspond à un investissement pour atteindre des objectifs de production plus élevés.

Utilisation différenciées des fumiers produits

Plus de 65 % des exploitations disposent d'au moins deux types de fumure (Sangare et al., 2006). Les paysans reconnaissent aux types de fumure organique des propriétés différentes, comme le degré de rapidité et la durée de leur effet sur les sols (un à cinq ans), ainsi que leur capacité à conserver l'humidité ou à favoriser une levée plus rapide des plants. Les paysans ne semblent pourtant pas se servir des fumures selon ces critères (voir les grilles de caractérisation sur les savoirs techniques locaux sur les fumures organique dans le Tableau 20 et le Tableau 21), leur utilisation correspondant surtout aux pratiques d'épandage.

En effet, seules les déjections des petits ruminants - et les tas d'ordures chez un petit nombre de paysans - sont utilisées de façon localisée pour corriger la fertilité d'une zone reconnue comme déficitaire. Les agriculteurs commencent par vider les fosses, puis, à l'approche des pluies, vident les parcs dont la fumure risque de devenir trop lourde et intransportable ; ensuite, ils reviennent sur les fosses ou continuent sur une éventuelle troisième source de fumure. La localisation des différentes fumures sur une parcelle fumée est issue des pratiques d'épandage, dont un exemple est illustré dans la Figure 59.

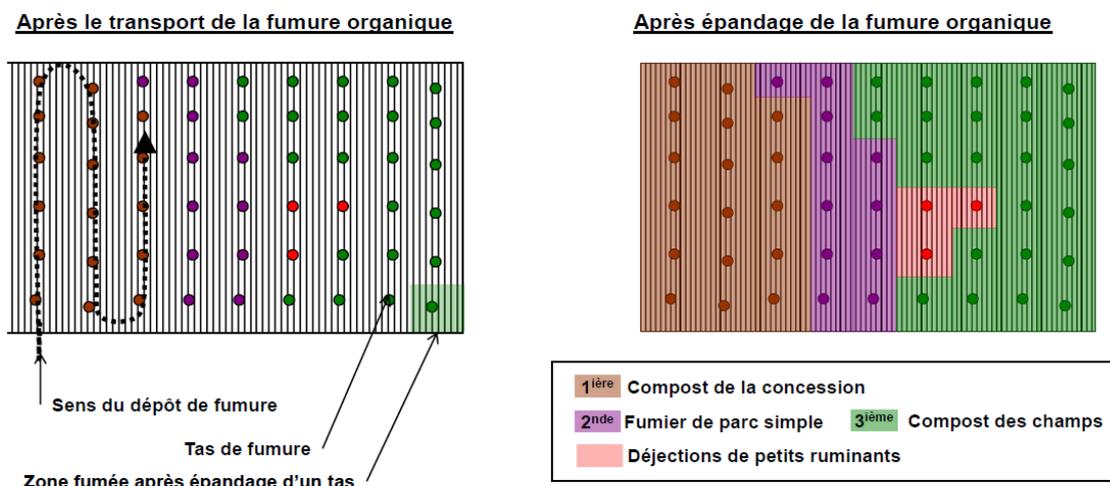


Figure 59. Pratique d'épandage de la fumure organique à Dentiola (Blanchard, 2008)

Pratiques d'application des engrais minéraux

Les pratiques d'application des engrais minéraux aux cultures de coton et de maïs sont très variables chez les paysans. Le Tableau 38 présente les doses moyennes d'engrais minéraux appliquées au coton et au maïs ainsi que les écarts types correspondants, pour les différents types d'exploitation.

Tableau 38. Pratiques de fertilisation minérale du coton et du maïs par type d'exploitation

Quantité moyenne d'engrais minéraux appliqués (écart type) (kg /ha)	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
<i>Fertilisation des cultures de coton</i>				
Complexe NPK Coton	49 (22)	101 (75)	80 (46)	85
Urée	49 (22)	51 (16)	36 (16)	42
<i>Fertilisation des cultures de maïs</i>				
Complexe NPK Céréales	50 (23)	84 (86)	74 (87)	80 (5)
Urée	82 (69)	99 (98)	88 (90)	74 (45)

De manière générale, les doses d'urée appliquées au coton sont plus proches des doses recommandées et présentent moins de variation que les doses de complexe NPK. Les doses de complexe NPK céréales et d'urée appliqués aux cultures de maïs sont relativement homogènes d'un type d'exploitation à l'autre. Elles présentent cependant d'importantes variations, qui seraient dues aux difficultés d'accès aux intrants céréales. Les paysans reçoivent les intrants du coton et des céréales grâce à des crédits assurés par la seule vente du coton-graine. Si la vente du coton-graine ne suffit pas à couvrir l'ensemble des crédits contractés en début de campagne, les paysans n'ont pas accès aux intrants céréales à crédit, mais uniquement aux intrants pour le coton.

Les **petites exploitations aux pratiques innovantes** (type 1) appliquent des doses faibles d'engrais minéraux aux cultures de coton, avec 50 kg/ha de complexe NPK et 50 kg/ha d'urée en moyenne. Elles mettent davantage l'accent sur la culture du maïs, avec l'application d'une dose conséquente d'urée (80 kg/ha).

Les **exploitations de petite taille aux pratiques plus conventionnelles** (type 2) appliquent des doses importantes d'engrais minéraux aux parcelles de coton, correspondant aux doses recommandées, mais des dosages très variables pour le complexe NPK (100 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée).

Les **exploitations de taille moyenne aux pratiques dites conventionnelles** (type 3) appliquent à la culture du coton des doses de complexe NPK coton et d'urée plus faibles que les quantités recommandées (80 kg/ha de complexe NPK coton contre 150 kg/ha et 36 kg/ha d'urée contre 50 kg/ha recommandés). Seules les doses d'urée sur la culture de maïs sont relativement importantes (100 kg/ha) et correspondent aux recommandations.

Les **exploitations de grande taille, aux pratiques dites innovantes** (type 4) appliquent aux de coton des doses de complexe NPK coton et d'urée comparables au type 3. Les doses d'engrais apportées sur les parcelles de maïs correspondent aux recommandations.

Gestion des adventices des cultures chez les producteurs des villages

Pour gérer la population d'adventices des cultures, les paysans disposent de la lutte mécanique, avec la traction animale (passage d'un sarcléur) ou manuellement à l'aide d'une daba, et de la lutte chimique, avec l'emploi d'herbicides. Lors de la campagne agricole 2007-2008, peu de producteurs ont utilisés des herbicides dans les champs, afin de limiter le crédit de la campagne. Le désherbage et le sarclage ont donc représenté les deux modes de lutte les plus employés. Afin d'analyser le travail de gestion des adventices des cultures chez les différents types de producteurs, nous nous sommes intéressés au temps de travail de désherbage (Tableau 39).

Tableau 39. Temps de travail investi pour désherber les parcelles selon les types d'exploitation

Temps de travail moyen de désherbage (écart type) (Homme jour/ha)	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Culture de coton	20,3 (14,6)	39,6 (21,5)	45,3 (55,5)	47,1
Culture de maïs	14,3 (13,2)	39,8 (25,6)	40,1 (13,4)	19,2 (1,1)
Culture de sorgho	8,9 (5,1)	9,9 (0,7)	13,0 (11,7)	20,4 (27,8)
Culture de mil	13,9	14,5	25,0	6,6

Le temps de travail accordé aux travaux de désherbage des cultures est faible dans les **petites exploitations aux pratiques innovantes** (type 1). L'effort de désherbage le plus significatif concerne la culture du coton, avec 20,3 Homme.jour/ha.

Les **exploitations de petite taille aux pratiques plus conventionnelles** (type 2) et les **exploitations de taille moyenne aux pratiques dites conventionnelles** (type 3) investissent toutes les deux du temps de travail pour le désherbage des parcelles de coton et de maïs, avec en moyenne 40 Homme.jour/ha ; à noter cependant une variabilité très importante pour le type 3.

Les **exploitations de grande taille, aux pratiques dites innovantes** (type 4) investissent également un travail conséquent pour le désherbage des parcelles de coton, mais moins de temps de travail pour la culture du maïs (19,2 Homme.jour/ha).

Chapitre 4.3.4. Effet de la diversité de pratiques sur les rendements des cultures

L'effet des pratiques de gestion de la fertilité de sols est analysé à travers les rendements moyens des cultures, calculés sur quatre campagnes agricoles (2003 à 2006), afin de limiter l'effet de la pluviométrie annuelle. Le Tableau 40 présente les rendements moyens par type d'exploitation ainsi que les écarts types.

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion innovantes** (type 1) présentent un rendement moyen en maïs intéressant, avec une production de 1 960 kg/ha, ce qui peut s'expliquer par l'effet de la fumure organique appliquée préférentiellement à cette culture chez ce type d'exploitation. Leurs rendements en sorgho et mil sont comparables aux autres exploitations, même s'ils présentent une variabilité importante (écart type autour de 400 pour des rendements voisins de 700 kg/ha).

Les **petites exploitations utilisant des pratiques plus conventionnelles** (type 2) produisent des quantités plus importantes de fumure organique, particulièrement animale, mais présentent des rendements pouvant être considérés comme inférieurs pour toutes les cultures.

Les **exploitations de taille moyenne et appliquant des pratiques de gestion de la fertilité plus conventionnelles** (type 3) présentent des rendements en coton élevés, comparables aux rendements des grandes exploitations innovantes (type 4). Ces rendements sont jugés très bons par rapport à la moyenne, qui est de 1 t/ha dans la région. En revanche, les rendements en céréales peuvent être considérés comme faibles, avec 1 400 kg/ha de maïs et 425 kg/ha de mil. Les rendements en sorgho restent moyens.

Enfin, les **grandes exploitations mettant en place des pratiques de gestion innovantes** (type 4) présentent de bons rendements en coton, mais également en maïs (2 260 kg/ha), en sorgho (1 712 kg/ha) et en mil. Ces exploitations possèdent, comme nous l'avons vu, des moyens de production plus importants (main-d'œuvre, surface, équipement et cheptel), qui leur permettent de disposer d'une quantité importante de biomasse qu'elles arrivent à valoriser en mettant en place des techniques diversifiées de production de fumure organique. Ces exploitations présentent, selon l'analyse, les performances les plus efficaces pour la culture du coton, mais aussi pour les cultures de céréales.

Tableau 40. Rendement moyen des cultures pour chaque type d'exploitation

Rendement des cultures principales (kg/ha)		Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Coton	Moyenne	1 124	1 149	2 096	1 940
	Ecart type	470	586	861	716
Maïs	Moyenne	1 957	1 491	1 396	2 258
	Ecart type	944	567	602	683
Sorgho	Moyenne	793	631	757	1 712
	Ecart type	473	461	453	1 116
Mil	Moyenne	738	758	425	836
	Ecart type	405	392	365	171

ELEMENTS DE CONCLUSION

L'analyse du recyclage des biomasses des effluents des ruminants et biomasses végétales de chaque type d'exploitation permet de discuter du niveau d'efficacité de leurs pratiques de gestion de la fertilité des sols et de l'importance du rôle de l'élevage.

Les quantités de fumure organique produites dans les exploitations de la zone paraissent importantes, avec 9 à 45 t de fumure organique par exploitation.

La fumure organique est appliquée aux champs à des doses plus faibles que les recommandations, mais relativement fortes par rapport aux descriptions des pratiques dans la zone (1 à 1,7 t/ha cultivé).

Cette analyse confirme un fait acquis selon lequel les grandes exploitations produisent plus de fumure organique que les petites. Cependant, certaines exploitations (type 4) produisent de grande quantité en multipliant les types de fumure organique produite (compost des champs, parc amélioré) et en recyclant une part importante des déjections animales produites.

D'après l'analyse, les petites exploitations aux pratiques de gestion innovantes (type 1), malgré leur taille réduite, valorisent une part importante des déjections animales de l'exploitation et recyclent leurs résidus de culture en diversifiant les modes de production de fumure organique (compost au champ).

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols sont performantes pour le recyclage du carbone contenu dans les biomasses dans les petites exploitations aux pratiques conventionnelles (type 2) grâce à la production de compost à la concession et de fumier sous les hangars. Les grandes exploitations (type 4) par la diversité de leurs modes de production de fumure atteignent un niveau de recyclage du carbone également intéressant.

Le recyclage de l'azote contenu dans les biomasses est performant chez les petites exploitations (type 1 et 2) qui valorisent une part importante de leurs déjections animales. En revanche, le recyclage de l'azote est faible pour les exploitations de taille moyenne aux pratiques de gestion de la fertilité conventionnelles (type 3).

Rapport-Gratuit.com

Partie V : Discussion

Cette cinquième partie est consacrée à la discussion des observations et des résultats analytiques présentés dans la partie résultats. Elle s'organise autour de trois chapitres.

La relation entre les savoirs locaux et les sciences est discutée dans un premier chapitre. Les observations sur les savoirs techniques locaux, qui appartiennent au domaine cognitif, doivent être traduites en données chiffrées, fonctionnelles, pour être utilisables par les scientifiques. Cette transposition d'un système de pensée à un autre représente une difficulté importante de ce travail.

La méthode développée pour caractériser les savoirs techniques locaux et les prendre en compte dans l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols est revue de manière critique dans un second chapitre.

Enfin, un certain nombre d'apports de la prise en compte des savoirs techniques locaux dans l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols sont exposés et discutés dans le troisième et dernier chapitre.

Chapitre 5.1. Savoirs techniques locaux et sciences exactes

Analyse comparée de deux systèmes de connaissance sur les sols

Structure des systèmes de connaissance sur les sols

Les systèmes de classification permettent de disposer d'un référentiel commun pour échanger des informations qui gardent leur sens pour tous les utilisateurs. De nombreuses classifications pédologiques ont été développées au cours du XX^e siècle, avec des degrés de précision et des échelles différentes. Trois systèmes font référence.

Les classifications françaises des sols ont d'abord pris en compte les processus de pédogénèse des sols (CPCS⁴²) (Lamouroux et al., 1983), avant d'élargir à la morphologie et aux propriétés de comportement et de fonctionnement des sols (Référentiel pédologique, RP, 1995).

La classification américaine (Soil taxonomy, 1975), hiérarchisée, s'appuie sur la description de la texture, la structure et la couleur et des mesures de composition sur des horizons diagnostics.

Enfin à l'échelle internationale, la Classification de la FAO (1975), puis le Référentiel WRB (World Reference Base for Soil Resources 1998), présentent des unités principales de sol subdivisées selon le degré d'altération et d'évolution des sols.

Toutes ces classifications pédologiques tendent à être logiques et objectives et à constituer un système d'information sur les sols qui puisse être « *actionnable* » (Lamouroux et al., 1983). Elles ont une portée globale. Soit elles sont hiérarchisées, faisant intervenir des relations entre niveaux différents de classes de sols, soit elles font référence aux processus de la pédogénèse, qui aboutit à une liaison entre deux types de sol selon son degré d'évolution. Ces deux aspects assimilent les classifications pédologiques à des taxonomies, à savoir une classification d'objets issue d'un processus d'évolution. Les classifications pédologiques évoluent vers une utilisation de variables qualificatives utilisables et une structure hiérarchique simplifiée. La pédologie est passée d'une identification des sols par une interprétation de la pédogénèse et de l'évolution des sols (classification génétique de la CPCS) à des mesures et des observations plus fines (RP) (Legros, 2007).

Les typologies paysannes des sols correspondent à une répartition, par les paysans, des sols ayant des caractères communs, afin d'en faciliter l'usage. Elles ont une portée locale. Ces typologies sont donc des classifications, car « *elles matérialisent, regroupent et organisent les connaissances* » sur les sols (Legros, 2007). Ces typologies font référence à des caractères morphologiques et de fonctionnement des sols. Elles prennent en compte un état du sol à un temps *x* et traduisent une réalité observable par les sens, en particulier visuel et du toucher. Se situant sur une échelle de temps relativement courte, elles limitent les perceptions de la dynamique des sols aux phénomènes d'érosion, d'évolution de la matière organique, sans aborder les processus de pédogénèse, contrairement aux classifications pédologiques.

⁴² CPCS : Commission de pédologie et de cartographie des sols

Elles présentent une structure organisée, mais relativement peu hiérarchisée. Certaines études font référence à deux niveaux de diagnostic, le terrain et la terre (Kanté et al., 1995) et certains paysans interprètent la position sur la toposéquence avant de diagnostiquer le type de sol. L'organisation hiérarchique en niveaux ayant des relations entre eux reste limitée. Enfin, elles sont fondées sur des interprétations de l'état de l'horizon de surface pour une identification des sols, avec pas ou peu de recours à des variables qualificatives objectives mesurables.

Finalité des systèmes de connaissance sur les sols

Les classifications pédologiques s'attachent à décrire spécifiquement et précisément chaque type de sol, son histoire et son évolution avec des caractères morphologiques fins. Elles sont donc orientées vers une caractérisation précise des sols à partir d'indicateurs mesurables et une description dynamique. L'objectif de ces classifications est de représenter et d'organiser les connaissances sur l'ensemble des sols du monde (CPCS, Soil taxonomy) ou d'une région du monde (RP). Elles ont donc un caractère universel, mais les informations qu'elles fournissent n'ont de sens que pour les spécialistes qui les comprennent et ne sont donc pas utilisables par tous. Elles doivent être traduites en langage accessible avant leur utilisation par des novices.

Les typologies paysannes des sols s'attachent à décrire des caractères morphologiques des horizons de surface des sols, qui expliquent et justifient leur interprétation du fonctionnement des sols (phénomènes de dégradation, relation des sols et des cultures). Ces systèmes de connaissances sur les sols sont orientés vers l'utilisation des sols et la production agricole, donc vers l'action. De plus, les typologies paysannes des sols couvrent une région circonscrite et n'ont pas une valeur exhaustive. Les types de sols paysans d'une zone donnée n'ont du sens que pour les utilisateurs qui les reconnaissent. Les typologies paysannes des sols forment des systèmes de connaissance partagés et reconnus au sein d'un groupe social. Ils comprennent également des connaissances individuelles, reconnues par quelques paysans, voire des connaissances monopolisées, reconnues exclusivement des paysans érudits (paysans ayant des connaissances acquises lors de voyages, de rencontres, de formations, de réunion, ... qui ne sont pas partagées).

Pertinence des systèmes de connaissances sur les sols

Les classifications pédologiques des sols sont construites à partir de diagnostics de sols, d'observations de profils, puis de mesures répétées de granulométrie et d'analyses chimiques dès lors que l'outil informatique a permis l'utilisation des statistiques à grande échelle. Même si elles ont évolué au cours du temps en recherchant plus d'exactitude, la validation de ces classifications s'appuie sur des bases scientifiques reconnues.

La pertinence des typologies paysannes des sols peut donc être appréciée de manière rationnelle et objective par des méthodes scientifiques sur des variables mesurables (couleur, granulométrie, composition chimique). Plusieurs études sur les types de sols paysans ont testé la validité et l'objectivité des typologies paysannes des sols par des analyses scientifiques ou des tests statistiques (Bellon et Taylor, 1993, Stacishin de Queiroz et Norton 2003, Behrens,

1989 citées par Ettema, 1994). Toutes ces études concluent que les différentes typologies paysannes des sols qui ont été analysées sont « *scientifiquement valides* » et « *statistiquement testables* ».

Les typologies paysannes des sols restent cependant très descriptives, à visées pratique et propres à des zones circonscrites, alors que les classifications pédologiques des sols ont un caractère exhaustif, une visée théorique et couvrant l'ensemble des sols. Les objectifs sont différents : le pédologue cherche à expliquer comment les sols se sont formés et évoluent, alors que les paysans les classent en fonction de leur utilisation ; ce sont des typologies à visée pratique, caractérisées par une portée locale.

La recherche de correspondances entre les classifications pédologiques et les typologies paysannes des sols risque de limiter l'étendue des connaissances gérées par les typologies paysannes des sols. Les valeurs culturelles et sociales, et les nuances abordée par le caractère local des typologies paysannes ne peuvent pas être validées et prises en compte dans une analyse scientifique.

Ainsi, l'objectif de toute comparaison des typologies paysannes et des classifications pédologiques n'est pas d'établir une correspondance parfaite entre un sol décrit par les paysans et un sol pédologique, mais de rechercher une traduction d'un système à l'autre pour améliorer le dialogue entre les paysans et les chercheurs, entre les utilisateurs des typologies et ceux des classifications.

Dans cette étude, le rapprochement des typologies paysannes des sols de deux localités a aussi permis de mettre en évidence des variables de description, de fonction et de risque communes aux deux systèmes de pensées. Cette construction identique permet de comprendre comment les paysans se représentent et évaluent les sols. Ainsi, lorsqu'un paysan migre et s'installe dans une autre localité, il pourra, dans un premier temps, fonder son appréciation des nouveaux sols qu'ils découvrent sur l'observation de ces variables.

Utilisation des typologies paysannes des sols pour le développement local

Les typologies paysannes des sols ont été reconnues dans le contexte de la recherche participative, afin de faciliter le dialogue entre chercheurs, développeurs et paysans, d'améliorer la participation des paysans, d'identifier des aspects pertinents pour la recherche et la vulgarisation agricole, d'enrichir les connaissances sur les pratiques agricoles et ainsi réduire les risques de malentendus entre les acteurs (Vall et al., 2009, Olivier de Sardan et Paquot, 1991).

Ces typologies de sols ont cependant une portée locale, inscrite dans un territoire donné. Même si le rapprochement des typologies paysannes de sols de deux localités montre des éléments similaires à tous ces systèmes de connaissance, leur utilisation sur une large échelle en réduit la pertinence. Plus l'échelle d'analyse est large, plus les détails de la caractérisation des types de sols s'amenuisent. L'utilisation des typologies des sols dans un message unique de vulgarisation au Mali-Sud se limiterait à des recommandations d'ordre général qui auraient moins de pertinence, pour les paysans, que leurs propres règles de gestion.

Cependant, quelques propositions d'utilisation pertinente des savoirs techniques locaux sur les sols ont été faites par la recherche en zone Mali-Sud.

La construction d'un système d'information regroupant les connaissances paysannes et celles de la recherche a été proposée pour enrichir les connaissances de la recherche agronomique, servir de base aux interventions en milieu rural et favoriser un meilleur dialogue entre acteurs du développement agricole (chercheurs, développeurs et paysans) (Diallo, 1998). Un tel recueil devait permettre d'enregistrer les savoirs techniques locaux et de les rendre disponibles pour toutes les interventions. La double lecture des sols par les typologies paysannes et la classification pédologique aurait permis de les insérer dans un système de connaissance à valeur universelle et de faciliter leur validation. Mais ce travail aurait nécessité de lourds investissements d'investigation afin de caractériser un grand nombre de typologies paysannes des sols sur des territoires variés, auprès de populations diversifiées, avec un niveau de détails suffisamment fin pour accumuler des informations utiles à des actions locales. Cela reste peu réaliste dans le contexte local.

L'ESPGRN et le KIT ont travaillé sur la gestion de la fertilité des sols en recherche participative (pratique de gestion de la fertilité, flux de biomasse, modélisation, bilan nutritif...). Les deux équipes ont développé des outils de recherche afin d'intégrer les paysans dans un processus de recherche, qu'ils appellent *Participatory Learning and Action Research* (PLAR) (Defoer, 2002, Defoer et al., 2000).

Une première phase de diagnostic permet d'appréhender les typologies paysannes des sols (entités, variables de caractérisation) et de travailler en « focus groupe » sur les modes de gestion existants, les problématiques et les propositions techniques reconnues par les paysans. Pour chaque type de sol paysan, dans une seconde phase, la planification des activités auprès d'un groupe réduit de paysans permet de discuter et de valider des propositions techniques adaptées par type de sol et selon les types d'exploitation.

Puis, les essais sont mis en place et suivis par l'ensemble des paysans intéressés (échanges, démonstrations et visites). Un bilan est réalisé en fin de campagne. Les résultats sont présentés sur la base de cartes d'exploitation et l'efficacité des techniques est discutée.

Dans cette démarche, les savoirs techniques locaux servent de bases au dialogue entre chercheurs et paysans ou entre encadrants agricoles et paysans. Elle permet d'aborder des éléments précis avec les paysans (quantification des flux de biomasses, gestion des résidus de culture dans la relation agriculture-élevage) grâce à des outils de participation riches (carte à dire d'acteurs, carte d'exploitation, modélisation...). Elle permet enfin d'éviter les incompréhensions pouvant engendrer des malentendus entre les acteurs.

Cette méthode devait servir de base à un nouveau mode d'encadrement agricole plus participatif, favorisant l'apprentissage des paysans. Cependant, elle demeure contraignante, avec nécessairement peu de paysans suivis par chaque encadrant agricole. Les encadrants doivent rompre avec leur mode d'intervention habituel, top-down, et appliquer les principes de participation des paysans. De plus, ils doivent maîtriser la palette de techniques innovantes (principes, fonctionnement, contraintes, conditions de réalisation, résultats espérés). Cet outil,

riche pour la recherche participative, a été très peu utilisé par le système d'encadrement agricole au Mali-sud.

Analyse comparée de deux systèmes de connaissance sur les fumures organiques

Analyse appliquée aux savoirs technico-scientifiques

La recherche-vulgarisation a développé et diffusé des fiches techniques sur la production de fumure organique (Berget, 1996, CMDT, 1995 a, b, c). La méthode de caractérisation des savoirs techniques, appliquée à ce système de connaissance, permet de distinguer les types de fumure organique reconnus par la recherche-vulgarisation (entités) et les variables utilisées pour les caractériser.

Il existe quatre entités diffusées par l'encadrement dans la zone du Mali-Sud : le parc amélioré, la fosse à compost à la concession ou au champ, et la technique traditionnelle du tas d'ordures domestiques. Chacune des entités est caractérisée par un ensemble de variables de description (constituants, infrastructure, lieu de production et moyens), des variables de fonction (richesse en éléments minéraux, matière organique et matière sèche, présentées par les analyses dans le Tableau 23) et des variables de risques (décomposition, lessivage). Enfin, les fiches techniques présentent un ensemble de règles de gestion sur la production et l'utilisation de la fumure à l'usage des producteurs (exploitation cible, date des travaux et modalités, gestion de l'eau, surveillance, dose d'application...).

La grille appliquée aux savoirs technico-scientifiques sur les techniques de production de fumure organique vulgarisées au Mali-Sud est présentée dans le Tableau 41.

Tableau 41. Grille de caractérisation des techniques de production de fumure organique vulgarisées au Mali-Sud

Type de FO pour la vulgarisation		Fumure des fosses		Parc amélioré	Amélioration des tas d'ordures
		Compost de la concession	Compost des champs		
source		CMDT, 1995 b	CMDT, IER, DRSPR	CMDT, 1995 c	CMDT, IER, DRSPR
Variable de description	Constituants	Ordures ménagères, déjections des animaux et résidus de culture	Résidus de culture, ordures ménagère, herbes de brousse, déjections animales	Déjections des animaux Litière (pailles de céréales ou tiges de coton)	Résidus de cuisine, spathe et rafles de aïs, gerbes égrenées de sorgho, sons...
	Lieu et infrastructure	Fosse creusée, avec diguette, Site non-inondable	Fosse à proximité du champ, avec diguette et vanne	Construction d'un parc (fixe): dimension, site, type de parc	Fosse creusées ou dépotoir construit à l'écart de la cuisine
	Moyens	Résidus de culture, Moyen de transport et d'arrosage (variante)		Parc fixe et litière suffisante, Moyen de transport (litière puis fumier), main-d'œuvre et outils	Outils
De risque	Décomposition	/	2 ans de compostage pour une fumure mûr		1 à 2 ans de compostage
	Lessivage	Préparer le fond de la fosse	Préparer le fond de la fosse	Aménager les bords du parc	Aménager les bords de la fosse/ dépotoir
Règles de gestion	Exploitation cible	Petites exploitations mal équipées en animaux de trait et transport Type C et D de la CMDT et les femmes	Petites exploitations mal équipées en animaux de trait et transport Type C et D de la CMDT et les femmes	Exploitation propriétaire d'animaux et équipée pour le transport Type A et B de la CMDT	Petites exploitations mal équipées en animaux de trait et transport Type C et D de la CMDT et les femmes
	Travail	Arrosage avec les eaux usées, eaux de pluies Aérer la fosse, couvrir Remplissage entre mars et juin Vidange avril-mai suivant	Ramasser les résidus en tas apporter des déjections animales Préparer le fond de la fosse Hacher les résidus de culture Remplissage par couche et couvrir la fosse, Retournement Eaux de pluies et ruissellement.	Stoker de la litière dès février Apporter de la litière dès le mois d'avril, puis régulièrement Vider le parc entre février et mai	Couvrir d'une toiture en paille Remplissage journalier Arrosage une fois par semaine selon humidité Ajouter les déjections des animaux balayées à proximité de la concession Couvrir d'une couche de terre 1 à 2 ans de compostage

Corrélations des systèmes de connaissances sur les fumures organiques

Les grilles de caractérisation des savoirs techniques locaux et des savoirs de la recherche-vulgarisation permettent de mesurer la corrélation entre ces deux types de savoir et de distinguer des éléments partagés par les deux systèmes de connaissances et les divergences sources d'enrichissement mutuel.

Quelques éléments partagés

Les entités reconnues par les deux systèmes de connaissances correspondent aux trois types de fumure organique : le fumier du parc amélioré, les tas d'ordures domestiques et la fumure des fosses à compost. Les caractéristiques présentées dans les fiches techniques pour décrire ces fumures sont reprises en partie par les paysans pour expliquer leurs propres entités (lieu de fabrication, composants, travail à investir).

Certains facteurs limitant la production, exprimés par les paysans enquêtés, comme les difficultés liées au transport (distance, moyen de transport, main-d'œuvre, temps...) et au ramassage des résidus (main-d'œuvre, organisation), ont entraîné le développement du crédit pour l'acquisition de charrette. Les difficultés liées à l'accès aux déjections animales (temps de parcage des animaux) ou aux résidus végétaux (gestion des biomasses) devaient être contournées par des techniques de la recherche et des modes d'organisation (affouragement et complémentation, parcage nocturne, diurne, ramassage et stockage...) (Blanchard, 2007).

Quelques éléments divergents : un double enrichissement à rechercher

Des nouvelles fumures décrites par les savoirs techniques locaux

Les savoirs techniques des paysans et des chercheurs, même s'ils ne sont pas antinomiques, ne se superposent pas totalement. Le compost de la concession, *Ncgcdinge*, correspond à un compostage, en fosse, de résidus de culture, d'ordures domestiques et de déjections animales. Il ne s'agit pas d'une fosse fumièrre à proximité d'une étable, comme le modèle développé et vulgarisé au Burkina-Faso (Inera/RSP, 1995 a, b). Au Mali, l'encadrement a choisit de ne pas distinguer les fosses fumièrres des fosses à compost en s'appuyant sur une appellation unique des paysans, *Ngc dinge*, qui signifie la fumure du trou.

Les paysans ont ainsi intégré les processus de transformation et utilisent les déjections animales et la force de piétinement des animaux souvent en stabulation sur la fosse pour favoriser la transformation de matériaux végétaux diversifiés. Ils multiplient les sources de matière végétale afin d'augmenter le volume de fumure produite (feuilles mortes, herbes, vieilles toitures...).

Les paysans des deux villages, même si cela reste tabou, utilisent les fèces humaines transformées par compostage directement dans les latrines. La recherche agricole en Afrique de l'ouest, qui avait ignoré ce mode de production de fumure organique, l'intègre peu à peu

dans les travaux de recherche sur l'amélioration de la fertilité des sols et la durabilité des systèmes de cultures⁴³.

Les spécificités des techniques de production de fumure organique vulgarisées par l'encadrement au Mali-Sud et des pratiques des paysans sont présentées dans le Tableau 42.

Tableau 42. Mise en parallèle des savoirs techniques locaux avec les modèles proposés par la recherche

Spécificités des techniques vulgarisées par l'encadrement au Mali-Sud	Spécificités des pratiques de production de chaque type de fumure organique
(CMDT, IER, DRSPR) Installations : taille et localisation du tas ou dépotoir Travaux : remplissage, arrosage, couverture	Mise en tas ou en fosse des ordures ménagères
(CMDT 1995 c) <u>Parc amélioré</u> Construction du parc : taille, forme, modèle de construction, localisation Entretien du parc : ramassage litière, quantité et qualité de la litière, apport, vidange, entretien clôture Importance du maintien des animaux et taille du cheptel Qualité et quantité de fumier produit	<u>Fumier du parc amélioré</u> Parc en retrait des exploitations (nuisances), terrain non inondable et non cultivable) En bois ou grillage de forme ronde Résidus en tas sous la pluie avant l'apport de litière au parc (tige de coton), l'apport de litière lorsque de la boue se forme
(Inera/RSP, 1995 a, b). <u>Etable et fosse fumière</u> Modèles de fosse : juxtaposée ou incorporée, taille localisation Entretien de la fosse : apport de résidus, arrosage Importance du maintien des animaux et adéquation taille du cheptel et quantité de litière Qualité et quantité de fumier produit	<u>Fumier du Hangar</u> Peu de mise en fosse, accumulation des déjections et refus de fourrage sous les hangars Ou mise en fosse avec des résidus de culture supplémentaire (fosse à compost à la concession)
Parcage au piquet, parc fixe ou mobile Rien à signaler	<u>Terre de parc</u> Collecte de poudrette déposée au parc
(CMDT 1995 b et CMDT, IER, DRSPR) <u>Production de fumure en fosse</u> Installation : taille, construction, localisation des fosses Période de production : saison sèche, saison des pluies ou mixte Entretien des fosses : Ramassage des résidus de culture, préparation des résidus de culture, type de résidus, préparation du fond de la fosse, remplissage, aération, arrosage, couverture de la fosse, contrôle de la décomposition Cas du compostage transvasé Cas du compostage au champ	<u>Compost de la concession</u> Installation proche de la concession, peu de préparation du fond de la fosse Limite les arrosages aux eaux usagers, pas de hachage des résidus, pas de retournement, couverture en fin hivernage <u>Compost des champs</u> Installation des fosses au champ (limite le transport), pas de préparation du fond de la fosse Pas d'aération, pas d'arrosage mais écoulement des eaux de pluie, pas de hachage des résidus, peu d'apport de déjections, pas de couverture

Il semble que les paysans produisent une diversité de type de fumure organique en adaptant les techniques de production proposées par la recherche et la vulgarisation.

43 Cette pratique pourrait se vulgariser dans la sous-région suite au travail de plusieurs organisations comme le Programme ECOSAN du CREPA par exemple, qui travaille sur le traitement des excréta humains pour une utilisation sans risque de produits de qualité.

Les modèles de production de fumure organique proposés apparaissent comme des techniques sophistiquées nécessitant de nombreuses opérations (ramassage, hachage des résidus, préparation du fond des fosses ou de la clôture du parc, arrosage, aération, couverture, retournement...). Les paysans auraient tendance à limiter le nombre d'opérations à réaliser (pas d'arrosage, pas de préparation du fond des fosses, peu d'aération, pas de retournement...). Les pratiques de production de fumure organique mises en oeuvre par les paysans pourraient être qualifiées de pratiques peu intensives en travail. Les paysans limitent certaines opérations qu'ils ne jugent pas essentielles ou les contournent par des opérations moins coûteuses en temps de travail. Les paysans préfèrent exposer les résidus à l'eau de pluie avant de les apporter à la fosse ou sous les animaux (litière) afin de favoriser leur décomposition, sans hachage.

Des variables peu partagées qui ont du sens

Les paysans reconnaissent une partie seulement des variables du savoir technico-scientifique et le discours de la vulgarisation ne prend pas en compte toutes les variables des paysans.

En dehors des variables de description communes aux deux systèmes, les paysans utilisent également d'autres variables pour décrire leurs fumures. Les variables de fonction (effet, durée et intensité de l'effet) peuvent être comparées aux variables de qualité analysées par la recherche (richesse en éléments chimiques). Les règles d'utilisation vulgarisées de la fumure organique (dose, date, modalité d'apport) ne font pas référence à ces variables de fonction, qui ont pourtant un sens pour les paysans, qui choisissent d'investir dans la production de fumure quand le produit obtenu correspond à leurs attentes : production importante pour un apport de fond sur une grande surface ou petite production de qualité pour des apports localisés. Les paysans sont très sensibles aux risques encourus au champ par l'apport de fumure organique : brûlure des plants, apparition d'adventices. Les risques liés à l'utilisation d'une fumure organique reconnus par les paysans sont peu pris en compte dans les recommandations techniques, alors qu'ils sont pour eux un facteur de préoccupation. Parallèlement, le risque de lessivage et de perte d'éléments fertilisants est peu présent dans les savoirs techniques locaux des paysans. Ces derniers n'hésitent pas à produire du compost dans des fosses inondées, préparent peu le fond des fosses ou le tour des parcs pour éviter les pertes par lessivage ou ne couvrent pas les fosses pour éviter les pertes dues au soleil et à la chaleur.

Enfin, le compostage des résidus au champ est reconnu par les paysans mais il est très déprécié. Les paysans ont de mauvaises expériences sur le compostage, le produit « *ressemble à de la terre* ». Le compost demande à être arrosé, il est souvent ensablé sous l'effet du vent et de la pluie et les résidus en fosse peuvent être brûlés par le passage d'un feu de brousse. Le niveau de maîtrise technique nécessaire pour une production de qualité est une variable qui est reconnue par les paysans.

Des hommes et leurs machines

Les sciences et les connaissances sensorielles

Les objets appartenant au réel sont perçus par les hommes à travers les impressions que leur fournissent leurs sens. Les couleurs, la lumière, les odeurs, les saveurs, le toucher et les sons stimulent des récepteurs sensoriels, provoquant une chaîne de réactions électrochimiques. Les sensations fournies par ces récepteurs sont interprétées selon l'expérience propre à chaque individu et constituent la perception du réel, qui sert aux hommes à élaborer leur propre système de connaissance. « *Les données des sens constituent la base fondamentale sur laquelle s'édifie la connaissance humaine* » (Piéron, 1932).

D'après la théorie de la perception élaborée par Helmholtz (cité par Piéron, 1932), les « *représentations que nous nous formons des choses ne peuvent être que des symboles, des signes naturels des objets dont nous apprenons à nous servir pour régler nos mouvements et nos actions* ». Les savoirs techniques locaux appartiennent donc au domaine des connaissances sensorielles.

Chaque organe sensoriel présente un seuil de sensibilité au-dessous - voire au-dessus - duquel il ne peut être stimulé et donc fournir aucune sensation. Les hommes ne peuvent percevoir le réel qu'à travers une fenêtre de validité.

Les sciences ont un caractère rationnel. Elles offrent une représentation indirecte de la réalité nécessitant un effort de théorisation de la perception par les interfaces sensorielles et des interprétations.

Or, les connaissances scientifiques sont issues de l'analyse des résultats d'observations faites sur les objets d'étude (partition du réel). Ces observations ou mesures par des outils et des analyses faisant appel à des technologies dépendent de l'outil utilisé ou de l'analyse adoptée, mais elles peuvent être précises. Les connaissances scientifiques s'appuient donc également sur une forme de perception des objets du réel que sont les observations et les mesures.

Bachelard, dans *La Formation de l'esprit scientifique*, distingue le sens commun, qualifié de spontané de la pensée scientifique, rationnelle. Le scientifique doit surmonter les obstacles épistémologiques, maintenir un esprit critique et des interrogations, gérer les impressions fournies par ses sens (Bedin et Fournier, 2009) pour produire des connaissances qualifiées de scientifiques.

Les outils de perception scientifique ou machines de mesure sont cependant plus précis que les organes sensoriels, ils respectent des normes et un protocole de mesure leur assure un caractère reproductible et universel.

Une mise en relation des sciences et des savoirs techniques locaux toujours délicate

La principale difficulté de la mise en relation des savoirs techniques locaux et des sciences exactes reste la traduction de connaissances sensorielles en connaissances scientifiques. Les perceptions des paysans, issues de l'interprétation des impressions fournies par leurs sens, doivent être traduites en données chiffrées, codifiées et ayant du sens au regard des normes

reconnues par les sciences. Par exemple, la variable utilisée par les paysans pour décrire les types de sols, « besoin de fumure organique », devrait être chiffrée pour être utilisable par les scientifiques, c'est-à-dire comparée aux références reconnues ici de 2,5 t/ha/an de fumure organique apportée au champ.

La traduction de connaissances sensorielles en connaissances scientifiques passe également par la recherche de correspondances entre les entités reconnues par les paysans et celles reconnues par les sciences. Les concordances ne sont pas simples et uniques. Le sol ferrugineux tropical lessivé modal, sol défini par la pédologie, correspond à deux types de sol paysan, le sol rouge (*Bogoblema*) et le sol sableux (*Cencen*). L'inverse aurait pu être vrai. Cette concordance imparfaite des entités des savoirs techniques locaux et des sciences exactes vient des critères retenus pour la construction des classifications (objectifs différents) et du niveau de sensibilité différent des organes de perception des hommes et de ceux utilisés par les outils technologiques.

La définition d'un langage commun entre les scientifiques et les praticiens, entre les chercheurs et les paysans, nécessite néanmoins l'identification d'un mode de traduction des entités et des variables reconnues par les deux systèmes de pensée.

Chapitre 5.2. Opérationnalité de la prise en compte des savoirs techniques locaux pour l'analyse des pratiques

Une analyse critique de la méthode d'analyse des pratiques à travers les savoirs techniques locaux permet de préciser les précautions à prendre et les conditions à respecter pendant la collecte des données et l'interprétation des résultats ; les résultats attendus ; les domaines envisageables pour l'utilisation des résultats et les limites et les atouts de la méthode.

Les précautions et les conditions à respecter

La méthode de caractérisation des savoirs techniques locaux nécessite de créer un cadre d'échanges franc et sincère entre enquêteur et enquêté. Le cadre du travail d'enquête doit permettre au paysan d'être en confiance pour délivrer sa manière d'appréhender la réalité. Pour cela, les enquêtes se sont souvent déroulées au domicile des enquêtés ou dans leur champ, en comité restreint (hors restitution). Une attention particulière a été portée à développer une ambiance de confiance et de respect entre enquêteur et enquêté, en luttant activement, même ouvertement, contre toute marque de suprématie des techniciens-chercheurs vis-à-vis des paysans.

En effet, le contexte et les attitudes des enquêteurs vis-à-vis des enquêtés ne doivent pas influencer les réponses données, afin que les paysans ne livrent pas de réponses toutes faites répétant le discours de la vulgarisation.

Un second point essentiel de la méthode est la traduction du langage des paysans et des chercheurs. Le traducteur a dû interpréter le sens d'une idée exprimée en bambara et dans la culture locale pour en exprimer une idée qui ait le même sens en français et dans une culture occidentale.

Enfin, le temps nécessaire pour les enquêtes sur chaque thématique retenue (fumure organique, sol, champ, arbre...) a nécessairement réduit l'ampleur de l'échantillonnage. Pour chaque thème retenu, une enquête préliminaire a été réalisée auprès d'un nombre réduit de producteurs, afin de définir les entités et variables de caractérisation des savoirs techniques locaux, puis des enquêtes individuelles ont été réalisées avant la restitution collective.

Il demeure que peu de méthodes de caractérisation des savoirs techniques (ou de reconnaissances des typologies paysannes des sols) ont été décrites précisément dans la bibliographie. Les savoirs techniques locaux, même s'ils ne sont pas des objets d'étude principaux des sciences agronomiques, nécessitent le développement de méthodes de caractérisation accessibles aux agronomes, afin d'homogénéiser leur prise en compte dans l'étude des pratiques agricoles. La méthode appliquée dans ce travail a été développée, au Burkina Faso et au Mali, par des équipes de recherche du CIRAD, du CIRDES et de l'IER, sur des savoirs techniques locaux liés à des thèmes aussi variés que la conduite des troupeaux au pâturage (Diallo, 2006 et 2008) ou la gestion de la fertilité des sols (Vall et Bayala, 2007, Blanchard 2008). Le caractère subjectif de la caractérisation des savoirs doit être balayé par une démarche d'enquête partagée et reproductible.

Les types de résultats attendus

Cette méthode n'est pas une méthode d'analyse des savoirs locaux et ne remplace pas un travail de sociologue ou d'ethnologue sur l'inscription sociale du savoir, les relations du savoir à la culture...

La méthode permet de caractériser les savoirs techniques locaux sur un thème particulier, afin de les prendre en compte pour analyser les pratiques des producteurs, ce qui reste l'objet central des agronomes. Elle permet de reconnaître les entités des savoirs techniques locaux utilisés par les paysans pour catégoriser le réel, les variables utilisées pour les caractériser et les règles de gestion qui y sont rattachées. La méthode permet également de connaître les aspects partagés de ce savoir (fonds commun de connaissances) et les variantes individuelles.

La caractérisation des savoirs techniques locaux reste utile pour la recherche sur les pratiques agricoles. Les pratiques des agriculteurs sont étudiées à travers trois grandes approches : les déterminants, leurs modalités et leurs effets (Landais et Deffontaines, 1988). Les savoirs techniques locaux appartiennent au domaine des déterminants des pratiques agricoles. La prise en compte des savoirs techniques locaux dans l'analyse des pratiques agricoles peut enrichir l'étude du contexte de mise en œuvre des pratiques et apporter un nouvel éclairage aux études des déterminants des pratiques.

Les domaines envisagés pour l'utilisation de résultats

La méthode de caractérisation des savoirs techniques locaux permet de développer un langage commun entre les paysans, les techniciens et les chercheurs. Ce langage commun - ou « culture commune » (Faure et al., 2010) - sera structuré autour de ces entités et des variables de caractérisation reconnues et partagées. Le « *discours des uns (paysans) devient alors intelligible aux autres (chercheurs)* » (Faure et al., 2010).

Ce langage commun s'appuiera donc sur des traductions multiples et réciproques des savoirs techniques locaux et des sciences. Il permettra une meilleure compréhension et une meilleure communication entre scientifiques et praticiens, entre chercheurs et paysans.

La recherche de correspondances entre ces deux systèmes de pensée fournit un ensemble d'éléments partagés, qui ont directement un sens pour les paysans et les chercheurs, et des éléments divergents, qui ont du sens pour les uns mais ne sont pas reconnus par les autres. L'identification et la définition de ces éléments divergents contribuent à limiter les incompréhensions et malentendus entre paysans et chercheurs.

Les variables de risque, qui ont du sens pour les paysans, sont reconnues par les chercheurs, qui peuvent alors mieux comprendre les pratiques utilisées ou développer de nouvelles pistes de recherche.

Les scientifiques pourront, par exemple, traduire les recommandations en matière de fertilisation minérale dans un langage compris par les paysans et en s'appuyant sur leurs propres références.

Le développement d'un langage commun est la clef de la participation active des paysans à toute recherche-intervention. Une fois que les entités et variables qu'ils reconnaissent ont du sens pour leurs partenaires scientifiques, un dialogue équilibré peut commencer.

Les limites et les atouts de la méthode

La méthode développée pour l'analyse des pratiques présente trois limites principales. La méthode reste longue à mettre en place car l'ensemble des savoirs techniques locaux du domaine étudié doit être caractérisé avant le lancement du suivi des pratiques par les outils et les méthodes plus classiques. La méthode semble également délicate à mettre en œuvre. Des précautions doivent être prises et des conditions particulières doivent être respectées dans sa mise en œuvre. Enfin, les résultats fournis restent valables sur une zone localisée.

La méthode offre cependant une nouvelle façon d'aborder les pratiques des paysans, notamment celles qui ne sont pas mises en œuvre mais dont les paysans expriment un fondement dans les savoirs techniques locaux.

Chapitre 5.3. Apports de la prise en compte des savoirs techniques locaux à l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols

Evolution des pratiques de gestion de la fertilité des sols

En se référant aux travaux des agronomes sur les pratiques de gestion de la fertilité des sols au Sahel, publiés dans les années 90 (Jouve 1993, Dugué 1989), et aux principaux résultats du travail présenté sur les pratiques de gestion de la fertilité des sols, il apparaît que les modes de gestion de la matière organique des sols développés par les paysans ont évolué au cours des deux dernières décennies.

Dans les années 90, la production de fumure organique ne pouvait suffire à couvrir les besoins des terres cultivées (15 à 20 % des besoins couverts) et les doses de fumure appliquée par les paysans étaient faibles (entre 1 à 3 t/ha). Les paysans de la zone Mali-Sud produisent, aujourd'hui, des quantités de fumure organique plus importantes (entre 9 et 45 t/an) et l'appliquent de manière plus concentrée sur leurs parcelles (7 à 11 t/ha effectivement fumé). Les surfaces cultivées ayant également augmenté, les doses réelles appliquées restent faibles (environ 1 t/ha). Seuls 9 à 21 % des terres cultivées sont amendés chaque année. Les causes de l'augmentation des quantités de fumure organique produite sont le développement de la mise en culture continue des terres et le faible retour à la jachère, et l'augmentation du prix des engrais minéraux.

Dans les années 90, la fumure organique produite par les paysans était souvent une simple poudrette de parc qui participait « *plus à un apport d'éléments minéraux qu'à un entretien du taux de matière organique des sols* » (Jouve, 1993). Aujourd'hui, dans certaines exploitations, la production de fumure organique est diversifiée, avec une production de compost directement aux abords des champs et une production de fumier à la concession ou à côté des villages (fosse fumière, sous les hangars, dans des parcs améliorés). Les résidus de culture et les déjections animales sont donc valorisés, en partie sous la forme de fumure organique.

Les recommandations formulées par les agronomes à cette époque, en vue d'améliorer la qualité des fumiers (augmentation des apports de résidus), de mieux valoriser les résidus de récolte et les déjections animales (production de compost, récupération des déjections animales) ont été partiellement mises en pratique par les paysans, même si elles restent perfectibles.

Une dernière recommandation reste toujours d'actualité. Elle visait l'augmentation de la quantité de biomasse végétale produite dans les champs, afin de favoriser les restitutions organiques au sol (directe avec les biomasses souterraines, ou en partie indirecte pour les biomasses aériennes), grâce à une utilisation raisonnée des engrais minéraux.

Une meilleure compréhension de la diversité des pratiques

Originalité de la typologie paysanne sur la gestion de la fertilité

La typologie établie s'appuie sur les types de fumure organique reconnus par les paysans à travers leurs savoirs techniques locaux. Elle illustre donc une diversité de stratégies de production de fumure organique au-delà de la simple prise en compte des volumes produits.

La prise en compte du critère de répartition spatiale de la production et d'utilisation de la fumure organique permet d'illustrer les charges de transport de biomasse présentées par les producteurs et la répartition des sites de production selon les lieux où ils disposent des éléments entrant dans la fabrication de la fumure organique.

La diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols exprimée à travers la production de fumure organique, le stockage de biomasses et l'utilisation de la fumure organique au champ s'accompagne d'une diversité de niveaux d'efficacité du recyclage des biomasses produites sur les exploitations. Certaines d'entre elles apparaissent comme performantes, même si elles restent perfectibles, ou au contraire présentent des limites dues à de fortes contraintes et à la nécessité de changer de pratiques.

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion dites innovantes** (type 1), même si elles produisent des volumes de fumure organique réduits, valorisent une proportion importante de biomasses végétales et animales pour la production de fumure organique, grâce à des techniques de production diversifiées et à une organisation de ces pratiques dans l'espace (production de compost au champ pour limiter le temps de transport).

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion plus classiques** (type 2) valorisent une proportion de biomasse équivalente, mais à partir de modèles classiques de production de fumure situés à la concession (fosse à compost des concessions) ou à proximité du village (parc amélioré). Les temps de transport restent donc importants.

Les exploitations de types 1 et 2 semblent présenter une productivité des terres équivalente, malgré des investissements plus importants dans le cas des exploitations de type 2 (intrants, travail de désherbage). Il semble que les pratiques dites innovantes des exploitations de type 1 induisent une limitation de charges en travail. Les pratiques de gestion de la fertilité des sols dites innovantes s'accompagnent donc, paradoxalement, d'une conduite plus extensive des champs.

Les **exploitations de taille moyenne aux pratiques de gestion plus classiques** (type 3) valorisent une proportion faible de biomasses végétales en produisant peu de compost. Elles valorisent également peu de biomasses des effluents des ruminants, puisque le cheptel, important par rapport à la surface des champs, ne peut être maintenu sur le territoire villageois. Ce type de gestion illustre les contraintes du maintien des animaux sur les exploitations et les conséquences sur la gestion de la fertilité des sols.

Les **grandes exploitations aux pratiques de gestion innovantes** (type 4) valorisent bien les ressources dont elles disposent (biomasses végétales, animales, cheptel, main-d'œuvre) et semblent contourner les difficultés qui pourraient apparaître en raison de leur taille (organisation du travail, volume de biomasses traité,...).

Ces exploitations produisent de la fumure organique en recyclant une part importante des biomasses des effluents des ruminants disponibles, malgré un cheptel important (2,9 bovins/ha cultivé), en adaptant les périodes de présence des animaux selon le disponible fourrager. Une part importante des biomasses végétales est recyclée par la multiplication des points de production de fumure et leur localisation à proximité des champs (sans augmenter le temps de transport). Ces exploitations apparaissent comme les plus performantes, avec des rendements conséquents.

Le Tableau 43 présente une synthèse des variables caractérisant chaque type d'exploitation.

Tableau 43. Tableau de synthèse sur les types d'exploitation

Variables	Petite UP aux pratiques innovantes	Petite UP aux pratiques conventionnelles	UP moyennes aux pratiques conventionnelles	Grande UP aux pratiques innovantes
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Structure				
Nombre d'actifs	6	13	16	24
Nombre de charrettes	1	1	2	3
Agriculture				
Surface totale cultivée (ha)	8,8	10,8	16,2	26,2
Surface en coton (% de la STC)	38%	29%	35%	42%
Surface en maïs (% de la STC)	19%	27%	27%	26%
Surface en céréales sèches, sorgho et mil (% de la STC)	38%	44%	26%	25%
Nombre d'actifs par hectare cultivé	0,7	1,2	1,0	0,9
Elevage				
Nombre d'animaux de l'exploitation	10	14	55	75
Animaux par hectare cultivé	1,1	1,3	3,4	2,9
Production de fumure organique				
Fumure organique totale produite	9,1	12,9	26,5	45,7
Fumure organique produite en brousse (%)	24%	3%	18%	53%
Surface fumée (ha)	0,8	1,8	1,4	5,6
Quantité de fumure organique à l'hectare (kg/ha)	11 414	7 188	18 953	8 169
Quantité de fumure sur la surface totale cultivée (kg/ha)	1 038	1 198	1 638	1 746
% de fumure organique sur coton	0%	100%	80%	70%
% de fumure organique sur maïs	100%	0%	20%	30%
Distance de la fumure organique (t.km)	8	18,5	35,4	37,9
Valorisation des biomasses pour la production de fumure organique (FO)				
FO d'origine végétale par hectare (kg de MS/ha)	546	430	51	627
FO d'origine végétale par actif (kg de MS/actif)	814	349	53	679
FO d'origine végétale par hectare par actif (kg de MS/ha/actif)	93	32	3	26
FO d'origine animale par tête (kg de MS/tête)	340	465	185	293
FO d'origine animale par hectare (kg de MS/ha)	414	603	623	841
Pourcentage des biomasses végétales valorisées en FO (%)	19%	16%	2%	24%
Pourcentage des biomasses des effluents valorisées en FO	31%	38%	15%	21%
Pourcentage des biomasses totales valorisées en FO	23%	24%	10%	22%
Temps de travail de désherbage				
Sur culture de coton (homme.jour/ha)	20,3	39,6	45,3	47,1
Sur culture de maïs (homme.jour/ha)	14,3	39,8	40,1	19,2
Fertilisation des cultures				
Complexe NPK sur coton (kg/ha)	49	101	80	85
Urée sur coton (kg/ha)	49	51	36	42
Complexe NPK sur maïs (kg/ha)	50	84	74	80
Urée sur maïs (kg/ha)	82	99	88	74
Rendement des cultures				
Coton (kg/ha)	1 124	1 149	2 096	1 940
Maïs (kg/ha)	1 957	1 491	1 396	2 258

Rôle de l'élevage dans la gestion de la fertilité des sols

Les animaux d'élevage ont longtemps eu un rôle clef dans la valorisation des biomasses végétales sur les exploitations (litière, refus d'affouragement...) et dans la production de fumure organique (fumier, poudrette), permettant un transfert des biomasses du *saltus* vers l'*ager* ou une relocalisation simple au sein de l'*ager* (Dugué, 1996, 1999).

Le maintien des animaux d'élevage devient difficile dans les villages où l'espace pastoral est morcelé et où le milieu ne permet plus d'assurer leur alimentation à certaines saisons. Le rôle de l'élevage dans la gestion de la fertilité des sols est remis en question quand les déjections animales ne sont plus déposées dans les parcs la nuit (divagation nocturne) ou quand les biomasses végétales ne peuvent plus être transformées par suite de l'absence des animaux.

Les pratiques actuelles des producteurs montrent l'importance de l'élevage dans la gestion de la fertilité. Pour tous les types d'exploitation, plus de la moitié de la fumure organique appliquée sur les champs est d'origine animale, avec une proportion plus réduite pour les exploitations de type 1 qui, n'ayant pas beaucoup d'animaux, s'attachent à recycler les résidus de culture des champs.

De plus, le maintien et le développement des activités d'élevage dans les exploitations de la zone cotonnière contribuent à l'atteinte du premier objectif du millénaire pour le développement, qui est de réduire l'extrême pauvreté et la faim dans le monde. L'élevage apporte des revenus économiques grâce à la vente des produits comme le lait (c'est le cas des femmes) et la viande. L'élevage permet également de renforcer la part de protéine dans le régime alimentaire grâce à la consommation de lait et de viande.

Enfin, la traction animale reste la principale source d'énergie pour bien des exploitations non motorisées. L'intégration agriculture-élevage, même si elle appartient aux principes anciens, comme le préconisait déjà René Dumont dès les années 60, reste donc encore d'actualité (Dumont, 1962).

Il n'en demeure pas moins que les autres techniques culturales permettant de gérer la fertilité des sols, comme le semis direct avec couverture végétale, les associations de culture, les cultures de légumineuses, le travail minimum du sol, fournissent des occasions intéressantes avec une restructuration des sols, un stockage d'azote par les légumineuses ou un stockage de carbone dans le sol. Leur développement nécessite une nouvelle articulation entre les activités agricoles et celles d'élevage avec, comme le préconisent Capillon et Ségué (2002) la mise en place de biomasses non appréciées par les animaux ou une production d'espèces fourragères hautement productives et convoitées, protégées du passage du feu et du surpâturage et exploitées par un pâturage tournant et une fertilisation minérale.

Ces changements techniques impliquent d'importantes modifications au sein des exploitations, mais également des bouleversements d'organisation à l'échelon collectif, ce qui rend leur mise en place laborieuse.

Pour contribuer à la gestion de la fertilité des sols et la fourniture de produits animaux, l'élevage doit être maintenu sur les exploitations avec une mise en adéquation entre la taille du troupeau et les ressources disponibles, une intensification fourragère et une gestion de la mobilité des animaux.

Une nouvelle prise en compte du contexte écologique

Les sols de la région sont de constitution fragile, avec un taux d'argile faible (autour de 6 %), un taux de matière organique très réduit (entre 0,6 et 07 %). La capacité d'échange cationique est donc limitée. D'après Bacyé *et al.*, (1998), la capacité d'échange cationique de ces sols est comprise entre 3 et 4 cmolc.kg⁻¹. Les pratiques de gestion de la fertilité des sols doivent soutenir cette capacité d'échange en augmentant le taux de matière organique des sols, en protégeant les éléments fins des sols et en facilitant le drainage des eaux de pluie.

- Comment entretenir la structure de ces sols ?

Une protection de ces sols par un travail réduit

Le labour des terres cultivées permet une destruction du cortège d'adventices avant les semis. Cependant, le travail du sol répété annuellement, par un labour à la charrue même superficiel, (15-10 cm) participe à la destruction du complexe argilo-humique. La surface des sols est érodée sous l'action du climat difficile, dans lequel de fortes pluies alternent avec des vents violents (harmattan en saison chaude). Les paysans du village de Dentiola sont conscients de ce phénomène qu'ils ont observé à travers un changement de la texture de surface de l'un de leurs sols ; les sols noirs, *Dugukolofin*, sont aujourd'hui recouverts d'une couche fine de sable. La fragilité structurelle de ces sols et le caractère agressif du climat militent pour le développement de techniques de travail minimum du sol, comme le travail en sec à l'aide d'un coutrier ou le SCV.

Une protection par la couverture du sol

Des modifications des modes de gestion des biomasses sont déjà en cours dans les villages, avec une ouverture de la vaine pâture retardée, qui permet aux paysans de récolter les résidus de culture avant une consommation sur place par les animaux des exploitations voisines. Des modes de récoltes du maïs en andins permettent à Dentiola de protéger plus longtemps les pailles de la consommation des animaux.

Une protection des ces sols, souvent mis à nu dès la fin des récoltes (décembre-janvier) jusqu'au développement des cultures de l'année suivante (juin-juillet), reste également nécessaire, avec le soutien de la place des arbres dans les champs ou l'installation de haies et le développement de couverture végétale des sols (SCV) avec des protections, de certaines parcelles, de la divagation des animaux (enclos, boccage, haire).

L'amélioration du statut organique par des apports

L'augmentation du taux de matière organique des sols passe par un meilleur recyclage des biomasses végétales directement sur les sols (semis direct avec couverture végétale, SCV) et une valorisation des biomasses végétales et animales par la production de fumure organique en limitant les pertes par une diversification des modes de production et une organisation dans l'espace de cette production. Les activités d'élevage doivent être soutenues pour la production de fumure organique. La production de biomasse végétale doit également être soutenue afin d'améliorer son recyclage.

Partie VI : Conclusion

Des résultats originaux sur les pratiques de gestion de la fertilité des sols

Une nouvelle vision des pratiques de gestion de la fertilité des sols

L'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols à travers la caractérisation des savoirs techniques locaux, correspond à une méthode originale qui contribue à renouveler la vision des pratiques des paysans de la zone Mali-Sud, avec :

- la caractérisation des savoirs techniques locaux attachés à la gestion de la fertilité des sols ;
- l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols ;
- l'analyse de l'effet de ces pratiques.

Le travail présenté a permis de **caractériser les savoirs techniques locaux** attachés à la gestion de la fertilité des sols chez les paysans de deux villages du Mali-Sud. Les savoirs techniques locaux sur les sols, les fumures organiques, les engrais minéraux, les indicateurs de la fertilité des sols et le rôle des arbres sur la fertilité des sols ont été caractérisés. Pour chaque thème, une grille de caractérisation de ces savoirs a été construite autour des entités reconnues par les paysans (type de sol, de fumure organique...) et les variables qu'ils utilisent pour les définir (variable de description, de fonction et de risque). Les règles de gestion qu'ils élaborent pour décrire les pratiques à mettre en œuvre pour chaque entité ont été identifiées.

Les **pratiques de gestion de la fertilité des sols** des paysans de la zone ont été analysées à travers les éléments structurant ces savoirs (entités, variables de caractérisation et règles de gestion). Les pratiques de production de fumure organique des exploitations ont été décrites et leur évolution au cours du temps a été abordée à travers des trajectoires d'évolution des pratiques. L'analyse de la diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols a fait l'objet d'une typologie d'exploitations distinguant quatre types d'exploitation par leur taille et le caractère innovant de leurs pratiques. La diversité des pratiques a été localisée sur le territoire des exploitations (carte d'exploitation).

Les **effets de la diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols** ont été analysés à travers la valorisation sous forme de fumure organique des biomasses des effluents des ruminants et biomasses végétales produites sur les exploitations. Un bilan de l'effet de ces pratiques sur le recyclage sous forme de fumure organique du carbone et de l'azote produit sur les exploitations a également été réalisé pour chaque type d'exploitation. Enfin un bilan de l'application de cette fumure organique sur les parcelles et les cultures a clôturé l'analyse (surface fumée, dose, rendement).

Une diversité de pratiques de gestion de la fertilité des sols

Malgré une taille réduite, certaines exploitations mettent en place des **pratiques innovantes de gestion de la fertilité des sols** (type 1). La production de fumure organique y est diversifiée (compost au champ et à la concession et fumier sous le hangar). Près d'un quart de

la fumure organique est produite en zone de brousse. Le recyclage des biomasses des effluents des ruminants et biomasses végétales sous forme de fumure organique semble y être important (respectivement 31 et 19 %). Enfin, la production et l'utilisation des biomasses et de la fumure organique sont réparties sur l'ensemble du territoire de l'exploitation.

Les **petites exploitations aux pratiques de gestion de la fertilité des sols plus conventionnelles** (type 2) produisent de la fumure organique centrée autour de la concession (compost à la concession, tas d'ordures et parc amélioré). Seulement 3 % de la fumure organique est produite en zone de brousse, ce qui implique des travaux de transports importants. Le recyclage des biomasses des effluents des ruminants et biomasses végétales sous forme de fumure organique est comparable au type 1 (respectivement 38 et 16 %). Ces exploitations réalisent des investissements supplémentaires en travail et en intrants, qui leur permettent d'atteindre des niveaux plus élevés de production.

Les exploitations de taille moyenne **aux pratiques de gestion de la fertilité des sols plus conventionnelles** (type 3) produisent de la fumure organique centrée autour de la concession avec une faible diversité de mode de production (parc simple et tas d'ordures). Seulement 15 % de la fumure organique est produite en zone de brousse, impliquant des travaux de transports importants. La question du maintien du rôle de l'élevage dans la gestion de la fertilité des sols se pose pour ces exploitations qui ne peuvent valoriser qu'une part minime des biomasses des effluents des ruminants produites par le cheptel de l'exploitation sous forme de fumure organique (15 %). Ces exploitations transforment une part réduite des biomasses végétales disponibles sous forme de fumure organique (2 %).

La typologie présente, à l'opposé, des **exploitations de grande taille, qui mettent en œuvre des pratiques innovantes de gestion de la fertilité des sols** (type 4). La production de fumure organique y est diversifiée et répartie sur le territoire de l'exploitation (Tas d'ordures, compost à la concession et au champ et parc simple). Ces pratiques leur permettent de recycler une proportion importante des biomasses des effluents des ruminants et des biomasses végétales produites sur les exploitations sous forme de fumure organique (respectivement 21 et 24 %). Leurs pratiques contribuent également à l'atteinte de performances agronomiques intéressantes.

La question du maintien du rôle de l'élevage dans la gestion de la fertilité des sols se pose pour les exploitations qui ne peuvent valoriser sous forme de fumure organique qu'une part minime des biomasses des effluents des ruminants produites par le cheptel de l'exploitation. L'élevage bovin, ovin ou caprin permet cependant aux exploitations de la zone de valoriser une partie des biomasses végétales disponibles sur les exploitations sous forme de fumure organique (piétinement et affouragement) et de transférer des éléments organiques et minéraux des zones de pâturage vers les champs, du *saltus* vers l'*ager*.

Lorsque les besoins alimentaires des animaux ne peuvent plus être couverts par les ressources fourragères produites sur le territoire villageois, les animaux sont laissés en divagation nocturne - ce qui induit des pertes en matières fertilisantes - ou conduits en transhumance sur des territoires voisins (arrêt du transfert de biomasse du *saltus* vers l'*ager*).

L'importance des apports en matière organique pour les sols de la zone - de constitution fragile et présentant une faible capacité d'échange cationique - implique d'encourager toutes les techniques permettant des apports de matière organique au sol ou une amélioration de son statut dans le sol. Ce n'est pas la seule solution mais il est indispensable de soutenir la place de l'élevage dans ces systèmes de production, afin d'améliorer la gestion de la fertilité des sols.

Une méthode originale d'analyse des pratiques à travers les savoirs techniques locaux

La caractérisation des savoirs techniques locaux sur la gestion de la fertilité des sols contribue au développement d'un **langage commun** entre les scientifiques et les praticiens, entre les chercheurs, les techniciens et les paysans.

Ce langage se développe après un rapprochement entre les éléments reconnus par les savoirs techniques locaux (entités, variables et règles de gestion) et ceux reconnus par les sciences exactes. Les **éléments partagés** par ces deux systèmes de pensée constituent la base du langage commun.

La traduction des éléments des savoirs techniques locaux ou des éléments des sciences exactes dans l'autre système de pensée améliore le niveau de compréhension entre les paysans et les chercheurs et limite les malentendus. Les paysans peuvent « visualiser » le sol dont leur parlent les chercheurs en référence à leur propre système de pensée. Les chercheurs ont une vision plus fine des pratiques de gestion de la fertilité des sols menées sur les sols noirs (*dugukolofin*) grâce à la traduction des savoirs techniques locaux selon leurs propres références.

Les **éléments divergents** qui appartiennent à l'un des deux systèmes de pensée et qui n'a aucune référence dans l'autre sont également identifiés par la méthode de caractérisation des savoirs techniques locaux. Les types de sols spécifiques des paysans ou les variables de risques sur les fumures organiques reconnues uniquement par les paysans sont donc identifiés et ont un sens pour les chercheurs. Des résultats originaux de ce travail sont issus de la recherche de corrélations entre les savoirs techniques locaux et les sciences exactes. Sur les fumures organiques, les sciences exactes paraissent normées et sophistiquées et les savoirs techniques locaux diversifiés et simplifiés.

Les acteurs de terrain peuvent se sentir valorisés et compris, préalable essentiel à leur participation active aux processus de recherche ou de développement. Les interventions des paysans ne sont plus recueillies uniquement pour répondre à un principe de participation des acteurs, mais parce qu'elles sont susceptibles de constituer une force de proposition et d'orientation grâce à l'élaboration de ce langage commun. La prise en compte des savoirs techniques locaux dans l'analyse des pratiques des paysans représente un atout pour la co-conception d'innovation dans une démarche de recherche action où les paysans et les chercheurs sont acteurs de la recherche de changement.

Quelques limites de la thèse

Dans le cadre de cette thèse, la caractérisation des savoirs techniques locaux rattachés à la gestion de la fertilité des sols se limite à leurs aspects techniques dans la perspective d'analyse des pratiques des paysans. La méthode développée ne correspond pas à une méthode d'analyse des savoirs et ne remplace pas un travail de sociologue, d'ethnologue ou d'anthropologue.

La mise en place de la méthode choisie reste consommatrice en temps car elle nécessite, au préalable à l'analyse des pratiques des paysans, la caractérisation d'une diversité de savoirs techniques locaux attachés à la gestion de la fertilité des sols (sols, indicateurs de la fertilité des sols, rôle des arbres, fumures organiques et engrais minéraux). Le temps à investir pour la caractérisation de ces savoirs implique la réduction de l'échantillon d'exploitations enquêtées et suivies.

Des propositions de recherche ou d'intervention

L'originalité de l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols à travers les éléments de la caractérisation des savoirs techniques locaux est de pouvoir faire apparaître de **nouvelles propositions de recherche et d'intervention**.

Ces propositions, qui visent à améliorer les modes de gestion de la fertilité des sols et, de manière générale, les systèmes de production, sont fondées sur les éléments qui sont apparus comme divergents lors de la comparaison entre les savoirs techniques locaux et les sciences exactes. Ils peuvent appartenir aux savoirs techniques locaux (les entités, les variables ou les règles de gestion) ou aux sciences exactes (connaissances scientifiques inconnues des usagers). Certains éléments des savoirs techniques locaux, jusque-là non formellement reconnus par les scientifiques, pourraient faire l'objet de nouveaux travaux de recherche.

Par exemple, les producteurs du village de Zanférébougou expriment le **risque d'envahissement des parcelles par des adventices** suite à l'apport de fumure organique. Cette variable de risque incite à travailler sur les techniques de destruction des graines d'adventices dans les fumures organiques (élévation de la température par tassement des éléments, arrosage puis retournement) et sur les méthodes de lutte contre les adventices des champs (sarclage précoce, meilleure utilisation des herbicides). Les propositions de recherche et d'intervention ont, dans ce cas, un caractère localisé, puisque qu'elles correspondent à une variable de risque exprimée dans l'un des deux villages.

Des pistes d'amélioration pourraient également s'ouvrir à partir de connaissances non prises en compte par les savoirs techniques locaux et néanmoins susceptibles de permettre une amélioration des systèmes de production.

L'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols à travers une caractérisation des savoirs techniques locaux permet également de formuler des propositions de recherche et d'intervention.

Ainsi, les producteurs reconnaissent des qualités propres aux différents types de fumure organique, mais ne semblent pas les utiliser différemment dans leur champ. Les quantités de fumure organique produites sur les exploitations étant limitées, ils utilisent toute la fumure

organique disponible sur la parcelle à fumer choisie. Un travail sur **l'application raisonnée des types de fumure organique** selon leurs valeurs reconnues par les paysans - valeurs de fertilisation (améliorant le stock d'éléments minéraux) ou, au contraire, d'amendement (apportant de la matière organique stable) - pourrait permettre une utilisation plus judicieuse et plus efficace de ces fumures.

L'étude de **l'organisation du travail et de la conduite des animaux** dans les grandes exploitations aux pratiques de gestion dites innovantes (type 4) devrait être poursuivie, avec comme objectifs le traitement d'un volume important de biomasses végétales et des effluents des animaux en agriculture manuelle et une limitation des pertes en biomasses des effluents. Ces recherches pourraient servir à identifier des propositions techniques permettant une amélioration de la gestion de la fertilité des sols dans les exploitations moyennes, aux pratiques de gestion de la fertilité dites conventionnelles (type 3), qui sont confrontées à des problèmes de maintien des animaux sur les exploitations et de recyclage des biomasses des effluents et végétales en quantité suffisante.

De même, un travail **d'amélioration de la qualité de ces types de fumure organique** devrait être envisagé. Le compost des champs, par exemple reste dénigré par les paysans, qui soulignent ses piètres qualités agronomiques, (confirmé par des teneurs en éléments organiques et minéraux très variables mais très faibles). Il permet cependant de disposer d'importants volumes de fumure organique et, en fonction de son mode de fabrication, il peut être riche en matière organique de bonne qualité. Des propositions ont été élaborées et sont présentées dans le Tableau 44.

Ce travail présente également une grande variabilité sur les valeurs fertilisantes et amendantes des fumures organiques reconnues par les paysans des deux villages d'étude (teneurs en matière organique, azote principalement). Les bilans sur le recyclage sous forme de fumure organique des biomasses végétales et animales produites sur les exploitations, et du carbone et de l'azote contenu dans ces biomasses, méritent d'être précisés pour chacun des types d'exploitation retenus.

On pourra juger de la pertinence des propositions d'amélioration de la qualité des fumures organiques selon leur effet sur ces bilans. Le compost des fosses au champ mérite-t'il de faire l'objet d'une recherche d'amélioration de sa qualité ? Le renforcement de la place de l'élevage dans la gestion de la fertilité (production de fumier, transformation de résidus de culture apportés en litière) reste-elle essentielle pour tous les types d'exploitations ?

De plus, ces bilans méritent d'être conduits, à l'échelle des exploitations en prenant en compte les autres systèmes de gestion de la fertilité des sols (travail du sol réduit, couverture du sol et apport de matière). L'amélioration de la production de biomasses végétales et animales sur les exploitations doit être recherchée en parallèle d'un meilleur recyclage. Une mosaïque de mode de gestion de la fertilité est à encourager, nécessitant des interventions à l'échelle des exploitations et des territoires.

Enfin, le conseil des exploitations familiales pourrait se doter d'un module sur la gestion de la fertilité des sols s'appuyant sur les savoirs techniques locaux des paysans de la zone Mali-Sud

avec une partie sur la gestion des biomasses végétales et animales produites sur l'exploitation, une seconde partie sur les pratiques de production de fumure organique à mettre en place, et enfin, les pratiques d'utilisation de la fumure organique sur la surface cultivée

Tableau 44. Propositions d'amélioration de la qualité des fumures organiques reconnues par les paysans

Types de fumures organiques	Propositions d'amélioration
Fèces humaines	Construction de latrine et hygiénisation des produits ⁴⁴
Tas d'ordures domestiques	Elimination des éléments non décomposables (piles et plastique) Apports des eaux usées dans les tas et maintien de l'humidité (couverture, construction de fosses Protection vis-à-vis de l'érosion hydrique et éolienne par construction de rebords (ensablement, éparpillement, lessivage, inondation)
Fosse à compost à la concession	Elimination des éléments non décomposables (piles et plastique) Equilibre des éléments mis en fosse : riche en azote et en carbone (apport de déjections animales, feuille d'arbre...) et facilement et difficilement dégradables (tige de coton, paille de céréales...) Evacuation des eaux usées dans les fosses et maintien de l'humidité par couverture de la fosse Protection vis-à-vis de l'érosion hydrique et éolienne par construction de rebords (ensablement, inondation, lessivage)
Fosse à compost au champ	Equilibre des éléments mis en fosse : riche en azote et en carbone (apport de déjections animales, feuille d'arbre...) et facilement et difficilement dégradables (tige de coton, paille de céréales...) Tassement des éléments en début de compostage Arrosage si possible en début de décomposition puis maintien de l'humidité par couverture Protection vis-à-vis de l'érosion hydrique et éolienne par construction de rebords (ensablement, inondation, lessivage)
Parc sous hangar	Augmentation de la quantité de litière, réduction des pertes par construction de rebords et enclos Meilleur temps de présence des animaux (culture et stockage de fourrage, limite de la divagation)
Parc amélioré	Augmentation de la quantité de litière, réduction des pertes par construction de rebords et enclot Gestion de la présence des animaux
Parc à petits ruminants	Apport de litière, réduction des pertes par éparpillement (rebords et enclot) Augmentation du temps de présence des animaux (culture et stockage de fourrage, réduction de la divagation)

⁴⁴ Système développé actuellement au Burkina Faso, par le Projet Ecosan du CREPA

Bibliographie

1. 2003. *Mémento de l'agronome*. Paris : GRET, CIRAD, Ministère des Affaires Etrangères, 1691 p.
2. Adamou D., 1990. *Etudes des systèmes de culture en milieu « Eleveurs » : cas du territoire de Banh*. Mémoire DIAT. Montpellier, CNEARC, CIRAD, INERA, 107 p.
3. Arbonnier M., 2002. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. Montpellier : CIRAD, 574 p.
4. Avenier M.-J., Schmitt C., 2007. *La Construction de Savoirs pour l'Action*. Paris : L'Harmattan, 245 p.
5. Bacyé B, Moreau R, Feller C. 1998. *Décomposition d'une poudrette de fumier incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argilo-limoneux de bas-fond en milieu soudano-sahélien*. Etude et Gestion des Sols 1998, vol : 5, :p. 83-92.
6. Bado B. V., Bayala J., Dianda M., 2003. *Lutte contre la désertification dans le Sahel*. In : IAEA, Report Second Project, Coordination Meeting. IAEA regional TC project RAF5048. Vienna, Austria. Appendix H : Report Burkina Faso.
7. Barro A., Zougmore R., Taonda J-B. S., 2005. *Mécanisation de la technique du zai manuel en zone semi-aride*. Cahiers Agriculture, vol 14, n°6, p. 549-559.
8. Bationo A., Sivakuman M. V. K., Acheampong K., Harmsen K., 1998. *Technologies de lutte contre la dégradation des terres dans les zones soudano-sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest*. In : Breman H., Sissoko K., L'intensification agricole au Sahel. p.709-725
9. Bedin V., Fournier M., 2009. *Gaston Bachelard*. La Bibliothèque idéale des sciences humaines, Editions Sciences humaines, 2009. URL : www.cairn.info/la-bibliotheque-ideale-des-sciences-humaines-article-19.htm, le 4 octobre 2010.
10. Berger M., 1996. *L'amélioration de la fumure organique en Afrique Soudano-sahélienne*. Agriculture et développement, Numéro Hors Série, 1996, 58 p.
11. Berthé A. Blokland A., Bouaré S., Diallo B., Diarra M., Geerling C., Mariko F., N'Djim H., Sanogo B., 1991. *Profil d'environnement Mali-Sud : Etat des ressources naturelles et potentialités de développement*. Amsterdam (NL) : IER/KIT, 1991. 79 p.
12. Bertrand A., 1986. *Evolution de l'élevage et politique forestière en zone soudanienne, l'exemple de la 3^e région du Mali*. Cahiers de la recherche développement, n°9-10 janvier-avril 1986, Relation agriculture élevage n°2, p. 35-39.
13. Bertrand R., Gigou J., 2000. *La fertilité des sols tropicaux*. Paris : Maisonneuve et Larose, Le Technicien d'agriculture tropicale, 40, 397 p.
14. Blanchard M., 2005. *Relation agriculture élevage en zones cotonnières, territoire de Koumbia et Waly, Burkina Faso*. Mémoire de DESS Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux : Université Paris 12, CIRDES, 2005. 97p.

15. Blanchard M., 2008. *Savoirs Techniques Locaux sur la gestion de la fertilité des sols au Mali- sud*. Action 2. Projet Agri-Elevage (DCG2-50, Duras). Sikasso : IER/CRRA Sikasso, 28 p.
16. Blanchard M., Vall E., 2007. *Production et utilisation de la fumure organique au Mali-Sud : savoirs des agriculteurs face aux savoirs des agronomes, quels enseignements pour le développement ?* In : Thibaud B., François A., (éds.). Colloque international « Système de production et durabilité dans les Suds », Poitiers, MSHS, 7-8 février 2008, Paris : Karthala, p. 59-76.
17. Blanc-Pamard C., Milleville P., 1985. *Pratiques paysannes, perception du milieu et système agraire*. p. 101-138. In : A travers champs : Agronomes et Géographes. Paris : Orstom, Collection Colloques et Séminaires, 297 p.
18. Boulaïne J., Signeux G., 1989. *Histoire des pédologues et de la science des sols*. Paris : INRA, 1989, 285 p.
19. Bourdieu P., 1980. *Le sens pratique*. Paris : Les Editions de Minuit, 474 p.
20. Boutrais J., 1995. *Hautes terres d'Elevage au Cameroun*. Paris : Orstom éd., Collection Etudes et thèses, Vol 1 et 2.
21. Brasseur G., 1958. *Aperçu géographique*. In : Afrique occidentale française : Togo. Paris : Les Guides Bleus, Hachette, 1958, p. 33-48.
22. Breman H., Koné D., Groot J. J. R., 1995. *Une production fourragère intensive durable pour le Sud du Sahel et le Nord de la savane soudanaise*. In : Intensification Agricole au Sahel: Mythe ou Réalité ? Bamako, Mali : Projet PSS, Colloque international 28/11-02/12/1995.
23. Capillon A., Séguy L., 2002. *Écosystèmes cultivés et stockage du carbone. Cas des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale*. C.R. Acad. Agri. Fr., 2002,88, n° 5, p. 63-70. Séance du 19 juin 2002.
24. Chambers R., 1983. *Rural development. Putting the last first*. Londres : Longmans, 256 p.
25. Chambers R., 1990. *Développement rural : pauvreté cachée*. Londres : Karthala, CTA, 374 p.
26. CIRAD, 2007. *Intensification écologique, du concept au terrain, quelles démarches de recherche mettre en œuvre ?* Montpellier : Les Rencontres du CIRAD, le 30 août 2007.
27. CIRAD, 2010. *Consolidation des connaissances et des références sur la réhabilitation des sols dégradés dans la zone sahélienne sèche avec la technique du zai mécanisé*. Intensification écologique, page internet, Ouagadougou : CIRAD, projet COREF-Zaï, <http://www.CIRAD.bf/fr/zai.php>, le 12 juin 2009.
28. Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 a. *La production agricole*. Atlas de l'intégration Régionale en Afrique de l'Ouest : CSAO/CEDEAO, <http://www.atlas-ouestafrique.org/spip.php?article161>, le 14 avril 2009.

29. Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 b. *La zone écologique fragile des pays du sahel*. Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest : CSAO/CEDEAO, <http://www.atlas-ouestafrique.org/spip.php?rubrique31>, le 14 avril 2009.
30. Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006 c. *Vivre en milieu rural au tournant du XXIe siècle*. Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest : CSAO/CEDEAO, <http://www.atlas-ouestafrique.org/spip.php?article157>, le 14 avril 2009.
31. CMDT, 1995 a. *Fiche technique « Fertilisation »*. Bamako (Mali), 11 p.
32. CMDT, 1995 b. *Fiche technique « Production de la fumure organique en fosse »*. Bamako (Mali), 14 p.
33. CMDT, 1995 c. *Fiche technique « Parc amélioré »*. Koutiala (Mali), 13 p.
34. CMDT, IER, DRSPR, *Le compostage*. In : dans Mémento techniques culturelles à l'usage des agents d'encadrement agricole, KIT, p 102-105.
35. Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, 1967. *Classification des sols*. 1967, p. 92.
36. Courault D., Girard M-C., Escadafal R., 1988. *Modélisation de la couleur des sols par télédétection*. 4ième coll. Int. "Signatures spectrales d'objets en télédétection". Aussois. Esa SP-287, p 357-362.
37. Crétenet M. 1991. *Efficacité agronomique des engrais et amendements en agriculture fixée*. p. 419-438. In : Comment produire plus et de façon durable en zone de savane au Sud du Sahara. Paris : Ministère de la coopération et du Développement. Rencontres internationales savanes d'Afrique, terres fertiles ?, 10-14/12/1990.
38. Crétenet M., 1993. *Rapport de Mission auprès des agronomes du programme coton de l'IER*. Projet Mali Sud III, CIRAD, 1993, 28 p.
39. Crétenet M., Dureau D., Traoré B., Ballo D., 1994. *Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali : du diagnostic au pronostic*. Agriculture et développement, n°3, 1994, p. 4-12.
40. CTFT, 1988. *Faidherbia albida* A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.), monographie. Nogent-sur Marne (France) : Centre Technique Forestier Tropical, 72 p.
41. Dabin B., Maignien R., 1979. *Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles*. Bondy : Cahier de l'ORSTOM, Série Pédologie, Vol : 18, 4, p. 235-257.
42. Darré J.-P., 2003. *La recherche co-active de solutions*. Support de formation Master ADG. CNEARC GERDAL.
43. Darré J.-P., Mathieu A., Lasseur J., 2004. *Le sens des pratiques, conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*. Paris: INRA, 320 p.
44. De la Croix D., 2004. *L'agriculture familiale des zones cotonnières d'Afrique de l'ouest : le cas du Mali*. Paris : AFD, 13 p.
45. Decoudras, P.-M., 1997. *A la recherche des logiques paysannes*. Paris: Karthala, 146 p.

46. Defoer T., 2002. *Learning about methodology development for integrated soil fertility management*. Agricultural Systems, 2002, 73, p. 57–81.
47. Defoer T., Kanté S., Sanogo J.-L. 2000. *Cotton farming in southern Mali*. In : Defoer T., Budelman A., (eds), *Managing soil fertility in the tropics. PLAR and resource flow analysis in practice. Case studies from Benin, Ethiopia, Kenya, Mali and Tanzania*. Amsterdam, Netherland : Royal Tropical Insitute (KIT), 2000. - Vol. Part 2, p. 167-192.
48. Dembélé B., 2008. *Utilisation des pailles et des fanes dans huit villages de la zone cotonnière du Mali dans les systèmes agriculture- élevage*. Mémoire de Master Agronomie et agro alimentaire : Productions Animales en Régions Chaudes. CIRAD, Sup Agro, 52 p.
49. Devèze J.-C., Halley des Fontaines D., 2005. *Le devenir des agricultures familiales des zones cotonnières africaines : une mutation à conduire avec tous les acteurs*. Paris: AFD/ EVA/ STR, 85 p.
50. Diabaté I., 2006. *Senekelaw ka kuma, Paroles de paysans*. (Film). DJA-Comm, AAPSI, BEDE, IIED (Mali), 60 minutes.
51. Diallo A. O., 2009. *Phosphate de Tilemsi : l'usine repart du bon pied*. Bamako, Mali : L'Essor, n°16 460, du 09 juin 2009.
52. Diallo D., Keita D., 1995. *Un système paysan de classement des sols de la zone agro-écologique du Djitoumou, Mali*. Cahiers Agricultures 1995, vol : 4, p. 371-375.
53. Diallo D., Keita D., Koné M., 1998. *Approche de recherche sur les classifications paysannes des sols*. Bamako (Mali) : Revue Malienne de Sc. & Technologie; vol : 5, p. 54-63.
54. Diallo M. A., 2006. *Savoirs locaux et pratiques de conduite des troupeaux au pâturage : Élaboration d'une méthode d'étude*. Mémoire de DEA, LERNSE, IDR, UPB, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 75 p.
55. Diallo M. A., 2008. *Savoirs techniques locaux et conduite des troupeaux aux pâturages : le cas des éleveurs de Koumbia et de Kourouma (Burkina Faso)*. Action 3. Projet Agri-Elevage (DCG2-50, Duras). Bobo-Dioulasso : CIRDES, 27 p.
56. Diallo S., 1998. *Savoirs locaux et base de données pour la gestion des écosystèmes et le développement durable en zone soudano-sahélienne*. Katibougou, Mali : Institut polytechnique rural, 6 p.
57. Donfack P., Seignobos C., 1996. *Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère, les exemples des Peuls et des Giziga du Nord-Cameroun*. Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée, 1996, vol : 38, n°1, p 231-250.
58. Dufumier M., 2005. *Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali*. Rapport du PASE, Projet Caractérisation des systèmes agraires, INAPG, 83 p.

59. Dugué P., 1989. *Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone Soudano-Sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso)*. Montpellier : CIRAD-dsa, 340 p. (Documents systèmes agraires, 9). Thèse Dr Ingénieur : Sciences Agronomiques. Phytotechnie.
60. Dugué P., 1996. *Recyclage des résidus de récolte en vue d'accroître l'utilisation de la fumure organique : le cas du Siné Saloum (Sénégal)*. Montpellier : CIRAD/Sar, n°96/96, Avril 1996, 28 p.
61. 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*. Rapport ATP Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle du terroir, Document CIRAD-Tera, n°57/99, Juillet 1999, 175 p.
62. Dugué P., 2000. *Gestion de la fertilité des terres à l'échelle du terroir- Principes généraux et application au cas des systèmes agropastoraux des zones sahéliennes et soudaniennes*. In : Jouve P., Zarioh N., 2002. Dégradation des sols au sahel, techniques et méthodes de lutte. Actes du séminaire de formation du 5 au 8 décembre 2000, Niamey, Niger, CRESA CNEARC, CSFD.
63. Dugué P., 2002. *Flux de biomasse et gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs : étude de cas au Nord-Cameroun et essai de généralisation aux zones de savane d'Afrique sub-saharienne*. In : Dugué P., Fertilité et relations agriculture-élevage en zone de savane : actes de l'atelier sur les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs, 5-6 mai 1998, Montpellier : CIRAD, p. 27-59.
64. Dugué P., Vall E., Lecomte P., Klein H-D., Rollin D., 2004. *Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre : Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation*. OCL, vol°11, n°4/5, Juillet-October, p. 268-276.
65. Dumont R., 1962. *L'Afrique noire est mal partie*. Paris : Le seuil.
66. Dupré G., 1991. *Savoirs paysans et développement*. Paris : Karthala, Orstom, 524 p.
67. Ettema C. H., 1994. *Indigenous soil classifications, What is their structure and function, and how do they compare to scientific soil classifications?* ITC, 1994, 13 p. <http://www.itc.nl/~rossiter/Docs/Misc/IntroToEthnopedology.pdf>, le 10 juillet 2009.
68. FAO, 2010. *Agriculture de conservation*. Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs, agriculture de conservation, <http://www.fao.org/ag/ca/fr/index.html>, le 5 août 2010.
69. Faure G., Gassel P., Triomphe B., Temple L., Hocdé H., 2010. *Innover avec les acteurs du monde rural, La recherche-action en partenariat*. Versailles : Editions Quae, Collection Agricultures tropicales en poche, 224 p.
70. Floret C., Pontanier R., Serpantié G., 1993. *La jachère en Afrique tropicale*. Paris : Unesco, Dossier MAB 16.
71. Fok M. A.C., 2006. *Crises cotonnières en Afrique et problématique du soutien*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 2006, vol : 10, n°4, p. 311-323.

72. Fournier Y., Konaté M., Lapenu C., 2002. *Etude sur le crédit aux producteurs en zone cotonnière*. Rapport de mission de Restructuration du secteur Coton, Paris : Iram, 114 p.
73. Fukuoka M., 2005 a. *La révolution d'un seul brin de paille*. Paris : Guy Trédaniel Éditions, 202 p.
74. Fukuoka M., 2005 b. *La voie du retour à la nature. Théorie et pratique pour une philosophie verte*. Paris : Le courrier du Livre, 379 p.
75. Gentil D., 1995. *Vulgarisation, du transfert technologique à la demande paysanne*. Paris : Iram, Fonds documentaire numérisé, Juin 1995, 9 p.
76. Gigou J., Coulibaly H., Traoré K. B., Giraudy F., Doucouré C. O. T., Healy S., 2006. *La culture permanente : une innovation paysanne méconnue de la recherche dans le "vieux bassin cotonnier" de Koutiala (Mali)*. In : Caneill J., Agronomes et innovations, Entretiens du Pradel. Mirabel, Actes du colloque du 8 au 10 septembre 2004. Paris : L'Harmattan, 2006, p. 303-314.
77. Gigou J., Giraudy F., Doucouré C. O., Healy S., Traoré K., Guindo O., 2003. *Le passage de la culture itinérante à la culture permanente révélé par l'âge des champs au Mali-Sud*. In : Dugué P., Jouve P., 2003. Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux, Actes du colloque international, Montpellier, France du 25 au 27 février 2003. Montpellier : CNEARC-SAGERT, p. 103-112
78. Gigou J., Giraudy F., Koné M., Niang M., 1998. *Maintenir la fertilité sous coton et céréales au Mali-sud*. In : Congrès mondial des sciences du sol, 20-26 août 1998, Montpellier : CIRAD, p. 1-8.
79. Gijssbers H. J. M., Kessler J. J. et Knevel M. K., 1994. *Dynamic and natural regeneration of woody species in farmed parklands in the Sahel region (Province of Passore, Burkina Faso)*. Forest Ecology and Management 64, p. 1-12.
80. Giraudy F., Samaké S., 1995. *La production et l'utilisation de la fumure organique par les exploitations du Mali-Sud*. Atelier du Groupe de recherche collaborative sur la restauration et le maintien de la fertilité des sols en zone soudano-sahélienne (GREFMAS) du 13 au 17 février 1995, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
81. Girdis, D. P., 1993. *The role of cotton in agricultural change, land degradation and sustainability in southern Mali*. Amsterdam (NL) : KIT, 1993. 80 p.
82. Grenier L., 1998. *Connaissances indigènes et recherche : Un guide à l'intention des chercheurs*. Ottawa, Canada : CRDI.
83. Gue-Traoré J., Kanwe B. A., Blanchard M., Bengaly M., 2006. *Echange inter-villageois « intégration agriculture-élevage et développement durable » entre les producteurs du Burkina Faso (Koumbia, Kourouma, Ouara, Koro) et du Mali (Zanférébougou)*. Action 4. Projet Agri-Elevage (DCG2-50, Duras), Bobo-Dioulasso et Sikasso: INERA/CRRA Sikasso, IER, 21 p.
84. Hagey R. S., 1997. *La recherche participative : utilité et abus*. Maladies chroniques au Canada, 1997, vol : 18, n°1.

85. Hall B., 1981. *Participatory research, popular knowledge and power: a personal reflection convergence*. International Journal of Adult Education, 1981, vol : 14, n°3, p. 6-19.
86. Honfoga G. B., 2007. *Vers des systèmes privés efficaces d'approvisionnement et de distribution d'engrais pour une intensification agricole durable au Bénin*. Groningen université (NL) : Thèse, 461 p.
87. ICSU, 2002. *Science, traditional knowledge and sustainable development*. Unesco-ICSU, Serie on Science for sustainable development, n°4, 24 p.
88. INERA/RSP, 1995 a. *Fiche technique « Etables fumière »*. Documents Conseil de gestion, Tome 2, 12 fiches techniques, p 13-15.
89. INERA/RSP, 1995 b. *Fiche technique « Fosse fumière »*. Documents Conseil de gestion, Tome 2, 12 fiches techniques, p 10-12.
90. IRAM 2005. Plan cadre de gestion environnemental et social du projet de compétitivité et de diversification agricole au Mali. Iram, Avril 2005, 235 p.
91. Ishizama J., Greslou F., 1999. *Prendre du recul par rapport à ses connaissances professionnelles, l'expérience du Pratec, Proyecto Andino de Tecnologias Campesinas*. Mai 1999, <http://base.d-p-h.info/fr/fiches/premierdph/fiche-premierdph-5324.html>, le 10 février 2010.
92. Jahnke H. E., 1984. *Système de production animale et développement de l'élevage en Afrique tropicale*. Addis-Ababa (Ethiopia) : CIPEA.
93. Jouve P., 1993. *Adaptation des systèmes de production à l'aridité au Maroc et au Sahel. Vol 1 : synthèse des travaux. Vol 2 : publications et travaux*. Montpellier : Université Paul Valéry, 2 vol., 410 p. Thèse de doctorat : Géographie de l'Aménagement, Espaces et Développement.
94. Jouve P., 1997. *Des techniques aux pratiques, Conséquences méthodologiques pour l'étude des systèmes de production agricole et le développement rural*. In : Communication au colloque sur les « Méthodes pour comprendre et mesurer les pratiques agraires en milieu tropical et leurs transformations », du 10 au 11 décembre 1997, Niamey (Niger) : Institut de géographie de Lausanne, Université Abdou Moumouni, 13 p.
95. Kanté S., 2001. *Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au mali-sud*. Wageningen (NL) : thèse Université Wageningen, Documents sur la gestion des ressources tropicales, n°38, 236 p.
96. Kanté S., Defoer T., 1995. *Comment les paysans classent et gèrent leur terre ?*. Les cahiers de la Recherche Développement, Dossier Stratégies paysannes et dynamiques foncières, 1995, n°42, p. 46-61.
97. Kante S., Defoer T., Bithcibaly K., 2003. *Guide pratique de reconnaissance et de gestion des types de terre au Mali-Sud: zone de grès de Koutiala*. Sikasso : IER, 2003.
98. Keita B., 2000. *Les sols dominants du Mali*. In : Rapport sur les Ressources en Sols du Monde (FAO), n°98, Sous-comité Ouest et Centre Africain de Corrélation des Sols

- pour la Mise en Valeur des Terres, Réunion 14, Abomey (Benin), du 9 au 13 Octobre 2000, Rome (Italy) : FAO, Div. de la Mise en Valeur des Terres et des Eaux, 2002, p. 95-103.
99. Kieft H., Keita N., Van Der Heide A., 1994. *Engrais fertiles ? Vers une gestion durable des terres agricoles au Mali*. Leusden (NL), ETC, 99 p.
100. Kleene P., 1988. *Le conseil de gestion comme méthode de recherche-développement : l'expérience du Mali*. Sikasso (Mali) : DRSPR/IRR.
101. Kleene P., Sanogo B., Vierstra G., 1989. *A partir de Fonsébougou, Présentation, objectifs et méthodologie du volet Fonsébougou (1977-1987)*. Bamako (Mali) : IER-KIT, Système de production rurale au Mali, vol : 1, 145 p.
102. Lagandre D., 2005. *Le secteur cotonnier en zone franc, entre franc succès et dépendance*. Paris : AFD, Rapport thématique, Jumbo n°7.
103. Lahmar R., 1997. *Conflits entre les savoirs scientifiques et techniques et les savoirs paysans dans les Andes*. Février 1997, <http://base.d-p-h.info/fr/fiches/premierdph/fiche-premierdph-4094.html>, le 25 février 2010.
104. Lamouroux M., Quantin P., Segalen P., 1983. *Les principes du projet de classification des sols présenté par un groupe de travail de l'ORSTOM, animé par Segalen P. (1979)*. Paris : Note brève, Cahier de l'ORSTOM, série Pédologie, 1983, vol : 10, n°2, p. 163-173.
105. Landais E., Deffontaines J. P., 1988. *Les pratiques des agriculteurs, points de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique*. Etudes rurales. 1988, 109, p. 125-158.
106. Landais E., Lhoste P., 1993. *Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines*. Cahiers Agricultures, 1993, vol°2, p. 9-25.
107. Lavigne Delville P., 1996. *Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel : diagnostic et conseil aux paysans*. Paris : GRET, 397 p.
108. Le Bourgeois T., Merlier H., 1995. *Adventrop, les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. Montpellier : CIRAD.
109. Lecomte B., Rey B., 1996. *Le mépris des intellectuels envers les paysans, paysannes, serait-il en train de s'effacer au Sénégal ?* Novembre 1996, <http://base.d-p-h.info/fr/fiches/premierdph/fiche-premierdph-2816.html>, le 25 février 2010.
110. Legros J.-P., 2007. *Les grands sols du monde*. Lausanne (Suisse) : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2007, Sciences de la terre, 574 p.
111. Lévi-Strauss C., 1962. *La pensée sauvage*. Paris : Plon, 380 p.
112. L'Hôte Y., Mahé G., 1996. *Afrique de l'Ouest et Centrale, Précipitations moyennes annuelles, période 1951-1989*. Paris : ORSTOM, Collection des cartes ORSTOM, échelle 1/6 000 000 ème.
113. Liu M., 1997. *Fondements et pratiques de la recherche-action*. Paris, l'Harmattan.

114. M'Biandoun M., Guibert H., Olina J.-P., 2003. *Caractérisation de la fertilité du sol en fonction des mauvaises herbes présentes*. In : Jamin J. Y., Seiny Boukar L., Floret C. (éds), 2003. *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad – CIRAD, Montpellier, France.
115. M'Biandoun M., Olina J.-P., 2003. *Savoir paysan et fertilité des terres au Nord-Cameroun*. Cahiers Agricultures, mai-juin 2003, vol : 16, n°3, p. 185-197.
116. Malassis L., 2004. *Introduction : les paysans de l'histoire et du monde*. Montpellier : Conférence, Agropolis Muséum, le 10 mars 2004. <http://museum.agropolis.fr/pages/savoirs/paysans/complements.htm>, le 15 février 2010.
117. Maraux F., Dugué P., Ganry F., 2007. *Amélioration de la fertilité du sol et réhabilitation des terres dégradées : dynamiques socio-techniques en zones sèches d'Afriques de l'ouest et du centre*. Accra (Ghana) : Agricultural innovation in dryland Africa: What are the key drivers for success ?, AIDA Conference, du 22 au 24 janvier 2007.
118. Mathieu A., 2004. *Questions et modèles agronomiques pour l'étude des pratiques : éléments sur l'état des recherches*. In : Darré J.-P., Mathieu A., Lasseur J., 2004. *Le sens des pratiques, conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*. Paris: INRA, p. 39-52.
119. Moral P, 1964. *Essai sur les régions pluviothermiques de l'Afrique de l'Ouest*. Annales de Géographie, vol : 73, n°400. P. 660-686, http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_0003-4010_1964_num_73_400_16735, le 21 mai 2010.
120. Mormont M., 2003. *Problématique du croisement des savoirs*. Communication d'un professeur à la FUL.
121. Mustin M., 1987. *Le compost, Gestion de la matière organique*. Paris : Édition François Dubusc, 954 p.
122. Olivier de Sardan J.-P., 1995. *Anthropologie et développement, Essai en socio anthropologie du changement social*. Paris : APAD, Karthala.
123. Olivier de Sardan J.-P., 2003. *L'enquête socioanthropologique de terrain : synthèse méthodologique et recommandations à usage des étudiants*. Etudes et Travaux, n° 13, Octobre 2003. <http://www.ird.ne/lasdel/pub/13methodologie.pdf>, le 10 février 2010.
124. Olivier de Sardan J.-P., Paquot E., 1991. *D'un savoir à l'autre, les agents de développement comme médiateurs*. Paris : Gret, Ministère de la coopération.
125. ORSTOM 1969. *Esquisse structurale de l'Afrique Occidentale et Centrale*. Paris : ORSTOM, Echelle 1/12 500 000, n° 764.
126. Ouédraogo B. L. *Quelques techniques traditionnelles de conservation du sol et de la végétation*. Quelques techniques traditionnelles, Connaissances pour le

- développement, Réseau de Gestion des connaissances au Burkina, 13p. <http://www.rgcb.org/IMG/pdf/chap4.pdf>, le 15 février 2010.
127. Palausi G., 1962. *Carte géologique de Bobo-Dioulasso Ouest*. Ouagadougou (Burkina Faso) : BRGM, Dir. Mines Géol, Echelle 1/500 000, NC 30 n°029.
128. Papy F., 1994. *Working knowledge concernig technical systems and decision support*. In : Rural and Farming Systems Analysis, European perspectives, Dent J. B., Mc Gregor M. J., (éds). CAB International, Oxon, p. 222-235.
129. Pépin D., 2008. *Compost et paillage au jardin, recycler, fertiliser*. Mens (France) : Terre vivante, 160 p.
130. Père Bailleul C., 2000. *Dictionnaire Bambara-Français et Français-Bambara*. Bamako (Mali) : Editions Donniya.
131. Pessinaba I., 1989. *Note d'information sur l'élevage des ovins et caprins au Togo*. In : La production de viande ovine et caprine dans les régions tropicales, humides de l'Afrique de l'Ouest, Collection : Production et Santé animales, Etudes FAO n°70, 260 p.
132. Petit S., 2000. *Environnement, conduite des troupeaux et usage de l'arbre chez les agropasteurs peuls de l'Ouest burkinabé*. Université d'Orléans : Thèse de géographie, 2000.
133. Pieri C., 1989. *Fertilité des terres de savanes, bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Montpellier : CIRAD-IRAT. 444 p.
134. Piéron H., 1932. *Les bases sensorielles de la connaissance*. L'année psychologique, 1932, vol : 33, pp.1-14.
135. Pontanier R., Floret C., 2003. *Les indicateurs du fonctionnement et du changement du milieu rural*. In : Jamin J. Y., Seiny Boukar L., Floret C. (éds), 2003. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad - CIRAD, Montpellier, France.
136. Pradère J. P., Cissé B., Bâ B. S., Sangaré B., Coulibaly A., 2007. *Performances et contraintes de l'élevage au Mali*. Bamako (Mali) : Projet d'Appui à l'Agriculture Africaine au Mali, 2007, 73 p.
137. Quak W., Hengsdijk H., Bakker E. J., Sissoko K, Touré M. S. M., 1996. *Description agronomique quantitative des systèmes de production végétale en zone soudano-sahélienne*. Wageningen (NL), Rapports du projet Production Soudano-Sahélienne (PSS), 1996, n°28.
138. Rahbi P., 2008. *Manifeste pour la terre et l'humanisme*. Arles : Actes sud, 125 p.
139. Ramisch J. J. 1999. *La longue saison sèche : interaction agriculture-élevage dans le sud du Mali*. Londres : IIED, Programme Réseaux des Zones Arides, n°88, 26 p.

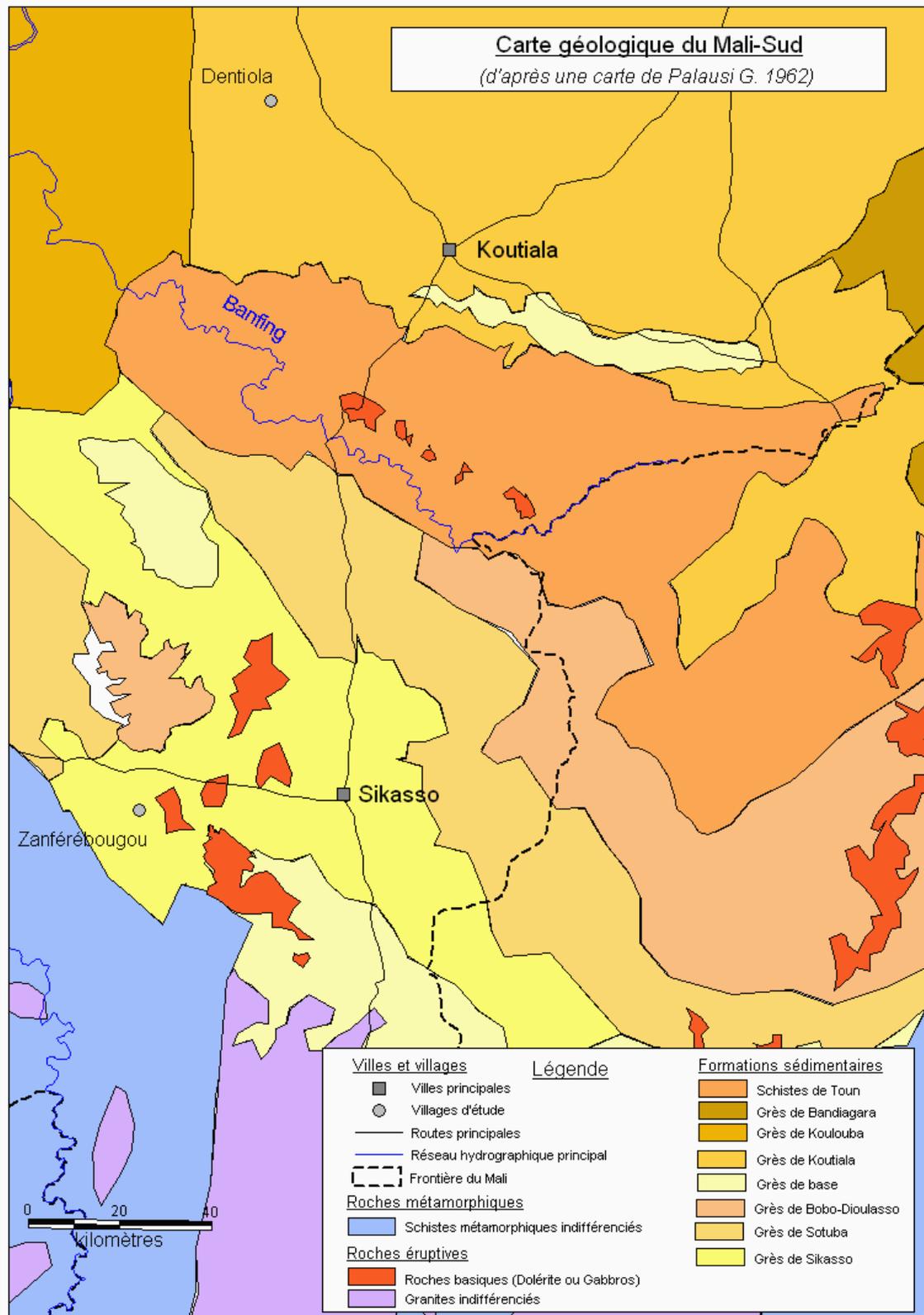
140. Reboul C., 1989. *Monsieur le capital et madame la terre : fertilité agronomique et fertilité économique*. Paris : INRA-EDI.
141. Reyniers F.-N., Netoyo L., 1994. *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale, vers une gestion des flux hydriques par le système de culture*. Paris : UREF, Séminaire international de Bamako (Mali) du 09 au 13 décembre 1991.
142. Rhoades J.D., 1982. *Methods of Soil Analysis*. Madison (USA) : Page A. L., Miller R. H., Keeney D. R., édés, American Society of Agronomy, Part 2.
143. Ruellan A., Dosso M., 1993. *Regards sur le sol, analyse structurale de la couverture pédologique*. Paris : Foucher-Aupelf, 192 p.
144. Saad K., 1970. *Etude hydrogéologique du Sud du Mali*. Paris : UNESCO, n°2258/RM, RS/SCE, 47 p.
145. Sangare M., Pocard Chapuis R., Blanchard M., Bengaly M., 2006 a. *Situation et dynamique agropastorale de Dentiola (Mali) : diversité et pratiques*. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), CIRDES-IER, Projet Agri-Elevage de Duras.
146. Sangare M., Pocard Chapuis R., Blanchard M., Bengaly M., 2006 b. *Situation et dynamique agropastorale de Zanférébougou (Mali) : diversité et pratiques*. Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), CIRDES-IER, Projet Agri-Elevage de Duras.
147. Sanogo B., 1989. *Le rôle des cultures commerciales dans l'évolution de la société sénoufo (sud du Mali)*, Bordeaux : Presses Universitaires de Bordeaux, Collection "Pays enclavés", n°2, 278 p.
148. Scoones I., 2001. *Dynamics and Diversity: Soil Fertility management and Farming Livelihoods in Africa. Case studies from Ethiopia, Mali and Zimbabwe*. Earthscan, London, UK.
149. Scoones I., Thompson J., 1999. *La reconnaissance du savoir rural, savoir des populations, recherche agricole et vulgarisation*. Paris : CTA-Karthala, 474 p.
150. Sébillotte M., 1985. *La jachère, éléments pour une théorie*. Paris : ORSTOM, A travers champs, agronomes et géographes, Collection Colloques et Séminaires, p. 175-229.
151. Sébillotte M., 1989. *Fertilité et systèmes de production*. Paris: Inra.
152. Sissoko F., 2009. *Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone Soudano sahélienne : cas du coton semé après une culture de sorgho/Brachiaria au sud du Mali*. Montpellier : INRA, Thèse de doctorat : Sciences du sol. Agronomie, 166 p.
153. Sissoko F., Autfray P., 2008. *Rapport de recherche de la campagne 2007-2008*. Sikasso (Mali), Projet PASE-SCV, IER/CIRAD.
154. Sissoko S., Doumbia S., Vaksmann M., Hocdé H., Bazile D., Sogoba B., Kouressy M., Vom Brocke K., Coulibaly M., Touré A., Dicko B. G., 2008. *Prise en compte des savoirs paysans en matière de choix variétal dans un programme de sélection*. Cahiers Agricultures, vol : 17, n°2, mars-avril 2008, p. 128-133.

155. Somé D, Zombré P. N., Zombré G., Macauley H. R., 2004. *Impact de la technique du zaï sur la production du niébé et sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols très dégradés (zipellés) du Burkina Faso*. Sécheresse 2004, 15 (3) p. 263-269.
156. Somé N. A., Alexandre D.-Y., 1997. *Savoir paysan et lecture des indices de fertilité du sol en zone soudanienne*. In : Becker C., Tersiguel P. (éds.), Développement durable au Sahel. Dakar / Paris : Karthala, Sociétés, Espaces, Temps 1997, p. 159-166.
157. Stoorvogel J. J., Smaling E. M. A., 1990. *Assessment of soil nutrient depletion in sub-saharan Africa : 1983-2000*, Wageningen (NL), vol: 3, Literature review and description of land use systems, starting centrum, Report 28 SC-DLO, 162 p.
158. Témé B., 2003. *La réforme de la recherche agricole au Mali : Bilan et perspectives*. Bamako (Mali), DG/IER, 2003.
159. Tittonell P., Vanlauwe B., Leffelaar P.A., Giller K.E. 2005. *Estimating yields of tropical maize genotypes from non-destructive, on-farm plant morphological measurements*. Agriculture, Ecosystems and Environment 105 (2005) 213-220.)
160. Touré I., Bah A., D'Aquino P., Dia I., 2003. *Cartes à dire d'experts, cartes à dire d'acteurs, vers une approche partagée des modèles de représentation spatiale d'espaces agro-pastoraux sahéliens*. In : Dugué P., Jouve Ph., (éds.), 2003. Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux. Actes du colloque international, du 25 au 27 février 2003, Montpellier, France. Umr Sagert, CNEARC.
161. Touré I., Bah A., D'Aquino P., Dia I., 2004. *Savoirs experts et savoirs locaux pour la coélaboration d'outils cartographiques d'aide à la décision*. Cahiers Agricultures, vol : 13, n°6, p. 546-553.
162. Traoré K. B., 2003. *Le parc à karité : sa contribution à la durabilité de l'agrosystème. Cas d'une toposéquence à Konobougou (Mali-Sud)*. Montpellier (France) : Thèse de l'Ensam, 216 p.
163. Vall E., 2006. *Les Savoirs Techniques Locaux : Concepts et Méthode d'Étude pour le projet Agri-Elevage de Duras*. Actions 2 et 3. Projet Agri-Elevage (DCG2-50, Duras). Bobo-Dioulasso : CIRDES, 20 diap.
164. Vall E., 2007. *Valoriser les savoirs locaux sur l'intégration agriculture élevage pour une gestion durable des écosystèmes des savanes subhumides de l'Afrique*. Rapport Final. Projet Agri-Elevage (DCG2-50, Duras). Bobo-Dioulasso : CIRDES, 99 p.
165. Vall E., Bayala I., 2007. *Production améliorée et application raisonnée de la fumure organique*. Compte rendu technique, Projet Cirop-Teria, CIRDES-CIRAD, 42 p.
166. Vall E., Blanchard M., Diallo M.A., Dongmo A.L., Bayala I., 2009. *Savoirs techniques locaux sources d'innovations ? Production de savoirs actionnables dans*

- une démarche de recherche action en partenariat*. In : Savanes africaines en développement : innover pour durer. Actes du colloque du 21 au 24 avril 2009, Garoua, Cameroun.
167. Vall E., Diallo M., 2007. *Caractériser, évaluer, valoriser les savoirs techniques locaux : le cas des éleveurs de Koumbia (Burkina Faso)*. Nature Sciences et Sociétés, 2007, Soumis à publication.
168. Vall E., Dugué P., Blanchard M., 2006. *Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton, 1990-2005*. Cahiers Agriculture, vol 15, n°1, p. 72-79.
169. Van der Pol F., 1991. *L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans au Mali-sud*. In : Pieri C., Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Montpellier (France) : CIRAD, 1991, p. 403-418.
170. Van der Pol F., 1993 a. *Analyse et évaluation des options pour une agriculture durable, cas particulier du Mali*. p. 77-98. In: Van Reuler H., Prins W. H. (éds), Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Sub-saharienne, Leidschendam (Pays-Bas), Ponen & Looijen, Wageningen, 259 p.
171. Van der Pol F., 1993 b. *Jachères améliorées, options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'Ouest*. Bulletin de l'Institut Royal des Tropiques, 1993, n°333.
172. Vanlauwe B., Giller K. E., 2006. *Popular Myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa*. Agriculture, Ecosystem & Environment, 2006, n°116, p. 34-46.
173. Vilain M., 1999. *Méthodes expérimentales en agronomie, pratique et analyse*. Paris : Edition technique et documentation, Collection agriculture d'aujourd'hui, 337 p.
174. WFP, 2009. *Le PAM et l'insécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest, défis et perspectives*. Diaporamas, 16 diapos.
175. Zapata F., Roy R. N., 2004. *Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable*. Rome (Italy) : Bulletin FAO, Engrais et nutrition végétale, 2004, n°13, http://www.acelf.ca/c/revue/pdf/ACELF_XXXV_2.pdf, le 15 février 2010.

Annexes

Annexe 1. Carte géologique du Mali-Sud (d'après une carte de Palausi G. 1962 présentée dans Saad, 1970)



Annexe 2. Fiche d'appréciation des indicateurs paysans de la fertilité des sols

Village : Zanfere B. N°UP : ...2..... Nom et prénom du CE : ...Samba.....BAYOKO.....
 N° champs : ...1..... N° parcelles : ...Maïs.. Parcelle fumée : Oui Non
 "ça va un peu"

- Passage	(3) Période de la récolte			
	Date :	Cité	Type Ind	Commentaires :
	28/10/07	Oui/ Non	Fertilité/ pauvreté	-
Taille des plants	X			- ON NE regarde pas ça
Largeur des feuilles	X			- " "
Couleur des feuilles	Oui	P		les feuilles sont devenues rouges à cause de l'excès de pluie - et d'humidité.
Croissance rapide	X			
Largeur des tiges				
Résistance au sec				
Taille des épis	Oui	F/P		les épis sont gros par endroit, il y a des endroits où c'est pas gros - dépend pas que des engrais mais du sol - des coins où tu mets rien et ça va donner.
Taille des capsules	/	/		
Nb de capsules épis	Oui	F/P		tous les plants ont des épis
Rendement				
Erosion				
Présence d'eau				
Etat du sol				
Adventices	Oui	F/P		il y a trop d'herbe (dû à la pluie) même avec les destH, les herbes meurent pas.
Dévelop. des adventices				
Présence d'adventices	Oui	F		Nom des espèces :Wanqué.....
Faune du sol	Oui	F		Nom des espèces :N'golo.....
Autres				il y a trop de pluie ici cette année - le Maïs devient un peu rouge, même avec les engrais ça change pas
Autres				

Annexe 3. Guide d'entretien sur les stratégies des exploitations

Village :	Nom du chef de famille	N°
-----------	------------------------	----

Nombre de ménage :

Nombre d'enfant de moins de 11 ans :

Nombre de femmes :

Nombre d'enfant de 11 à 15 ans :

Nombre d'hommes :

Axe 1 : Gestion des biomasses

1. Production de fumure organique

Modes de production de fumure organique

Décrire les modes de production de fumure organique actuelles de l'exploitation

Modalité techniques de la production (remplissage, arrosage, retournement, calendrier, vidange, estimation de la production)

2. Assolement et utilisation de la fumure organique

Nombre de champs de l'exploitation

Décrire chaque champ : surface, type de sol, mode de tenure foncière, culture mise en place, rotation

Description des modes d'utilisation de la fumure organique au champ : Surface fumée chaque année, dose moyenne de fumure organique, méthode de choix des parcelles fumées...

3. Cheptel et conduite du troupeau

Décrire la composition du troupeau actuel

Tableau I. Composition du troupeau

	Taureaux	Vaches	Taurillons	Génisses	Veaux	BdL
Nb de tête						

Expliquer comment l'exploitation a constitué son troupeau

Décrire le mode de conduite du troupeau au cours des différentes saisons : Hivernage, période des récoltes, post-récolte, saison sèche chaude, début d'hivernage

Axe 2 : Diversification des activités

1. Activités agricoles

Préciser les productions agricoles destinées à la vente, la consommation familiale...

2. Activités non agricoles

Expliquer les sources de revenus extra agricole de l'exploitation : migration économique, petit commerce, soutien d'un membre de la famille en ville, vente de main d'œuvre...

3. La place du coton

Expliquer l'importance de la culture du coton pour l'exploitation aujourd'hui

Axe 3 : Economie de l'exploitation

1. Sécurité alimentaire

Expliquer comment l'exploitation assure la consommation familiale (vente et achat de céréales au cours de l'année)

2. Trajectoire de l'exploitation

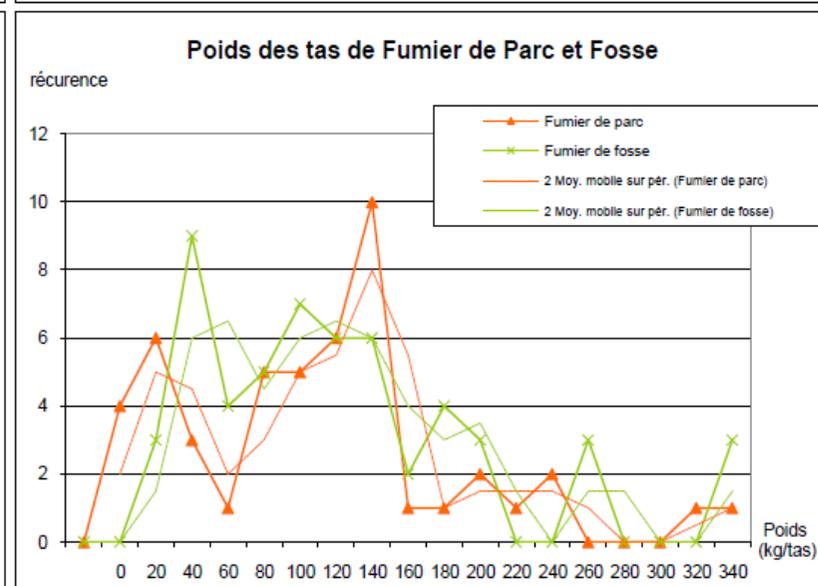
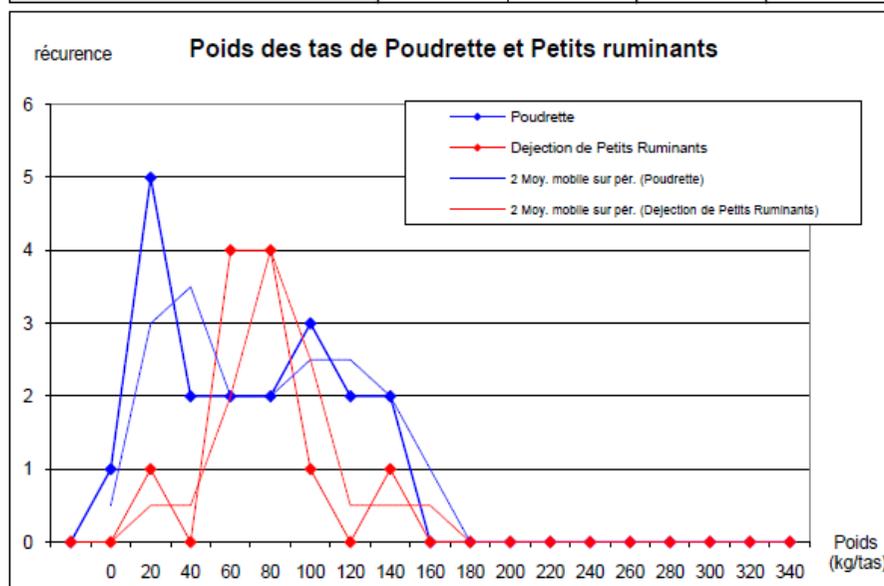
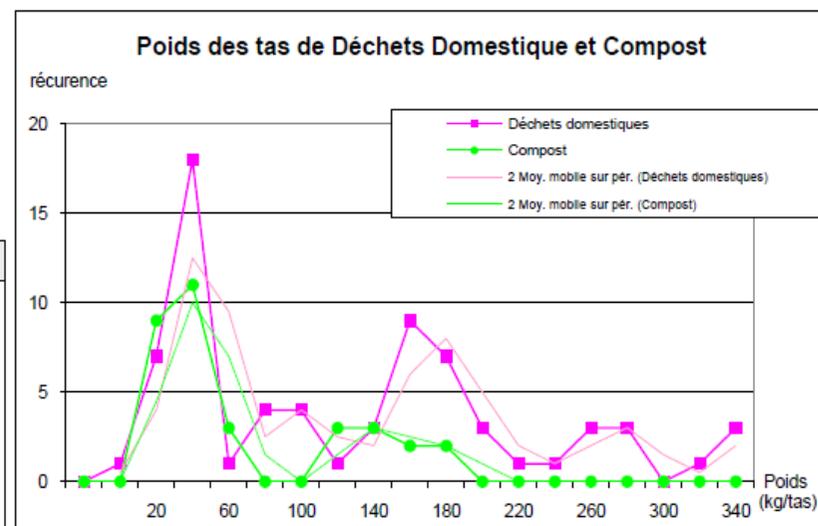
Revenir sur l'évolution de l'exploitation et les grands changements qui sont intervenus selon le chef d'exploitation

Mettre en avant les modes de transmission de l'exploitation d'un père à ses fils (transmission, division, éclatement...)

Annexe 4. Détails de l'estimation du poids d'un tas de fumure organique

Poids des tas de fumure apporté au champ
 Nombre de tas de fumure ayant un poids entre 20 et 340 Kg.
 Analyse du poids des tas de Fumure apporté au champ
 par les producteurs suivis dans les 10 villages PASE-PCP (campagne 2006-2007).

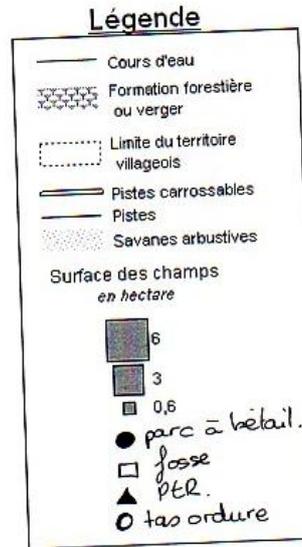
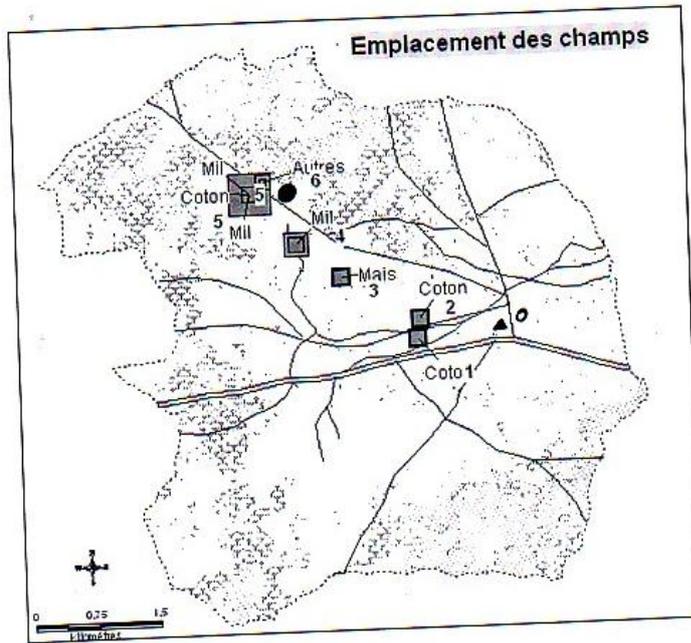
Type de fumure (kg/tas)	Poids my	Ecart type	Max	Min
Poudrette de parc	77	44	157	15
Déchets domestique	140	101	475	16
Fumier de parc	123	80	389	5
Fumier de fosse	136	85	381	36
Déjections de petits ruminants	83	27	142	31
Compost	106	118	537	26



Annexe 5. Fiche de suivi de l'utilisation des résidus de culture et de la fumure organique

UP : 192

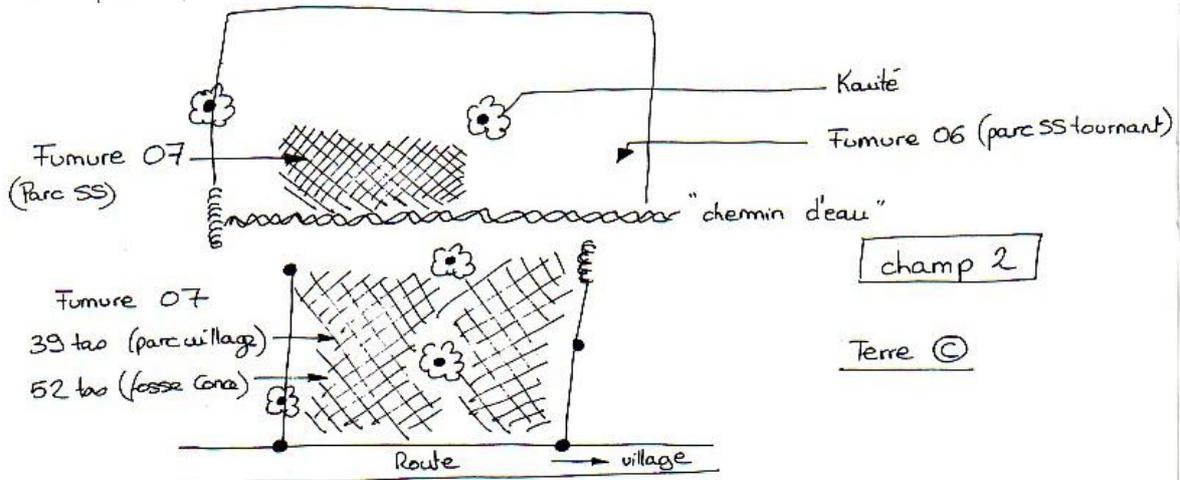
Chef d'exploitation : M. KONE Boua (ou Bréhima)



Apport de Fumure Organique

⊕ avec PÉR.

n° Champ	n° Parcelle	Culture 06	Culture 07	Apport FO	Nb. Charrette	Nb. de tas	Nb. A/R
1	18	Coton	Mais / Coton	tas ordure ⊕ / fosse	/	245	10 ^{conces} / parc à B.
2	19	Coton	Mais / Coton	Parc à bouvin	/	91	—
3	20	Mais	Coton / Mais	Parc à bouvin	42	85	12 (parc à B.)
4	21	Mil	Mil	X	X	X	X
5	22	Coton	Coton / Mais	Parc à bouvin.	/	207	à côté du parc.
5	23	Mil	Mil	X	X	X	X
5	24	Mil	Mil	X	X	X	X
6	813	Autres	Arachide	X	X	X	X



Annexe 6. Fiche de suivi de l'itinéraire technique appliqué aux parcelles suivies

Village : Zouga N°UP : 2 Nom et prénom du CE : Seuba BAYOKO
 N° champs : 3 N° parcelles : Mais Parcelle fumée : Oui Non

Fiche de suivi de parcelles

Opérations culturales	Culture 2007 : <u>Mais</u>	Economie
Travail du sol	<input type="checkbox"/> Houage <input type="checkbox"/> Scarifiage double <input type="checkbox"/> Semis directe <input type="checkbox"/> Scarifiage simple <input checked="" type="checkbox"/> Labour à plat <u>le 19/07/07</u> <input type="checkbox"/> Billonnage	nb personne : <u>(2ch) 7</u> nb jour : <u>2</u> Coût : <u>X</u>
Semis (au)	Date de re-semis : <u> / / </u> Date de la levée : <u> / / </u> <input type="checkbox"/> Semis manuel <input checked="" type="checkbox"/> Semis mécanisé Variété : <u>Mais Rouge</u> Quantité de semence : <u>~50kg</u>	nb personne : <u>6 (2em)</u> nb jour : <u>2</u> Coût : <u>0 FCFA</u>
Herbicide	Nom du produit : <u> </u> Quantité : <u> </u> Achat : <input type="checkbox"/> Comptant <input type="checkbox"/> Crédit Date de 1 ^{er} : <u> / / </u> Date de 2 ^{ème} : <u> / / </u> Nom du produit : <u> </u> Quantité : <u> </u> Achat : <input type="checkbox"/> Comptant <input type="checkbox"/> Crédit	nb personne : <u> </u> nb jour : <u> </u> Coût : <u> </u> nb personne : <u> </u> nb jour : <u> </u> Coût : <u> </u>
Désherbage	Type de désherbage : <input checked="" type="checkbox"/> Mécanique <input checked="" type="checkbox"/> Manuel <u>avec la daba</u> Date de 1 ^{er} : <u>19/08/07</u> Date de 2 ^{ème} : <u>09/09/07</u> Type de désherbage : <input checked="" type="checkbox"/> Mécanique <input type="checkbox"/> Manuel	nb personne : <u>17</u> nb jour : <u>6</u> Coût : <u>0 FCFA</u> nb personne : <u>6 pers</u> nb jour : <u>2</u> Coût : <u>0 FCFA</u>
Attaques	Nom des ravageurs : <u> </u> Nom du produit : <u> </u> Quantité : <u> </u> Nb de passage : <u> </u> Date : <u> / / </u>	nb personne : <u> </u> nb jour : <u> </u> Coût : <u> </u>
Apport NPK	Quantité : <u>2 sacs</u> Achat : <input type="checkbox"/> Comptant <input checked="" type="checkbox"/> Crédit Application : <input checked="" type="checkbox"/> à la volée <input type="checkbox"/> au poquet <u>sur la ligne</u> Apport localisé : <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Apport : <input type="checkbox"/> fractionné <input checked="" type="checkbox"/> combiné Justification ¹ : <u>ils étaient un peu en retard (des fa semis) les deux ensembles permettent aux plantes d'utiliser</u>	nb personne : <u>3</u> nb jour : <u>1</u> <u>2 x 12995</u> Coût : <u>25990 FCFA</u>
Apport Urée	Quantité : <u>2 sacs</u> Achat : <input type="checkbox"/> Comptant <input checked="" type="checkbox"/> Crédit Application : <input checked="" type="checkbox"/> à la volée <input type="checkbox"/> au poquet <u>sur la ligne</u> Apport localisé : <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Justification : <u>les 2 types d'engrais en m. temps</u>	nb personne : <u> </u> nb jour : <u> </u> Coût : <u>25000 FCFA</u>
Buttage	Type de buttage : <u>le buttage devait permettre à ces que les herbes n'envahissent plus les parcelles (facile à travailler + que les autres)</u> Date : <u>10/09/07</u>	nb personne : <u>6</u> nb jour : <u>2</u> Coût : <u>0 FCFA</u>
Récolte	Date : <u>04/11/2007</u> Production : <u>5t 20 charrettes</u> Coût : <u>X</u>	nb personne : <u>17p</u> nb jour : <u>2 jours</u>

¹ Justification du choix de la dose et de la date par la culture, quel est l'indicateur de l'état de la culture... ?

Annexe 7. Description des variables utilisées pour les analyses statistiques

<i>Nom de la variable</i>	<i>Origine des données</i>	<i>Unité</i>
<i>Stockage de résidus</i>		
Volume du stock de fourrage	Suivi stockage de fourrage (Pcp Gesed)	m ³
Pailles dans stock de fourrage	Suivi stockage de fourrage (Pcp Gesed)	%
Fanes dans stock de fourrage	Suivi stockage de fourrage (Pcp Gesed)	%
<i>Production de fumure organique</i>		
Point de production de fumure organique	Enquête des unités de production	Nombre
Point de production de FO en brousse	Enquête des unités de production	Nombre
Quantité de FO totale produite	Suivi application de FO au champ	kg
Quantité de FO produite en brousse	Suivi application de FO au champ	kg
Quantité de déjections des petits ruminants produits	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité de compost produit à la concession	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité d'ordures ménagère produit en tas	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité de compost produit au champ	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité de fèces humaines produites	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité de terre de parc produit (parc simple)	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité de fumier produit dans les parcs améliorés	Suivi application de FO au champ	kg de MS
Quantité de fumier produit sous les hangars	Suivi application de FO au champ	kg de MS
<i>Application de fumure organique</i>		
Surface totale fumée	Suivi application de FO au champ	ha
Dose moyenne de FO appliquée	Suivi application de FO au champ	kg de MS/ha
Pourcentage de FO appliquée sur le coton	Suivi application de FO au champ	%
Pourcentage de FO appliquée sur le maïs	Suivi application de FO au champ	%
Quantité de FO par la distance de la FO	Suivi application de FO au champ	t.km
<i>Structure des exploitations</i>		
Nombre d'actifs	Enquête des unités de production	Nombre
Nombre de charrettes	Enquête des unités de production	Nombre
Nombre de bœufs de traits	Enquête des unités de production	Nombre
Nombre de bœufs d'élevage présents	Enquête des unités de production	Nombre
Nombre de petits ruminants (caprin/ovin)	Enquête des unités de production	Nombre
Surface totale cultivée	Enquête des unités de production	ha
Surface cultivée en coton	Enquête des unités de production	ha
Surface cultivée en maïs	Enquête des unités de production	ha
Surface cultivée en sorgho et mil	Enquête des unités de production	ha

Annexe 8. Fiche de mesure des performances sur les parcelles suivies

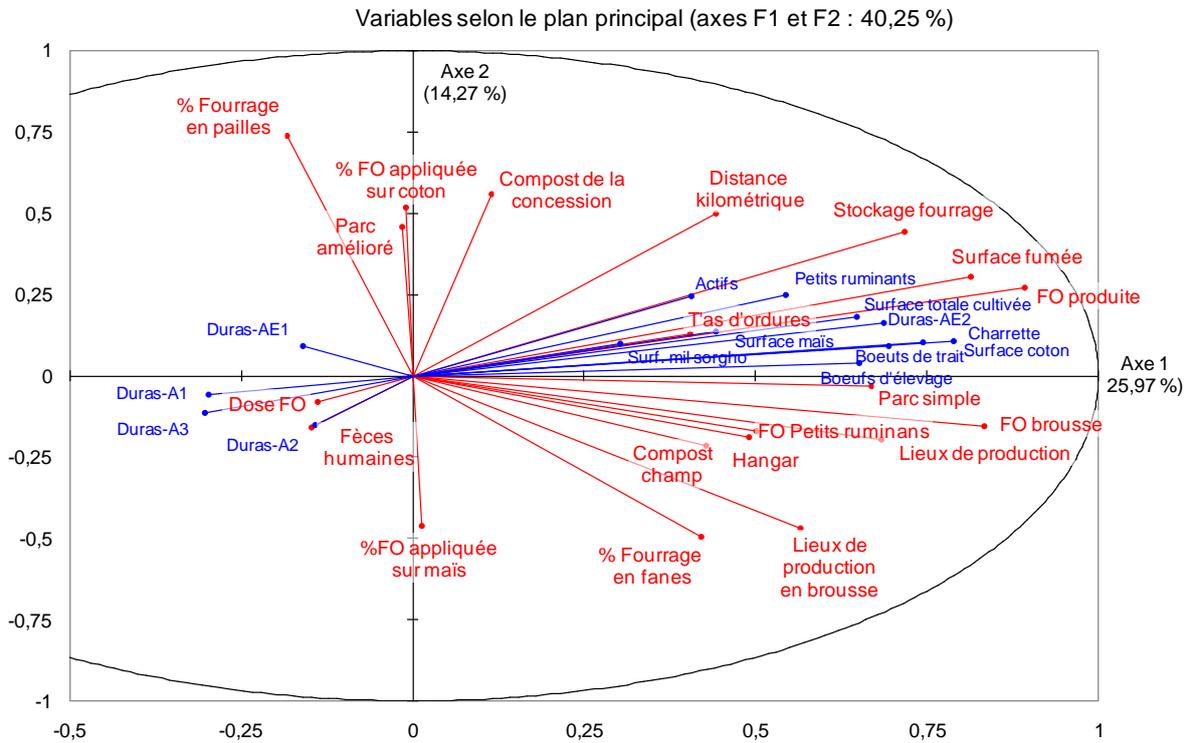
Village : N°UP : Nom et prénom du CE :

N° champs : N° parcelles : Parcelle fumée : Oui Non

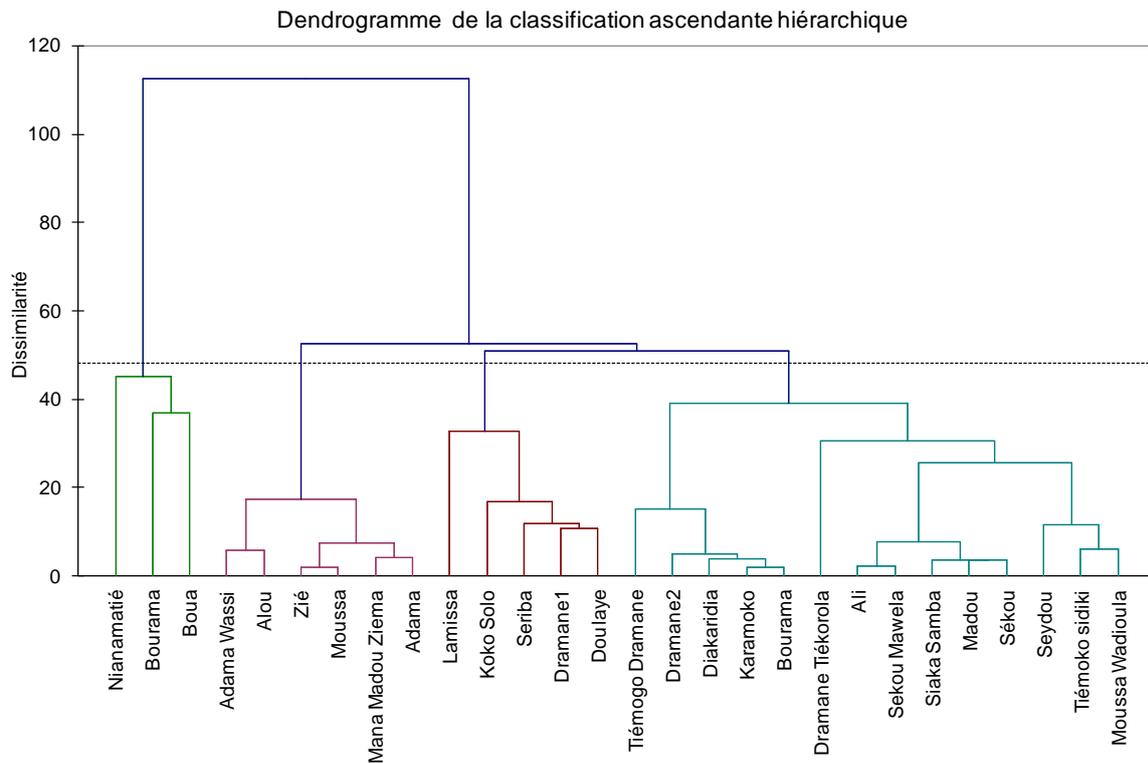
Mesures des suivis

<p>Période de la levée : des piquets sont positionnés en bout de la 5^{ème}, 10^{ème}, 15^{ème}, 20^{ème} et 25^{ème} ligne. Les mesures sont faites sur des placettes de 4*3m (5m de diagonale), la longueur des placettes dans le sens de la ligne. Les placettes sont placées à 10m du bord du champ pour la 5^{ème} ligne, puis 15, 20, 25 et 30m.</p> <p>Au cours du cycle : des rubans de couleur sont attachés aux quatre plants matérialisant les placettes.</p> <p>Période de la récolte : les mesures de poids (tiges, épis et capsules) se font sur les placettes matérialisées.</p>												
Passage	(1) Période de la levée	(2) Au cours du cycle					(3) Période de la récolte					
Date :	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	___/___/___	
Enherbement												
Note de 0 à 9 de l'enherbement de la placette	Placette 1											
	Placette 2											
	Placette 3											
	Placette 4											
	Placette 5											
Etat de la levée												
Nb de poquet levé sur 5 lignes par placette	Placette 1											
	Placette 2											
	Placette 3											
	Placette 4											
	Placette 5											
Taille des plants												
Mesure de la hauteur de 5 plants par placettes	Placette 1											
	Placette 2											
	Placette 3											
	Placette 4											
	Placette 5											
Rendement												
Poids frais des tiges, des épis de céréales et des capsules de coton.	Placette 1	Un échantillon de matière fraîche de chaque placette est récolté pour constituer un échantillon moyen de tiges et de capsules ou épis par parcelles. L'échantillon, mis en sachet, pèsera 500grammes.					Epi / Capsule			Tige		
	Placette 2											
	Placette 3											
	Placette 4											
	Placette 5											

Annexe 9. Représentation des variables selon le plan principal de l'Analyse en Composante Principale



Annexe 10. Dendrogramme de la classification hiérarchique



Annexe 11. Synthèse des types d'exploitation obtenue par l'Analyse de variance (Anova)

Variables	R ²	Seuil de probabilité	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Moyenne
Point Production de FO (u)	25 %	7 %	2,2 ab	2,1 b	2,2 ab	3,7 A	2,3
Point de production en brousse (u)	36 %	1 %	0,7 ab	0,1 b	0,4 ab	1,3 a	0,4
FO totale produite (kg de MS)	67 %	0,01 %	9 130 c	12 940 c	26 530 b	45 750 a	18 070
FO produite en brousse (kg de MS)	79 %	0 0,1 %	2 220 b	420 b	4 850 b	24 360 a	4 160
Poudrette des petits ruminants (kg de MS)	15 %	25 %	20 a	280 a	290 a	1 390 a	340
Compost des fosses à la concession (kg de MS)	18 %	18 %	4 490 a	6 380 a	0 a	6 460 a	4 840
FO des tas d'ordures (kg de MS)	54 %	0,03 %	680 a	1 660 a	15 600 b	7 280 a	4 540
Compost des fosses au champ (kg de MS)	28 %	4,4 %	1 990 b	150 b	0 b	10 920 a	1 670
Fèces humaines (kg de MS)	3,7 %	82 %	0 a	120 a	0 a	0 a	60
Terre de parc (parcs simples) (kg de MS)	60 %	0,01 %	230 b	440 b	8 150 a	12 840 a	3 100
Fumier (parcs améliorés) (kg de MS)	8,5 %	53 %	850 a	3 390 a	2 490 a	0 a	2 320
Fumier (hangars) (kg de MS)	36 %	1,2 %	880 b	510 b	0 b	6 860 a	1 180
Stockage de fourrage (m ³)	50 %	0,08 %	2,8 b	15,5 b	7,2 b	61,1 a	16,2
Stockage de pailles (%)	30 %	3,4 %	0,2 ab	0,6 a	0 b	0,3 ab	0,4
Stockage de fanes (%)	8 %	57 %	0,3 a	0,3 a	0,2 a	0,7 a	0,3
Surface fumée (ha)	50 %	0,07 %	0,8 b	1,8 b	1,4 b	5,6 a	1,9
Dose moyenne de FO (kg de MS /ha)	30 %	3 %	11 414 ab	7 188 b	18 953 a	8 169 ab	20 355
% de fumure organique sur Coton (%)	77 %	0,01 %	0 b	1,0 a	0,8 a	0,7 a	0,7
% de fumure organique sur Maïs (%)	59 %	0,01 %	0,8 a	0,0 b	0,2 b	0,3 b	0,3
Tonne kilométrique (t.km)	37 %	1,1 %	8,0 b	18,5 ab	35,4 a	37,9 a	21,3
Actif (u)	20 %	13,5 %	5,9 a	13,3 a	15,7 a	24,2 a	13,3
Charrette (u)	41 %	0,4 %	1,2 b	1,2 b	1,6 b	3 a	1,5
Bœuf de trait (u)	60 %	0,01 %	3,3 b	4,3 b	10,6 a	14 a	6,3
Bœuf d'élevage (u)	55 %	0,02 %	7 b	9,7 b	43,9 a	61,3 a	20,7
Petit ruminant (u)	10 %	43 %	11,7 a	11,3 a	19,2 a	30,7 a	14,9
Surface totale cultivée (ha)	28 %	4,4 %	8,8 b	10,8 b	16,2 ab	26,2 a	13,0
Surface en Coton (ha)	46 %	0,2 %	3,3 b	3,1 b	5,7 b	10,9 a	4,5
Surface en Maïs (ha)	25 %	7,4 %	1,7 a	2,9 a	4,4 a	6,8 a	3,3
Surface en Mil et Sorgho (ha)	3 %	87 %	3,3 a	4,7 a	4,2 a	6,6 a	4,5

FO : Fumure organique

Table des matières

Partie I : Introduction	11
Justification de l'étude et problématique	12
Evolution des systèmes de culture et d'élevage au Mali-Sud	12
Evolution des méthodes de la recherche-développement.....	14
Questions de recherche et hypothèses	16
Méthodologie	17
Plan général	18
Partie II : Contexte de l'étude	19
Chapitre 2.1. Cadre général.....	21
Présentation générale du Mali-Sud	21
Le Mali et le Mali-sud	21
Climat et pluviométrie.....	21
Végétation	27
Géologie et topographie.....	27
Pédologie.....	28
Formation des couvertures pédologiques au Mali-Sud	28
Les sols du Mali-Sud	29
Les variations pédologiques le long des toposéquences	31
Géographie, Histoire et Société.....	32
Agriculture et élevage au Mali-Sud	33
Les producteurs du Mali-Sud.....	33
Typologies des producteurs	33
Trajectoires des exploitations	35
Organisation des producteurs.....	36
Les systèmes de culture du Mali-Sud	36
Les systèmes d'élevage du Mali-sud	38
Évolution du cheptel du Mali-sud	38
Conduite des troupeaux au Mali-sud	40
Affouragement des animaux et complémentation	41
Transhumances	42
Évolution des systèmes de culture	43

La culture du coton au cours du temps.....	43
La culture du coton, un enjeu pour l'administration coloniale.....	43
La CMDT, agence de développement régional.....	43
La crise de la filière cotonnière et évolution de la place du coton.....	45
La nécessaire évolution de la filière cotonnière.....	46
La CMDT en lien avec la recherche.....	47
La recherche en station.....	47
La recherche système.....	47
Une place donnée aux utilisateurs des résultats de la recherche.....	48
L'évolution de l'encadrement agricole.....	50
La vulgarisation de masse.....	50
La structuration du réseau de vulgarisation.....	50
La recherche de modèle d'encadrement agricole.....	51
Les conséquences sur la production et la productivité.....	51
L'évolution de la productivité des terres agricoles.....	51
La phase d'augmentation rapide de la productivité du coton.....	53
Le ralentissement de la productivité du coton.....	53
La période de fluctuation.....	54
La fertilité des sols au Mali-Sud.....	55
Définitions de la fertilité des sols.....	55
Évolution de la prise en compte de la fertilité des sols.....	56
Approche conventionnelle : Gestion minérale de la fertilité.....	58
Emploi d'engrais minéraux.....	58
Les amendements phosphatés et calciques.....	58
Approche agro-pastorale : Association agriculture –élevage.....	59
Rôle du troupeau dans la gestion de la fertilité des sols.....	59
Fabrication et utilisation de la fumure organique.....	61
Le parage.....	62
Etable et fosse fumière.....	62
Le compostage.....	63
Approche agro-sylvo-pastorale : L'arbre au cœur du système.....	63
Évolution de la place de la jachère.....	63
Replacer l'arbre dans le système.....	65
Approche agro-écologique : retour des processus écologiques.....	66

Le Zaï.....	66
Agriculture de conservation	66
Chapitre 2.2. Prise en compte des pratiques agricoles	68
Les savoirs locaux : déterminants des pratiques	69
Les savoirs locaux un concept à définir	69
La structure des savoirs locaux au regard de celle des sciences.....	69
Les relations entre savoirs locaux et savoirs scientifiques.....	70
Les facteurs d'évolution des savoirs et apprentissage.....	72
Les savoirs locaux et les pratiques : systèmes en interaction.....	72
Analyse des déterminants des pratiques	73
Le système de décision et les pratiques agricoles	74
Les pratiques, les techniques et les savoirs.....	74
Étude des pratiques agricoles	75
Efficacité des pratiques : les effets et conséquences	76
L'évolution de la prise en compte des pratiques pour une recherche intervention	76
Partie III : Matériel et méthode	80
Chapitre 3.1. Cadre général.....	82
Les villages d'étude.....	82
Choix de sites d'étude	82
Description des deux sites d'études.....	83
Les paysans et les exploitations étudiées.....	84
Les cultures suivies	85
Chapitre 3.2. Caractérisation des savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols.....	87
Les savoirs techniques locaux	87
Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux.....	87
Appréhension des indicateurs paysans de fertilité des sols	89
Chapitre 3.3. Analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	90
Analyse descriptive des pratiques de gestion de la fertilité des sols	90
Suivi des pratiques de gestion des biomasses.....	90
Etude des pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	90
Evolution des pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	91
Diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	91

Diversité de variables décrivant la gestion de la fertilité des sols	91
Typologie des pratiques de gestion de la fertilité des sols	92
Chapitre 3.4. Evaluation de l'efficacité des pratiques de gestion de la fertilité des sols ...	94
Efficacité des pratiques sur la valorisation des biomasses végétales et des effluents de ruminants	94
Efficacité des pratiques sur la valorisation des biomasses végétales	94
Efficacité des pratiques sur la valorisation des biomasses des effluents de ruminants	95
Efficacité des pratiques sur le recyclage du carbone et de l'azote	96
Effets de l'application de la fumure organique au champ	96
Partie IV : Résultats	98
Section 1 : Les savoirs techniques locaux mobilisés pour la gestion de la fertilité des sols	100
Chapitre 4.4.1. Une diversité de types de sols.....	102
Deux approches pour un même sol	102
Les types de sols pédologiques	103
Les types de sols reconnus par les paysans.....	104
Les sols reconnus par les paysans de Dentiola.....	104
Les sols reconnus par les paysans et les sols pédologiques du village de Dentiola	109
Les sols reconnus par les paysans de Zanférebougou.....	111
Les sols reconnus par les paysans et les sols pédologiques du village de Zanférebougou .	114
Appréciation des sols par les paysans	115
Appréciation de la fertilité des sols par les paysans	115
Evaluation de l'appréciation des sols par les paysans.....	116
Niveau de corrélation des deux typologies des sols	119
Précautions dans l'analyse des typologies des sols.....	119
Des systèmes de connaissances diversifiés.....	119
Une organisation courante des systèmes de connaissances	119
Quelques éléments similaires	121
Des entités de sols communes	121
Des variables partagées.....	123
Quelques éléments divergents.....	124
Des entités peu partagées.....	124
Certaines variables peu partagées qui ont du sens.....	124
Des règles de gestion particulières sur les types de sol	125

Chapitre 4.1.2. Des indicateurs de fertilité des paysans.....	129
Observation des indicateurs de fertilité « dans le temps et l'espace »	129
Appréciation par les paysans de la fertilité des sols.....	130
Évolution des indicateurs utilisés dans le temps.....	130
Une diversité d'indicateurs utilisés par les paysans.....	131
Les indicateurs physiques d'état des sols.....	131
Les indicateurs bio-écologiques	132
Le développement végétatif et la fructification des plantes cultivées	132
Les adventices des cultures.....	133
Quelques espèces d'adventices indicatrices de fertilité des sols.....	135
Les espèces d'adventices indicateur de sols dégradés.....	136
Evaluation de l'efficacité des indicateurs de fertilité des sols.....	137
L'indicateur enherbement par les adventices.....	137
Discussion partielle sur les indicateurs de fertilité des sols	139
Des indicateurs de la fertilité des sols issus d'un processus d'apprentissage	139
Une utilisation limitée des indicateurs paysans de la fertilité des sols.....	139
Des indicateurs paysans de la fertilité reconnus par la recherche	139
La couleur des sols.....	139
La présence ou l'abondance des adventices	140
La hauteur des plants	140
Des mesures de l'état des indicateurs difficilement applicables	140
Chapitre 4.1.3. Le rôle des arbres pour la fertilité des sols	142
Le rôle des arbres par les paysans de Dentiola.....	142
Les principaux arbres des champs à Dentiola	142
Les variables de description	143
Les variables de fonction liées à la fertilité des sols.....	143
Les variables de risque	144
Les règles de gestion des arbres.....	144
Le rôle des arbres par les paysans de Zanférébougou	147
Les principaux arbres des champs à Zanférébougou	147
Les variables de description	147
Les variables de fonction liées à la fertilité des sols.....	147
Les variables de risque	147
Les règles de gestion des arbres.....	148

Discussion partielle sur le rôle des arbres pour la fertilité des sols.....	150
La perception par les paysans du rôle des arbres sur la fertilité des sols	150
Le rôle des feuilles des arbres	150
Le rôle de l'ombre	150
Le rôle des racines	151
L'application des règles de gestion des arbres.....	151
Chapitre 4.1.4. Une diversité de types de fumures organiques	153
Bref rappel sur les processus biologiques en cours de compostage.....	153
Description des types de fumures organiques reconnus par les paysans	156
Les types de fumures organiques reconnus par les paysans de Dentiola.....	157
Les fumures d'origines domestiques.....	157
Les tas d'ordures, Sununkun nɔgɔ	157
Les fumures riches en déjections animales.....	157
Le fumier ou la terre de parc, Misi bô ou Bagan nɔgɔ	157
Les déjections animales des animaux domestiques.....	158
Les fumures organiques issues des fosses	159
Le compost de la concession, Nɔgɔ dinge.....	159
Le compost des champs, Kala nɔgɔ	160
Les règles de gestion sur les fumures organiques.....	161
Les types de fumures organiques par les paysans de Zanférébougou.....	163
Niveau de corrélation des deux systèmes de classification paysans	163
Quelques éléments partagés.....	163
Les entités de fumure organique partagées	163
Les variables de caractérisation communes.....	163
Les règles de gestion sur les fumures organiques similaires.....	164
Quelques éléments divergents.....	164
Un type de fumure organique décrit à Zanférébougou	164
Des variables peu partagées qui ont du sens.....	165
Valeur agronomique des types de fumures organiques.....	169
Valeur amendante des types de fumure organique	169
La Valeur fertilisante des types de fumures organiques.....	171
Chapitre 4.1.5. Les savoirs techniques locaux sur les engrais minéraux	175
Les engrais minéraux utilisés au Mali-Sud	175

Descriptions des engrais minéraux par les paysans	176
Les variables de caractérisation utilisées	176
Les variables de description	176
Les variables de fonction	177
Les variables de risques	177
Les règles de gestion sur les engrais minéraux	178
Comparaison de l'effet des fumures organiques et minérales vue par les paysans.....	183
Section 2 : Les pratiques de gestion de la fertilité des sols	185
Chapitre 4.2.1. Pratiques actuelles de production de fumure organique et évolution.....	187
La production de fumure organique dans les deux villages	187
Les pratiques de production de fumure organique	188
Les tas d'ordures	188
Le compost de la concession	188
Le compost des champs	188
La valorisation des déjections animales	189
Evolution des modes de production de fumure dans les villages.....	189
Evolution des pratiques au sein des exploitations	189
Exemples de trajectoire d'évolution des pratiques des exploitations	192
Chapitre 4.2.2. Diversité des pratiques de gestion de la fertilité des sols	197
Typologie des pratiques de gestion de la fertilité des sols	197
Diversité de variables décrivant la production et l'utilisation de fumure organique	197
Analyse en composante principale.....	198
Classification ascendante hiérarchique.....	199
Analyse des variances.....	199
Quelques variables peu prises en compte par les analyses	200
Des exploitations aux pratiques de gestion de fertilité diversifiées	202
Le type 1 : petite exploitation aux pratiques innovantes de gestion de la fertilité	202
Le type 2 : Petite exploitation suivant les modèles de gestion de la fertilité des sols vulgarisés	203
Le type 3 : Exploitation de taille moyenne suivant les modèles de gestion de la fertilité des sols vulgarisés	204
Le type 4 : Grande exploitation aux pratiques de gestion de la fertilité des sols innovantes	205
Planification de la gestion de la fertilité des sols	206
Chapitre 4.2.3. Pratiques de gestion de la fertilité des sols replacées dans l'espace.....	207

.....	214
Section 3 : Evaluation de l'efficience des pratiques de gestion de la fertilité des sols....	214
Chapitre 4.3.1. Efficience des pratiques sur la valorisation de biomasses des exploitations	216
Valorisation des biomasses végétales disponibles sur les exploitations	216
Valorisation des biomasses animales produites sur les exploitations	217
Chapitre 4.3.2. Efficience des pratiques sur le recyclage du carbone et de l'azote	220
Efficience des pratiques sur le recyclage du carbone.....	220
Efficience des pratiques sur le recyclage de l'azote.....	221
Importance de la qualité des fumures organiques	223
Chapitre 4.3.3. Effet de l'application du plan de gestion de la fertilité des sols	224
Pratiques d'application de fumure organique.....	224
Epandage de la fumure organique	224
Choix des parcelles fumées.	224
Application de fumure organique	226
Utilisation différenciées des fumiers produits	227
Pratiques d'application des engrais minéraux	228
Gestion des adventices des cultures chez les producteurs des villages	229
Chapitre 4.3.4. Effet de la diversité de pratiques sur les rendements des cultures.....	230
Partie V : Discussion	232
Chapitre 5.1. Savoirs techniques locaux et sciences exactes	234
Analyse comparée de deux systèmes de connaissance sur les sols	234
Structure des systèmes de connaissance sur les sols.....	234
Finalité des systèmes de connaissance sur les sols.....	235
Pertinence des systèmes de connaissances sur les sols.....	235
Utilisation des typologies paysannes des sols pour le développement local	236
Analyse comparée de deux systèmes de connaissance sur les fumures organiques	238
Analyse appliquée aux savoirs technico-scientifiques	238
Corrélations des systèmes de connaissances sur les fumures organiques	240
Quelques éléments partagés.....	240
Quelques éléments divergents : un double enrichissement à rechercher	240
Des nouvelles fumures décrites par les savoirs techniques locaux	240
Des variables peu partagées qui ont du sens	242

Des hommes et leurs machines	243
Les sciences et les connaissances sensorielles	243
Une mise en relation des sciences et des savoirs techniques locaux toujours délicate	243
Chapitre 5.2. Opérationnalité de la prise en compte des savoirs techniques locaux pour l'analyse des pratiques	245
Les précautions et les conditions à respecter	245
Les types de résultats attendus	246
Les domaines envisagés pour l'utilisation de résultats	246
Les limites et les atouts de la méthode	247
Chapitre 5.3. Apports de la prise en compte des savoirs techniques locaux à l'analyse des pratiques de gestion de la fertilité des sols	248
Evolution des pratiques de gestion de la fertilité des sols	248
Une meilleure compréhension de la diversité des pratiques	249
Originalité de la typologie paysanne sur la gestion de la fertilité	249
Rôle de l'élevage dans la gestion de la fertilité des sols	252
Une nouvelle prise en compte du contexte écologique	253
Une protection de ces sols par un travail réduit	253
Une protection par la couverture du sol	253
L'amélioration du statut organique par des apports	253
Partie VI : Conclusion.....	254
Des résultats originaux sur les pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	255
Une nouvelle vision des pratiques de gestion de la fertilité des sols	255
Une diversité de pratiques de gestion de la fertilité des sols.....	255
Une méthode originale d'analyse des pratiques à travers les savoirs techniques locaux.....	257
Quelques limites de la thèse	258
Des propositions de recherche ou d'intervention	258
Bibliographie.....	261
Annexes	274
Table des matières.....	285

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1. Hypothèse de fonctionnement de la relation savoirs techniques et pratiques.....	17
Figure 2. Évolution de la pluviométrie annuelle dans la zone Mali-Sud, d'après des mesures de la Direction Nationale de la Météo et de L'IER, station de recherche de N'Tarla.	25
Figure 3. Fréquence de la hauteur de pluie pour les décades des mois de mai à septembre (d'après des mesures de l'Ier à la station de recherche de N'Tarla)	26
Figure 4. Profil de l'hivernage 2007 au regard de la répartition moyenne des pluies, d'après des mesures de l'IER station de recherche de N'Tarla et du projet Pase-SCV	26
Figure 5. Toposéquence schématique du Mali-Sud (d'après Gigou et al., 2003)	32
Figure 6. Typologie des exploitations agricoles et trajectoires d'évolution à Dentiola (à partir de Sangaré et al., 2006 a)	35
Figure 7. Calendrier agricole simplifié du Mali-Sud (à partir des suivis agricoles)	38
Figure 8. Evolution du cheptel de bovins de 1961 à 2006 (source : recensement national, DNE et CPS).....	39
Figure 9. Évolution du cheptel d'ovins et de caprins par région de 1991 à 2006 (source : CPS)	40
Figure 10. Évolutions des relations entre les acteurs du secteur agricole au Mali-Sud	49
Figure 11. Évolution de la productivité du coton au mali-Sud (1961 à 2007 selon les données de la CMDT et de l'Iram).....	52
Figure 12. Évolutions parallèles de la production en coton-graine et du prix d'achat (source : CMDT, Iram 2002).	55
Figure 13. Transferts de biomasses au sein du territoire des exploitations (Dugué 2002).....	61
Figure 14. Évolution des systèmes de culture	65
Figure 15. Hypothèse de fonctionnement de la relation savoirs techniques et pratiques.....	68
Figure 16. Modèle d'action des agriculteurs (proposé par M. Sébillotte 1989).....	74
Figure 17. Représentation des sous-systèmes des exploitations agricoles	75
Figure 18. Démarche d'intervention sur les pratiques agricoles	77
Figure 19. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux (Vall, 2006)	88
Figure 20. Indicateurs d'état de la fertilité des sols observés au cours de la campagne	89
Figure 21. Cycle théorique de la valorisation des biomasses végétales sur une exploitation ..	94
Figure 22. Cycle théorique de la valorisation des biomasses des effluents des ruminants	95
Figure 23. Carte à dire d'acteurs des sols paysans du village de Dentiola	107
Figure 24. Les types de sol paysans du village de Dentiola placés sur le triangle des textures.	109
Figure 25. Carte à dire d'acteurs des sols paysans du village de Zanférébougou.....	114

Figure 26. Appréciation de la richesse des variantes individuelles des savoirs techniques locaux sur les sols.....	117
Figure 27. Richesses des variables utilisées par les paysans de Dentiola pour décrire les sols	118
Figure 28. Caractérisation théorique du réel par les paysans	129
Figure 29. Références aux indicateurs d'état des sols au cours de la campagne agricole.....	132
Figure 30. Références aux indicateurs propres aux plantes cultivées au cours de la campagne agricole	133
Figure 31. Références aux indicateurs propres aux adventices au cours de la campagne agricole	134
Figure 32. Temps de travail pour le désherbage suivant la productivité des terres	138
Figure 33. Décomposition des glucides simples et des protéines, en milieu aérobie.....	154
Figure 34. Quelques voies de décomposition de la cellulose et de la lignine	155
Figure 35. Evolution de la température et du pH au cours du compostage (Mustin, 1987)...	155
Figure 36 : Classification des types de fumures organiques reconnus par les paysans	156
Figure 37. Les déjections animales des animaux domestiques vues par les paysans.....	159
Figure 38. Période d'application des engrais sur le coton reconnue par les paysans et recommandations	179
Figure 39. Période d'application des engrais sur le maïs reconnue par les paysans et recommandations	179
Figure 40. Production de fumure organique dans les villages de Dentiola et de Zanférébougou	187
Figure 41. Evolution des techniques de production de fumure organique chez les paysans enquêtés.....	190
Figure 42. Filiation des pratiques de production de fumure organique au Mali-Sud.....	192
Figure 43. Evolution des pratiques de production de fumure organique chez Sékou, producteur de Dentiola	194
Figure 44. Evolution des pratiques de production de fumure organique chez Madou, producteur de Zanférébougou	195
Figure 45. Evolution des pratiques de production de fumure organique chez Dramane, producteur de Dentiola	196
Figure 46. Représentation des types de producteur selon le plan principal de l'Analyse en composante principale.....	201
Figure 47. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 1	202
Figure 48. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 2	203
Figure 49. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 3	204
Figure 50. Production et utilisation de fumure organique chez les producteurs de type 4	205

Figure 51. Démarche théorique des paysans pour la gestion de la fertilité des sols	206
Figure 52. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 1).....	209
Figure 53. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 2).....	210
Figure 54. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 3).....	211
Figure 55. Carte des pratiques de gestion des biomasses et de production et d'utilisation de la fumure organique (type 4).....	212
Figure 56. Valorisation théorique des biomasses végétales pour la production de fumure organique.....	216
Figure 57. Valorisation théorique des biomasses animales pour la production de fumure organique.....	218
Figure 58. Plan de fumure pluriannuel chez un producteur de Zanférébougou	225
Figure 59. Pratique d'épandage de la fumure organique à Dentiola (Blanchard, 2008).....	227

Liste des tableaux

Tableau 1. Typologie des exploitations agricoles au Mali-Sud	33
Tableau 2. Caractéristique des types de producteurs dans le village de Dentiola (Sangare et al., 2006 a).....	34
Tableau 3. Typologie et technique d'association agriculture élevage vulgarisée	45
Tableau 4. Synthèse des caractéristiques des deux systèmes de pensée	70
Tableau 5. Caractéristiques des deux villages d'étude (Sangare et al., 2006 a et b).....	83
Tableau 6. Composition des échantillons stratifiés de paysans	84
Tableau 7. Composition des parcelles suivies deux villages d'étude	85
Tableau 8. Répartition des parcelles suivies suivant les types de sols des deux villages	86
Tableau 9. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols de Dentiola .	108
Tableau 10. Analyse de granulométrie des sols du territoire de Dentiola (moyenne et écart type).....	110
Tableau 11. Composition chimique des sols des territoires villageois de Dentiola.....	110
Tableau 12. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les sols de Zanférébougou	113
Tableau 13. Composition chimique des sols des territoires villageois de Zanférébougou	115
Tableau 14. Résultats obtenus replacés dans les typologies de sol du Mali-sud	122
Tableau 15. Références aux indicateurs au cours du temps.....	130
Tableau 16. Espèces indicatrices du niveau de fertilité des sols cultivés pour les paysans ...	135

Tableau 17. Classes de productivité des terres par culture et niveau enherbement des parcelles	137
Tableau 18. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les arbres des champs à Dentiola	146
Tableau 19. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les arbres des champs à Zanférébougou	149
Tableau 20. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures organiques à Dentiola	162
Tableau 21. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures organiques à Zanférébougou.....	166
Tableau 22. Composition en polysaccharide des résidus de culture utilisés pour la production de fumure organique.....	171
Tableau 23. Composition organique et minérale des types de fumures organiques	173
Tableau 24. Composition organique et minérale des éléments utilisés pour la production de fumure organique	173
Tableau 25. Composition et doses des engrais minéraux utilisés au Mali-sud (CMDT 1995 a, Témé, 2003)	176
Tableau 26. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures minérales à Dentiola	180
Tableau 27. Règles de gestion sur les fumures minérales par les paysans de Dentiola	181
Tableau 28. Grille de caractérisation des savoirs techniques locaux sur les fumures minérales à Zanférébougou.....	182
Tableau 29. Effets comparés de la fumure organique et minérale par les paysans de Dentiola	183
Tableau 30. Valorisation des biomasses végétales sous forme de fumure organique selon les types d'exploitation.....	217
Tableau 31. Valorisation des biomasses animales sous forme de fumure organique selon les types d'exploitation.....	218
Tableau 32. Valorisation des biomasses totales sous forme de fumure organique selon les types d'exploitation.....	219
Tableau 33. Effet des pratiques de gestion des biomasses sur le bilan carbone.....	221
Tableau 34. Effet des pratiques de gestion des biomasses sur le bilan azote.....	222
Tableau 35. Pourcentage des paysans s'appuyant sur un critère pour le choix de la parcelle à fumer	224
Tableau 36. Pratiques d'application de la fumure organique selon les types de sol et savoirs techniques locaux au village de Dentiola	226
Tableau 37. Pratiques d'application de la fumure organique selon les types de sol et savoirs techniques locaux au village de Zanférébougou	226

Tableau 38. Pratiques de fertilisation minérale du coton et du maïs par type d'exploitation	228
Tableau 39. Temps de travail investi pour désherber les parcelles selon les types d'exploitation	229
Tableau 40. Rendement moyen des cultures pour chaque type d'exploitation	230
Tableau 41. Grille de caractérisation des techniques de production de fumure organique vulgarisées au Mali-Sud	239
Tableau 42. Mise en parallèle des savoirs techniques locaux avec les modèles proposés par la recherche	241
Tableau 43. Tableau de synthèse sur les types d'exploitation	251
Tableau 44. Propositions d'amélioration de la qualité des fumures organiques reconnues par les paysans	260

Liste des cartes

Carte 1. Les principales unités agro-écologiques du Mali, tirée de (IRAM, 2005)	22
Carte 2. Présentation de la zone Mali-Sud et pluviométrie (d'après LaboSET IER)	23
Carte 3. Esquisse des formations géologique de l'Afrique de l'Ouest (d'après Traoré, 2003)	28
Carte 4. Cartes des sols du Mali (d'après FAO, 1974 présenté LaboSEP/IER, 1999)	30
Carte 5. Carte des sols du Mali-Sud (d'après PIRT, 1983 présenté par LaboSEP/IER, 1999)	30
Carte 6. Localisation des deux sites d'étude dans la zone Mali-Sud	82

Liste des photographies

Photo 1. Parcelle de maïs après la récolte dans le village de Dentiola	41
Photo 2. Tas d'ordures dans une concession au village de Zanférébougou	167
Photo 3. Fosse à compost à la concession au village de Zanférébougou	167
Photo 4. Fosse à compost au champ au village de Zanférébougou	168
Photo 5. Terre de parc dans un parc simple au village de Dentiola	168
Photo 6. Transport de fumure organique en charrette au champ au village de Dentiola	168
Photo 7. Fosse à compost à la concession dans une exploitation de Zanférébougou	193