

Le lait, de l'or blanc?

Amélioration de la productivité des exploitations mixtes cultures-élevage à travers une meilleure gestion et alimentation des vaches laitières dans la zone de Koutiala, Mali.

Ousmane Mama Sanogo

Thesis committee

Thesis supervisors

Prof. dr. ir. H. van Keulen
Professor at Plant Production Systems
Wageningen University

Prof. dr. K.E. Giller
Chair at Plant Production Systems
Wageningen University

Dr. N. de Ridder
Assistant Professor Plant Production Systems
Wageningen University

Dr. M. Rufino
Principal Scientist
International Livestock Research Institute (ILRI)
Nairobi, Kenya

Other members

Prof. dr. J.W.M. van Dijk, Wageningen University
Prof. dr. E. Schlecht, Kassel and Göttingen University, Germany
Dr. R. H. Bosma, Wageningen University
Dr. P. H.Y. Hiernaux, Geosciences Environment Toulouse (GET), France

This research was conducted under the auspices of the C.T. de Wit Graduate School of
Production Ecology and Resource Conservation

Le lait, de l'or blanc?

Amélioration de la productivité des exploitations mixtes cultures-élevage à travers une meilleure gestion et alimentation des vaches laitières dans la zone de Koutiala, Mali.

Ousmane Mama Sanogo

Thesis

Submitted in fulfillment of the requirements
for the degree of doctor
at Wageningen University
by the authority of the Rector Magnificus.
Prof. dr. M.J. Kropff
in the presence of the
Thesis Committee appointed by the Academic Board
to be defended in public
on Tuesday 14 June 2011
at 11.00 a.m in Aula

Ousmane Mama Sanogo

Le lait, de l'or blanc ? - Amélioration de la productivité des exploitations mixtes cultures-élevage à travers une meilleure gestion et alimentation des vaches laitières dans la zone de Koutiala, Mali. 158 pages

Thesis, Wageningen University, Wageningen, NL (2011)

With references, with summaries in Dutch, English and French

ISBN 978-90-8585-950-5

Dédicace

Je dédie la présente thèse:

- A mon père feu Mama Sanogo, que son âme repose en paix (AMEN);
- A ma mère Poitio Traoré, en témoignage de l'éducation, du soutien moral et matériel qu'elle ne cesse de m'apporter tous les jours;
- A ma femme Agnès Marie Yanaba et à notre fille Binta Sanogo ainsi qu'à mes frères, sœurs et tous les parents avec qui je partage mes joies et peines, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Résumé

Les systèmes de production mixtes cultures-élevage continuent d'être les systèmes de production agricoles dominants en Afrique Sub-saharienne. L'élevage une des composantes essentielles de ces systèmes, est caractérisé par une faible productivité à cause de plusieurs facteurs notamment les stratégies actuelles d'alimentation des troupeaux, basées sur l'utilisation des faibles quantités et qualités des ressources fourragères des pâturages durant la longue saison sèche, et la faible production des fourrages légumineux. A cela, s'ajoutent l'effet des maladies, les difficultés d'acheminement des produits aux marchés dues au manque d'infrastructures (routes) et l'environnement socio-économique et politique.

Pour aborder ce problème de faible productivité agricole, l'étude a commencé d'abord à analyser l'hétérogénéité des exploitations, puisque les mesures efficaces dépendent de leurs ressources et structure. Ensuite, la recherche a été focalisée sur l'analyse du sous-secteur de l'élevage, particulièrement l'analyse de différentes stratégies d'alimentation et de gestion des vaches laitières, pour l'amélioration de la productivité agricole.

Les exploitations de la zone Mali Sud ont été catégorisées en quatre classes. La surface des terres de cultures, nécessaire pour l'adoption des technologies comme la production des fourrages pour l'alimentation des animaux, est plus élevée pour les grands agro-éleveurs (classe 1) par rapport aux petits agro-éleveurs et cultivateurs (classes 3 et 4), disposant de peu de surface. Entre 1994-2004, une croissance plus élevée du nombre d'Unités Bétails Tropicales (UBT) (de 35 à 57) est constatée pour les grands agro-éleveurs en comparaison avec petits cultivateurs (0,9 à 1,1). Dans l'assolement des cultures, la proportion du coton a progressé de 39 à 41% pour les grands agro-éleveurs, contre un abandon pour les petits cultivateurs (7 à 0%). L'indice de changement des exploitations de la zone de Koutiala indique une tendance d'intensification et de développement des exploitations des grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens. Par contre, les petits cultivateurs ont tendance à régresser. Les évolutions des exploitations ci-dessus indiquées sont prioritairement déterminées par la culture du coton et le nombre de bovin.

Les résultats des tests en milieu paysan, montrent que les pratiques actuelles de gestion des troupeaux bovins des agro-éleveurs, particulièrement la conduite sur les pâturages pauvres en toutes saisons (témoin), ne permettent pas d'obtenir une production suffisante de lait ($0,44 \text{ litre vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$) pour la famille, encore moins pour la vente. Par contre, la stabulation saisonnière des vaches laitières assure une production de lait relativement plus élevée ($1,5 \text{ litre vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$) en saison sèche. En outre, un cumul de gain de poids moyen de 3 kg est observé pour les vaches alimentées en stabulation saisonnière contre des pertes de 14 et 25 kg respectivement pour les traitements témoin

et supplémenté. Lorsque la vache en lactation est bien nourrie, elle produit beaucoup de lait ce qui assure une meilleure croissance du veau (17 kg, cumul moyen durant l'expérimentation). Par contre, une croissance lente (6 kg) est observée pour des veaux du témoin, à cause de la médiocre qualité des fourrages des pâturages limitant la production de lait pour les veaux. Les paysans ont beaucoup apprécié la stabulation saisonnière des vaches, particulièrement leur état physique, la production de fumier et de lait. Si une telle stratégie de gestion des animaux pouvait être adoptée par la majorité des paysans à l'échelle village, cela réduirait beaucoup la pression des animaux sur l'environnement.

Les résultats d'utilisation du modèle LIVSIM, indiquent un retard au premier vêlage des génisses (6 ans) dans les élevages à cause de la mauvaise alimentation des animaux. En outre, des intervalles de vêlages prolongés pour la conduite des vaches sur les pâturages en toutes saisons (1,6 ans) ont été obtenus en comparaison avec la stabulation permanente (1,4 ans). Un nombre élevé de veaux (5) durant la vie de production des vaches a été estimé avec la stabulation saisonnière et permanente, en comparaison avec les autres stratégies (pâturage en toutes saisons et pâturage restreint). Les vaches en stabulation ont donné de meilleures performances de reproduction dues à leur bonne condition physique, la dernière dépendante de la disponibilité des fourrages, la réduction des conséquences des activités de pâturage (marche) et d'investissement important pour l'achat de tourteau de coton et de main d'œuvre.

Le revenu monétaire annuel des exploitations des grands agro-éleveurs et des agro-éleveurs moyens a beaucoup amélioré, respectivement de 6% et 16% avec l'adoption de la stabulation saisonnière des vaches laitières en comparaison avec la pâturage en toutes saisons. Tandis que l'adoption la pâturage restreint des vaches laitières entraîne des augmentations du revenu monétaire annuel de 2 et 5% respectivement pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens en comparaison avec la vaine pâturage en toutes saisons. Le meilleur résultat obtenu avec la stabulation saisonnière est dû en partie à la bonne combinaison entre cultures en termes d'allocation des surfaces, en moyenne 10% pour le niébé fourrager et 27% pour le coton. Par contre, l'analyse économique de la stabulation permanente montre des coûts de production très élevés, constitués principalement de charges d'aliments (78%), de main d'œuvre (19%), et de besoin important de fourrage de niébé ($1.095 \text{ kg vache}^{-1} \text{ an}^{-1}$), ce qui ne permet pas d'envisager l'adoption actuelle de cette option de gestion des vaches laitières pour l'amélioration de la productivité agricole.

Mots clés: *Diversité des exploitations agricoles, tests en milieu paysans, stratégies de gestion des vaches laitières, utilisation du modèle LIVSIM, revenu annuel des exploitations.*

Table des Matières

Chapitre 1	Introduction générale	1
Chapitre 2	Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au Sud du Mali.	15
Chapitre 3	Evaluation participative des rations techniques de supplémentation des vaches laitières en milieu paysan à Koutiala au Mali.	33
Chapitre 4	Adaptation du modèle LIVSIM pour la race locale Méré de la zone Mali Sud et simulation de la productivité sur un cycle de vie.	53
Chapitre 5	Faisabilité de l'introduction de la stabulation des vaches laitières dans les exploitations mixtes cultures-élevage au Mali Sud.	87
Chapitre 6	Discussions générales, possibilités futures de recherche et remarques de conclusion	111
	Bibliographie	127
	Sommaire	139
	Summary	143
	Samenvatting	147
	Remerciements	151
	Curriculum vitae	153
	PE&RC PhD Education Certificate	155
	Fond de financement	158

Introduction générale

1 Introduction générale

1.1 Faible productivité des systèmes de production agricole des petites exploitations en Afrique Sub-saharienne

La production alimentaire en Afrique sub-Saharienne a progressé à un rythme d'environ 2,4% par an entre 1961 et 2003, tandis que le taux de croissance annuel de la population est d'environ 3% (Breman et Debrah, 2003; Kidane et al., 2006). En conséquence, c'est l'exposition à la faim et l'extrême pauvreté de la majorité des populations de la région. Dans la zone Soudano-Sahélienne, les terres cultivées et les pâturages sont caractérisés par des rendements bas, du fait surtout de la médiocre fertilité des sols (Van Keulen et Breman, 1990), à laquelle viennent s'ajouter la grande variabilité pluviométrique (Vierich et Stoop, 1990), les infestations pathogènes et les conflits.

A cause d'un manque de terres, les systèmes de production agricole actuels sont caractérisés par la mise en culture annuelle des mêmes champs, sans période de jachère. L'élevage, une des composantes essentielles de ces systèmes agricoles, est maintenu jusqu'ici par des pratiques basées sur une forte utilisation de l'espace et s'adapte mal aux restrictions imposées par le manque et la pauvreté des pâturages. La diminution des surfaces pâturables (terres de parcours, jachères) est intervenue à un moment où les troupeaux ont vu leurs effectifs augmenter sensiblement. De cette augmentation des effectifs de troupeaux sur des espaces de plus en plus réduits, il en a résulté des phénomènes de surpâturage et de surexploitation des ressources, avec une disparition progressive de nombreuses espèces fourragères, herbacées et arborées (Bosma et al., 1996; Dufumier, 2005). Le manque de fourrages, aggravé par la tendance de baisse de la pluviosité a un impact négatif sur la productivité de l'élevage et sa contribution à l'économie.

Au Mali, l'agriculture et l'élevage contribuent environ à 23% du revenu des exportations et 40% du revenu intérieur brut du pays (Bonfoh et al., 2005, Dicko et al., 2006). Malgré le nombre important des animaux, estimé à 6,9 million de bovins, 15,4 million de petits ruminants et 236.000 de chameaux, le Mali n'arrive pas à satisfaire la demande interne des produits laitiers (Bonfoh et al., 2005). Ainsi, l'amélioration de la productivité du secteur de l'élevage reste une des priorités du gouvernement (Pomeranz, 2006). Dans une perspective générale de développement, la composante élevage de l'agriculture peut donc contribuer substantiellement à la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté (Kurt, 1999; Ziébé et al., 2005).

Mais, le modèle techniciste de l'association cultures-élevage a été critiqué par Landais et Lhoste (1990) comme un mythe techniciste. Il se traduit par l'intensification conjointe de l'agriculture et de l'élevage et repose sur trois piliers: l'utilisation de la traction animale, l'introduction d'une sole fourragère dans la rotation culturale et la valorisation de la fumure animale. Les mêmes auteurs trouvent qu'il y a un grand absent dans ce modèle, l'arbre, bien qu'il soit un élément fondamental des systèmes qui associent agriculture et élevage en raison des multiples rôles qu'il joue: protection des sols et enrichissement en matière organique, pourvoyeur alternatif de fourrage riche en azote (feuillage) voire de véritables aliments concentrés (gousses de légumineuses), rôle écologique mais aussi source d'aliments humains et de combustible. Bien que critiqué par Landais et Lhoste (1990), actuellement les modèles d'association agriculture-élevage intégrant les cultures fourragères sont bien adaptés aux réalités du terrain des zones chaudes où les pâturages se font de plus en plus rares. Selon certains auteurs, cette association appelée aussi polyculture élevage est sans doute encore de nos jours, une voie d'intensification durable importante des systèmes de production agricole des régions chaudes. Brons et al. (2004) rapportent que la taille des terres cultivées est déterminée par la disponibilité des animaux de traction et la traction animale apparaît comme une substitution à la main d'œuvre et aux intrants externes. Par contre, Lhoste (2004) signale que même si cette association est la solution, il faut tenir compte des situations agraires qui sont souvent bien différentes dans les régions chaudes des pays en développement du Sud et dans les agricultures des pays industrialisés du Nord pour de nombreuses raisons historiques, économiques et politiques.

1.2 Options d'amélioration de la productivité des systèmes de production mixtes cultures-élevage.

Les systèmes de production mixtes sont caractérisés par une interdépendance des activités culturales et d'élevage au sein de l'exploitation. L'élevage supporte la production agricole à travers la traction animale et la production de fumier, et les résidus de cultures sont utilisés dans l'alimentation des animaux. Le degré d'intégration de ces activités varie selon les exploitations et détermine le niveau d'intensification d'utilisation de la fumure organique. Il est souvent dit que l'intégration cultures-élevage est un moyen effectif au travers duquel les éléments nutritifs des plantes peuvent être rapidement recyclés au sein de l'exploitation (Thornton et Herrero, 2001). L'élevage est la clé pour concentrer les éléments nutritifs et assurer le transfert de la fertilité entre différentes composantes des systèmes agricoles en interaction (De Ridder et al., 2004; Giller et al., 2006a; Rufino et al., 2006).

Dans les systèmes de production mixtes cultures-élevage, la production de lait est une option importante pour augmenter les revenus des agro-éleveurs et la réduction de la pauvreté en milieu rural (Thornton et al., 2002). Mais, elle reste faible en saison sèche chaude à cause de la faible disponibilité en ressources fourragères. Cependant, cette faible disponibilité des fourrages peut être résolue par différentes voies parmi lesquelles la production des légumineuses fourragères est une possibilité.

Légumineuses fourragères

Les légumineuses fourragères ont un potentiel d'amélioration de la productivité des petites exploitations par la fourniture des grains pour la consommation humaine et de fourrages à haute valeur nutritive pour l'alimentation des animaux (Ojiem, 2006). Aussi de nombreux auteurs considèrent la pâture des cultures fourragères comme une opportunité d'assurer la durabilité des systèmes agricoles en Afrique de l'Ouest (Singh et al., 2003; Sumberg, 2003; Lenné et Thomas, 2006). Lenné et Wood (2004) identifient trois rôles des légumineuses fourragères dans les systèmes mixtes cultures-élevage Africains:

- (i) Cultures incorporées dans la rotation sur les terres de cultures pour faire face aux besoins fourragers à court terme (saisonnier). Elles peuvent être cultivées en monoculture ou en association avec des céréales, et sont soit des légumineuses fourragères (ex. stylosanthes, luzerne, etc.) soit des légumineuses à double fins, cas du niébé et de l'arachide.
- (ii) Plantes cultivées en jachère à court ou long terme pour satisfaire les besoins fourragers. Ces cultures portent sur des légumineuses fourragères, herbacées ou ligneuses.
- (iii) Espèces implantées pour le long terme sur des parcelles pour être pâturées in situ par les animaux. Elles comprennent certaines espèces de légumineuses herbacées et arbustives.

Niébé

Le niébé: *Vigna unguiculata* (L.) Walp est une légumineuse capable de fixer l'azote atmosphérique à travers ses nodules et est bien approprié aux sols pauvres. En plus de ses propriétés, il a une croissance rapide et une grande capacité de couverture du sol, ce qui lui permet de jouer plusieurs rôles, notamment la participation au contrôle de l'érosion des sols, le maintien de la fertilité et l'amélioration de la structure du sol à travers l'augmentation de la teneur en matière organique (Singh et al., 2003). Toutes ces caractéristiques font du niébé une culture importante pour la durabilité de l'agriculture de la région. Cependant, il convient de noter que dans certaines

conditions du Sahel, le niébé ne fixe pas nécessairement l'azote, ce qui se traduit par une croissance lente et une faible production de biomasse.

Stylosanthes hamata

Le stylosanthes est un excellent fourrage qui permet d'améliorer la ration des animaux tout au long de l'année et en particulier durant la saison sèche. C'est une espèce pérenne, pouvant rester sur place pendant plusieurs (3-5) années. Il se multiplie par graine, mais la germination et la croissance durant les premiers mois sont lentes. Pour ces raisons, il est nécessaire d'apporter du phosphore et de l'azote comme fumure de fond au moment du semis. En outre, il a besoin de beaucoup d'eau pour sa croissance et pour pouvoir rester vert durant toute l'année. Dans les conditions de manque d'eau (zone sahélienne), en fin d'hivernage, il est coupé et stocker après un séchage au soleil. Le stylosanthes est une des rares légumineuses pouvant bien se développer sur les sols très peu fertiles. Il a une forte production de biomasse pour l'alimentation des animaux et de ce fait contribue à la réduction de l'érosion des sols. Il est aussi capable de dominer les adventices grâce à la couverture du sol. Le stylosanthes est une légumineuse qui améliore la teneur du sol en azote et son système racinaire puissant lui permet d'améliorer progressivement la structure des sols compactés.

Ces cultures fourragères, options techniques importantes pour résoudre le déficit fourrager en saison sèche, sont encore faiblement adoptées. Mais, parallèlement à la régression de la disponibilité des ressources fourragères des pâturages et à la faible adoption des cultures fourragères, la demande en lait des centres urbains de la région augmente, aboutissant à la fondation de mini-laiteries.

1.3 Vaches laitières du Mali

Le lait de vache est à la fois un objectif de production, une référence culturelle et un produit à valeur d'usage et d'échange (Dicko et al., 2006). La vache Soudanaise Méré a une production laitière inférieure à celle du Zébu peul, considérée comme la meilleure laitière locale et peut produire en moyenne 2 litres de lait par jour (Maule, 1990). Mais, sa production de lait varie beaucoup selon les périodes, par exemple pendant l'hivernage, la disponibilité fourragère est élevée, ce qui permet d'obtenir aussi des productions de lait plus élevées qu'en saison sèche. Durant la saison sèche, la production de lait devient très faible, voire nul pour certains agro-éleveurs à cause de la sous-alimentation des animaux dans les pâturages.

Trois systèmes de production de lait peuvent être distingués au Mali. Le système traditionnel, dans lequel les races locales (N'Dama, Méré, Zébu) sont utilisées sur les pâturages péri-urbain où les suppléments de fourrages sont rares, et la production de lait

très faible (1-2 l vache⁻¹ jour⁻¹ pour N'Dama et Méré, et 2-4 l vache⁻¹ jour⁻¹ pour Zébu). Le système de production moderne, pratiqué par les fonctionnaires et commerçants qui utilisent des races croisées (métisses). La production de lait est plus élevée et varie de 5 à 12 l vache⁻¹ jour⁻¹. Et, le système de production semi-moderne rencontré dans les exploitations qui possèdent des races locales et croisées. La production de lait varie de 2 à 5 l vache⁻¹ jour⁻¹ (Debrah et al., 1995; Bonfoh et al., 2005). La production de lait d'une vache Zébu au Cameroun, est estimée à 3 litres par jour (Bayeni et al., 2007, Bayeni et Webb, 2009). Par contre au Kenya dans les systèmes d'élevage intensifs et semi-intensifs, la majorité des paysans produit 5 à 10 kg de lait par vache par jour (Bebe, 2003; Musalia et al., 2007).

1.4 Présentation de la zone d'étude

Les activités de l'étude ont porté sur la zone de Koutiala au Mali Sud (Figure 1). La superficie du Mali Sud est de 106.000 km², soit 9% du territoire national (Bosma et al., 1996; Kanté, 2001), et la population est estimée à 2.074.355 d'habitants en 2004, soit 32% de la population du pays. Du point de vue administratif, elle couvre 13 Cercles, dont celui de Koutiala. Les températures moyennes journalières varient entre 22 °C (période froide) et 35 °C (saison sèche chaude) (Berthé et al., 1991; Kanté, 2001). La saison sèche comprend une période fraîche de décembre à février et une période chaude de mars à mai. La variation de la pluviosité annuelle est assez forte de 15-20% en zone sub-humide à 30-50% en zone semi-aride (Berthé et al., 1991; Bosma et al., 1996). Les précipitations totales et la durée de la saison pluvieuse augmentent en allant du nord vers le sud, déterminant ainsi trois zones climatiques (Berthé et al., 1991):

- Zone semi-aride (nord-soudanienne): la saison des pluies dure de juillet à octobre avec une pluviosité moyenne de 550 à 800 mm par an;
- Zone transitoire (sud-soudanienne): la saison des pluies dure de juin à octobre avec une pluviosité annuelle de 800 à 1000 mm;
- Zone sub-humide (nord-guinéenne): la saison des pluies dure de mai à novembre avec une pluviosité annuelle de 1000 à 1200 mm;

Ces zones sont caractérisées par une forte croissance démographique et par l'urbanisation qui se traduit par une augmentation de la demande en produits animaux. Donc, l'existence de grand marché de consommation (Koutiala) constitue une opportunité pour développer diverses formes d'élevage (production de lait, embouche, etc.), et améliorer le revenu des agro-éleveurs.

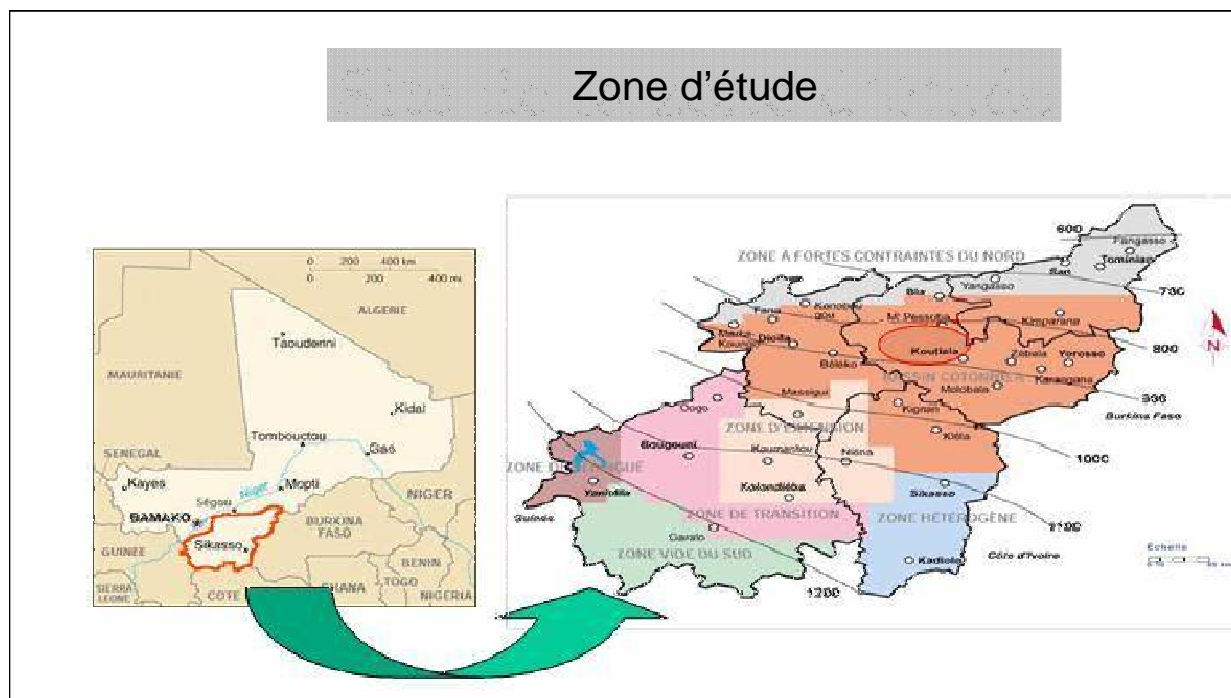


Figure 1: Mali Sud et zone d'étude Koutiala (Zone transitoire)

1.5 Evolution socio-économique

Le Mali a entrepris des réformes économiques dites d'ajustement structurel à partir de 1980 avec l'appui de la Banque Mondiale (BM), du Fonds Monétaire International (FMI) et d'autres partenaires au développement. Les programmes d'ajustement mis en œuvre ont concerné tous les secteurs économiques et en particulier le secteur agricole avec les Programmes d'Ajustement du Secteur Agricole (PASA). Ces politiques comprenaient des réformes spécifiques qui prévoyaient d'influencer directement la rentabilité des exploitations agricoles avec une amélioration des prix aux producteurs. C'est dans ce contexte qu'a été engagé un certain nombre de réformes telles que le lancement du Programme de Restructuration du Marché Céréalière (PRMC) au début des années 1980. Avant cette période, l'Etat avait le monopole de la commercialisation à travers l'Office des Produits Agricoles du Mali (OPAM). La privatisation de la fonction vétérinaire amorcée en 1988, qui s'est traduite par le désengagement de la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) de la santé animale dans sa zone d'intervention au début des années 1990 et l'installation des vétérinaires privés. Il était prévu que les réformes devaient générer une offre plus importante et encourager l'émergence de marchés efficaces. Mais, cet objectif n'a pas été atteint. Et, la privatisation de la filière coton en cours (commencée en 2008), concourt à l'aggravation des conditions déjà difficiles des producteurs.

Le régime foncier est basé, dans la pratique, sur le droit coutumier, selon lequel les paysans ont des droits d'usufruit sur les terres qu'ils mettent en valeur. Les droits d'appartenance des terres cultivables sont basés sur les droits de défriche et détenus par des chefs de lignages, ou de sous-lignages, bénéficiant des droits d'héritage (Kleene et al., 1989; Djouara, 2005). Ces droits d'usufruit ne sont effectifs que pendant la saison de culture. En saison sèche, à l'exception des vergers, jardins et concessions, la vaine pâture est de règle sur les champs de l'ensemble du territoire villageois. Ce mode de gestion traditionnel des terres est actuellement assez flexible et évolutif.

1.6 Description du problème

En Afrique de l'Ouest, l'extension des surfaces cultivées est constatée suite à l'augmentation rapide de la population depuis les années cinquante (Turner et al., 2005). En plus, l'accès aux pâturages devient de plus en plus restreint, particulièrement en saison de pluies, dû à la fragmentation de l'espace par des champs cultivés (Ayantunde et al., 2008). On peut adjoindre à cela, le nombre croissant des animaux, par exemple au Mali, le taux de croissance du cheptel au cours de la période 1991-2002 a été de 39,4% pour les bovins; 70,4% pour les ovins et 68,8% pour les caprins (Cellule de Planification et Statistique du MAEP, 2003), exerçant ainsi une forte pression sur les pâturages qui sont dans un état avancé de dégradation (Apparition de terrains nus, disparition d'espèce comme *Andropogon gayanus*) à cause du surpâturage (Leloup et Traoré, 1989; Bosma et al., 1992). En plus de ces facteurs, la productivité des systèmes de production mixtes (cultures-élevage) est affectée par le manque d'accès des producteurs aux ressources (certaines terres, bois et intrants), aux connaissances, le marché, la politique nationale et internationale, et l'environnement socio-économique (De Jong, 1996; Patil, 2006).

La faible productivité des animaux en termes de production de lait, de viande et de fumier est attribuée à la disponibilité restreinte en fourrage des parcours naturels et à leur mauvaise qualité. En saison des pluies, la production fourragère des pâturages naturels et des jachères est relativement abondante, et couvre les besoins d'entretien et de production des ruminants domestiques. Par contre, en saison sèche, la disponibilité fourragère des parcours naturels et celle des cultures fourragères sont insuffisantes, et de qualité médiocre du fait de la faible digestibilité. Le bétail perd alors du poids jusqu'au début de la saison des pluies. En effet, les besoins d'entretien des animaux ne sont pas couverts malgré des ressources fourragères additionnelles constituées par des résidus de céréales. Dans ce contexte de déficit fourrager, les catégories animales les plus affectées sont les vaches laitières, les bœufs et les jeunes en croissance dont on

souhaite préserver les capacités futures de reproduction. L'introduction des cultures fourragères légumineuses dans un système de rotation de culture pourrait offrir une réelle opportunité aux agriculteurs d'améliorer l'alimentation des animaux et maintenir la fertilité des sols (Singh et al., 2003; Sumberg, 2003; Lenné et Thomas, 2006). En effet, l'introduction des cultures fourragères dans le système de rotation des cultures permet premièrement d'améliorer l'alimentation des animaux ce qui augmente la production de lait et de la viande et deuxièmement le fumier produit permet de retourner les éléments nutritifs au sol (e.g. Turner, 1995; De Leeuw et al., 1995). Dans le passé, de nombreuses technologies de cultures fourragères et d'amélioration génétique des animaux (insémination artificielle) ont été développées par la recherche et proposées aux paysans. Mais, ces options n'ont pas été adoptées pour des raisons diverses, notamment la non prise en compte des objectifs de production des paysans par les chercheurs, les difficultés d'obtention des semences de certaines cultures fourragères, le manque de ressources des paysans, la diversité biophysique des terres cultivées et la diversité socio-économique des exploitations (Tittonell, 2007), et la faible implication des paysans au processus de recherche (Chambers et al., 1989; Collinson, 2000). Beaucoup de technologies disponibles sont seulement appropriées pour des groupes spécifiques de paysans (niche socio-écologique, Ojiem, 2006). D'où l'importance de la catégorisation des exploitations et des expérimentations participatives avec les paysans pour connaître leurs réactions par rapport à l'innovation proposée (dans le cas présent, le niébé et le stylosanthes).

L'approche d'étude des différentes composantes du système agricole comprend une analyse des interactions entre culture-sol et animal (au niveau exploitation), et aussi la compréhension de la diversité biophysiques et socio-économiques des systèmes de production, nécessaire pour l'élaboration des technologies futures (Tittonell et al., 2005; Giller et al., 2006b). Dans cette étude, l'élevage a servi de point d'entrée pour l'analyse des systèmes de production agricole.

1.7 Objectifs et questions de recherche

Cette étude a pour but de contribuer au bien être des populations rurales à travers l'amélioration de la productivité agricole en zone Mali Sud. L'étude est focalisée sur l'élevage bovin des petites exploitations agricoles du Mali Sud, lesquelles sont très variables en termes de possession d'animaux, de disponibilité de main d'œuvre, de fertilité des sols, de revenus, d'objectifs de production, d'aspects socioculturels, etc. L'exploitation agricole constitue l'unité d'analyse, parce qu'elle est le centre de prise de décisions par rapport aux investissements à faire, à la gestion des animaux et

l'allocation des ressources (terre, mains d'œuvre, intrants et capital). Au niveau de l'exploitation agricole, le paysan se trouve souvent face à des conflits d'utilisation des ressources rares. Par exemple, il doit décider de l'allocation des engrais entre différentes cultures et champs. Dans les exploitations mixtes, il doit décider de l'allocation des superficies entre les cultures vivrières, de rentes et fourragères, et la répartition des résidus de cultures entre l'alimentation des animaux et la production de la fumure organique et/ou leur utilisation directe comme sources de matière organique pour les sols. Un compromis doit être trouvé entre les différentes composantes du système dans le contexte d'une allocation efficiente des ressources pour l'intensification agricole.

Principales questions de recherche

Dans cette étude, les questions de recherche étaient:

Quel a été le développement des exploitations agricoles ces dernières années? Quels axes d'intervention prioritaires peut-on proposer aux différents types d'exploitations pour soutenir leur développement et/ou leur permettre de se développer?

Quelles stratégies d'alimentation doit-on suivre pour améliorer la productivité animale? Et quelle pourrait être la rentabilité économique de ces stratégies?

Le modèle LIVSIM (Rufino et al., 2009), peut-il être utilisé pour simuler avec confiance la productivité des vaches locales Méré de la zone de Koutiala? Quelles sont les conséquences des stratégies paysannes d'alimentation des vaches laitières sur leur productivité dans le long terme?

Quelles options techniques d'élevage peut-on conseiller aux agro-éleveurs pour améliorer leur productivité agricole et leurs revenus monétaires?

Les objectifs spécifiques étaient de:

1. Décrire et analyser la dynamique des exploitations agricoles;
2. Tester des stratégies d'alimentation du bétail qui améliorent quantitativement et qualitativement la production animale (lait, viande, fumier), et recueillir l'opinion des agro-éleveurs sur les stratégies, pour un meilleur fonctionnement des exploitations;
3. Paramétrer et tester le modèle LIVSIM pour les vaches locales de la zone Mali Sud et évaluer leur performance sur le long terme;

4. Explorer les possibilités d'amélioration de la productivité agricole à travers l'élevage, en introduisant des options alternatives dans des modèles mathématiques.

1.8 Approche méthodologique

L'élevage a servi de point d'entrée pour l'analyse des systèmes de production agricoles. La recherche comprend trois grandes parties (Figure 2): (i) la typologie des systèmes de production et analyse de l'historique des exploitations, (ii) l'analyse de la situation actuelle des exploitations en terme d'expérimentation en milieu paysan, de stratégies d'alimentation et de gestion des animaux, et (iii) l'exploration des options alternatives d'alimentation des animaux dans l'outil de modélisation.

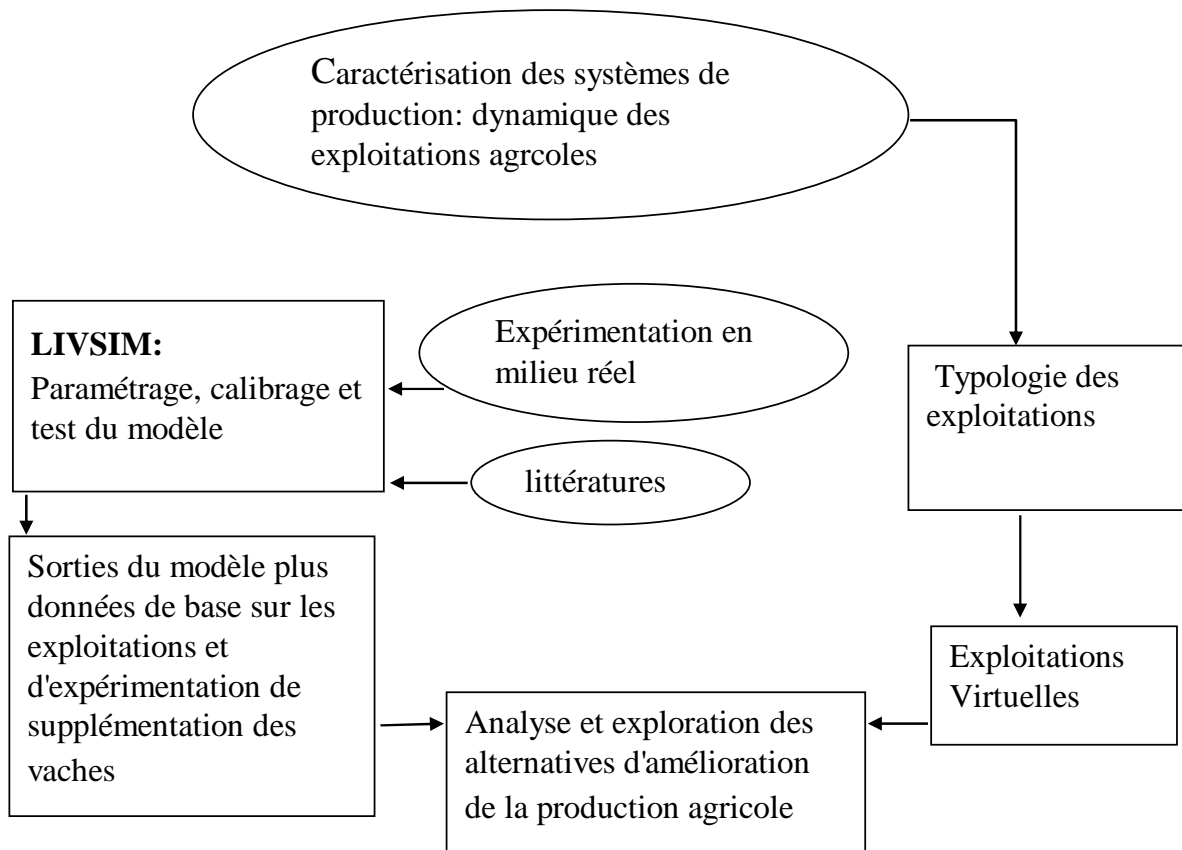


Figure 2: Approche méthodologique

(i) Analyse historique des exploitations agricoles

La base de données de 1994 à 2004 de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN-Sikasso) a été utilisée pour l'analyse historique des exploitations, la description des systèmes agricoles et leur catégorisation. Cela permet de mieux comprendre la structure et le fonctionnement des exploitations et d'identifier

des axes d'intervention prioritaires pour le développement soutenable de différentes catégories.

(ii) Démarche expérimentale

Des essais participatifs (stratégies de supplémentation des animaux pendant la saison sèche avec le niébé fourrager, le stylosanthes, le tourteau de coton et les résidus de cultures, des stratégies qui sont déjà appliquées par les paysans actuellement, mais encore à petite échelle) ont été réalisés en milieux paysans pour: premièrement, mettre ensemble les connaissances des paysans et des chercheurs pour le développement des technologies alternatives qui puissent permettre aux paysans de faire face au déficit de fourrage en saison sèche; deuxièmement, analyser l'effet des différentes stratégies d'alimentation des animaux sur l'amélioration de la production de lait, de la viande et du fumier, et comprendre les opinions et réactions des paysans par rapport aux options proposées.

(iii) Exploration des options alternatives d'alimentation des animaux (modélisation)

Dans une perspective de production laitière, les résultats des essais d'expérimentation en milieu paysan, des opinions des producteurs et les données de littérature ont été utilisés pour le paramétrage du modèle de simulation LIVSIM pour la race locale Méré, l'évaluation de la productivité du cycle de vie des vaches laitières et l'exploration des alternatives futures.

1.9 Principaux chapitres de la thèse

Cette thèse est composée de 6 chapitres. Le premier chapitre est consacré au contexte, l'approche méthodologique, les questions et objectifs de recherche. Le Chapitre 2 porte sur la typologie des exploitations, les caractéristiques des classes et l'évaluation de leur développement. Le Chapitre 3 est centré sur les stratégies d'alimentation des animaux, les caractéristiques du système d'élevage, la production de lait et du fumier, l'analyse économique, la recherche participative et la perception des paysans. Le Chapitre 4 est focalisé sur le paramétrage, le calibrage du modèle LIVSIM et l'évaluation de la productivité du cycle de vie des vaches locales Méré de la zone Mali Sud. Le Chapitre 5 explore l'impact de différentes stratégies de gestion des vaches laitières sur les unités de production. Finalement les discussions générales ont été faites dans le Chapitre 6.

Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au Sud du Mali

Chapitre basé sur l'article publié dans la revue Cahiers Agricultures comme:

Sanogo, O., De Ridder, N., Van Keulen, H., 2010. Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au Sud du Mali. *Cahiers Agricultures*, 19(3), 185-193.

Résumé

Pour identifier les interventions possibles pour une amélioration à long terme de la productivité des systèmes cultures-élevage, la quantification des ressources disponibles et leur allocation selon les différentes catégories d'exploitations est nécessaire. Les objectifs de cette étude consistent à mieux cerner la diversité des exploitations agricoles, décrire la dynamique des exploitations et évaluer leur développement. La base de données de l'ESPGRN Sikasso de 32 exploitations agricoles suivies de 1994 à 2004 a été analysée à l'aide de méthodes multivariées (Analyse en Composante Principale et en Cluster) pour la formation de 4 classes d'exploitation. La première classe est constituée de 13% des exploitations, la deuxième classe représente la majorité des exploitations (69%), la troisième et la quatrième classes regroupent chacune 9%. Le nombre d'Unité Bétail Tropical (UBT) est significativement différent d'une classe à une autre ($P < 0,001$). Entre 1994 et 2004, le nombre d'UBT a progressé de 35 à 57 pour la classe 1 et de 0,9 à 1,1 pour la classe 4. Le nombre d'actifs a changé de 14 à 21 (classe 1) et de 2 à 3 (classe 4). Dans l'assolement des cultures, la surface du coton a évolué de 39 à 41% (classe 1) et de 7 à 0% (classe 4). L'indice de changement des exploitations (ICE) par classe dans la zone de Koutiala pour la période 1994-2004 indique une tendance d'intensification et de développement des grandes exploitations. Par contre les petites exploitations ont tendance à régresser.

Mots clés: *Analyse multivariée, catégorisation, diversité, évolution, indice de changement des exploitations.*

2 Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au Sud du Mali

2.1 Introduction

En effet, pour comprendre le fonctionnement et la structure des systèmes agricoles en Afrique, l'analyse de toute l'exploitation est essentielle (Giller et al., 2006b), et l'adoption de nouvelles technologies par une exploitation dépend de sa structure et de son fonctionnement (Mbetid-Bessane et al., 2003).

Au Mali, particulièrement dans la zone Mali Sud, la culture du coton a favorisé l'équipement des exploitations, l'achat de bœufs pour la traction et permis aux agriculteurs de dégager des surplus de production commercialisables et de capitaliser dans l'élevage en vue de mieux sécuriser les revenus. La majorité des exploitations a évolué de la culture manuelle à la culture attelée, plus de 84% des exploitants ont recours aujourd'hui à la traction animale et disposent d'équipements attelés (Dufumier, 2005). Ces changements techniques ont facilité l'extension rapide des surfaces cultivées au détriment des pâturages. On assiste à une régression, voire une disparition des jachères et une réduction progressive des zones de pâturage (Leloup et Traoré, 1989; Kanté, 2001). Dans un tel contexte le problème de développement durable des systèmes de production se pose.

La typologie actuelle utilisée (classification des exploitations agricoles) a été mise en place vers les années 1980, et ne prend essentiellement en considération que le niveau d'équipement et le nombre des animaux. Elle répondait parfaitement aux besoins de la CMDT (Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles) durant la période au cours de laquelle elle mettait surtout l'accent sur l'équipement des exploitations en unités de culture attelée. Cette typologie, encore utilisée de nos jours, ne permet plus d'appréhender le fonctionnement et le devenir des systèmes de production (Dufumier, 2005). La présente étude s'intéresse à la compréhension de la structure et du fonctionnement des exploitations, leur catégorisation et l'identification des axes d'interventions prioritaires pour les différents groupes.

L'étude a pour objectifs de:

- (i) Elaborer une typologie des exploitations agricoles se référant à l'année 1994;
- (ii) Analyser les trajectoires d'évolution des types sur la période 1994-2004, leurs déterminants, les conséquences sur le fonctionnement et la diversité des exploitations agricoles;
- (iii) Présenter une typologie actualisée des exploitations agricoles en 2004;

(iv) Dédurre de ces typologies et trajectoires des axes d'interventions prioritaires actualisés pour la recherche et le développement.

2.2 Matériel et méthodes

2.2.1 Zone d'étude

L'étude a été exécutée dans les villages de Try (12° 16' N et 5° 23'O), N'Goukan (12° 21' N et 5° 19'O) et M'Péresso (12° 17' N et 5° 20'O), situés environ à 20 km de Koutiala au Mali. Ces villages sont situés dans la zone nord soudanienne et reçoivent en moyenne 800 mm de pluie par an. Les températures moyennes journalières varient de 22°C (période froide) à 35°C (saison sèche chaude) (Kanté, 2001). La densité de la population varie de 58 (Try) à 107 habitants par km² (N'Goukan). Le principal groupe ethnique est constitué par les Miniankas, mais on rencontre également des Peuls, Dogons, Bambaras, Senoufos et Sarakolés. L'élevage y constitue l'une des principales activités et représente, après le coton la deuxième source de revenus pour les producteurs.

2.2.2 Choix des exploitations et collecte des données

Le choix des exploitations a été fait par tirage aléatoire à l'intérieur des quatre types distingués par IER-CMDT (type A: deux chaînes d'attelages et un troupeau bovin d'au moins 10 têtes; B: une chaîne d'attelage et un troupeau inférieur à 10 têtes; C: une chaîne d'attelage incomplet et D: culturelle manuelle). Les données proviennent de la base de données de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN) Sikasso. Les données de 32 exploitations agricoles suivies pendant onze ans (1994-2004; n=352) ont été utilisées.

2.2.3 Choix des variables pour la catégorisation des exploitations

Initialement l'ensemble des variables (30) obtenues à partir de la base des données de l'ESPGRN Sikasso a été analysé. Néanmoins nous avons estimé qu'environ 8-10 variables était un maximum à considérer pour la catégorisation des 32 exploitations agricoles à travers des méthodes multivariées. Le choix des variables pour l'analyse a été fait en utilisant l'Analyse en Composante Principale (ACP).

L'ACP, méthode statistique essentiellement descriptive permet d'identifier les variables qui expliquent le mieux les différences entre objets. Elle permet de réorganiser l'ensemble des variables, de savoir comment elles sont structurées tout en indiquant celles qui sont corrélées dans le même sens ou dans le sens opposé et celles qui sont indépendantes entre elles. Les résultats de l'ACP concernent la matrice de

corrélation des variables, la variance expliquée par les différentes composantes principales et la contribution des variables à chacune des composantes.

L'ACP a été utilisée d'abord pour identifier les variables corrélées et non corrélées en faisant une analyse de 1994 à 2004 avec l'ensemble des variables (30). Ensuite, les résultats ont servi pour la sélection des variables utilisées pour la catégorisation des exploitations.

2.2.4 Analyses des données pour la génération de la typologie

Les variables sélectionnées ont été utilisées pour la catégorisation des exploitations chaque année (de 1994-2004), mais seulement la description des classes formées en 1994 (année de base) et en 2004 (année de référence) a été faite. Deux méthodes multivariées (MVA), notamment l'analyse en cluster (AC) et l'Echelle Multidimensionnelle non métrique (MDS) ont servi pour la catégorisation des exploitations.

Analyse en cluster (AC)

L'analyse en cluster vise à trouver des «groupes naturels» d'exploitation de sorte que les exploitations appartenant au même groupe sont similaires entre elles que par rapport aux autres exploitations. Dans cette étude l'agglomération hiérarchique (CAH: Classification Ascendante Hiérarchisée) a été utilisée. Cette technique considère la matrice de corrélation comme le point de départ et repartie successivement l'échantillon en différents groupes hiérarchiques en commençant avec la similarité naturelle la plus élevée, et diminue graduellement le niveau de similarité des groupes formés (Clarke et Warwick, 2001). L'ACP sert à caractériser les exploitations alors que la CAH permet de les regrouper selon les variables considérées (MBetid-Bessane et al., 2003).

Analyse par Echelle Multidimensionnelle non métrique (MDS)

Pour la formation des groupes finaux, la CAH a été combinée avec une autre méthode d'analyse multivariée, la procédure d'analyse MDS (Kruskal, 1964). Son but est de construire la carte ou la configuration de l'échantillon de classification dans une certaine dimension spécifique, laquelle essaye de satisfaire toutes les conditions imposées par la matrice de (dis) similarité. L'intrant nécessaire est la matrice de similarité comme produite par la CAH et les résultats incluent le graphique avec la configuration MDS sur deux ou trois dimensions. Dans ce contexte la configuration à deux dimensions a été adoptée. Un test de signification de l'analyse de différence entre les groupes d'exploitations a été effectué en faisant une analyse de similitude (ANOSIM) (Clarke et Warwick, 2001).

2.2.5 Méthode d'évaluation des trajectoires d'exploitation

Le concept «Indice de Changement des Exploitations (ICE)» est utilisé pour évaluer l'évolution des exploitations dans le temps, le «développement des exploitations». Cet indice permet d'estimer le changement de l'exploitation pendant une période donnée en considérant des variables de structure et de fonctionnement de l'exploitation. Les facteurs indiquant l'intensification agricole et d'orientation vers le marché sont considérés comme des variables positives, et des facteurs indiquant l'extensification agricole et l'orientation vers la subsistance comme des variables négatives. Ensuite, des scores ont été affectés aux variables (0 à 100) en commençant par l'année de base (1994) jusqu'à l'année de référence (2004). La valeur maximale d'une variable (parmi tous les groupes d'exploitations) obtient le score 100 et successivement les scores des autres variables ont été calculés comme pourcentage de cette valeur. L'indice est calculé à partir de l'équation:

$$ICE = \sum_{x=1}^n ((x_1 + x_2 \dots x_n) - (y_1 + y_2 \dots y_n)) / N$$

Où,

ICE: indice de changement de l'exploitation

x: variables positives (variables contribuant au développement de l'exploitation: valeurs élevées UBT, bœuf de labour, surface coton, équipement, autosuffisance alimentaire, surface maïs)

y: variables négatives (variables indiquant le non développement: valeurs élevées surface céréale et input de main d'œuvre par ha)

N: nombre total des variables.

2.2.6 Logiciels utilisés

Les logiciels SPSS et Excel ont permis de faire les analyses statistiques descriptives (moyenne, somme et écart-type) et les ACP. Le logiciel PRIMER-6 (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research, 2006) a été utilisé pour l'analyse en cluster et MDS, parce que PRIMER-6 offre la possibilité de superposer sur le même graphique les résultats de l'analyse en cluster et MDS, ce qui permet de suivre la dynamique des exploitations dans le temps.

2.3 Résultats et discussions

2.3.1 Sélection des variables pour la catégorisation des exploitations

Le résultat de l'ACP, la matrice de corrélation des 30 variables sur les 11 ans (Tableau 1) a permis de retenir des variables présentant les plus forts coefficients de corrélation ($\geq 0,6$) (Köbrich et al., 2003) pour la catégorisation des exploitations notamment: le

nombre d'UBT (Unité Bétail Tropicale), celui des actifs, des bœufs de labour, d'équipement, la surface emblavée en céréales et en coton. D'autres variables (bovins, population présente, attelage, ovins et caprins) ont été éliminées pour éviter les redondances (double usage). Les quantités d'urée utilisées sur le coton, la marge brute totale, la production des céréales et le revenu par personne ont été éliminés pour leur grande variabilité de saison en saison. Les autres variables ont été écartées à cause de leur faible coefficient de corrélation.

Le ratio surface cultivée/jachère a été calculé et ajouté aux variables, parce que cette variable donne plus d'information sur la pression agricole par rapport à la surface cultivée. Aussi le ratio actifs/surface cultivée a été ajouté pour avoir des renseignements sur l'investissement en main d'œuvre par ha cultivé et l'intensification du travail.

Finalement, 10 variables ont été retenues pour catégoriser les exploitations. Elles peuvent être subdivisées en variables structurelles (nombre d'UBT, nombre d'actifs, bœufs de labour, équipement agricole, surface du coton, des céréales et du maïs) et variables fonctionnelles (ratio actifs/surface de terre cultivée, ratio surface de terres cultivées/surface en jachère et autosuffisance alimentaire).

2.3.2 Catégorisation des exploitations

L'ACP avec les 10 variables pour l'ensemble de l'échantillon (n=352) indique que 78% de la variabilité des exploitations est expliquée par 4 composantes. La première composante constituée par le nombre d'actifs, les bœufs de labour, l'équipement agricole et le nombre d'UBT (Figure 1) explique 33% de la variabilité entre les exploitations. Cette dernière est nommée composante d'élevage, ses variables permettent de différencier les grandes et les petites exploitations. La deuxième composante représentée par la surface du coton et des céréales explique 20% de la variabilité entre les exploitations. Cette composante est appelée celle des cultures, car ses variables portent sur l'allocation des surfaces aux cultures et sur l'orientation de la production. La composante 3 constituée par l'autosuffisance alimentaire et le ratio actifs/surface cultivée explique 15%, et est appelée composante subsistance. La composante 4 formée par le ratio surface cultivée/jachère et la surface cultivée en maïs explique 10% de la variabilité. Cette dernière est nommée composante de disponibilité en terre.

Une assez forte corrélation négative (0,853) est observée entre la surface du coton (culture de rente) et celle des céréales (cultures vivrières) (Figure 1), indiquant l'existence de différents systèmes de production où certains producteurs sont focalisés sur la culture du cotonnier (orienté vers le marché) et d'autres sur les céréales (subsistance). La corrélation négative observée entre l'autosuffisance alimentaire et le ratio actifs/surface cultivée s'explique par la réduction des besoins en main d'œuvre

Tableau 1: Matrice de corrélation des variables au cours de la période 1994-2004

	Superficie totale (ha)	population totale (nombre)	production céréale totale (kg)	bovins de labour (nombre)	total caprins (nombre)	ovins et caprins (nombre)	marge agricole totale (F.cta)	rendement coton (kg/ha)	rendement maïs (kg/ha)	rendement mil (kg/ha)	surface du coton (ha)	surface du maïs (ha)	surface du mil (ha)	surface des céréales (ha)	surface des cultures par ha (F.cta)	revenu total par ha (F.cta)	coût total par ha (F.cta)	surface totale (ha)	urée consommée par personne (kg/personne)	production coton par actif (kg/personne)	fumure organique sur coton (kg/ha)								
nombre d'actifs	0,881																												
population totale présente	0,871	0,976																											
attelage	0,809	0,77	0,762																										
production totale de céréale	0,807	0,777	0,773	0,71																									
bovins	0,54	0,533	0,558	0,63	0,5																								
bovins de labour	0,809	0,757	0,752	0,974	0,7	0,628																							
total ovins et caprins	0,553	0,516	0,523	0,522	0,541	0,601	0,503																						
nombre d'UBT	0,62	0,603	0,625	0,712	0,557	0,981	0,707	0,662																					
équipement agricole	0,831	0,768	0,771	0,847	0,713	0,644	0,849	0,626	0,711																				
marge brute totale	0,8	0,74	0,731	0,773	0,776	0,557	0,77	0,496	0,623	0,777																			
rendement coton	0,371	0,316	0,315	0,449	0,347	0,32	0,494	0,178	0,356	0,536	0,579																		
rendement maïs	0,338	0,304	0,342	0,305	0,429	0,251	0,315	0,279	0,282	0,425	0,387	0,344																	
rendement sorgho	0,146	0,171	0,165	0,27	0,385	0,143	0,27	0,106	0,168	0,225	0,3	0,241	0,126																
rendement mil	0,203	0,226	0,259	0,294	0,336	0,237	0,226	0,228	0,254	0,247	0,235	0,108	0,229	0,133															
surface du coton	0,481	0,413	0,394	0,544	0,318	0,305	0,578	0,176	0,353	0,606	0,503	0,532	0,276	0,229	0,086														
surface du sorgho	-0,415	-0,406	-0,407	-0,427	-0,294	-0,161	-0,438	-0,129	-0,207	-0,445	-0,407	-0,238	-0,186	-0,057	-0,188	-0,51													
surface du maïs	0,187	0,184	0,2	0,188	0,234	0,088	0,199	0,137	0,111	0,203	0,188	0,16	0,419	0,03	0,148	0,143	-0,32												
surface du mil	0,025	0,077	0,088	-0,068	0,018	-0,094	-0,084	0,017	-0,089	-0,11	-0,055	-0,206	0,04	-0,142	0,186	-0,366	-0,363	0,088											
surface des céréales	-0,39	-0,3	-0,291	-0,481	-0,205	-0,273	-0,514	-0,135	-0,313	-0,549	-0,453	-0,47	-0,231	-0,234	-0,06	-0,852	0,477	-0,083	0,475										
dépense totale par ha	0,011	0,063	0,07	0,075	0,001	0,048	0,058	-0,03	0,05	0,062	-0,047	0,028	0,083	-0,006	0,068	0,103	0,108	0,06	-0,03	0,037									
revenu total par ha	0,223	0,238	0,227	0,391	0,343	0,29	0,385	0,162	0,314	0,407	0,672	0,571	0,28	0,356	0,149	0,397	-0,23	0,092	-0,308	-0,492	0,02								
revenu par personne	0,059	-0,147	-0,205	0,161	0,118	0,086	0,17	-0,004	0,094	0,202	0,38	0,401	0,065	0,251	-0,053	0,325	-0,146	-0,072	-0,322	-0,425	-0,268	0,638							
urée sur maïs	0,35	0,343	0,361	0,402	0,342	0,356	0,377	0,235	0,379	0,431	0,333	0,203	0,325	0,045	0,194	0,219	-0,194	0,347	0,017	-0,176	0,392	0,227							
urée sur coton	0,651	0,625	0,623	0,595	0,481	0,421	0,574	0,299	0,469	0,613	0,502	0,276	0,231	0,102	0,154	0,408	-0,214	0,082	-0,07	-0,303	0,553	0,209							
superficie totale par actif	-0,12	-0,485	-0,469	-0,143	-0,181	-0,165	-0,126	-0,17	-0,17	-0,104	-0,152	0,032	-0,091	-0,06	-0,115	0,066	0,128	-0,116	-0,147	-0,094	-0,062	-0,07							
production consommée par personne	-0,081	-0,285	-0,334	-0,145	-0,184	-0,063	-0,064	-0,07	-0,067	-0,018	0,041	0,055	0,005	0,276	0,072	-0,016	0,112	-0,086	-0,133	0,047	-0,083	0,193							
fumure organique sur coton	0,465	0,4	0,415	0,404	0,282	0,316	0,405	0,209	0,35	0,44	0,414	0,29	0,224	0,087	0,139	0,325	-0,183	0,108	-0,058	-0,294	0,373								
superficie jachère	-0,087	0,062	0,059	-0,06	0,008	-0,1	-0,056	-0,193	-0,112	-0,091	-0,174	-0,084	-0,19	-0,011	0,03	-0,076	0,048	-0,088	-0,03	0,168	0,19								
auto-suffisance alimentaire	0,082	-0,114	-0,138	0,107	0,329	0,057	0,112	0,098	0,071	0,119	0,133	0,134	0,184	0,239	0,165	0,047	0,032	0,057	-0,051	0,011	0,068								
																						0,11	0,313	0,113	0,003	0,423	0,554	0,023	-0,059

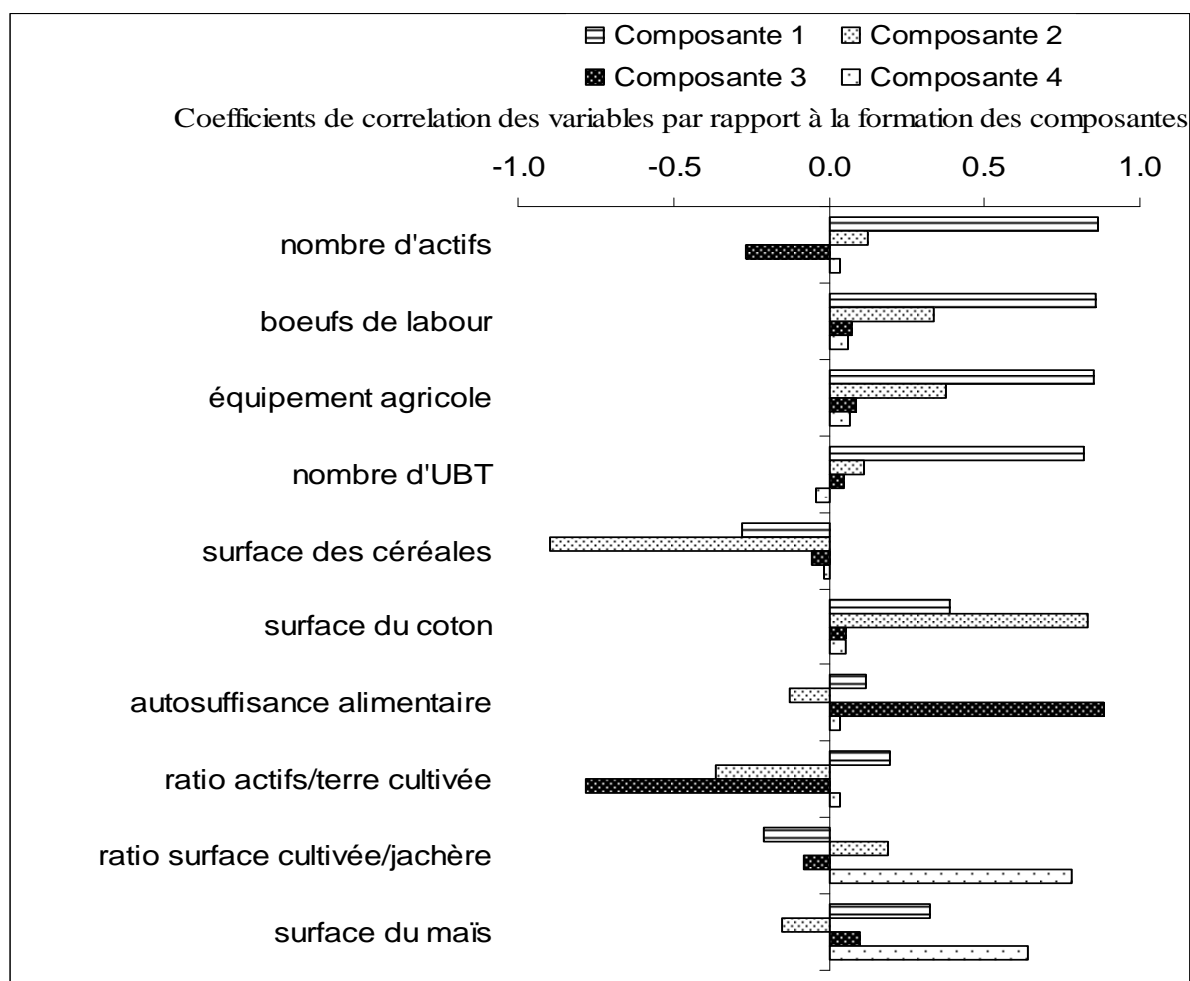


Figure 1: Modèle présenté en quatre composantes principales et les coefficients de corrélation des variables.

par ha cultivé grâce à la traction animale (nombre d'attelage), ce que l'on peut considérer comme une tendance d'intensification agricole.

2.3.3 Formation des groupes et analyse de la dynamique des exploitations

Analyse en cluster

La catégorisation des exploitations consiste à constituer des groupes relativement homogènes sur la base des variables utilisées dans le modèle. En réalité, il s'agit d'une classification hiérarchique ascendante des exploitations agricoles de l'échantillon en fonction des variables retenues dans l'ACP. Sur la base de ces variables, une catégorisation des exploitations a été faite pour chaque année de 1994 à 2004. L'analyse a permis de constituer 4 groupes d'exploitations dont la description des classes formées en 1994 et en 2004 est présentée (Tableau 2).

Tableau 2: Facteurs de structures et de fonctionnement des classes d'exploitations

Années	Classes	nombre bœufs de équipement		nombre d'actifs	ratio actifs/ terre cultivée (actif ha ⁻¹)	ratio surface cultivée/jachère	surface du		surface des		autosuffisance alimentaire (oui/non)	
		d'UBT (nombre)	labour (nombre)				coton (%)	maïs (%)	céréales (%)	autres (%)		
1994	1: grands agro-éleveurs	Moyenne (n=3)	34,6	4,3	7,0	13,8	5,6	39,2	6,6	51,2	oui	
		Std. Déviation	4,6	0,6	1,0	4,1	11,4	17,8	0,6			
	2: agro-éleveurs moyens	Moyenne (n=23)	10,1	3,3	4,6	8,7	2,3	29,5	5,0	62,5	oui	
		Std. Déviation	4,9	1,2	1,0	4,8	8,7	7,1	3,8	0,2		
	3: petits agro-éleveurs	Moyenne (n=3)	2,0	1,7	2,0	3,5	1,5	22,9	0,0	72,2	oui	
		Std. Déviation	0,9	0,6	0,0	1,0	1,1	4,5	0,0	4,3	0	
	4: petits cultivateurs	Moyenne (n=3)	0,9	0,0	0,0	2,2	1,4	6,8	6,4	92,4	non	
		Std. Déviation	0,2	0,0	0,0	0,3	2,1	11,8	11,0	11,2	0,0	
Valeur P		<0,001	<0,001	<0,001	0,061	0,891	<0,001	0,271	<0,001	<0,001	<0,001	
Signification		S	S	S	NS	NS	S	NS	S	S	S	
2004 (Typologie actualisée)	1: grands agro-éleveurs	Moyenne (n=4)	56,9	8,0	8,3	20,8	9,14	41,3	12,6	53,7	oui	
		Std. Déviation	16,7	2,8	1,7	5,7	14,1	7,9	2,4	8,7	0,5	
	2: agro-éleveurs moyens	Moyenne (n=22)	14,9	3,8	5,3	11,3	3,6	38,1	9,1	55,9	oui	
		Std. Déviation	8,1	1,3	1,6	4,9	23,15	9,4	4,6	9,2	0,5	
	3: petits agro-éleveurs	Moyenne (n=3)	4,4	1,3	2,3	4,0	2,4	36,4	5,6	59,5	oui	
		Std. Déviation	1,8	1,2	2,5	0,9	0,3	12,0	4,9	8,3	0	
	4: petits cultivateurs	Moyenne (n=3)	1,1	0,0	1,0	2,8	1,0	0,0	0,0	84,2	non	
		Std. Déviation	0,2	0,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	27,3	0	
	Valeur P		<0,001	<0,001	<0,001	<0,05	0,95	<0,001	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
	Signification		S	S	S	S	NS	S	S	S	S	S

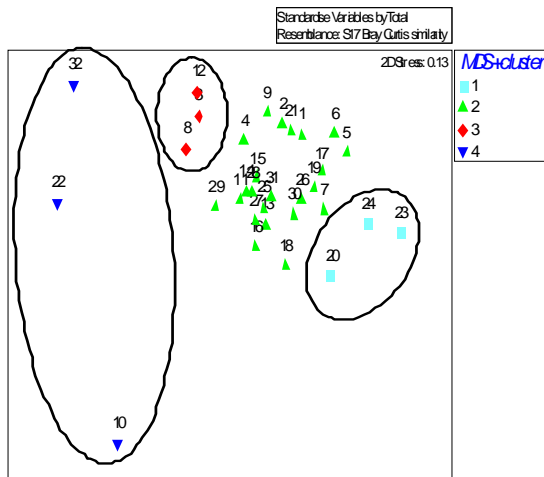
Description de la diversité des classes d'exploitations en 1994

Le nombre d'UBT constitué principalement de bovins, ovins et caprins était de 35 pour les grands agro-éleveurs (classe 1) contre 0,9 pour les petits cultivateurs (classe 4) (Tableau 2, $P < 0,001$). Les grands agro-éleveurs possèdent de grands troupeaux et sont aussi les mieux dotés en bœufs de labour (en moyenne 4) et en équipement agricole, ce qui les permet de faire plusieurs opérations culturales en même temps et d'intensifier le système de production par utilisation d'attelage et d'intrants. Par contre, les petits cultivateurs pratiquent un système de culture extensif dû au manque d'équipement agricole. Selon M'Biandoun et Olina Bassala (2007) la culture attelée permet d'augmenter la productivité du travail humain. L'intégration cultures-élevage est plus avancée dans les grandes exploitations plus riches que les petites grâce à la culture du coton et l'élevage bovin. Elle se traduit par l'utilisation de la fumure organique, de l'attelage pour les cultures et des résidus de récoltes pour l'alimentation du bétail. L'élevage est la clé pour concentrer les éléments nutritifs dans le système et assurer le transfert de la fertilité entre les différentes composantes du système agricole (Giller et al., 2006a; Rufino et al., 2006; De Ridder et al., 2004).

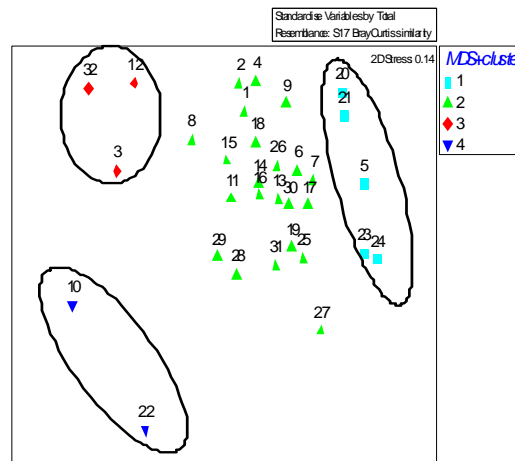
La possession d'un nombre d'actifs importants au sein de l'exploitation est capitale pour l'exécution des travaux agricoles. Les grands agro-éleveurs (classe 1) possédaient en moyenne 14 actifs contre 9 pour les agro-éleveurs moyens (classe 2). Tandis que, les petits agro-éleveurs et petits cultivateurs (classes 3 et 4) possédaient respectivement 4 et 2 actifs. Le faible nombre d'actifs des petits cultivateurs peut s'expliquer par le départ en exode des jeunes. Djouara et al. (2006) rapportent que l'effectif des membres d'une exploitation a progressé à un rythme moyen de 3 personnes par an (entre 1994 et 2003). Cependant, les petites exploitations n'ont pas progressé suite au départ de jeunes en exode et du départ d'un ménage migrant vers le sud. La surface cultivée des exploitations est d'abord liée au nombre d'actifs de l'exploitation (Guibert et al., 2002 cité par M'Biandoun et Olina Bassala, 2007). Selon Dufumier (2005), la surface emblavée par actif varie d'environ d'un ha pour les exploitations en agriculture manuelle à 1,5 ha dans celles qui disposent de la presque totalité des équipements. Les grands agro-éleveurs ont enregistré un faible ratio actifs/surface cultivée (0,8) par rapport aux petits cultivateurs (1,3). Le ratio plus petit indique une réduction des besoins en main d'œuvre par ha cultivé due à la culture attelée ce qui peut être une tendance d'intensification du travail pour les grands agro-éleveurs. Le ratio surface cultivée/jachère donne des renseignements sur la disponibilité de terre au sein de l'exploitation. La plus grande valeur de ce ratio signifie une limitation de terre de jachère pour les grands agro-éleveurs (5,6) comparées aux petits cultivateurs 4 (1,4). Dans ce contexte les grands agro-éleveurs

pour pouvoir se maintenir sur les mêmes parcelles doivent continuer à intensifier leur système de production en augmentant l'apport d'intrants comme la fumure organique

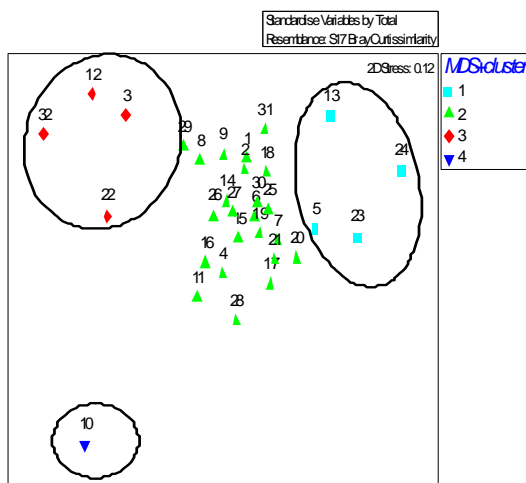
MDS plot of 1994



MDS plot of 1997



MDS plot of 2001



MDS plot of 2004

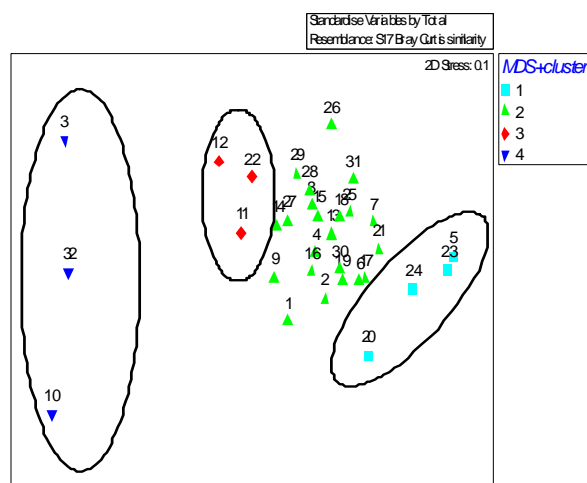


Figure 2: MDS plots de 1994, 1997, 2001 et 2004 indiquant le changement des exploitations dans le temps

et les engrais minéraux puisque la possibilité de mise en jachère est très faible.

Dans l'assolement des cultures, la proportion de coton a varié de 39% (grands agro-éleveurs) à 7% (petits cultivateurs) et la proportion des céréales de 92% (petits cultivateurs) à 51% (grands agro-éleveurs). L'importance du coton dans l'assolement des cultures des grands agro-éleveurs indique une tendance de spécialisation de ces exploitations pour cette culture et une orientation vers le marché. Le rapport des surfaces coton/céréale pour l'ensemble des classes est de 41%, ce qui concorde avec la

description de Dufumier (2005) qui rapporte que le rapport des surfaces coton/céréales reste relativement constant (de 40% à 50%) et d'importants excédents céréaliers sont dégagés mais, que la répartition des superficies par culture est assez variable d'une exploitation à l'autre. La proportion du maïs dans l'assolement oscillait entre 7 (grands agro-éleveurs) et 5% (petits cultivateurs). La majorité des exploitations était autosuffisante (grands agro-éleveurs, agro-éleveurs moyens et petits agro-éleveurs) en production alimentaire, seule les petits cultivateurs étaient non-autosuffisants en céréale.

Analyse de (dis) similarité avec la méthode multidimensionnelle

La dynamique des exploitations dans le temps (possible changement des exploitations d'une classe à une autre) est illustrée dans la Figure 2. Les exploitations sont groupées dans différents cercles basés sur le principe de (dis) similarité entre les exploitations exprimé en terme de distance Euclidienne. Les extrants en MDS sont mesurés par la valeur stress. Le stress est similaire au coefficient de corrélation, sauf qu'il mesure le mauvais ajustement plutôt que la qualité d'ajustement (Clarke et Warwick, 2001).

Quatre classes d'exploitation ont été établies et chaque exploitation peut être identifiée à partir de son numéro (Figure 2). Pour évaluer la différence entre les groupes formés, nous avons fait une Analyse de Similitude (ANOSIM), l'hypothèse de différence entre les groupes.

Analyse de (dis) similarité avec la méthode ANOSIM

Des informations sur les groupes d'exploitation combinés par paire avec les R statistiques qui permettent de les évaluer. Les différences entre les groupes d'exploitation formés de 1994 à 2004 sont évaluées à l'aide de R statistique (Tableau 3).

Les R statistiques indiquent le niveau de (dis) similarité entre les groupes:

- a) $R=1$ seulement si toutes les exploitations de l'échantillon dans le groupe sont similaires les unes aux autres et dis similaire par rapport à n'importe quelle autre exploitation de l'échantillon de groupe différent (exemple groupes 3 et 1 ou 4 et 1);
- b) R est sensiblement égal à zéro si la similarité entre et dans les groupes est en moyenne la même;
- c) R sera habituellement entre 0 et 1, indiquant un certain degré de discrimination entre les groupes d'exploitation (plus R est élevé plus les groupes sont différents (dis similaires)).

Les résultats de l'analyse de similarité (ANOSIM) confirment ceux trouvés par l'analyse MDS (Figure 2) où la (dis) similarité est exprimée en terme de distance Euclidienne. Ces résultats démontrent la robustesse des groupes formés.

Tableau 3: Résultats de l'analyse ANOSIM (valeurs de R) de 1994 à 2004

Couples de Groupes	R statistiques										
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
2; 3	0,523	0,435	0,741	0,908	0,914	0,983	0,875	0,956	0,969	0,984	0,620
2; 4	0,995	0,991	0,986	0,986	0,969	0,999	0,987	0,999	1	1	1
2; 1	0,536	0,504	0,474	0,588	0,529	0,671	0,602	0,75	0,504	0,709	0,743
3; 4	0,556	0,926	1	0,5	1	0,583	0,833	1	0,667	0,5	0,889
3; 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,823	1
4; 1	1	1	1	0,982	1	1	1	1	1	0,99	1

Encadré 1: Evolution de quelques exploitations individuelles

Entre 1994 et 1997, l'exploitation 32 a évolué de la classe 4 à 3 grâce à l'augmentation de la surface du coton (de 20 à 34%) et du nombre d'UBT. Exploitation 8 a progressé de la classe 3 à 2 grâce à l'augmentation du nombre d'UBT, du nombre d'actifs et de la surface du coton. L'acquisition de bœuf de labour a permis à l'exploitation 5 d'évoluer à la première classe, par contre l'évolution du nombre d'UBT (48-57) et la surface du coton ont favorisé la progression de l'exploitation 21 à la classe 1.

Durant la période 1997-2001, l'exploitation 22 a progressé de la classe 4 à 3, cette performance est expliquée par l'introduction de la culture du maïs dans le système de production (0-5%). L'effet cumulatif de plusieurs facteurs, i.e. l'équipement agricole (5-6), le nombre d'actifs (5-7) et la surface du coton (41-49%) ont favorisé la progression de l'exploitation 13. La régression de l'exploitation 20 de la classe 1 à 2 est expliquée par la diminution de la surface du coton (39-34%).

De 2001 à 2004, l'exploitation 3 a connu une diminution du nombre d'actifs (3 à 2) et a perdu son bœuf de labour, cela a entraîné sa régression dans la classe 4. La régression de l'exploitation 11 est due à l'abandon de la culture du maïs (14% en 2001 à 0% en 2004). Pour l'exploitation 13 sa contre performance s'explique par la diminution de la surface du coton. L'exploitation 20 a connu une progression grâce à l'augmentation du nombre d'UBT (de 64 à 81).

Une progression des exploitations en fonction de la part du coton dans l'assolement est constatée (Encadré 1), due au revenu généré par cette culture, nécessaire pour l'amélioration des conditions de vie des exploitants. Les groupes d'exploitations

différent d'après le nombre d'UBT, déterminant leur progression et accès à la traction animale et à la fumure organique. En général, les exploitations changent dans le temps cela en fonction de la possession des ressources. Ce qui signifie aussi une évolution des systèmes de production.

2.3.4 Evaluation du «développement» des exploitations

L'indice de changement des différentes classes d'exploitation au cours de la période 1994-2004 est présenté dans la Figure 3. L'indice de changement des exploitations est déterminé pour évaluer le niveau de dotation en ressources dans le temps, indiquant le «développement des exploitations». Au cours de la période 1994-2004, l'indice moyen de changement des groupes d'exploitation était 45 (grands agro-éleveurs), 30,4 (agro-éleveurs moyens), 3,8 (petits agro-éleveurs) et -1,5 (petits cultivateurs). Les grands agro-éleveurs ont enregistré le plus grand indice de changement, ce qui signifie qu'ils ont plus augmenté de capital d'exploitation au cours des 11 années en comparaison des autres classes. Par contre, l'indice moyen de changement des petits cultivateurs est négatif indiquant un appauvrissement progressif de ces exploitations.

En effet, les grandes exploitations (grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens) grâce à la culture du coton ont obtenu des revenus plus importants, qu'elles ont investi dans l'équipement agricole et dans le cheptel, ce qui a permis une intensification du système de production à travers l'utilisation de la culture attelée et de la fumure organique. La capitalisation des revenus du coton dans l'élevage (bovin) a aussi favorisé une relative spécialisation dans cette activité (production laitière, embouche bovine) et une transformation progressive du système d'élevage de transhumance vers un système semi intensif (stabulation, pâture restreinte et complémentation). Mais, il convient de signaler aussi que la capitalisation des revenus du coton dans l'équipement a favorisé l'extension des surfaces cultivées au dépend des pâturages et l'augmentation du cheptel, provoquant un surpâturage des parcours et une dégradation progressive de l'environnement.

La trajectoire de l'indice d'évolution des petites exploitations (petits cultivateurs) (Figure 3a) indique une tendance de départ de cette classe c'est-à-dire l'abandon de l'agriculture pour d'autres secteurs de production (exemple conducteur de pousse-pousse en ville, chargeur de camion, etc.). Mais, on assiste aussi à l'apparition de nouvelles petites exploitations suite à l'éclatement des grandes. Selon Dufumier (2005), les «grandes familles» sont celles dans lesquelles les revenus par actif (ou par personne) sont fréquemment les plus élevés à l'inverse, les familles moins nombreuses sont souvent les moins fortunées. La méthode d'analyse semble être efficace pour l'évaluation quantitative de l'évolution des exploitations (développement) et pour

déterminer les tendances évolutives et les facteurs qui ont permis cela (nombre d'UBT, la surface du coton, du maïs et le nombre des actifs, l'équipement agricole).

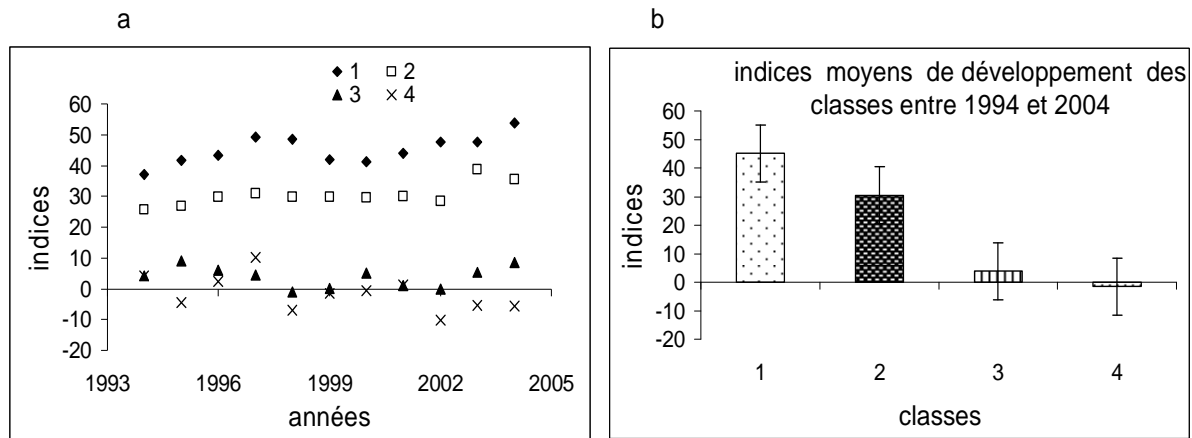


Figure 3: Evolution de l'indice de changement des exploitations au cours de la période 1994-2004 (a) et indice moyen de changement des exploitations au cours des 11 années (b)

2.3.5 Typologie actualisée en 2004

A partir des données de 2004 (n=32), quatre classes d'exploitations ont été établies dont la première classe est constituée de 13% des exploitations, elle est la mieux dotée en facteurs de production (Tableau 2), la deuxième classe représente la majorité des exploitations (69%), la troisième et la quatrième classes démunies en facteurs de production regroupent chacune 9%. Le nombre d'UBT est significativement différent d'une classe à une autre ($P < 0,001$). Les exploitations agricoles de la classe 1 (grands agro-éleveurs) se distinguent avec un total de 57 UBT contre 1 pour la classe 4 (petits cultivateurs). L'augmentation du nombre d'UBT (de 34 à 57) pour les grands agro-éleveurs peut être attribuée aux revenus générés par la culture du coton. Le nombre d'actifs a varié entre 21 (grands agro-éleveurs) et 3 (petits cultivateurs). Dans l'assolement des cultures, la surface du coton a fluctué de 41% (grands agro-éleveurs) à 0% (petits cultivateurs). Soit une progression de 2% entre 1994 et 2004 pour les grands agro-éleveurs contre une réduction (7%) pour les petits cultivateurs. La proportion des céréales oscille entre 84 (petits cultivateurs) et 54% (grands agro-éleveurs).

2.4 Conclusions

Sur la base des paramètres de structure et de fonctionnement des exploitations agricoles, la typologie CMDT actualisée en 2004 se compose de 4 classes. Les grands agro-éleveurs (13%) et agro-éleveurs moyens (69%) sont caractérisés par un système de production mixte (cultures élevage), avec beaucoup de coton (orienté vers le marché), par contre les petits agro-éleveurs et cultivateurs (18%) pratiquent un système de production basé sur les céréales (orientation: subsistance). Le nombre d'UBT est significativement différent d'une classe à une autre ($P < 0,001$). La main d'œuvre familiale oscille entre 21 (grands agro-éleveurs) et 3 (petits cultivateurs). Dans l'assolement des cultures, la proportion de coton varie de 41% (grands agro-éleveurs) à 0% (petits cultivateurs). Toutes les classes sont confrontées au manque de jachère dans leur système de production. L'analyse des exploitations individuelles montre que les systèmes de production sont hétérogènes et évolutifs. L'indice de changement des exploitations dans la zone de Koutiala indique une tendance d'intensification et de développement des grandes exploitations (grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens), contre une tendance de régression pour les petites exploitations (petits agro-éleveurs et petits cultivateurs).

Une meilleure intégration cultures-élevage (cultures fourragères, gestion des résidus de récolte et du fumier) peut être une opportunité pour les grands agro-éleveurs d'améliorer la productivité et diversifier les sources de revenus à travers la vente des produits de l'élevage (lait, viande) dans un contexte où le prix du coton (principale culture de rente) connaît des baisses sur le marché mondial. Une autre alternative pour ces exploitations peut être la spécialisation dans la production fruitière, mais l'enjeu est de répondre aux normes de qualité des produits et la bonne organisation par exemple en coopérative pour faciliter l'écoulement des productions aux marchés intérieurs et extérieurs. Les grands agro-éleveurs, grâce à leur dotation en capital de production peuvent se spécialiser dans la culture du coton, lorsque son prix d'achat aux producteurs devient intéressant.

Les agro-éleveurs moyens (classe 2) peuvent aller vers la diversification des activités de production en continuant avec la culture du coton malgré les difficultés actuelles de la filière. En effet, les paysans ne cultivent pas le cotonnier seulement à cause des revenus qu'il procure, mais aussi pour l'obtention de crédits d'intrants nécessaire pour le maintien de la fertilité des sols. Ainsi, une meilleure organisation des agro-éleveurs, leur formation et la création de fond de mutuelle au niveau des Coopératives de Producteurs de Coton (CPC) seraient indispensables pour éviter la mauvaise gestion des crédits et de faire face aux enjeux de la libéralisation de la filière coton. Parmi, les exploitations, celles possédant de vaches laitières peuvent aussi s'engager dans la

production laitière. L'élevage de petits ruminants et le maraîchage de contre-saison sont aussi des alternatives pour améliorer les conditions de vie.

Par contre, la culture du maïs et le maraîchage de contre-saison peuvent être des options pour les petites exploitations (petits agro-éleveurs et petits cultivateurs) qui leur permettent de satisfaire les besoins alimentaires, d'améliorer les revenus de la famille et de se maintenir dans le secteur agricole. Pour assurer leur survie, ces exploitations pratiquent généralement la vente de leur force de travail à d'autres exploitations (saliariat agricole) et la migration (de courte durée ou définitive par abandon de l'agriculture au profit de la vie en ville). Il semble nécessaire de favoriser leur accès aux équipements agricoles (charrue, charrette, bœufs de labour etc.) à travers des crédits d'équipements. L'élevage de petits ruminants, de la volaille et la culture de l'arachide peuvent aussi contribuer à l'amélioration des conditions de vie de ces exploitations.

Evaluation participative des rations techniques de supplémentation des vaches laitières en milieu paysan à Koutiala au Mali

Ce chapitre est publié dans la Revue Canadienne d'Etudes du Développement (RCED) comme:

Sanogo, O., De Ridder, N., Van Keulen, H., Vétois, Y., 2010. Evaluation participative des technologies de supplémentation des vaches laitières en milieu paysan au Mali (Koutiala). *Revue canadienne d'études du développement* 31, n°1-2(2010): 91-106

Résumé

L'étude a pour objectifs d'évaluer l'effet des légumineuses fourragères et du tourteau de coton sur la productivité des vaches laitières en saison sèche et d'identifier en collaboration avec les paysans, les contraintes et opportunités d'une large adoption des cultures fourragères. L'étude a porté sur 67 vaches Méré réparties en trois traitements: Témoin (32), Supplémenté (24) et Stabulation (11). La production moyenne de lait des vaches des traitements Stabulation, Supplémenté et Témoin était respectivement 1,5; 0,85 et 0,44 litres jour⁻¹. Les grandes exploitations semblent favorables à la production de fourrages et à la supplémentation des vaches.

Mots clés: légumes fourragères, aliments concentrés, lait trait, stabulation.

3 Evaluation participative des rations techniques de supplémentation des vaches laitières en milieu paysan à Koutiala au Mali

3.1 Introduction

En Afrique sub-Saharienne et particulièrement au Mali, le secteur de l'élevage occupe une place importante dans l'économie. Cependant, le sous-secteur laitier est loin de couvrir les besoins nationaux et ainsi, les importations de produits laitiers du Mali ont coûté près de 12 millions d'euros en 2003 (Pomeranz, 2006). Au Mali, la demande de produits laitiers est en forte hausse aboutissant à la création de mini-laiteries dans les centres urbains comme Bamako, Sikasso et Koutiala.

La production de l'élevage dans la plupart des pays tropicaux est entravée par la faible quantité et qualité des fourrages durant la longue saison sèche (Bartholomew et al., 2003). Ce manque de nourriture reste une des principales contraintes pour l'augmentation de la production de la viande et du lait (Reddy et al., 2003). Les cultures fourragères dont leur intégration aux systèmes de culture devrait permettre de réduire le déficit en fourrages de qualité, n'ont pratiquement été adoptées nulle part par les paysans en Afrique occidentale (Landais et Lhoste, 1990). Les petites exploitations Africaines sont hétérogènes en termes de dotation en capital d'exploitation, d'orientation de la production et d'objectifs. Elles diffèrent aussi par l'ethnie des exploitants, leur expérience antérieure et les stratégies de gestion (Crowley et Carter, 2000; Tiftonell, 2007). Cette diversité des exploitations doit être prise en considération dans l'élaboration des nouvelles techniques pour faciliter leur adoption. Il est donc particulièrement important de recueillir la perception que les paysans ont des nouvelles techniques; en particulier des cultures fourragères légumineuses (Thornton et al., 2003).

La participation des exploitants aux tests conduits en milieu réel est considérée comme un aspect clé de l'approche de diffusion des nouvelles techniques (Lenné et al., 2003). Des expérimentations participatives constituent un outil important pour l'implication des paysans et des équipes de recherche interdisciplinaire dans un processus d'apprentissage en commun qui puisse à terme stimuler l'adoption (Farrington, 1988; Chambers et al., 1989; Ashby, 1990; Peters et Lascano, 2003). Un autre bénéfice de la démarche est que les paysans ne fournissent pas seulement des informations, mais participent activement à l'analyse des résultats, contribuant à un apprentissage et une amélioration de la compréhension des participants (Defoer et al., 1998).

La culture des légumineuses fourragères et l'utilisation du tourteau de coton pour la supplémentation des vaches laitières représentent une technologie qui convient parfaitement à cette idée de recherche interdisciplinaire où les paysans sont au centre

de la recherche pour comprendre les modifications importantes du système de production et les facteurs d'adoption de ces techniques. Les objectifs de cette étude sont (i) Identifier, en collaboration avec les paysans, les contraintes et les opportunités pour l'adoption des cultures fourragères pour faire face au déficit de fourrages en saison sèche; (ii) Evaluer, en milieu paysan, l'effet de la supplémentation avec des légumineuses fourragères et du tourteau de coton sur la productivité des vaches laitières en saison sèche.

3.2 Matériel et méthodes

3.2.1 Caractéristiques du site de l'étude

L'étude a été exécutée dans les villages de Try (12° 16' N et 5° 23'O) et N'Goukan (12° 21' N et 5° 19'O) situés à environs 20 km de Koutiala, au Mali. Les deux villages sont situés dans la zone semi-aride (nord soudanien) et reçoivent en moyenne 800 mm de pluie par an (Juin-Octobre). Les principales caractéristiques des deux villages sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1: Principales caractéristiques biophysiques et socio-économiques des villages de N'Goukan et Try

Caractéristiques	Villages	
	Try	N'Goukan
Surface totale du terroir villageois (ha)	3.887	793
Terre cultivée (%)	39	68
Surface des pâturages (ha)	2.000	90
Habitants (nombre)	2.251	847
Exploitations agricoles (nombre)	126	45
Densité de la population (personne km ⁻²)	58	107
Taille moyenne d'une famille (personne)	18	19
Surface moyenne cultivée par exploitation (ha)	12	12
Ratio surface pâturage/UBT (ha UBT ⁻¹)	2	0,1
Ratio surface cultivée/UBT (ha UBT ⁻¹)	1,3	0,8
Bovins (nombre)	1.124	726
Bœufs (nombre)	567	204
Vaches (nombre)	557	522
Ovins et caprins (nombre)	1.737	516
Anes (nombre)	111	40
Volailles (nombre)	4.681	1.715

3.2.2 Choix des exploitations et caractéristiques

Une catégorisation des exploitations de la zone d'étude en 4 classes a été faite sur la base des caractéristiques de structure et de fonctionnement (Sanogo et al., 2010a, Tableau 2). Les exploitations des classes 1 (grands agro-éleveurs) et 2 (agro-éleveurs

moyens) possédant beaucoup de bétail semblent les groupes cibles pour la production des fourrages et la supplémentation des vaches laitières. Au début du test de supplémentation, une première visite a été faite dans les villages pour i) l'inventaire de toutes les vaches en lactation et en fin de gestation, ii) déterminer le disponible fourrager au niveau de chaque paysan. A travers une deuxième visite et après discussion avec les paysans, 10 exploitations ont été retenues en utilisant les critères suivants:

- Paysan volontaire/motivé
- Avoir au moins 2 vaches laitières
- Avoir du fourrage de niébé ou de stylosanthes

Selon la classification établie, 3 exploitants appartenaient aux grands agro-éleveurs (classe 1) et 7 aux agro-éleveurs moyens (classe 2). Les petits agro-éleveurs et petits cultivateurs (classes 3 et 4) n'ont pas participé au test de supplémentation due au manque de vaches.

3.2.3 Dispositif expérimental: Nombre et caractéristiques des vaches et traitements

Nombre et caractéristiques des vaches de l'échantillon

La race animale utilisée dans l'expérimentation était le Méré (croisement entre Zébu Peulh et N'Dama), de degré de métissage variable. L'expérimentation s'est déroulée en 2006 et 2007. En 2006, le nombre des vaches de l'expérimentation était 27 dont 15 à N'Goukan et 12 à Try, par contre en 2007 on avait 40 vaches, 22 à N'Goukan et 18 à Try. Les caractéristiques des animaux impliqués dans l'expérimentation étaient variables en termes d'âges, de poids, nombre de lactations et âges des veaux (Tableau 3). L'expérimentation a commencé les 3 et 4 mars en 2006 et les 7 et 8 mars en 2007, respectivement à N'Goukan et Try. La durée de l'expérimentation a varié entre trois mois et demi (Try) et trois mois (N'Goukan) due au départ des animaux en transhumance. Les mensurations étaient faites à intervalles de 15 jours.

Traitements et quantités d'aliments distribués

Les types de compléments utilisés étaient le niébé fourrager, le stylosanthes, les résidus de récoltes et le tourteau de coton (Tableau 4). Ces fourrages ont été choisis pour leur disponibilité dans la région et les possibilités pour les paysans de produire du niébé fourrager et du stylosanthes.

Les animaux de l'expérimentation étaient repartis en trois lots (Traitements):

Tableau 2: Caractéristiques des quatre types d'exploitations actualisés en 2004 (Sanogo et al., 2010).

Classes (Typologie actualisée, 2004)	nombre d'UBT (nombre)	boeufs de labour (nombre)	équipement agricole (nombre)	nombre d'actifs (nombre)	ratio actifs/ terre cultivée (actif ha-1)	ratio surface cultivée/achère -	surface du coton (%)	surface du maïs (%)	surface des céréales (%)	autosuffisance alimentaire (oui/non)
1: Grands agro-éleveurs	Moyenne 56,9 N 4	8,0 4	8,3 4	20,8 4	1,0 4	9,14 4	41,3 4	12,6 4	53,7 4	oui 4
2: Agro-éleveurs moyens	Std. Déviation 16,7 Moyenne 14,9 N 22	2,8 3,8 22	1,7 5,3 22	5,7 11,3 22	0,1 0,9 22	14,1 3,6 22	7,9 38,1 22	2,4 9,1 22	8,7 55,9 22	0,5 oui 22
3: Petits agro-éleveurs	Std. Déviation 8,1 Moyenne 4,4 N 3	1,3 1,3 3	1,6 2,3 3	4,9 4,0 3	0,3 0,6 3	23,15 2,4 3	9,4 36,4 3	4,6 5,6 3	9,2 59,5 3	0,5 oui 3
4: Petits cultivateurs	Std. Déviation 1,8 Moyenne 1,1 N 3	1,2 0,0 3	2,5 1,0 3	0,9 2,8 3	0,2 1,7 3	0,3 1,0 3	12,0 0,0 3	4,9 0,0 3	8,3 84,2 3	0 non 3
	Std. Déviation 0,2	0,0	0,0	1,4	1,5	0,3	0,0	0,0	27,3	0
Valeur P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05	0,95	<0,001	<0,05	<0,05	<0,05
Signification	S	S	S	S	S	NS	S	S	S	S

Tableau 3: Caractéristiques des animaux des échantillons de N'Goukan et Try en 2006 et 2007.

Village	Année	Traitements	Age vache (ans)		Nombre de lactation		Age veau (mois)	
			Moyenne	Gamme de variation	Moyenne	Gamme de variation	Moyenne	Gamme de variation
N'Goukan	2006	Tm (n=7)	8,5	6-14	2	1-6	4,5	1-10
		Su (n=5)	9	7-12	2,8	2-4	4,4	3-6
		St (n=3)	8	7-9	3	2-4	3	1-6
Try		Tm (n=6)	7,8	6-10	2,3	2-3	5,8	2-11
		Su (n=4)	6,7	5-8	1,7	1-3	4,7	1-9
		St (n=2)	8,5	7-10	2,5	2-3	4,5	2-7
N'Goukan	2007	Tm (n=10)	9,7	7-15	3,5	2-6	4,7	1-11
		Su (n=8)	8	4-13	3	1-7	1,6	1-4
		St (n=3)	7,6	6-10	3	1-5	4,3	1-11
Try		Tm (n=8)	8,6	5-12	2	1-5	6	1-16
		Su (n=7)	7,4	5-11	2,4	1-5	7,7	4-10
		St (n=3)	8,6	7-11	3	2-4	3	2-4

Tm=Témoin ; Su=Supplémenté ; St=Stabulation

- Témoin (Tm): stratégies paysannes, ses stratégies variaient selon les paysans (pâturage, utilisation de résidus et son de céréale ou graines de coton);
- Supplémenté (Su): pâturage, supplémentation avec 2 kg de fanes de niébé/stylosanthes ou de résidus de céréales, le tourteau de coton (2 kg);
- Stabulation (St): 3 kg de fanes de niébé ou de stylosanthes, le tourteau de coton (2 kg) et 3 kg de résidus de céréales ou d'herbes fauchées dans les pâturages.

Au début de l'expérimentation, tous les animaux ont reçu un traitement préventif contre la trypanosomiase animale (Berenil à la dose de 12,5 ml par UBT) et un déparasitage interne (l'ivermectine 1% à la dose de 5 ml par UBT).

Les vaches affectées aux traitements Supplémenté et Stabulation ont été choisies par les paysans sans l'intervention des chercheurs; par contre, les quantités de suppléments distribuées à chaque animal ont été décidées par l'équipe de recherche.

3.2.4 Recherche participative et apprentissage

Rencontres individuelles

Chaque paysan impliqué dans le test a été interviewé sur l'historique de la constitution de son troupeau bovin (structure), sur les objectifs de son élevage et la stratégie de renouvellement de son troupeau.

Rencontres de groupes

Pour stimuler les discussions entre les paysans impliqués dans l'expérimentation et les autres paysans du village, deux rencontres ont été organisées: une première rencontre à mi-temps du programme de recherche et une deuxième à la fin de l'expérimentation.

Tableau 4: Types et quantités d'aliments distribués et stratégies paysannes d'alimentation des vaches à N'Goukan et Try.

	Code du Paysan	Témoin	Supplémenté	Stabulation
N'Goukan	F1	1 kg tourteau de coton	2 kg tourteau de coton 2 kg fane niébé	2 kg tourteau de coton, 3 kg niébé 2 kg Stylosanthes ou 3 kg de résidus de cultures
	F2	1 kg tourteau de coton 1 kg graines de coton	2 kg tourteau de coton 2 kg fane niébé ou Stylosanthes	
	F3	1-3 kg graines de coton	2 kg tourteau de coton et 2 kg fane niébé	
	F4	2 kg résidus de cultures	2 kg tourteau de coton 2 kg fane niébé ou résidus de cultures	
	F5	2 kg résidus de cultures		2 kg tourteau de coton, 3 kg niébé 3-5 kg de résidus de cultures ou de feuilles d'arbres
Try	F6	1 kg son de céréale** et 1 kg poudre néré*	2 kg tourteau de coton, 2 kg fane niébé, 1 kg poudre néré* et son céréales**	2 kg tourteau de coton, 3 kg niébé, 3 kg résidus de cultures, 1 kg de son de céréale**
	F7	2 kg résidus de cultures** 1 kg poudre néré*	2 kg tourteau de coton 2 kg résidus de cultures	
	F8	2 kg résidus de cultures	2 kg tourteau de coton 2 kg de résidus de cultures	
	F9	2 kg graines de coton 1 kg poudre néré* et son de céréale**		2 kg tourteau de coton, 3 kg niébé, 3-6 kg de résidus de cultures ou de feuilles, 0,5 kg de son** et poudre néré*
	F10	1 kg son de céréale 1,5 kg herbes*** 2 kg graines coton	2 kg tourteau de coton 1 kg son de céréale** 1,5 kg herbe*** et poudre néré*	

* La poudre de néré est obtenue à partir des fruits d'un arbre appelé néré (*Parkia biglobosa*).

Après la récolte des fruits, on enlève les écorces ensuite on pile les fruits décortiqués pour produire la poudre de néré.

** Son de céréales obtenus après pilage des grains de céréales.

*** Herbe notamment la paille de *Loudetia togoensis* et *Pennisetum pedicellatum* collectée dans les pâturages.

Rencontre à mi- temps de l'essai

Cette rencontre avait pour but de comprendre la perception paysanne sur les objectifs de l'essai et de recueillir les observations des exploitants sur les différents traitements.

Rencontre à la fin de l'essai

La deuxième rencontre avait pour but de présenter les résultats préliminaires sous différentes formes (chiffres, symboles, graphiques), de façon interprétable pour des paysans illettrés, de stimuler des discussions entre paysans impliqués dans le test et les autres paysans du village, et entre paysans et l'équipe de recherche. La première partie était consacrée à la présentation des résultats, suivi des commentaires et questions des paysans. Après la présentation, des discussions ont porté sur les techniques de cultures fourragères dans le but de faire ressortir les limites et les difficultés rencontrées lors de la mise en œuvre de ces techniques, et le partage des expériences sur l'utilisation des cultures fourragères. L'objectif était aussi de recueillir la perception paysanne sur les fourrages légumineux et l'étendue des terres disponibles pour leur culture, et finalement les raisons et facteurs qui conduisent à leur adoption ou à la non adoption par les agro-éleveurs.

3.2.5 Evaluation de la productivité des vaches laitières

L'évaluation de la productivité des vaches laitières a porté sur:

- Evolution du poids vif des vaches en lactation;
- Evolution du poids des veaux;
- Production de lait;
- Production de fumier.

Mensuration et évaluation du poids des vaches et des veaux

Le poids vif des vaches a été estimé en mesurant le tour de poitrine (mensuration) et en utilisant la relation de conversion du tour de poitrine en poids vif, développé par l'ESPGRN pour la race Méré (DRSPR, 1988):

$$Y = ax^n$$

Y: poids vif de l'animal en kg

a: constante de proportionnalité qui est égale à 0,0005

n: constante exposante qui est égale à 2,6437

x: mensuration en cm

Le poids des veaux a été déterminé par une balance à échelle pour ceux ayant un poids inférieur à 70 kg. Pour les veaux plus gros, la méthode d'évaluation du poids était identique à celle utilisée pour les vaches. Les mensurations et pesés étaient faites le même jour, le matin, avant le départ des animaux aux pâturages. Les veaux étaient pesés avant allaitement.

Production de lait

Pour faire la traite de lait d'une vache Méré, le veau doit d'abord stimuler la descente de lait en tétant sa mère, ensuite le berger sépare le veau pour faire la traite manuellement. Le berger peut laisser à nouveau le veau téter sa mère pour stimuler de nouveau la descente du lait pour achever la traite. La quantité de lait trait par le berger était mesurée.

Tableau 5: Structure des troupeaux par paysan dans les deux villages

Village	Code du Paysan	Boeufs						Effectifs troupeaux	
		Vaches	Génisses	de labour	Taurillons	Géniteurs	Veaux		Velles
N'Goukan	F1	20	10	8	14	3	4	6	65
	F2	12	15	10	9	2	5	4	57
	F3	6	1	5	2		1	1	16
	F4	2	1	2	2		2	1	10
	F5	6	5	4	1	1	3	3	23
	F6	8	4	4	4		2	1	23
	F7	6	3	8	2	1	2	2	24
	F8	9	2	2	2		5	4	24
	F9	6	3	4	3		5	1	22
	Try	F10	3		2			2	1

Production de fumier

Dans le parc:

Pour évaluer l'effet des traitements sur la production de fumier, il a été demandé à chaque paysan de séparer les animaux d'expérimentation du reste du troupeau, de façon à collecter la quantité de fumier produite par vache durant le parcage nocturne. Les vaches en stabulation étaient également séparées du reste du troupeau. Les paysans ont collecté le fumier produit chaque jour et l'on mis de côté pour éviter qu'il ne se perde par piétement. En fin de semaine le fumier collecté était pesé.

Au pâturage:

Pour quantifier la quantité de fumier excrété sur les pâturages, un suivi de quatre animaux (deux Témoins et deux Supplémentés) sur les parcours a été fait afin de collecter le fumier excrété. Après séchage au soleil, le fumier a été pesé pour connaître

la quantité de la matière sèche excrétée par jour. La production de matière sèche par jour a été multipliée par la durée de l'expérimentation pour estimer la production totale des fèces sur les pâturages par vache. Finalement, la quantité totale de fumier produite par animal a été obtenue en faisant le cumul des fèces excrétées durant la nuit et celles produites sur les parcours.

3.2.6 Analyse des résultats

Les données collectées (poids des vaches, croissance des veaux, la production de lait et du fumier) ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) en utilisant le modèle mixte linéaire du logiciel statistique Genstat.

Le bénéfice net marginal et le ratio valeur cout (RVC) ont été calculés. Le RCV est calculé comme :

$$RVC=Q/D$$

Ou,

Q: valeur additionnelle production (lait, fumier...) de la nouvelle technologie c'est-à-dire valeur production paquet technique – valeur production Témoin;

D: charge due à la nouvelle technologie (charge paquet technique – charge Témoin).

3.3 Résultats

3.3.1 Système d'élevage

Structure des troupeaux

A N'Goukan, la taille des troupeaux bovins des paysans impliqués dans l'expérimentation varie de 10 à 65 têtes contre 8 à 24 à Try (Tableau 5). En moyenne, les vaches représentent 29% du troupeau, les génisses 16%, les bœufs de labour 18%, les taurillons 14% et les veaux 20%. Les grands troupeaux ont généralement des géniteurs et possèdent un effectif important de bœufs de labour.

Conduite des troupeaux

La surface des pâturages utilisée pour la conduite des animaux à N'Goukan représente 11% de la surface totale du terroir (Tableau 1). Cette surface de pâturage ne produit pas suffisamment de fourrages pour couvrir les besoins de tous les animaux du village. Pour faire face à ce problème, les paysans envoient la majorité des troupeaux en transhumance durant la saison des pluies (vers mai). Les animaux retournent au village à la fin de l'hivernage, juste après les récoltes (novembre-décembre).

A Try, les troupeaux passent l'hivernage dans le village, ils sont conduits par des bergers sur les terres de parcours communautaires et des jachères pour exploiter les

ressources fourragères. Les animaux peuvent être conduits dans les pâturages communautaires des villages voisins et inversement.

Dans les deux villages en saison sèche, la vaine pâture des résidus de récolte commence juste après les récoltes et se poursuit jusqu'à la fin de la saison. Durant cette période les animaux sont conduits à la fois dans les champs pour la vaine pâture des résidus et sur les pâturages et sont abreuvés 2 fois par jour aux puits dans les villages.

Objectifs de l'élevage

La traction animale est le premier objectif de l'élevage pour la majorité des paysans (8/10) (Tableau 6). Un exploitant considère l'épargne comme le premier rôle des animaux, et la moitié des paysans ont cité l'épargne en 4^e position. Aussi à travers ce rôle, l'élevage est considéré comme une assurance pour les paysans en cas de besoins d'argent. Une seule personne considère la production laitière comme le premier objectif, et trois personnes ont cité la production de lait en 2^e position.

Tableau 6: Les objectifs de l'élevage par paysan

Code du Paysan	Traction	Lait	Fumier	Besoins financiers (épargne)
F1	+	++	+++	++++
F2	+	++	++++	+++
F3	+		+++	++
F4	+		+++	++
F5	++		+++	+
F6	+	++	+++	++++
F7	+	+++	++	++++
F8	+	+++	++	++++
F9	+	+++	++++	++
F10	+++	+	++++	++

+ cité en 1^e position ; ++ cité en 2^e position ; +++ cité en 3^e position ; ++++ cité en 4^e position

3.3.2 Opinions des producteurs sur les traitements au cours et à la fin de l'expérimentation

Rencontre de groupe dans les villages

Opinions des paysans sur l'essai

Les paysans expliquent les changements qu'ils ont observé par la différence entre le Témoin et les traitements. En effet, le test et en particulier la stabulation était utile pas seulement pour les paysans impliqués dans l'expérimentation, mais aussi pour d'autres

dans le village, puisque certains pariaient voir les animaux en stabulation et ont beaucoup apprécié leur état physique, la production de lait et du fumier. Le test était très utile pour les paysans en termes d'amélioration de leur compétence pour la gestion des animaux.

Opinions des paysans sur la productivité des vaches

En fonction de l'expérience des paysans, les observations sont plus ou moins profondes (Encadré 1). Certains paysans observent juste la différence dans la production de lait, par contre d'autres observent en plus la différence de changement de poids et de production du fumier. Aussi, il y a des paysans qui font des observations plus poussées par rapport au taux de reproduction entre les vaches supplémentées et celles non supplémentées. Les paysans ont la capacité d'apprécier l'effet de la supplémentation sur les vaches à court (l'évolution du poids de la vache, la croissance du veau, la production de lait et du fumier) et long terme (taux de reproduction). Ils observent la productivité des bovins de la même manière que les chercheurs le font.

Encadré 1: Réactions des paysans sur la productivité des animaux

- *ma vache supplémentée est grosse et donne beaucoup de lait et du fumier par rapport au traitement Témoin.*
- *la vache supplémentée donne beaucoup de lait, du fumier et un veau chaque année.*
- *ce que j'ai vu les animaux supplémentés donnent beaucoup de lait, plus de fumier et leur corps était lisse.*
- *il y a une différence entre la stabulation et le Témoin, la vache Témoin est très maigre par contre celle en stabulation a un bon embonpoint.*
- *ma vache supplémentée donne entre 1 et 1,5 l par jour et celle du Témoin donne 0,25 et 0,75 l par jour.*
- *la vache en stabulation donne beaucoup de lait et du fumier, et a plus de chance d'être en gestation que le Témoin*
- *les veaux sont plus gros et plus robustes*

Restitution des résultats préliminaires aux paysans

Au cours de la présentation des résultats préliminaires de l'effet des fourrages légumineux et du tourteau de coton sur la productivité des vaches, des appréciations souvent contradictoires ont été enregistrées. Les paysans possédant des vaches en stabulation reconnaissent l'effet des fourrages légumineux sur la performance des vaches. Selon certains paysans, le gain de poids observé est dû surtout à l'effet du niébé et pas dû au tourteau de coton et/ou aux résidus. Ces paysans considèrent le niébé fourrager comme un fourrage de bonne qualité.

Selon d'autres paysans, le tourteau est aussi bon pour les animaux, cependant pour mettre l'animal dans de bonnes conditions physiques, il est nécessaire d'utiliser en plus du niébé fourrager. Selon un paysan *«l'année prochaine si je récolte beaucoup de fanes de niébé, je vais les vendre pour payer du tourteau»* (F8). Après l'expression de cette idée des discussions ont eu lieu entre paysans sur l'importance du niébé comparé au tourteau de coton.

Aussi la conduite des animaux dans les pâturages a fait l'objet d'échanges et de discussions. L'objectif était de comprendre les raisons des longues journées de pâturage des animaux. La réponse a été la suivante: *«Il n'y a pas suffisamment d'eau et d'herbes pour les animaux, ainsi pour les permettre d'avoir quelque chose, il faut rester le plus longtemps possible sur les pâturages»*. Cependant, durant les longues journées de pâturage (en moyenne 10 h/jour), la faible quantité de fourrage ingérée dans la plupart des cas ne compense pas l'énergie dépensée.

Contraintes pour l'adoption des technologies

Lors des interviews, des contraintes par rapport à l'utilisation des cultures fourragères ont été signalées. Pour le niébé fourrager, la première difficulté concerne la période de récolte des fourrages qui coïncide avec celle du coton. Par conséquent, le niébé est récolté tardivement, cela affecte la quantité et la qualité des fourrages (pertes de feuilles avant la récolte). La deuxième difficulté concerne les attaques de maladies et d'insectes.

Pour le stylosanthes, les paysans pensent qu'il est difficile d'acquérir les semences. D'autres problèmes concernent la destruction des parcelles par les feux de brousse, les animaux du village et la clôture de la parcelle (coûts des grillages).

3.3.3 Evolution du poids des vaches et des veaux

Le cumul de changement de poids des vaches observé était significativement différent entre les traitements ($p < 0,001$). Les vaches en Stabulation ont enregistré un cumul de gain de poids moyen de 3 kg contre des pertes pour les traitements Supplémenté (14 kg) et Témoin (25 kg) (Tableau 7). En moyenne, le cumul du gain de poids des veaux a varié entre 6 (Témoin) et 17 kg (Stabulation), durant la durée de l'expérimentation. La production moyenne de lait trait par le berger (Tableau 7) a varié de 152 litres (Stabulation), 85 litres (Supplémenté) et 44 litres (Témoin), ceux-ci correspondent à des productions journalières de 1,5; 0,85 et 0,44 litres, respectivement. Les productions moyennes de fumier ont été de 131 (Témoin), 159 (Supplémenté) et 248 kg (Stabulation). Pour les traitements Témoin et Supplémenté, les productions moyennes de fumier estimées sur les pâturages représentent respectivement 61 et 64%.

Tableau 7: Poids des vaches et des veaux au démarrage de l'expérimentation et le cumul de changement de poids durant le test dans les villages de N'Goukan et Try en 2006 et 2007

		Traitements		
		Témoin (n=31)	Supplémenté (n=24)	Stabulation (n=11)
Vaches	Poids début expérimentation (kg)	224	227	216
	Gamme de variation du poids (kg)	194-273	179-286	190-230
	¹ Cumul moyen de changement de poids (kg)	-25	-14	3
Veaux	Poids début expérimentation (kg)	56	51	42
	Gamme de variation du poids (kg)	22-156	16-84,5	16-80,5
	² Cumul moyen de changement de poids (kg)	6	10	17
Lait	³ Cumul moyen (litres)	44	85	152
Fumier	⁴ Production moyenne (kg)	131	159	248

¹SE = 4,59; P valeur < 0,001

²SE = 2,14; P valeur < 0,001

³SE = 10,95; P valeur < 0,001

⁴SE = 11,39; P valeur < 0,001

3.3.4 Analyse économique

Les exploitations pratiquant la stabulation en saison sèche enregistrent un bénéfice important par rapport à celles qui utilisent les pâturages. Le bénéfice net a varié de 18.110 FCFA (1 euro = 656 FCFA) (Stabulation), 2.119 FCFA (Supplémenté) et 8.061 FCFA (Témoin) (Tableau 8). Le prix des aliments a une grande influence sur le revenu des producteurs, puisqu'il représente 60 à 90% des charges totales de la supplémentation des vaches. Le lait contribue à hauteur 69% à la formation des bénéfices de l'activité de supplémentation des vaches laitières en saison sèche.

3.4 Discussion et conclusion

La demande croissante en lait dans les centres urbains (marchés) est une réelle opportunité pour les paysans de diversifier leurs revenus. Cependant, le déficit des fourrages durant la saison sèche chaude constitue une contrainte majeure pour satisfaire cette demande et pour développer l'élevage laitier. Pour faire face à ce problème, nous avons proposé l'utilisation de cultures fourragères et/ou des sous-produits agricoles et agro-industriels.

L'analyse du secteur animal des deux villages d'étude a révélé que la traction animale est le premier objectif de l'élevage pour 80% des exploitations. La production de lait est citée en 2^e position par 40% des exploitations. La production du fumier est le 3^e objectif de l'élevage pour 50% des exploitants et l'épargne occupe la 4^e position.

Tableau 8: Calcul des marges brutes de la supplémentation des vaches laitières selon les traitements (FCFA vache⁻¹, 1 euro = 656 FCFA)

Rubriques	Témoin	Supplémenté	Stabulation
<i>Charges par vahe</i>			
Aliments	3.250	20.000	22.500
Soins sanitaires	1.250	1.250	1.250
Main d'œuvre	824	824	2.400
Charges totales	5.324	22.074	26.150
<i>Produits bruts par vache</i>			
Lait	8.800	17.000	30.400
Fumier	985	1.193	1.860
Gains poids de la vache	-	-	1.800
Gains poids du veau	3.600	6.000	10.200
Total des produits	13.385	24.193	44.260
<i>Benefice net marginal</i>	8.061	2.119	18.110
<i>RVC (Ratio Valeur Coûts)</i>		0,6	2,0

Aliments

1 kg fane niébé: 25-50 FCFA

1 kg Aliment Bétail Huicoma: 75 FCFA

Les résidus de récolte ont été considérés gratuits

Soins sanitaires

Trypanocides (Bérénil jaune) 12,5 ml pour un UBT: 750 FCFA

Déparasitant interne (ivermectine 1%) 5 ml pour un UBT: 250 FCFA

Prestation du vétérinaire par bovin: 250 FCFA

Main d'œuvre et l'amortissement des matériels sont estimés à 2400 FCFA

pour la stabulation et 824 FCFA pour la Supplémentation et le Témoin

Prix du fumier est estimé à partir de sa teneur en éléments nutritifs(12,1 g N kg⁻¹, 2 g P kg⁻¹ et 15,5 g K kg⁻¹ de fumier (Kanté, 2001)) et le prix de l'engrais notamment le complexe céréale sur le marché (12000 FCFA par sac de 50 kg), soit 3, 0,5 et 4 FCFA kg⁻¹ respectivement pour N, P, et K, correspondant à 7,5 F CFA kg⁻¹ de fumier.

L'élevage joue aussi un rôle socio-culturel très important à travers les sacrifices traditionnels et les fêtes religieuses. Cette hiérarchie des objectifs de l'élevage est presque similaire à celle observée dans les exploitations mixtes en Ethiopie (Assefa, 2005) et est typique des systèmes agraires où l'élevage est au service de l'agriculture. Cependant, la vocation laitière devient de plus en plus importante à cause de l'augmentation de la demande qui se manifeste par la fondation de mini-laiteries dans les centres urbains tels que celui de Koutiala auquel les villages de N'Goukan et Try sont affiliés pour la fourniture quotidienne du lait (Rietveld, 2009).

Les vaches supplémentées en stabulation ont montré une meilleure performance (maintenance du poids, croissance du veau et production de lait) que celles sur les pâturages (Témoin et Supplémenté), grâce à la meilleure qualité de la ration et la réduction des pertes d'énergie à travers la stabulation. Les pertes de poids observées

pour les vaches des traitements Témoin et Supplémenté sont attribuées à la pauvreté des pâturages et aux longues journées de pâturage en moyenne 10 h par jour (Vétois, 2007), conduisant à de forte dépense d'énergie ($13,2 \text{ MJ j}^{-1}$) pour la marche et les activités de pâturage, soit une augmentation des besoins d'entretien de 42% (Lambourne et al., 1983). Si la quantité d'énergie et de protéine offerte par la ration (fourrages) ne peut pas couvrir les besoins de la vache, elle commence à perdre du poids du fait de la mobilisation d'énergie et de protéines pour la production de lait. Les pertes de poids peuvent compenser le déficit de fourrages jusqu'à un certain niveau, cependant lorsque la durée du déficit de fourrages se prolonge, la vache perd beaucoup de poids et sa production de lait devient très faible.

La production de lait a varié entre $1,5 \text{ litre j}^{-1}$ (Stabulation) et $0,4 \text{ litre j}^{-1}$ (Témoin). Ceux-ci sont proches des résultats observés par Bonfoh et al. (2005), 1 à 2 litres par vache⁻¹ j⁻¹ dans les systèmes d'élevage traditionnel au Mali, et sont similaire à des valeurs observées en Ethiopie, entre 1 et 1,5 kg dans les systèmes mixtes (Assefa, 2005). La production estimée sur la durée moyenne de lactation (11 mois) varie de 495 litres (Stabulation) à 132 litres (Témoin) et est influencée par plusieurs facteurs, notamment le potentiel génétique et l'âge de la vache, bien que le nombre de lactation détermine la production totale d'une vache pendant sa vie. La production de lait obtenue dans la présente étude est faible en comparaison avec le niveau au Kenya, où les systèmes d'élevage laitiers sont beaucoup plus intensifs (zéro pâturage). Dans ces systèmes d'élevage intensifs, la production de lait varie de 3,7 à 5,6 litres par jour, soit une production totale par lactation de 2.200 litres pour les *Bos taurus* et 1.700 pour les *Bos indicus* (Bebe, 2003). La faible production de lait de l'étude est certainement due aussi la courte durée de l'essai.

Une croissance rapide des veaux de vaches en stabulation est observée en comparaison avec ceux des traitements Supplémenté et Témoin. Cependant il faut souligner que la croissance des veaux dépend aussi de leurs âges, et de la fréquence et quantité de lait trait par le berger. Dans les élevages où le berger ne laisse pas beaucoup de temps aux veaux pour stimuler la descente du lait, cela peut affecter leur croissance. Les veaux âgés de moins de 3 mois sont capables de digérer seulement le lait, car leur rumen n'est pas encore bien développé et leur croissance dépend du lait de leur mère. Par contre, la croissance des veaux âgés plus de 3 mois dépend à la fois du lait et de l'herbes des pâturages, parce qu'ils sont capables d'ingérer des fourrages et ruminer.

La production de fumier était élevée dans la stabulation en comparaison avec les autres stratégies de gestion des animaux et est attribuée à l'alimentation des vaches à l'étable. Ce mode de gestion des animaux, favorisant l'accumulation de quantité importante de fumier, semble approprié pour l'intensification du système de production mixte cultures-élevage à travers le fumier nécessaire au maintien de la fertilité des sols.

Le bénéfice net marginal généré par vache en Stabulation (18.110 FCFA) était beaucoup plus élevé que celui des vaches des traitements Supplémenté (2.119 FCFA) et Témoin (8.061 FCFA), indiquant qu'une alimentation des vaches à l'étable avec des légumineuses et des concentrés peut être un investissement intéressant pour les paysans qui n'ont ni assurance ni accès aux grandes institutions financières pour l'obtention de prêts. Il semble aussi plus économique pour les paysans de faire *un saut de technologie* c'est-à-dire d'adopter directement le système de stabulation des animaux sans passer par la pratique du libre pâturage et supplémentation des vaches. Cependant, le revenu moyen par vache dépend du prix des suppléments et du lait. L'augmentation du prix du tourteau de coton de 7% (de 75 à 80 FCFA/kg), entrainera une réduction du revenu moyen de 11% (1.000 FCFA par vache). Les politiques agricoles doivent tenir compte de ces aspects pour permettre aux producteurs de mieux profiter de leurs investissements et d'améliorer les revenus des exploitations. Pour cela, l'état doit améliorer les infrastructures de communication (routes) pour faciliter l'accès aux marchés et aux sous-produits agro-industriels (tourteau de coton, graines de coton) à des prix acceptables pour les producteurs.

Il doit être souligné que dans cette étude la comparaison entre les traitements est complexe parce que les vaches impliquées dans l'expérimentation n'étaient pas au même stade de lactation. Le métabolisme des vaches en lactation change selon le stade de lactation, elles n'avaient pas le même potentiel pour l'utilisation des compléments de fourrages. Le choix des vaches pour les différents traitements a été fait par le paysan. Dans ce choix on se rend compte que la plupart des vaches du Témoin avait des veaux plus âgés, puisque le paysan veut avoir beaucoup de lait, donc il préfère que la supplémentation soit donnée à une vache en début de lactation. Aussi, la durée du test était un peu court (trois mois) ce qui ne permet pas d'apprécier correctement l'évolution pondérale des vaches et leur productivité.

A l'instar de certaines difficultés identifiées telles que l'attaque des insectes et maladies pour le niébé et l'obtention des semences de stylosanthes et la clôture de la parcelle, les grandes exploitations semblent favorables pour la production des fourrages et l'alimentation des vaches à l'étable (stabulation). Cela grâce à leur niveau de dotation en ressources et des objectifs de production. En saison sèche chaude, la stabulation plus une meilleure alimentation améliore la performance des vaches comparée à la pratique du libre pâturage (traitements Témoin et Supplémenté), et cette technologie peut être recommandée aux grands et moyens agro-éleveurs (classes 1 et 2) dans une perspective d'augmentation de la production laitière et des revenus des exploitations. Mais à condition que les conditions de marché de lait et de la viande soient rentables. Ainsi, le futur développement du secteur de l'élevage en zone Mali Sud nécessitera un changement des stratégies d'alimentation des animaux, du libre

pâturage et transhumance vers un système d'alimentation sur étable, avec des investissements dans les produits agro-industriels et dans la production de fourrages de bonnes qualités (ex. niébé fourrager, stylosanthes).

Adaptation du modèle LIVSIM pour la race locale Méré de la zone Mali Sud et simulation de la productivité sur un cycle de vie

Résumé

Au Mali en milieu paysan, il est difficile de faire des tests de supplémentation sur toute la durée du cycle de vie de la vache. Cependant, la connaissance de la productivité du cycle de vie des vaches en fonction des options d'alimentation pourrait aider les agro-éleveurs à prendre de bonnes décisions de gestion de leurs troupeaux bovins et de l'utilisation de ressources rares. L'étude vise à paramétrer, calibrer et tester le modèle de simulation LIVSIM pour la race locale du Mali Sud, le Méré, et d'évaluer sa productivité sur un cycle de vie. L'approche de modélisation dynamique a été choisie pour l'évaluation de la performance dans le long terme, puisque les expérimentations de supplémentation ne donnent que des informations sur une seule lactation (court terme). Le modèle LIVSIM (LIVestock SIMulator), outil dynamique de modélisation a été utilisé pour simuler la productivité sur un cycle de vie des vaches selon quatre options d'alimentation (option 1 = Témoin, option 2 = Supplémenté, option 3 = stabulation saisonnière et Supplémentation, et option 4 = stabulation permanente et Supplémentation). Les résultats montrent un cumul de production de lait sur un cycle de vie plus élevé pour l'option 4 (8.072 kg) comparé aux options 1 (3.355 kg) et 2 (5.031 kg). L'âge moyen au premier vêlage varie entre 5 ans (options 2, 3, 4) et 6 ans (option 1) et les intervalles de vêlage varient de 1,4 (option 4) à 1,6 ans (option 1). Ces résultats devraient encourager les agriculteurs à investir davantage d'efforts pour la production des fourrages et de maintenir les vaches laitières en stabulation, car ce système de gestion des animaux représente la clé de la réussite, non seulement en termes d'amélioration laitière et de reproduction des vaches, mais aussi pour l'intensification agricole à travers l'augmentation de la production de fumier. Mais, pour juger l'adoption des nouvelles technologies par les paysans, une évaluation économique au niveau exploitation est nécessaire.

Mots clés: modèle, cycle de vie, performance, reproduction.

4 Adaptation du modèle LIVSIM pour la race locale Méré de la zone Mali Sud et simulation de la productivité sur un cycle de vie.

4.1 Introduction

La productivité des vaches dépend de la quantité et qualité des fourrages disponibles, qui est fonction de la productivité des pâturages, de la quantité et qualité des espèces fourragères entre saisons et des possibilités d'acquérir des suppléments. La productivité des vaches, notamment la production de lait, le nombre de veaux et la production de fumier dépend de la race, de la disponibilité et qualité des fourrages (Schlecht et al., 1999), mais aussi de la gestion et des soins apportés aux animaux et leur habitat (Turner et al., 2005).

En Afrique Sub-saharienne, les bovins laitiers ont une vie productive d'environ 5-8 ans avec 3 à 5 lactations (Mukasa-Mugerwa, 1989). Au Mali Sud par exemple, l'âge au premier vêlage de la race locale Méré se situe entre 5 et 6 ans et l'intervalle moyenne entre les vêlages est d'environ 20 mois (Wagenaar et al., 1986; Bengaly et al., 1993). Aussi, la production moyenne de lait par jour est d'environ 1-2 litres et le cumul durant le cycle de vie varie de 990 à 1.980 litres (Bonfoh et al., 2005). Ces productions sont très faibles dues à diverses contraintes telles que la faible vocation laitière de la race Méré, l'alimentation insuffisante des animaux en saison sèche (déficit des fourrages) (Kebreab et al., 2005; Vétois, 2007) et des maladies. Donc, elles pourraient être améliorées à travers une meilleure alimentation des animaux, l'amélioration des soins sanitaires et/ou l'amélioration génétique des races locales dans une perspective de production laitière.

L'alimentation a un effet sur la performance de reproduction des vaches notamment l'âge au premier vêlage et le taux de vêlages, cependant ces rôles des aliments ne sont pas toujours compris par les paysans (Rufino et al., 2009). En effet, dans la plupart des systèmes d'élevage au Mali Sud, les animaux sont conduits dans les pâturages communautaires durant la saison des pluies, par contre, en saison sèche les sous-produits agricoles (pâturage des résidus de culture) et des suppléments agro-industriels (graines de coton, tourteaux de coton) constituent les sources principales d'alimentation. Des tests de supplémentation (Sanogo et al., 2010b) ont permis d'évaluer l'effet de différentes options d'alimentation sur la productivité des vaches locales Méré dans le court terme (une seule lactation). Mais leurs conséquences sur la productivité des vaches Méré durant leur cycle de vie (long terme) restent inconnues. La présente étude vise à combler ce manque de connaissance, en évaluant la productivité du cycle de vie des vaches à travers l'utilisation des modèles. Les modèles de simulation permettent d'intégrer diverses connaissances disciplinaires et de décisions des paysans (dans le cas présent les décisions par rapport aux options

d'alimentation des animaux) pour l'analyse des situations complexes. Le modèle LIVSIM (LIVestock SIMulator, Rufino et al., 2009) est un modèle dynamique, développé pour simuler la performance des vaches en fonction de leur potentiel génétique et de l'alimentation. Le modèle a été paramétré et utilisé pour différentes races, i.e. Friesian, Mashona et Africander (Rufino, 2008) dans certaines régions de l'Afrique, notamment au Kenya et au Zimbabwe.

Les objectifs de cette étude consistent à: (i) Paramétrer et calibrer le modèle LIVSIM pour la race locale Méré de la zone Mali Sud, (ii) Evaluer l'impact de différentes options d'alimentation des vaches sur leur productivité du cycle de vie en utilisant le modèle paramétré LIVSIM.

4.2 Méthodologie

4.2.1 Sites de l'étude

L'étude a porté sur les villages de Try (12° 16' N et 5° 23' O) et N'Goukan (12° 21' N et 5° 19' O) situés dans le vieux bassin cotonnier, Koutiala en zone Mali Sud. Le climat est de type nord soudanien avec une seule saison de pluie (800 mm en moyenne) qui s'étend de juin à octobre. Au cours de la période 1994-2007, la plus faible pluviométrie enregistrée était 611 mm et la plus forte 1216 mm. La température moyenne journalière varie entre 22 °C (période froide) et 35 °C (saison sèche chaude). Les sols sont en général pauvres et de types sableux, sablo-limoneux et gravillonnaires (Kanté, 2001). La végétation naturelle est celle de la savane arborée avec des espèces ligneuses comme *Adansonia digitata*, *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Butyrospermum parkii*, *Annona senegalensis*, *Prosopis africana*, *Daniellia olivera* et *Kaya senegalensis*. La couche herbacée était constituée essentiellement de graminées pérennes (*Andropogon gayanus*), mais aujourd'hui des graminées annuelles notamment *Loudetia togoensis* et *Pennisetum pedicellatum* dominant dans la zone (Bagayoko et al., 2005).

4.2.2 Description du système d'élevage

Le système de production agricole le plus répandu est le modèle mixte extensif (agro-sylvo-pastoral), focalisé autour de la culture du coton, principale culture de rente, en rotation avec des cultures vivrières (mil, maïs, sorgho) et des légumineuses (arachide et niébé), souvent en cultures mixtes. Les animaux élevés concernent essentiellement les bovins, ovins, caprins et la volaille. Les agro-pasteurs pratiquent généralement un système d'élevage sédentaire, cependant on rencontre également des pratiques de transhumance due à la taille du troupeau et à la disponibilité des ressources fourragères en saison sèche.

La race Méré constitue une population locale croisée commune au Mali, Burkina Faso et la Côte d'Ivoire. C'est un croisement entre Zébu Peulh (Fulani, *Bos indicus*) et N'Dama (Baoulé court, *Bos taurus*), avec un degré de métissage très variable (Felius, 1995; Porter et Mason, 2002).

Les troupeaux bovins, généralement constitués au fil du temps à partir du revenu du coton, sont de taille très variables, de 8 à 65 têtes (Sanogo et al., 2010b). Les objectifs d'élevage des agro-pasteurs sont dans l'ordre de priorité la traction, le lait, la production de fumier, et une fonction d'épargne, mobilisable en cas de besoins durant les périodes de grosses dépenses tels que mariage, achat d'équipement, sacrifice. L'alimentation des troupeaux repose essentiellement sur l'utilisation des pâturages et des résidus de culture, mais les bœufs de labour et les vaches laitières reçoivent des suppléments en saison sèche (Schlecht et al., 1999).

Conduite des troupeaux dans les pâturages

Les troupeaux sont conduits par des bergers sur les terres de parcours communautaires et les terrains laissés temporairement en friche pour bénéficier de ses ressources fourragères. Ils peuvent aussi être conduits dans les pâturages communautaires des villages voisins et inversement. Les agriculteurs qui possèdent des petits effectifs d'animaux peuvent les confier à des éleveurs Peuls ou d'autres agriculteurs possédant des troupeaux bovins importants, et considérés comme plus expérimentés dans le domaine d'élevage. Les animaux sont parqués la nuit dans des parcs construits à côté des concessions ou dans le champ.

Vaine pâture des résidus de culture et transhumance

La vaine pâture des résidus de culture commence après les récoltes (en novembre) et se poursuit jusqu'à la fin de la saison sèche (mai). Les deux premières semaines qui suivent la récolte, seuls les animaux du propriétaire du champ ont le droit d'accès aux résidus; passé ce délai, l'accès est libre à tous les animaux du village et des villages voisins. Après les récoltes, les animaux sont généralement conduits sur les parcelles pour la vaine pâture des résidus, mais lorsque ces derniers deviennent pauvres, ils peuvent être conduits sur les pâturages et/ou sur les résidus, cela en fonction de la volonté du berger. En saison sèche, les animaux sont abreuvés 2 fois par jour au niveau des puits dans le village.

La transhumance est généralement pratiquée durant la saison sèche par des éleveurs des zones déficitaires en ressources fourragères communes, à la recherche de meilleurs pâturages et des points d'eaux. Mais, suite à l'insuffisance de surfaces de pâturage dans certains villages (cas du village de N'Goukan), le berger peut aller avec les

animaux en transhumance au démarrage de la saison des pluies pour éviter les dégâts sur les cultures.

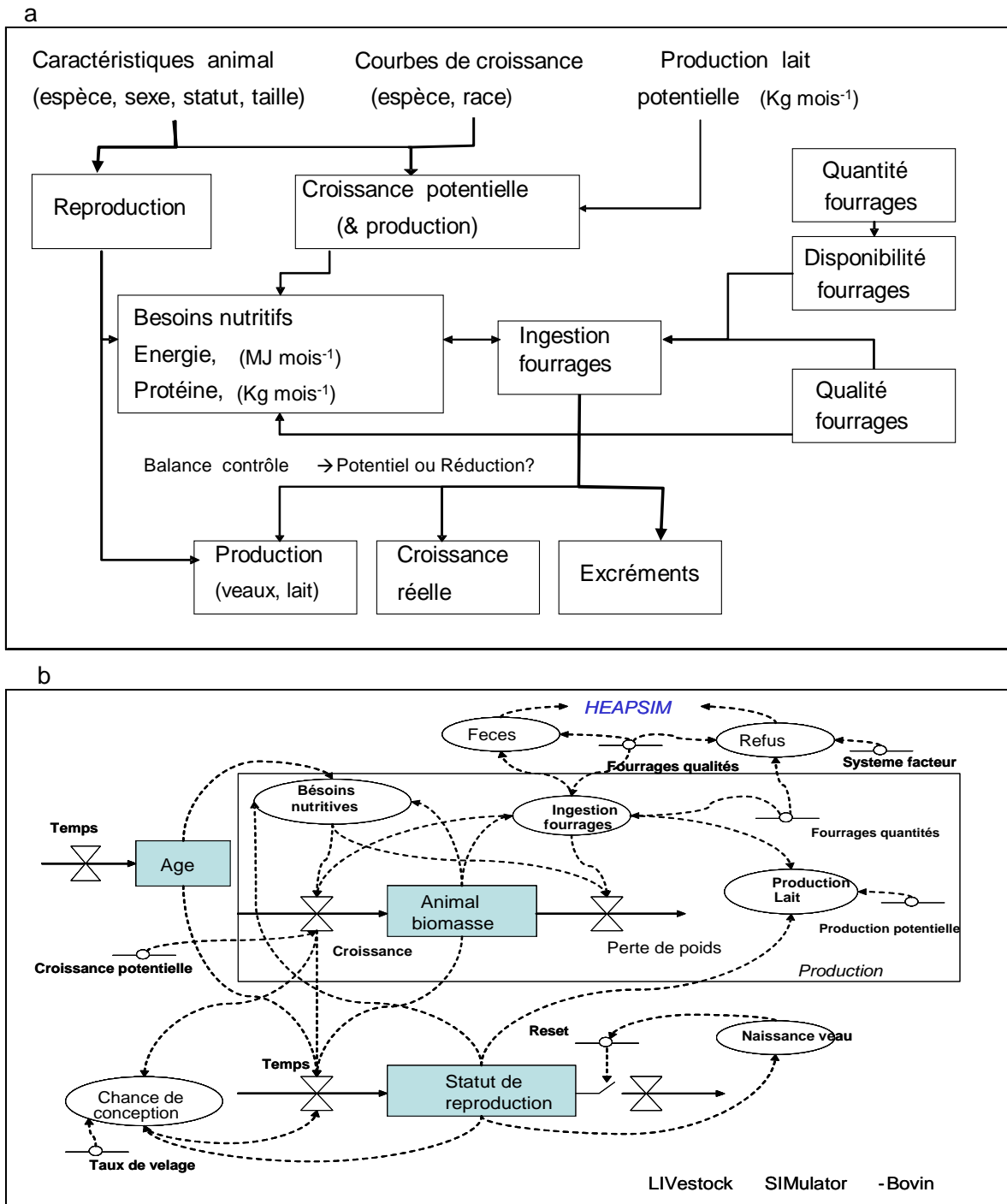


Figure 1: a) Schéma simplifié de LIVSIM-bovin,
 b) Diagramme relationnel de LIVSIM (Rufino, 2008)

Supplémentation des animaux

Les vaches en lactation reçoivent des suppléments en saison sèche constitués de résidus de culture, de son de céréale et la poudre de néré en cas de disponibilité (obtenue à partir des fruits de l'arbre *Parkia biglobosa*) pour la production de lait. Les bœufs de trait, à l'approche de la saison des pluies, reçoivent aussi des suppléments constitués de résidus de culture préalablement stockés, de la poudre de néré et des graines de coton, afin de disposer de l'énergie nécessaire pour les travaux champêtres. Ils sont généralement gardés dans les cours des concessions, mais à la fin de la période des gros travaux agricoles, ils rejoignent le reste du troupeau.

4.2.3 Description du modèle

Le modèle LIVSIM (LIVestock SIMulator) (Figure 1a) est un modèle de simulation de la production animale. Le programme est écrit en MATLAB v.7.1 (Anonymus, 2005) et utilise l'intervalle de temps mensuel comme «pas de temps», mais peut être ajusté pour fonctionner par semaine ou par jour. LIVSIM vise à simuler la performance des animaux en fonction de leur potentiel génétique et de l'alimentation. Le modèle a été développé pour évaluer l'impact d'allocation des ressources paysannes sur la productivité de l'animal. Dans le modèle, les principes de l'écologie de la production (Van de Ven et al., 2003) sont appliqués pour déterminer le niveau de production potentielle et limitée. Donc, pour utiliser LIVSIM dans une situation spécifique, il est indispensable d'introduire la croissance potentielle et la production potentielle de lait de la race utilisée. Le potentiel génétique est atteint si les besoins en ressources fourragères (quantité et qualité) et en eau sont satisfaits et sans incidence de maladies et de stress. L'insuffisance des ressources fourragères (quantité et/ou qualité) réduit la production et est définie comme facteur limitant.

Dans le modèle LIVSIM, le système animal est caractérisé par 4 variables états (Figure 1b): l'âge, le poids vif (biomasse de l'animal), le statut de reproduction, comprenant l'indice de gestation et l'indice de vêlage. L'indice de gestation est utilisé pour suivre la gestation et ses besoins nutritifs et pour déclencher le vêlage. Par contre, l'indice de vêlage permet de suivre la lactation et les besoins nutritifs durant cette phase.

Variables état du modèle*Poids vif*

Le poids vif de l'animal change en fonction de l'alimentation et du taux de croissance réelle. La croissance est calculée comme:

$$\text{Croissance réelle}_t = \min(\text{CMA}, \text{DifferenceMaxP}) \quad (\text{Equation 1})$$

Où la croissance réelle (*Croissancereelle*, kg par mois) est le minimum entre la différence de poids (*DifferenceMaxP*) et la croissance maximale (*CMA*) allouée par la digestibilité des fourrages. *DifferenceMaxP* est la différence entre le poids maximum à la fin de l'intervalle de calcul ($P_{max, t+j}$) et le poids en début de période (P_t):

$$Difference\ MaxP = P_{max, t+1} - P_t \quad (\text{Equation 2})$$

Ces valeurs de poids maximum sont calculées par interpolation de la courbe de croissance maximale de référence pour la race impliquée introduite dans le modèle (Figure 2a).

La croissance compensatrice, définie comme étant le gain de poids après une période de déficit alimentaire, est prise en compte par différents taux de croissance en relation avec l'énergie métabolisable des fourrages (Rufino, 2008). Dans l'application, le taux de croissance maximale est déterminé selon la qualité des fourrages (qm) de chaque ration (Tableau 1). Les calculs des pertes de poids sont basés sur la limite possible de perte de poids (selon la courbe de croissance minimale) en fonction de l'âge de l'animal. L'énergie et les protéines qui proviennent des pertes de poids sont prises en compte dans l'énergie métabolisable disponible et l'offre de protéine.

Tableau 1: Taux de gain de poids quotidien selon la qualité des fourrages (qm).

qm	Gain moyen quotidien de poids (kg j ⁻¹)	
	Femelles	Males
0,2	0,3	-
0,3	0,5	0,5
0,4	0,5	1,0
0,5	1,0	1,5
0,6	1,5	2,0
0,7	2,0	2,5

Source: Rufino (2008) modifié de Tolkamp et Ketelaars (1994)

Age de l'animal

L'âge est déterminé en additionnant à l'âge initial (entrée du système) l'intervalle de temps mensuel (pas de temps).

Reproduction

La prise en compte de la reproduction dans le modèle suit l'approche de Konandreas et Anderson (1982). Lorsque la génisse atteint l'âge de maturité, la probabilité de conception de la vache est calculée en fonction de l'âge et du poids. Une distinction est faite entre les génisses et les vaches. Les génisses doivent acquérir l'âge et le poids

nécessaire pour la conception. Le feedback nutrition-reproduction est décrit à travers l'effet de changement de poids sur le taux annuel de conception. Le taux annuel de vêlage dépend de l'âge de l'animal et est donnée d'entrée du modèle. La probabilité mensuelle de conception (*PbConception*) est dérivée du taux annuel de vêlage (*TauxAnnualVelage*):

$$PbConception = 1 - (1 - TauxAnnualVelage)^{1/12} \quad (\text{Equation 3})$$

De plus, cette probabilité est affectée par la gestion du troupeau avec la présence de géniteur ou d'insémination artificielle, la longueur de la période postpartum et l'indice de l'état d'embonpoint de l'animal. La période postpartum varie de 2 à 7 mois, avec un effet (*RFpostpartum*) égal à 0 pour une durée de 2 mois, et égal à 1 sur une durée de 7 mois. Les valeurs intermédiaires sont calculées par interpolation linéaire. Quand le géniteur ou l'insémination artificielle (*RFbull*) est présent, l'effet est égal à 1, autrement la valeur est 0. L'effet de la nutrition sur la reproduction a été considéré à travers l'indice de l'état d'embonpoint de l'animal (*ConditionIndex*) (Wagenaar et Kontrohr, 1986). En considérant tous ces facteurs, la probabilité mensuelle de conception (*PbConceptionmensuelle*) est finalement calculée comme:

$$PbConceptionmensuelle = PbConception \times RFpostpartum \times RFbull \times ConditionIndex \quad (\text{Equation 4})$$

La probabilité mensuelle de conception est comparée au nombre aléatoire défini, pour déterminer si la génisse et/ou la vache est pleine dans le mois. Le statut de reproduction de l'animal est suivi en utilisant 2 indices: l'indice de gestation qui assure le suivi de l'évolution de la gestation et l'indice de vêlage qui permet de suivre la lactation et indique la naissance des veaux. Les deux indices sont mis à zéro quand un veau est né. La durée de gestation est de 9 mois (Mukasa-Mugerwa, 1989; Bengaly et al., 1993). Le nouveau veau est supposé naître avec un poids initial défini (entrée du modèle) et avec un sexe affecté de façon aléatoire.

Production de lait

Le calcul de la production de lait commence avec la détermination de la production potentielle de lait à partir de la courbe de lactation empirique, introduite dans le modèle pour la race impliquée. La production réelle est simulée en utilisant des coefficients de réduction de la production en fonction de l'âge et de l'état d'embonpoint de la vache (Tableau 2):

$$ProductionLait = ProductionPotentielleLait \times EffetAge \times ConditionFacteur \quad (\text{Equation 5})$$

Où,

ProductionLait: Production de lait (kg mois⁻¹);

ProductionPotentielleLait: Production potentielle de lait calculée par interpolation à partir de la courbe de lactation introduite dans le modèle (kg mois⁻¹);

EffetAge: Effet de l'âge (-);

ConditionFacteur: Effet de l'état d'embonpoint de l'animal (-).

Tableau 2: Effet de l'âge et des conditions du corps sur la production de lait

Age (ans)	Effet de l'age sur la production de lait	
	Proportion de la production potentielle de lait	
2	0,8	
3	0,8	
5	1	
8	1	
>= 12	0,6	
Indice de condition	Effet de condition du corps sur la production relative de lait	
	Facteur de condition	
0	0	
0,3	1	
1	1	

Source: Konandreas et Anderson (1982)

L'indice de l'état d'embonpoint est calculé comme:

$$ConditionIndex = \frac{(P_t - P_{min})}{(P_{max,t} - P_{min})} \quad (\text{Equation 6})$$

Où,

P_t : Poids réel (kg);

P_{min} : Poids minimum (kg), calculé par interpolation à partir de la courbe de croissance minimale introduite dans le modèle pour la race impliquée (Figure 2);

$P_{max,t}$: Poids maximum (kg), calculé par interpolation à partir de la courbe de croissance maximale introduite dans le modèle pour la race impliquée (Figure 2).

Besoins nutritifs

La production de lait et de poids vif impliquent une demande d'éléments nutritifs, exprimée en termes d'énergie et de protéine dans le modèle. L'approche proposée par AFRC (1993) est utilisée pour le calcul des besoins nutritifs. L'énergie métabolisable (ME) et les protéines métabolisables (MP) nécessaires pour réaliser la production

potentielle (à la fois du lait et de poids vif) sont calculées séparément pour la maintenance, la croissance, la gestation et la lactation. Les besoins d'énergie et de protéine pour réaliser la production potentielle sont ensuite équilibrés avec l'offre d'énergie métabolisable et de protéine métabolisable des ressources fourragères. Si l'ingestion des fourrages ne couvre pas les besoins, la croissance et la production de lait sont réduites selon des règles prioritaires (Rufino et al., 2009), ces règles prioritaires sont expliquées plus tard.

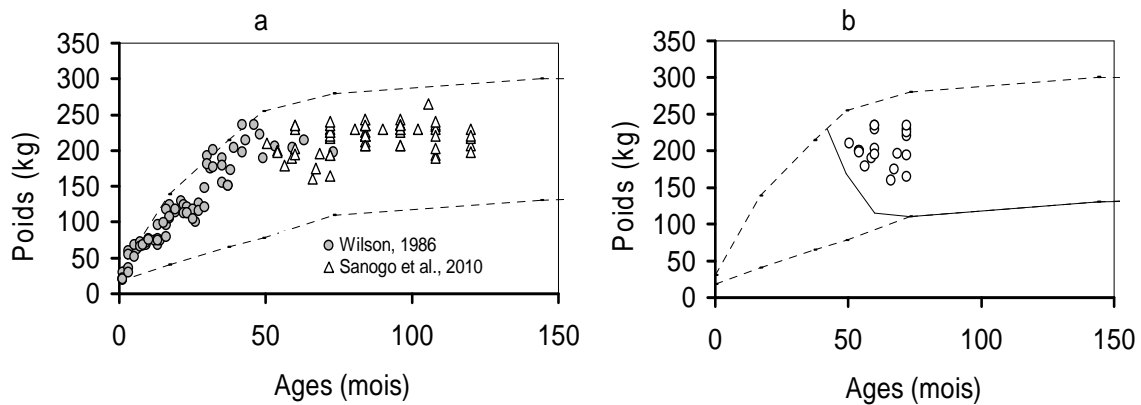


Figure 2: a) Limites supérieure et inférieure de la croissance du Méré, et b) Limite possible de poids vif en relation avec l'âge pour la conception (ligne continue).

Ingestion d'aliment

L'ingestion dépend de la quantité et qualité des fourrages offerts et du poids de l'animal. Une équation empirique, développée par Conrad (1966), est utilisée pour estimer l'ingestion quotidienne de matière sèche des fourrages:

$$\text{Si } DMS_f < 0,67 \quad IMS_f = 0,0107 * PV / (1 - DMS_f) \quad (\text{Equation 7})$$

Où,

DMS_f : Digestibilité de la matière sèche des fourrages (kg kg^{-1} MS);

IMS_f : Ingestion de matière sèche des fourrages ($\text{kg vache}^{-1} \text{j}^{-1}$);

PV : Poids vif de la vache (kg).

Si la digestibilité de la matière sèche est plus élevée, l'ingestion de matière sèche est calculée en divisant les besoins en Energie Métabolisable pour la maintenance, la croissance et la production de lait par l'Energie Métabolisable contenue dans les fourrages (teneur fourrage en EM).

Réduction de la production sous des conditions limitantes de fourrages

Lorsque l'offre de fourrages (quantité et qualité) est suffisante pour couvrir les besoins nutritifs, le niveau de production potentielle de référence du modèle est atteint. Mais

lorsque l'énergie métabolisable et/ou les protéines métabolisables fournies par l'ingestion de fourrages ne peuvent pas satisfaire les besoins, ils sont utilisés selon des priorités données. Premièrement, il est déterminé si la disponibilité de l'énergie métabolisable ou des protéines métabolisables est limitante pour réaliser la production potentielle. Deuxièmement, le statut physiologique de reproduction de l'animal est contrôlé. Troisièmement, il est contrôlé si les besoins nutritifs de maintenance peuvent être assurés, et/ou la conséquence (décision) est une croissance sous-optimale ou une perte de poids. Ces contrôles déterminent la routine à exécuter par le modèle «un peu de croissance et de production de lait ou de perte de poids pour couvrir les besoins de la lactation». Si les pertes de poids sont très élevées, et que le poids arrive à la courbe de croissance minimale, la production de lait s'arrête. Donc, à travers plusieurs interactions, la croissance et la production de lait qui conviennent aux entrées de fourrages sont calculées. Il y a un seuil de poids (courbe de croissance minimale) en dessous duquel l'animal meurt (Rufino et al., 2009).

Production de fumier

La production de matière sèche des fèces (MS_{Fecale} en kg) est calculée comme:

$$MS_{Fecale} = IMS_f \times (1 - DMS_f) \quad (\text{Equation 8})$$

L'azote des fèces et de l'urine sont calculés en utilisant les protéines métabolisables du système d'AFRC (1993).

4.2.4 Paramétrage du modèle

Pour adapter le modèle LIVSIM à la race locale Méré, des caractéristiques de la race ont été identifiées (Tableau 3). Les courbes de croissance potentielle et minimale, l'âge minimum pour la conception, la courbe de production potentielle de lait et des coefficients d'ingestion des aliments selon la phase de lactation ont été introduits dans le modèle. En outre, nous avons introduit un nouveau paramètre (Besoin d'Énergie pour la marche/pâturer) dans le modèle pour tenir compte des dépenses d'énergie sur les pâturages. Ce nouveau paramètre est calculé comme :

$$Besoin_Energie_Marche = Distance_{Moyenne_Marche} \times Depense_Energie\ sur\ un\ km \quad (\text{Equation 9})$$

Où,

$Besoin_Energie_Marche$: Besoin d'énergie pour la marche (KJ kg^{-1} poids vif);

$Distance_{Moyenne_Marche}$: Distance moyenne marché par jour (km);

Depense_Energie sur un km: Dépense d'énergie pour marché un km ($\text{KJ km}^{-1} \text{kg}^{-1}$ poids vif).

Tableau 3: Caractéristiques du système et paramètres du modèle pour la race locale Méré de la zone Mali Sud.

Caractéristiques du système et Paramètres du modèle	Valeur	Unité	Sources
<i>Caractéristiques du système</i>			
Poids naissance veau	15	kg	Bengaly et al., 1993
Taux moyen de mise bas	0,55		Wagenaar et Kontrohr, 1986; Coulomb, 1972
Durée de la période vide	9-12	mois	Diafarabé, 1979-1983
Durée de lactation	18	mois	Wagenaar et al., 1986
<i>Paramètres du modèle</i>			
Poids de maturité femelle	300	kg	Bengaly et al., 1993;
Poids de maturité male	400	kg	Breman et De Ridder, 1991
Poids naissance veau	18-30	kg	
Taux potentiel de mise bas	0,9		
Durée de gestation	9	mois	Bengaly et al., 1993
Matière grasse du lait (moyenne)	23,6	g kg^{-1}	Bonfoh et al., 2005
Protéine brute de lait	4,6	g kg^{-1}	Bonfoh et al., 2005
Production maximale de lait	5-6	litres j^{-1}	Coulibaly et Nialibouly, 1998
Espérance de vie de la vache	12	ans	Breman et De Ridder, 1991

Les données de littérature sur le poids à la naissance et les poids à maturité des vaches Méré (Bengaly et al., 1993) ont été utilisées pour construire deux courbes, limite inférieure et supérieure (Figure 2a), selon la formule proposée par Konandreas et Anderson (1982).

- Courbes de croissance maximale et minimale:

$$PV_{\max t} = PV_t X (1 + 1,96 k_t) \quad (\text{Equation 10})$$

$$PV_{\min t} = PV_t X (1 - 1,96 k_t) \quad (\text{Equation 11})$$

Où,

PV_t : Poids vif moyen estimé à l'âge t (kg);

$PV_{\max t}$: Poids vif limite supérieure (kg);

$PV_{\min t}$: Poids vif limite inférieure (kg);

k_t : Coefficient de variabilité du poids vif est fonction de l'âge et considéré comme indépendant de la race par Konandreas et Anderson (1982). La valeur 0,2 est considérée à l'âge de 6 mois et 0,18 pour l'âge adulte.

L'âge minimum pour la conception des génisses Méré ou âge de maturité reproductive a été déterminé sur la base des poids à partir des données de littérature (Lacrouts et al., 1965; Coulomb, 1972; Diallo, 1978; Wagenaar et al., 1986; Bengaly et al., 1993). L'âge minimum pour la conception des génisses est de 4 ans, lorsque le poids atteint 230 kg et le maximum est de 6 ans pour un poids vif de 110 kg (Figure 2b). La courbe de production potentielle de lait pour la race Méré a été construite dans le modèle à partir des données de littératures (Coulibaly et Nialibouly, 1998) et d'expérimentation réalisée en milieu paysan (Sanogo et al., 2010b) (Figure 3a). La durée maximale de lactation est estimée à 18 mois (Wagenaar et al., 1986) et l'intervalle entre mises bas à 20 mois (Diafarabé, 1979-1983; Bengaly et al., 1993), mais le modèle LIVSIM calcule l'intervalle entre mises bas de manière stochastique. La production potentielle de lait à la naissance est fixée à 6 litres par jour et diminue jusqu'à 0,25 litre par jour en fin de lactation. Par ailleurs, le poids à la naissance des veaux varie de 18 à 30 kg en fonction de l'état d'embonpoint de la mère.

Les performances de reproduction sont évaluées en utilisant des indicateurs, notamment l'âge au premier vêlage, l'intervalle de vêlage, le nombre de veaux et la durée de vie de la vache.

Les besoins de nutrition élevés des vaches en lactation ont été pris en compte à travers des coefficients d'ingestion pour des vaches en fin de gestation et en lactation (Figure 3b, Hunter et Siebert, 1986). Les vaches en lactation ont des besoins de nutrition 20% en moyenne plus élevés que ceux des vaches vides (Hunter et Siebert, 1986).

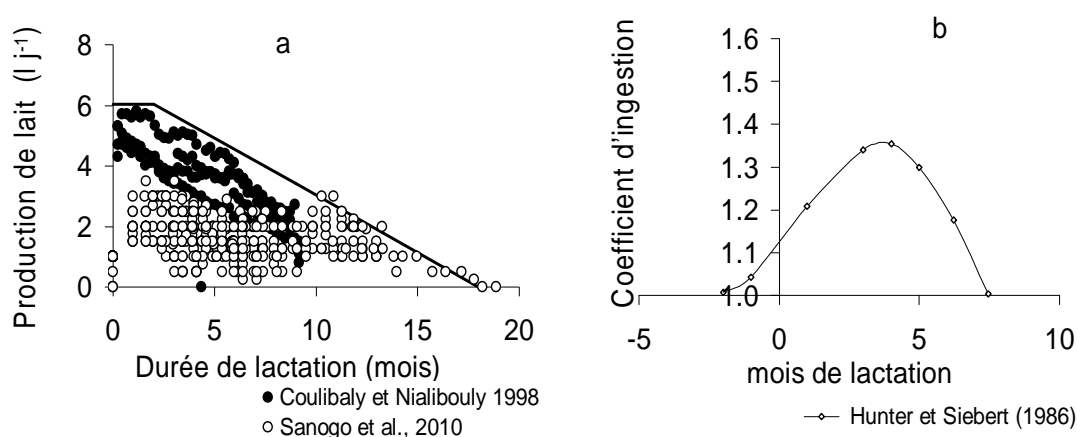


Figure 3: a) Courbe de lactation de la race locale Méré (la ligne continue représente la courbe utilisée dans le modèle); b) Coefficient d'ingestion des fourrages selon l'évolution de la lactation.

Détermination de la biomasse (masse de fourrages) des pâturages (entrée du modèle)

Le modèle LIVSIM a été développé initialement pour simuler la productivité des bovins dans les conditions de stabulation (Rufino et al., 2009). Mais dans la plupart des régions tropicales, la conduite des animaux sur les parcours naturels et sur les résidus de cultures constituent les formes principales d'alimentation des animaux.

Nous avons utilisé une approche simple pour prendre en compte la gestion pastorale dans le modèle. Dans cette approche, nous avons d'abord déterminé la production de biomasse des pâturages, et ensuite l'allocation aux animaux (disponibilité pour les animaux). Aussi, l'effet du déplacement des vaches (marche dans les pâturages) a été considéré en augmentant les besoins d'énergie pour les activités (1,0 kJ/km/kg de poids vif), (Dijkman et Lawrence, 1997; Lambourne et al., 1983).

Estimation de la biomasse sur les pâturages

L'évaluation de la production de fourrages des parcours naturels a été faite dans les différentes unités de pâturage des villages d'étude (Try et N'Goukan). Dans la première unité de pâturage (Pâturage 1, Tossigué) de N'Goukan, les espèces dominantes étaient *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus*, *Schoenefeldia gracilis*, par contre dans la deuxième unité (Pâturage 2, Fala), *Bracharia ramosa*, *Pennisetum pedicellatum* et *Paspalum scrobiculatum* dominaient. Dans les deux unités de pâturage de Try, les principales espèces étaient *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus* et *Schoenefeldia gracilis*. Dans les deux villages, les résidus de culture des champs ont été considérés comme la troisième unité de pâturage (Pâturage 3), et les quantités de résidus par hectare ont été obtenues dans la littérature (Leloup et Traoré, 1989).

L'estimation de la biomasse des parcours a été faite au mois d'octobre. La méthode a consisté à récolter intégralement le contenu de 5 à 10 placeaux d'un mètre carré (selon l'étendue de l'unité de pâturage), jetés au hasard à des endroits différents. Nous avons déterminé le poids sec du contenu de chaque carré après un séchage de trois jours au soleil, ensuite les différentes espèces de chaque carré de rendement ont été pesées séparément. La production de fourrages exprimée en Mg de matière sèche par hectare (B_{ha}) a été calculée à partir de la production moyenne des carrés de rendement de chaque unité de pâturage. S'agissant de la production totale de la biomasse par unité de pâturage, elle a été déterminée comme:

$$B_t = B_{ha} \times S_t \quad (\text{Equation 12})$$

Où,

B_i : production totale de biomasse par pâturage (Mg);

B_{ha} : production de biomasse par ha (Mg ha⁻¹);

S_i : Surface totale de l'unité de pâturage (ha).

Evaluation de la production de biomasse disponible

A partir de la production de fourrages par unité de pâturage, nous avons calculé la disponibilité de fourrages pour les animaux en supposant que chaque mois 30% de la production de biomasse mesurée en octobre est disponible et broutée par les animaux en saison sèche (Bagayoko et al., 2005; Breman et De Ridder, 1991). Mais, en hivernage (juillet, août et septembre), la biomasse disponible est plus élevée et supposée être le double de celle mesurée en octobre, et la fraction de biomasse qui peut être consommée (broutée) est aussi plus élevée (50%).

La quantité de biomasse disponible (kg) par animal (PB_{da}) est calculée comme:

$$PB_{da} = \frac{B_i \times K}{UBT} \quad \text{(Equation 13)}$$

Où,

UBT : taille du cheptel (Unité Bétail Tropical);

Indices d = disponible et a = animal;

K : coefficient d'utilisation de la biomasse.

A partir de la fraction de biomasse disponible, les animaux sélectionnent une partie de l'offre (30 ou 50%). Et, la fraction sélectionnée dépend de la teneur du fourrage en azote et de la digestibilité. Lorsque la teneur de l'azote dans le fourrage sélectionné est plus élevée que la moyenne, seule une partie de la biomasse est consommée (Breman et De Ridder, 1991).

Pour le paramétrage du modèle, dans le cas du village de Try, les quantités de biomasse évaluées au niveau des unités de pâturages ont été utilisées (Tableau 4). Dans le village de N'Goukan, la situation est différente. En effet, dans ce dernier village, la situation est un peu spécifique, les surfaces de pâture disponibles (en moyenne 90 ha) ne peuvent pas supporter le nombre d'UBT du village (656 UBT), même pendant l'hivernage. Comme conséquence, les animaux passent à peu près la moitié du temps de pâture sur les pâturages des villages voisins. Pour prendre en compte cela, les quantités de fourrages disponibles pour les animaux de N'Goukan ont été définies comme deux fois les quantités mesurées sur le terroir.

Tableau 4: Quantités de fourrages disponibles par UBT par mois et selon les sources d'alimentation dans les deux villages, valeurs utilisées dans le paramétrage du modèle (Tm: Témoin, Su: supplémenté, Stab S: stabulation saisonnière). A Try, les principales espèces des pâturages 1 et 2 sont *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus* et *Schoenefeldia gracilis*. A N'Goukan, dans le pâturage 1 on rencontre *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus*, tandis que le pâturage 2 est dominé par *Bracharia ramosa*, *Pennisetum pedicellatum* et *Paspalum scrobiculatum*. Dans les deux villages le pâturage 3 représente les résidus de mil et sorgho.

Villages	Options d'alimentation des animaux	Unités de pâturage et suppléments	Quantités (kg MS UBT ⁻¹ mois ⁻¹)			
			Mar	Avr	Mai	Jun
Try	Option 1 (Tm)	Pâturage 1	43,7	38,2	33,4	115,0
		Pâturage 2	28,7	25,1	22,0	76,8
		Pâturage 3 (résidus)	71,3	62,4	54,6	0,0
		<i>suppléments</i>				
		son céréales	30	30	30	30
		résidus cultures	20	20	20	20
	Option 2 (Su)	Pâturage 1	43,7	38,2	33,4	115,0
		Pâturage 2	28,7	25,1	22,0	76,8
		Pâturage 3 (résidus)	71,3	62,4	54,6	0,0
		<i>suppléments</i>				
		tourteau de coton	60	60	60	60
		niébé	30	30	30	30
	Option 3 (Stab S)	Pâturage 1	0	0	0	0
		Pâturage 2	0	0	0	0
		Pâturage 3 (résidus)	0	0	0	0
<i>suppléments</i>						
tourteau de coton		60	60	60	60	
niébé		75	75	75	75	
N'Goukan	Option 1 (Tm)	Pâturage 1	31,3	26,5	23,2	117,5
		Pâturage 2	6,3	4,8	3,9	38,8
		Pâturage 3 (résidus)	87,4	77,1	67,1	0,0
		<i>suppléments</i>				
		son céréales	30	30	30	30
		résidus cultures	20	20	20	20
	Option 2 (Su)	Pâturage 1	31,3	26,5	23,2	117,5
		Pâturage 2	6,3	4,8	3,9	38,8
		Pâturage 3 (résidus)	87,4	77,1	67,1	0,0
		<i>suppléments</i>				
		tourteau de coton	60	60	60	60
		niébé	30	30	30	30
	Option 3 (Stab S)	Pâturage 1	0	0	0	0
		Pâturage 2	0	0	0	0
		Pâturage 3 (résidus)	0	0	0	0
<i>suppléments</i>						
tourteau de coton		60	60	60	60	
niébé		75	75	75	75	
		résidus cultures	80	80	80	80

Pour l'évaluation de la productivité sur la carrière de la vache, seules les unités de pâturages de Try ont été considérées (Tableau 5), puisqu'à notre avis cette situation est représentative d'une majorité des villages de la zone.

Options d'alimentation des vaches

Les options d'alimentation des vaches utilisées étaient:

- (i) l'option 1 (Témoin) consiste à un pâturage des animaux en toutes saisons, pratique courante d'alimentation des animaux dans la plupart des élevages, avec quelques apports de petits suppléments de résidus en saison sèche chaude (mars-juin);
- (ii) l'option 2 (Supplémenté) porte sur la conduite des animaux aux pâturages en toutes saisons, plus apport de suppléments en saison sèche chaude (mars-juin) composés de 2 kg de tourteaux de coton et 2 kg de fanes de niébé vache⁻¹jour⁻¹;
- (iii) l'option 3 (Stabulation saisonnière, Stab s) consiste à pâturer les animaux en saison de pluie et à les supplémenter en stabulation en saison sèche chaude (mars-juin), avec 2 kg de tourteaux de coton, 3 kg fanes de niébé et 3 kg de résidus de culture vache⁻¹ jour⁻¹.
- (iv) l'option 4 (Stabulation permanente, Stab p) a été ajoutée à l'analyse de la productivité du cycle de vie pour mieux explorer les alternatives d'utilisation des ressources de l'exploitation; les vaches en stabulation permanente ont été alimentées avec 3 kg niébé, 2 kg tourteau de coton et 4 kg d'herbe ou de résidus de culture vache⁻¹ jour⁻¹.

Qualité des fourrages

Les caractéristiques de qualité fourragère moyenne de chaque unité de pâturage (R_{vgs}), représentées par les différentes espèces, ont été déterminées en utilisant une équation de moyenne pondérée:

$$R_{vgs} = \frac{((Vg1 \times Pg1) + (Vg2 \times Pg2) + \dots + (Vgn \times Pgn))}{(Pg1 + Pg2 + \dots + Pgn)} \quad (\text{Equation 14})$$

Où,

$Vg1$: caractéristique de qualité fourragère de l'espèce 1 en g kg⁻¹, i.e. protéines brutes, matière sèche, etc.

$Pg1$: proportion de poids de l'espèce 1 dans l'unité de pâturage (%);

$Vg2$: caractéristique de qualité fourragère de l'espèce 2 en g kg⁻¹;

$Pg2$: proportion de poids de l'espèce 2 dans l'unité de pâturage (%);

n : nombre des espèces dans l'unité de pâturage.

Tableau 5: Quantités de fourrages disponibles par unité de pâturage et des suppléments offerts par mois et par UBT selon différentes options d'alimentation des animaux, valeurs utilisées pour l'évaluation de la productivité du cycle de vie (Tm: Témoins; Su: Supplémenté; Stab S: stabulation saisonnière; Stab P: stabulation permanente). Les pâturages 1 et 2 sont dominés par *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus* et *Schoenefeldia gracilis*. Le pâturage 3 représente les résidus de mil et sorgho.

Options d'alimentation des animaux	Unités de pâturage et suppléments utilisés	Quantité de fourrages (kg MS UBT ⁻¹ mois ⁻¹)											
		Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev
Option 1 (Tm)	Pâturage 1	43,7	38,2	33,4	115,0	302,7	302,7	302,7	181,5	74,5	65,2	57,0	49,9
	Pâturage 2	28,7	25,1	22,0	76,8	198,9	198,9	198,9	90,1	48,9	42,8	37,5	32,8
	Pâturage 3 (résidus)	71,3	62,4	54,6	0,0	0,0	0,0	0,0	139,0	121,6	106,4	93,1	81,5
	suppléments	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Option 2 (Su)	son céréales	20	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
	résidus cultures	43,7	38,2	33,4	115,0	302,7	302,7	302,7	181,5	74,5	65,2	57,0	49,9
	Pâturage 1	28,7	25,1	22,0	76,8	198,9	198,9	198,9	90,1	48,9	42,8	37,5	32,8
	Pâturage 2	71,3	62,4	54,6	0,0	0,0	0,0	0,0	139,0	121,6	106,4	93,1	81,5
Option 3 (Stab S)	Pâturage 3 (résidus)	60	60	60	60	60	0	0	0	0	0	0	0
	suppléments	30	30	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
	tourteau de coton	0	0	0	0	302,7	302,7	302,7	181,5	74,5	65,2	57,0	49,9
	niébé	0	0	0	0	198,9	198,9	198,9	90,1	48,9	42,8	37,5	32,8
Option 4 (Stab P)	Pâturage 1	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	139,0	121,6	106,4	93,1	81,5
	Pâturage 2	60	60	60	60	60	0	0	0	0	0	0	0
	Pâturage 3 (résidus)	75	75	75	75	0	0	0	0	0	0	0	0
	suppléments	80	80	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0
Option 4 (Stab P)	tourteau de coton	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	niébé	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	herbes des pâturages	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

Les caractéristiques de qualité fourragère des espèces à différents stades végétatifs ont été dérivées de la littérature (Rivière, 1978; Schlecht et al., 1999), et ces valeurs ont été utilisées dans l'équation 14 pour estimer la valeur fourragère moyenne de chaque unité de pâturage (Tableau 6). Les données relatives aux quantités et qualités des fourrages des pâturages ont été utilisées comme données d'entrées du modèle (matière sèche digestible, protéines brutes digestibles, énergie métabolisable).

4.2.5 Test et calibrage du modèle

Le test du modèle a consisté à faire tourner le modèle et confronter les résultats de simulation aux données d'expérimentation (Sanogo et al., 2010b), et de le calibrer en ajustant certains paramètres et/ou caractéristiques par rapport au système observé. La simulation de l'évolution du poids et de la production de lait des vaches a été faite pour trois options d'alimentation des vaches, notamment l'option 1 (Témoin), l'option 2 (Supplémenté) et l'option 3 (stabulation saisonnière). Les sorties du modèle (l'évolution du poids et la production de lait des vaches) ont été comparés aux résultats observés. Nous avons tourné le modèle avec les paramètres de la race Méré sur une période de 4 mois, en utilisant des intervalles de temps d'une semaine. Cela, pour faciliter la comparaison entre résultats observés et simulés, puisque les mesures de terrains se faisaient par intervalle de deux semaines.

Tableau 6: Valeurs fourragères des différentes sources fourragères (MS: matière sèche, EM: énergie métabolisable, PB: protéine brute, DMS: digestibilité de la matière sèche). A Try, les principales espèces des pâturages 1 et 2 sont *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus* et *Schoenefeldia gracilis*. A N'Goukan dans le pâturage 1 on rencontre *Loudetia togoensis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus*, tandis que le pâturage 2 est dominé par *Bracharia ramosa*, *Pennisetum pedicellatum* et *paspalum scrobiculatum*. Dans les deux villages le pâturage 3 représente les résidus de mil et sorgho.

Villages	Pâturages	Saison sèche (Mars)			Hivernage (Juillet)			Saison sèche fraîche (Novembre)					
		MS (g kg ⁻¹)	EM (MJ kg ⁻¹ MS)	DMS (g kg ⁻¹ MS)	MS (g kg ⁻¹)	EM (MJ kg ⁻¹ MS)	DMS (g kg ⁻¹ MS)	MS (g kg ⁻¹)	EM (MJ kg ⁻¹ MS)	DMS (g kg ⁻¹ MS)	PB (CP)	DMS (g kg ⁻¹ MS)	
Try	Pâturage 1	864	7,1	71,2	559	317	9,5	97,8	748	675	7,9	77,5	624
	Pâturage 2	807	6,8	69,0	533	385	9,4	96,0	737	620	7,6	74,9	600
	Pâturage 3	863	6,7	64,3	500					863	7,0	64,3	550
N'Goukan	Pâturage 1	799	6,8	68,7	533	297	9,3	92,2	726	620	7,8	75,7	540
	Pâturage 2	918	6,8	76,0	572	296	9,5	131,4	770	386	7,7	104,8	672
	Pâturage 3	863	6,7	64,3	500					863	7,0	64,3	550
Autres fourrages													
	Niébé	940	9,4	137,5	730								
	Sylosanthès	940	9,6	105,2	650								
	Résidus cultures	863	6,7	64,3	500								
	Tourteau de coton	916	12,3	276,0	710								
	Graines de coton	863	7,0	64,3	550								
	Son de céréales	898	9,0	124,7	690								

4.2.6 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité a été faite pour évaluer l'impact de changement des valeurs des paramètres, notamment l'énergie dépensée durant la pâture en relation avec la distance parcourue, la courbe de croissance minimale, et des entrées telles que la quantité et qualité des fourrages des pâturages sur les sorties (poids vif et production de lait) du modèle. Nous avons choisi ces paramètres d'entrées à cause de leurs effets attendus sur les sorties du modèle. Cette analyse a concerné les vaches des options 1 (Témoin), 2 (Supplémenté), car toutes les deux sont conduites sur les pâturages permanemment, mais aussi celles de l'option 3 (Stabulation saisonnière). L'impact de changement de l'énergie de pâture en relation avec la distance parcourue par jour a été testé sur les sorties en diminuant la valeur de ces paramètres de 10 et 20%, ensuite en les augmentant de 10 et 20%. La variation des sorties du modèle par rapport à la disponibilité et qualité des fourrages a été testée séparément, d'abord avec différentes quantités de fourrages des pâturages (variation : -20, -10 et 10, 20%), ensuite avec différentes qualités des fourrages (variation -20, -10 et 10, 20%). Et, le dernier test de sensibilité du modèle a porté sur l'augmentation et la diminution des valeurs de la courbe de croissance minimale de 10 et 20%.

4.2.7 Simulation de la productivité sur le cycle de vie d'une vache

La supplémentation des vaches en saison sèche avec différentes options d'alimentation (Supplémenté, Stabulation saisonnière) a un impact positif sur leur productivité (Sanogo et al., 2010b), mais les conséquences de telles options sur le long terme restent inconnues. La simulation de la productivité de carrière des vaches pour les différentes options d'alimentation a été faite pour répondre à cette préoccupation. A cet effet, les quantités et qualités des fourrages utilisés sont présentées respectivement dans les Tableaux 5 et 6. Pour l'évaluation de la productivité du cycle de vie de la vache, le modèle a été tourné sur une période de 12 ans, durée maximale de vie des vaches dans la zone de Koutiala, en utilisant des intervalles de temps d'un mois pour des soucis de simplicité. Aussi, le modèle simule des événements discrets par utilisation de variables stochastiques, pour cela une répétition est nécessaire pour estimer la distribution des résultats (sorties du modèles). Rufino et al. (2009) estiment qu'un tournage du modèle 1000 fois est suffisant pour prendre en compte l'effet des variables stochastiques sur les sorties, puisqu'une augmentation éventuelle du nombre de répétitions n'augmente plus la précision des sorties du modèle. Les sorties du modèle analysées concernent le cumul de production de lait et de fumier, l'âge au premier vêlage, l'intervalle de vêlage et le nombre de veaux.

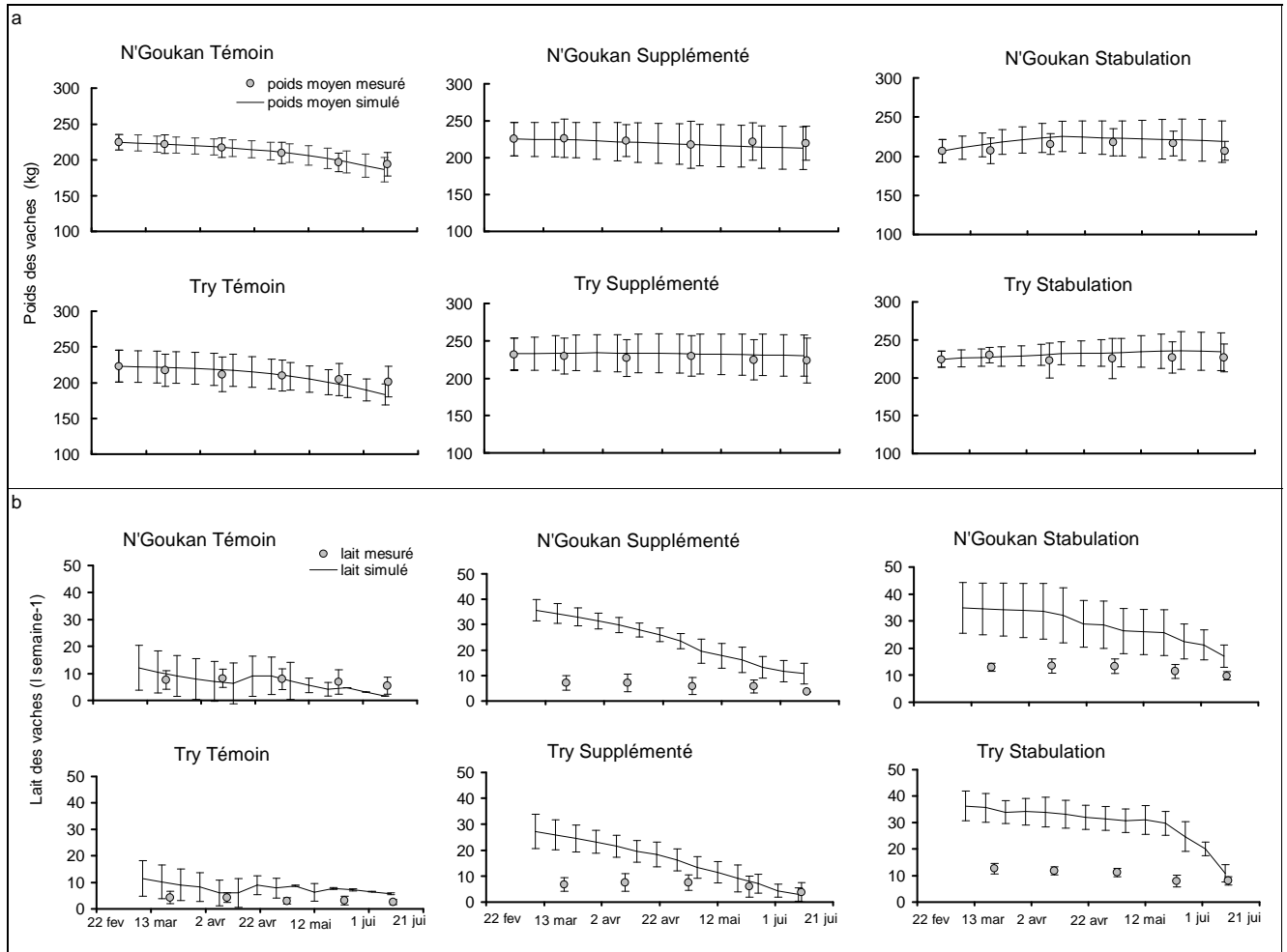


Figure 4: a) Développement pondéral des vaches simulé avec LIVSIM, comparé aux poids mesurés; b) Production de lait simulée par LIVSIM, comparée à celle mesurée

4.3 Résultats

Test et calibrage du modèle

Le modèle simule l'évolution pondérale du poids des vaches de façon raisonnable durant la période de 4 mois d'expérimentation pour les deux villages et pour les différentes options d'alimentation (Témoin, Supplémenté et Stabulation saisonnière) (Figure 4a: erreur résiduelle pour l'ensemble des vaches: 6,5%). Pour la prédiction de la production de lait, les résultats sont aussi satisfaisants dans l'ensemble (Figure 4b). En effet, les productions de lait observées ne concernent que le lait traité par le berger, c'est-à-dire celui prélevé par le veau n'a pas été inclus.

Evaluation de la performance du modèle

La performance du modèle a été jugée en faisant un graphique des résultats simulés contre ceux observés (Figure 5). Le modèle sous-estime un peu le poids des petits

animaux. Pour comprendre les causes de ce désaccord entre les résultats simulés et observés, nous avons calculé les déviations du changement de poids dans le temps. Les déviations sont égales aux valeurs prédites moins celles observées. Le désaccord entre les résultats observés et simulés concerne principalement les vaches Témoins et peut s'expliquer par la méthode d'évaluation du poids des vaches, basée sur les mensurations (Sanogo et al., 2010b). Cette méthode pourrait être moins efficace pour l'évaluation du poids des vaches en situation de déficit alimentaire prolongé (saison sèche chaude). Puisqu'en saison sèche chaude l'animal peut continuer à perdre de poids, sans diminution du tour de poitrine. Néanmoins, les résultats obtenus (Figures 4 et 5), prouvent que le modèle LIVSIM peut être utilisé avec confiance pour la simulation de la productivité des vaches Méré.

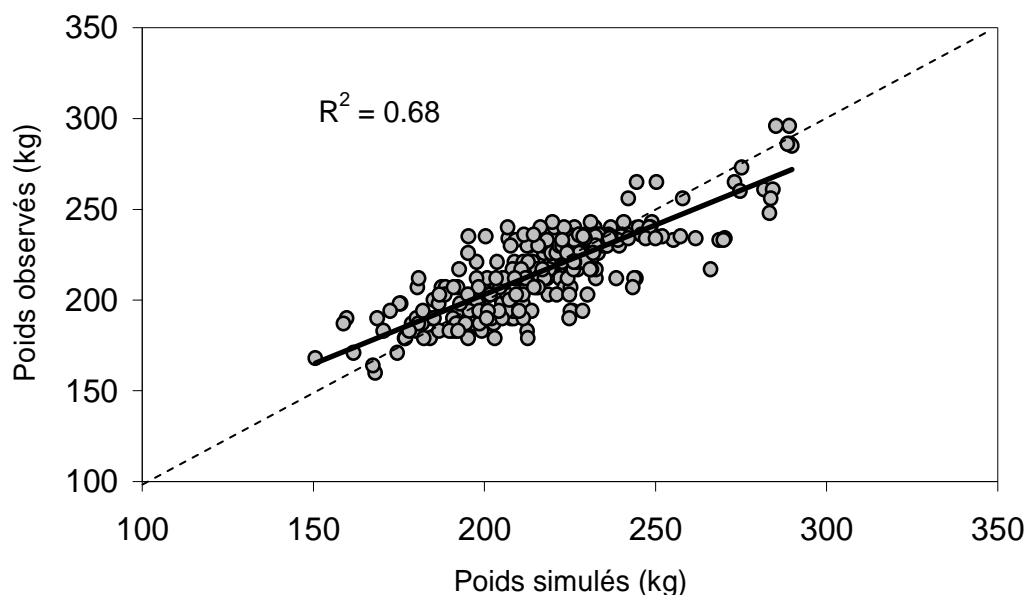


Figure 5: Relation entre les résultats de poids simulés et observés

Analyse de sensibilité

L'effet de la disponibilité des fourrages sur les sorties (lait et poids vif) du modèle a été testé en changeant uniquement la quantité des fourrages des pâturages de -20 à 20% (à des pas de 10%). Les résultats révèlent qu'une augmentation de la quantité des fourrages des pâturages de 20% entraîne une augmentation du poids vif de 14 et 25% respectivement pour les options Supplémenté et Témoin, tandis que la production de lait augmente de 61% pour le Témoin contre 34% pour la Supplémentée (Tableau 7). Quant à la qualité des fourrages, une baisse de 20% provoque une réduction de la production de lait de 49% pour la stabulation saisonnière, 89% pour l'option supplémentée et 100% pour le témoin (suite à la mort de l'animal). Par contre, une

amélioration de la qualité de 20% entraîne une augmentation du lait de 61% (Témoin), 39% (Supplémentée) et 35% (stabulation saisonnière).

Dans des situations de nutrition déficitaire, l'effet de l'énergie dépensée pendant la pâture déterminé par la distance moyenne parcourue par jour en combinaison avec la demande en énergie par unité de distance, est grand pour la production de poids vif et de lait pour les animaux en mauvaise condition physique (Témoin) en comparaison avec ceux des options Supplémentée et Stabulation saisonnière (Tableau 7). Mais, lorsque la situation fourragère s'améliore, cet effet devient très faible. La baisse du niveau de la courbe minimale de croissance a un faible effet sur les sorties (poids vif) des animaux, mais une augmentation du niveau de cette courbe (20%) entraîne des réductions importantes de poids et du lait.

La mortalité due au manque de nourriture est déterminée en utilisant la courbe minimale de croissance. Ainsi, la réduction de la quantité et de la qualité des fourrages de 20% provoque une mortalité élevée pour les animaux du Témoin par rapport à ceux des options Supplémenté et Stabulation saisonnière. Le même constat est fait pour l'augmentation de la courbe minimale de croissance.

Lorsque la quantité de lait trait (vendu) augmente, une régression importante du poids vif de la vache du Témoin est constatée en comparaison avec celles des autres options (Supplémenté et Stabulation saisonnière) (Figure 6a). En revanche, une faible fraction de lait donné aux veaux entraîne une augmentation de la mortalité du système (Figure 6b). Ainsi on peut dire que la fraction de lait donné au veau détermine en partie la productivité du système.

Tableau 7: Effet du changement des paramètres sur le poids vif et la production de lait

Paramètres	Variation des paramètres (%)		Témoin			Supplémenté			Stabulation saisonnière					
			Effet sur le poids vif (kg)	Change-ment (%)	Effet sur le lait (kg)	Change-ment (%)	Poids vif (kg)	Change-ment (%)	Effet sur le lait (kg)	Change-ment (%)	Poids vif (kg)	Change-ment (%)	Effet sur le lait (kg)	Change-ment (%)
Ligne de base			227		3222		254		4606		266		4866,02	
distance moyenne	-20		235	3,3	3327	3,3	262	3,2	4826	4,8	266	0,1	5086	4,5
marchée par jour (km) et	-10		229	0,7	3279	1,8	257	1,3	4801	4,2	266	0,0	4967	2,1
énergie dépensée	10		174	-23,3	1555	-51,7	242	-4,7	4519	-1,9	259	-2,6	4778	-1,8
	20		146	-35,7	1280	-60,3	235	-7,6	4070	-11,6	249	-6,4	4580	-5,9
quantités des fourrages	-20		39	mort	0	-100,0	97	mort	0	-100,0	98	mort	0	-100,0
	-10		189	-16,8	1779	-44,8	237	-6,6	4052	-12,0	240	-9,5	4200	-13,7
	10		275	21,0	4486	39,2	254	0,1	5474	18,9	272	2,5	5639	15,9
	20		285	25,4	5178	60,7	289	13,9	6149	33,5	282	6,2	6217	27,8
qualité des fourrages	-20		51	mort	0	-100,0	133	-47,7	513	-88,9	170	-36,0	2463	-49,4
	-10		163	-28,5	1209	-62,5	173	-31,8	1407	-69,5	209	-21,2	3279	-32,6
	10		284	24,8	4558	41,5	283	11,3	6004	30,4	276	4,0	6043	24,2
	20		288	26,6	5187	61,0	292	15,0	6413	39,3	292	9,9	6588	36,4
courbe de croissance min	-20		232	2,2	3739	16,1	269	5,8	5067	10,0	266	0,1	5143	5,7
	-10		228	0,2	3352	4,0	263	3,4	4888	6,1	266	0,0	4965	2,0
	10		222	-2,4	3137	-2,6	245	-3,7	4522	-1,8	267	0,3	4865	-0,0
	20		28	mort	0	-100,0	60	mort	0	-100,0	242	-9,0	4314	-11,4

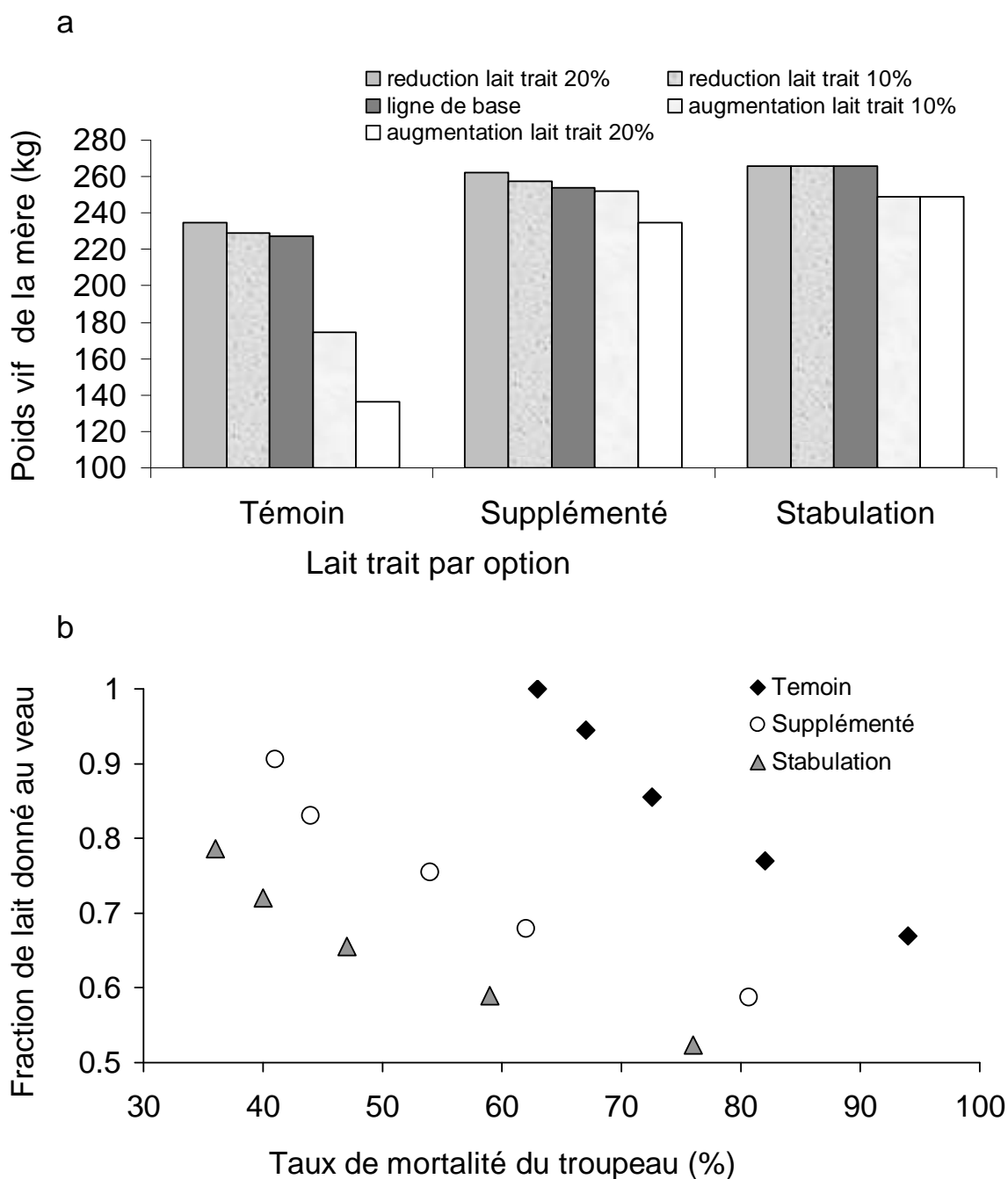


Figure 6: Effet du lait trait (vendu) sur le poids vif de la mère (a) et relation entre fraction de lait donné au veau et taux de mortalité du troupeau (b).

Evaluation de la productivité de vie des vaches

Le cumul de production de lait du cycle de vie est plus élevé pour l'option 4 (8.072 kg, médiane) que pour les options 1 (3.355 kg), 2 (5.031 kg) et 3 (5.259 kg) (Tableau 8), soit une production médiane de lait par lactation variant de 1.118 kg (option 1) à 1.614 kg (option 4). L'âge au premier vêlage (médiane) oscille entre 4,8 ans (option 4) et 5,7 ans (option 1), et les intervalles de vêlage sont de 1,6; 1,5; 1,5 et 1,4 ans

respectivement pour les options 1, 2, 3 et 4. Le nombre de veaux durant la vie de production des vaches varie entre 3 (option 1) et 5 (options 3 et 4). Une meilleure croissance des vaches des options 2, 3 (poids moyen en fin de vie, 280 kg) et 4 (300 kg) est constatée en comparaison avec l'option 1 (262 kg). Le cumul moyen de production de fumier varie entre 7.043 kg et 8.460 kg, soit des productions moyennes annuelles de 587 et 705 kg, respectivement pour les options 4 et 2.

Tableau 8: Productivité de vie des vaches selon différentes options d'alimentation des animaux (Témoin: pâture en toutes saisons, Supplémenté: pâture restreinte en saison sèche plus supplémentation, Stab S: stabulation saisonnière, Stab P: stabulation permanente).

		Options d'alimentation des animaux			
		Option 1 (Témoin)	Option 2 (Supplémenté)	Option 3 (Stab S)	Option 4 (Stab P)
Lait cumulatif (kg)	Moyenne	3222	4606	4866	7922
	Mediane	3355	5031	5259	8072
	Max	6642	7882	8213	10441
	Min	349	367	657	2675
Nombre de veaux	Moyenne	3,3	4,4	4,6	5,1
	Mediane	3	4	5	5
	Max	6	7	7	7
	Min	1	1	1	2
Age au premier vêlage (ans)	Moyenne	5,9	5,2	5,2	5,0
	Mediane	5,7	4,9	4,9	4,8
	Max	9,2	8,1	7,6	7,5
	Min	5,4	4,6	4,6	4,3
Intervalles de vêlages (ans)	Moyenne	1,58	1,55	1,51	1,47
	Mediane	1,55	1,49	1,47	1,41
	Max	4,91	4,58	3,74	4,08
	Min	0,92	0,92	0,92	0,92
Poids vache en fin de vie (kg)	Moyenne	227	254	266	300
	Mediane	262	280	280	300
	Max	299	299	299	300
	Min	110	110	110	300
Age en fin de vie (ans)	Moyenne	10,4	11,3	11,6	12,0
	Mediane	12,0	12,0	12,0	12,0
	Max	12,0	12,0	12,0	12,0
	Min	6,1	5,3	6,1	12,0
Fumier cumulatif (kg)	Moyenne	6629	7768	7817	6990
	Mediane	8015	8460	8218	7043
Lait vendu (kg)	Moyenne	488	1057	1615	3527
	Mediane	422	1155	1609	3556

4.4 Discussion

Performance du modèle

Les modèles complexes contiennent toujours certains paramètres inconnus (Janssen et Heuberger, 1995), lesquels doivent être testés et/ou adaptés aux situations spécifiques. Le paramétrage du modèle LIVSIM a consisté à l'adapter à la situation de la zone d'étude (dans ce cas précis la race locale Méré et la disponibilité des fourrages), pour pouvoir simuler, c'est-à-dire explorer, la productivité sur un cycle de vie des vaches. La performance du modèle LIVSIM pour la simulation de la croissance des vaches à court terme est jugée acceptable. Mais, pour la simulation de la production de lait, un désaccord est observé entre les résultats simulés et observés, lequel pourrait s'expliquer, au moins partiellement par les difficultés d'estimation fiable de la production de lait des vaches Méré, à cause de la nécessité d'utilisation des veaux pour stimuler la traite manuelle de lait (Alvarez et al., 1980; Coulibaly et Nialibouly, 1998). Le calcul des besoins nutritifs pour la maintenance et la croissance est basé sur l'approche proposée par AFRC (1993). Selon certains auteurs (Lengh, 1990; Bannink et al., 2005) le calcul basé sur l'énergie métabolisable est inadéquat pour prédire la production des ruminants dans les conditions tropicales. Cependant, il convient de signaler que ces auteurs ne donnent pas de meilleure formule que celles d'AFRC (1993), lesquelles sont communément utilisées pour de tel modèle. L'argument utilisé est que le bétail tropical a de faibles besoins de maintenance par rapport aux races exotiques et au bétail très productif utilisé dans les climats tempérés (Chilliard, 1991). Cependant, les études qui comparent les vaches zébus aux vaches métisses, montrent qu'il y a une claire différence dans la répartition et la remobilisation des réserves corporelles entre vaches zébus et vaches avec du sang exotique (Jenet et al., 2004). Cela concorde aussi avec Friggens et Newbold (2007), qui rapportent que les vaches laitières de différents génotypes expriment des différences dans la répartition des éléments nutritifs en fonction de l'environnement. Nous avons pris en compte cet aspect dans l'approche utilisée dans le modèle, en considérant le pool des réserves et l'allocation maximale pour la mobilisation des réserves. Cela est calibré empiriquement pour chaque race en utilisant des données des vaches en lactation, pour inclure les modes typiques de mobilisation des réserves. En considérant les résultats de calibration sur la base des données d'expérimentation en milieu paysan, le modèle LIVSIM peut être utilisé avec fiabilité pour la simulation de la productivité du cycle de vie des vaches.

Les résultats de l'analyse de sensibilité ont montré un grand impact de la disponibilité et qualité des fourrages sur les sorties (résultats) du modèle. Il ressort qu'une

augmentation de 20% de la disponibilité des fourrages entraîne une augmentation du poids vif de 14 et 25%, respectivement pour les options Supplémenté et Témoin, et l'amélioration de la qualité des fourrages (20%) entraîne une augmentation de la production de lait de 61 (Témoin) et 39% (Supplémenté). Ces résultats montrent clairement l'importance d'une bonne estimation de la disponibilité et qualité des fourrages pour obtenir des résultats fiables. Les résultats ont montré également l'impact négatif des longues distances parcourues en combinaison avec l'énergie dépensée pendant cette activité sur la production de lait des vaches. Ces résultats révèlent l'importance qui doit être accordée à l'estimation des entrées et paramètres du modèle, puisque cela est la première condition pour l'obtention de résultats fiables. Nous réalisons que dans la présente étude, l'estimation de la biomasse des pâturages a été faite de façon grossière, et donc les résultats du modèle LIVSIM sont influencés par ces estimations, notamment pour le Témoin, où cette biomasse représente la plupart de la ration des animaux. Autre facteur qui peut influencer la disponibilité actuelle des fourrages est le libre pâturage des animaux, où les animaux des villages voisins peuvent venir pâturer sur les pâturages des villages d'études et inversement.

Productivité du cycle de vie

L'étude a révélé une bonne performance des vaches des options 2, 3 et 4 en comparaison avec l'option 1. Cette performance est fortement attribuée aux suppléments de concentrés d'une part et aux légumineuses fourragères d'autre part, qui augmentent la disponibilité et la qualité des ressources fourragères. Aussi l'apport de suppléments riches en protéine augmente l'ingestion des fourrages grossiers des pâturages. Le niveau d'ingestion élevé de matière sèche, stimulé grâce aux suppléments de concentrés a un effet positif sur le gain de poids vif, le taux de reproduction et la production de lait. On peut adjoindre à cela, la réduction des dépenses d'énergie grâce à l'alimentation à l'étable, car la pâture a un impact négatif sur la performance. Mais, l'accès des agriculteurs aux concentrés (intrants externes) et services pour l'augmentation des sorties et pour l'intensification agricole dépend des politiques agricoles (De Jong, 1996).

Performance pondérale des vaches

Une croissance plus élevée des vaches de l'option 4 (poids moyen en fin de vie, 300 kg) est constatée en comparaison avec l'option 1 (262 kg). La perte de poids constatée pour l'option 1 est due à la faible disponibilité et qualité des fourrages des pâturages, ces derniers eux même étant une conséquence de la croissance de la population humaine et des effectifs du cheptel, de l'insuffisance et de la variabilité pluviométrique dues au changement climatique. Dans des systèmes d'élevage similaires, au Niger par

exemple, des pertes de poids des vaches non-allaitantes et non-gestantes en saison sèche ont varié entre 380 ± 13 et 258 ± 16 g j^{-1} (Fernández-Rivera et al., 2003). Selon les mêmes auteurs, le bétail a montré un mode régulier de changement de poids vif consistant à un gain de 80-100 kg durant la période juillet-décembre, suivi d'une perte de 60-80 kg durant la période janvier-juin. Les résultats du modèle ont montré que le pâturage des animaux pendant l'hivernage et leur stabulation en saison sèche chaude, avec apport de suppléments riches en protéine, assure un développement pondéral des vaches plus favorable que la pâture en toutes saisons.

Performance de reproduction

L'âge au premier vêlage observé pour les options 3 et 4 est d'environ 5 ans, ce qui est un peu tard en comparaison avec les 4 ans observés par Wagenaar et al. (1986). Mais, le retard des génisses pour la première mise-bas confirme par ailleurs l'observation faite par Wilson (1986), qui rapporte que les éleveurs traditionnels des régions sèches d'Afrique se plaignent du retard du premier vêlage due aux déficits des ressources fourragères. L'étude a révélé également des intervalles de vêlage prolongés pour l'option 1 (1,6 ans) par rapport à l'option 4 (1,4 ans médian), associés à la qualité et disponibilité saisonnière des fourrages de pâturages. Cet effet de l'alimentation des animaux sur leur performance reproductive n'est pas toujours compris par les éleveurs, ce qui pourrait expliquer le retard du premier vêlage et des longs intervalles de vêlage observés pour le Témoin. Le nombre de veaux produit durant la vie de production des vaches varie entre 3 (option 1) et 5 (option 4), par ailleurs Kabuga et Agyemang (1984) ont observé 5 veaux pendant 10 ans de production avec des meilleures vaches au Ghana. Mais, les performances de reproduction dépendent aussi de la race. Ces résultats révèlent que les options 3 et 4 (stabulation) peuvent être des méthodes de gestion appropriées des vaches laitières pour améliorer la performance de reproduction.

Performance de production laitière

Le niveau d'ingestion élevé de matière sèche et la bonne qualité de nourriture sont des raisons pour le cumul de production de lait élevé dans les options 3 (5.259 kg) et 4 (8.072 kg) en comparaison avec l'option 1 (3.355 kg) (Tableau 8). En outre, la production de lait des vaches de l'option 2 (5.031 kg) est plus élevée en comparaison avec celle de l'option 1. La faible production de lait de l'option 1, soit une production moyenne par lactation de 1118 kg correspondant à 2 litres par vache par jour (durée de lactation 18 mois, Wagenaar et al., 1986), attribuée à l'insuffisance et la médiocre qualité des fourrages des pâturages durant la période sèche, a été déjà mise en évidence par Ayantunde et al. (2005). Des résultats similaires ont été observés par

Bonfoh et al. (2005), qui rapportent des productions de 1-2 litres par vache par jour dans les systèmes d'élevage traditionnel au Mali. Sall (2003) rapporte une production moyenne journalière de 1,6 l par vache et par jour. Mais il convient de noter que les productions de lait obtenues dans la présente étude sont faibles en comparaison avec celles observées dans les systèmes d'élevage intensifs. Par exemple au Kenya, Bebe (2003) rapporte une production totale par lactation de 1700 pour les *Bos indicus* dans les systèmes d'élevage intensifs.

Production de fumier

L'étude a révélé une production de fumier élevée pour l'ensemble des options d'alimentation. Cependant, pour les options Témoin et Supplémenté, seulement 40% est disponible comme fumure, le reste est perdu sur les pâturages. La bonne performance des vaches en stabulation s'explique par le système d'alimentation à l'étable qui a permis d'éviter les pertes de fumier dans les pâturages et d'assurer une accumulation de quantité importante de fumier (en moyenne 587 kg vache⁻¹ an⁻¹), nécessaire pour la fertilisation des champs. Ainsi, la durabilité du système de production dépend en partie du mode de gestion et de conduite des animaux, ces derniers assurant le recyclage des éléments nutritifs du système (Schiere et al., 2002). Mais, la fluctuation saisonnière des fourrages des pâturages a aussi une influence sur la production de fumier, donc sur la durabilité du système de production agricole. Les agriculteurs devraient tenir compte de cela, en modifiant le système de conduite du troupeau pendant la saison sèche chaude et en apportant de la litière dans le parc pour la production suffisante de fumier.

Implication des paysans

En termes d'amélioration de la productivité du cycle de vie des vaches, des résultats encourageants ont été obtenus avec la stabulation saisonnière et permanente des vaches. Cependant, les analyses ont porté essentiellement sur la productivité physique des vaches (production de lait, de fumier, reproduction, etc.). L'analyse des répercussions économiques de ces options sur les exploitations, de même que l'impact sur le fonctionnement des unités de production n'ont pas été considérés. Par ailleurs, il semble convenable de prendre en compte ses aspects pour aider à la prise de bonne décision en matière de gestion des animaux et des exploitations.

4.5 Conclusions

Les résultats de quatre options d'alimentation des vaches étudiées montrent des performances de production laitière et de reproduction honorable pour la stabulation en saison sèche et la stabulation permanente par rapport à ceux des systèmes d'élevage laitier communs (pâturages). La performance de reproduction des vaches est liée à leur état d'embonpoint, ce dernier dépendant de la disponibilité des fourrages et de la réduction des conséquences des activités de pâturage (marche) et du climat. Ces résultats devraient encourager les agriculteurs à investir davantage d'effort pour la production des fourrages (niébé, stylosanthes) et à maintenir les vaches laitières en stabulation, car ce système de gestion des animaux représente la clé de la réussite, non seulement en termes d'amélioration laitière et de reproduction, mais aussi pour l'augmentation de la production de fumier indispensable pour la fertilisation des champs. Mais, pour juger l'adoption possible des nouvelles technologies par les paysans, une évaluation économique au niveau d'exploitation est nécessaire.

Faisabilité de l'introduction de la stabulation des vaches laitières dans les exploitations mixtes cultures-élevage au Mali Sud.

Chapitre en préparation pour être soumis comme: Sanogo, O., De Ridder, N., Van Keulen, H., Rufino, M.C., 2011. Faisabilité de l'introduction de la stabulation des vaches laitières dans les exploitations mixtes cultures-élevage au Mali Sud.

Résumé

Cette étude a été initiée pour déterminer, une meilleure combinaison des productions de coton et de lait des différentes classes d'exploitation en termes de structure et de fonctionnement des exploitations agricoles. Une approche assez simple mais efficace a été utilisée, qui combine des résultats de simulation, des données de base et les résultats d'expérimentation dans les tableurs pour évaluer l'impact de différentes options notamment la pâture en toutes saisons, la pâture restreinte, la stabulation saisonnière et permanente des vaches laitières sur la structure, le fonctionnement et l'économie des exploitations agricoles. Les résultats montrent des augmentations du revenu monétaire annuel des exploitations de 6% (classe 1) et 16% (classe 2) en faveur de l'introduction de la stabulation saisonnière en comparaison avec l'option de pâture en toutes saisons. Par ailleurs, l'utilisation de la pâture restreinte entraîne des augmentations du revenu monétaire annuel de 2 et 5% respectivement pour les classes 1 et 2, en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Les coûts de production très élevés pour la stabulation permanente, constitués principalement de charges d'aliments (78%) et de main d'œuvre (19%), ne permettent pas d'envisager cette option de gestion des vaches laitières pour l'augmentation des revenus monétaires des exploitations. Le meilleur résultat obtenu avec la stabulation saisonnière est due à la bonne combinaison entre cultures en termes d'allocation des surfaces, en moyenne 10% pour le niébé fourrager et 27% pour le coton. Cela doit encourager les paysans à inclure plus de légumineuse fourragère dans l'assolement pour la production des fourrages.

Mots clés: élevage bovin, options techniques, intensification, revenu, zone Mali Sud.

5 Faisabilité de l'introduction de la stabulation des vaches laitières dans les exploitations mixtes cultures-élevage au Mali Sud.

5.1 Introduction

En Afrique Sub-saharienne, l'intensification et la diversification des activités agricoles peuvent permettre de stabiliser les revenus et réduire les risques de production des exploitations pauvres (Ellis, 2000; Niehof, 2004; Rufino, 2008). Au Mali, et particulièrement dans la zone Mali Sud, l'intensification des systèmes de production et le développement des exploitations agricoles ont longtemps été assurés grâce à la culture du coton. Car, cette culture a favorisé l'équipement des exploitations, l'achat de bœufs pour la traction, et a permis aux agriculteurs de réaliser des surplus de productions commercialisables et de capitaliser dans l'élevage en vue de sécuriser les revenus (Sanogo et al., 2010a). La majorité des exploitations a évolué de la culture manuelle à la culture attelée, plus de 84% des exploitants ont recours aujourd'hui à la traction animale et disposent d'équipements attelés (Dufumier, 2005). En outre, l'accès des producteurs aux crédits d'intrants et au service d'encadrement sont organisés autour de la culture du coton. Mais, ces dernières années la culture du coton est entrain de régresser à cause de la baisse du prix du coton aux producteurs et de la mauvaise organisation du paiement par la CMDT (Compagnie Malienne du Développement des Textiles). A cette situation difficile, viennent s'ajouter la privatisation en cours de la filière coton et les risques de baisse du prix sur le marché mondial poussant beaucoup d'agriculteurs à s'orienter vers des alternatives de diversification de leur source de revenu. Ainsi, la production de lait devient potentiellement une activité attractive génératrice de revenu pour les paysans de la zone de Koutiala au Mali Sud. Pour le moment, le secteur laitier dans la zone de Koutiala est faiblement développé, et le marché national de lait est dominé par le lait en poudre importé et produits dérivés. En outre, dans les petites exploitations agricoles locales, la production de lait par vache est très faible, et elle est habituellement autoconsommée ou vendue en petites quantités, en détail aux consommateurs dans le village. Mais, grâce à l'ouverture du marché de lait qui se développe dans les centres urbains par la création de laiteries, comme par exemple celui de Koutiala, les paysans commencent à s'intéresser à la production de lait vendu à la laiterie, et donc envisage d'améliorer l'alimentation des animaux pour augmenter la production de lait (Rietveld, 2009). Selon De Ridder et al. (2004), le développement des deux situations, la croissance du marché de lait et la crise de coton sont respectivement des exemples d'opportunité attractive de croissance et d'action. Les résultats de la recherche participative (Sanogo et al., 2010b), et ceux de l'évaluation de la productivité des

vaches sur une carrière (Sanogo et al., 2011) ont montré que la production de lait peut être augmentée à travers l'amélioration de l'alimentation et par des options de gestion des vaches. Cependant, les besoins croissants en intrants (tourteau de coton, niébé, etc.) et en terre pour la production des fourrages destinés à la supplémentation des vaches en saison sèche, pourraient affecter la structure, le fonctionnement et l'économie des exploitations. En plus pour diverses classes d'exploitation, l'impact des options pour la production de lait en saison sèche pourrait être différent. L'analyse à l'échelle exploitation est donc une nécessité (Giller et al., 2006b), car elle représente l'unité principale de production agricole et de prise de décisions par rapport aux investissements à faire, la gestion des animaux et l'allocation des ressources (terre, mains d'œuvre, intrants et capital). Les objectifs de cette étude consistent à évaluer pour différentes classes d'exploitation agricoles, des alternatives de combinaison de production de coton et de lait en termes de: (i) structure et fonctionnement des exploitations, et (ii) bénéfice économique.

5.2 Méthodologie

5.2.1 Site de l'étude

L'étude a été exécutée dans le Cercle de Koutiala, au Mali, où la densité de la population est estimée à 45 habitants par km² (Dufumier, 2005). Le climat est de type nord soudanien avec une seule saison de pluie qui s'étend de juin à octobre et une saison sèche divisée en saison sèche froide (novembre à janvier) et chaude (février à juin). La température moyenne journalière varie de 22°C (période froide) jusqu'à 35 °C (saison sèche chaude) (Kanté, 2001). Différents systèmes de production sont pratiqués par des producteurs, dont le plus répandu est le modèle mixte extensif (agro-sylvo-pastoral) focalisé autour de la culture du coton, principale culture de rente en rotation avec des cultures vivrières (mil, sorgho et maïs) et des légumineuses (arachide et niébé). Les espèces animales élevées sont essentiellement des bovins, les ovins-caprins et de la volaille. Les agro-éleveurs pratiquent généralement un système d'élevage sédentaire, mais on rencontre également quelques éleveurs transhumants et nomades. La race Méré constitue une population locale croisée commune au Mali, Burkina Faso et Côte d'Ivoire. C'est un croisement entre Zébu Peulh (Fulani) et N'Dama court (Baoulé court), avec un degré de métissage très variable (Felius, 1995; Porter et Mason, 2002; Vétois, 2007). L'alimentation des animaux repose essentiellement sur l'utilisation des pâturages communautaires, des jachères, des résidus de cultures et parfois de concentré comme le tourteau de coton. Les objectifs de l'élevage des bovins dans la zone de Koutiala sont prioritairement la traction, la production de lait, de fumier, et un rôle d'épargne de capital (Sanogo et al., 2010b).

5.2.2 Classes d'exploitation agricoles et leurs caractéristiques

Quatre classes d'exploitation agricoles ont été identifiées (Sanogo et al., 2010a). La possession des facteurs de production varie selon les classes, et les principales caractéristiques des classes sont présentées dans le Tableau 1a.

Tableau 1 : Caractéristiques et production des cultures selon les classes d'exploitation

a) Activités agricoles	Grands agro- éleveurs (Classe 1)	Agro- éleveurs moyens (Classe 2)	Petits agro-éleveurs et Petits cultivateurs (Classes 3/4)
taille de la famille	32	16	7
nombre des actifs	20	11	3
nombre d'UBT	57	15	3
nombre de vaches laitières	4	2	1
surface totale de l'exploitation (ha)	18	11	5
coton surface (ha)	7	4	1,8
maïs surface (ha)	2,3	1	0,3
mil surface (ha)	4,4	3	1,6
sorgho surface (ha)	3	2	1
arachide surface (ha)	0,5	0,6	0,2
culture légumineuse surface (ha)	0,7	0,2	0
autres cultures (gombo, piment etc.) surface (ha)	0,1	0,2	0,1
b) Productions (kg exploitation⁻¹)			
lait en saison sèche chaude	176	88	44
coton	7742	3900	1301
maïs	3419	1891	243
mil	4381	2431	1009
sorgho	3552	1975	658
arachide	452	493	144
residus de cultures collectés	5670	2900	1500
son de céréale disponible	227	126	38
production totale des céréales	11352	6297	1910
production des céréales (kg personne ⁻¹)	355	394	273

Les grands agro-éleveurs (classe 1) et les agro-éleveurs moyens (classe 2) disposent de suffisamment de ressources pour investir dans les innovations pour la production de lait. Par contre, les petits agro-éleveurs et cultivateurs (classes 3 et 4) disposent de très peu de ressources pour assurer les investissements, de surcroît ils sont presque dépourvus de troupeau bovin, ce qui leur empêche l'accès à certaines innovations. Les raisons pour lesquelles nous avons joint les petits agro-éleveurs et petits cultivateurs (classes 3 et 4) pour cette analyse sont dues au fait qu'ils pourront cultiver à l'avenir des fourrages pour la vente aux grandes exploitations (grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens) ou pour leur vache laitière pour ceux qui en possèdent. Les grandes

exploitations agricoles sont celles qui disposent généralement d'importants troupeaux (bovins), conduits par des bergers sur des terres de parcours communautaires et des jachères. En saison sèche chaude, certaines catégories animales en occurrence les vaches laitières et les bœufs de labour, peuvent recevoir de suppléments, constitués d'aliments concentrés et de légumineuses fourragères telles que les fanes de niébé, d'arachide et de stylosanthes. Ces fourrages sont généralement produits pendant l'hivernage sur les terres marginales de l'exploitation. Quant aux petites exploitations, possédant de petits effectifs de bovins, elles les gardent préférentiellement aux piquets dans la cours de la concession ou les confient à d'autres agro-éleveurs possédant un troupeau bovin important. Les petits ruminants (ovins/caprins) et la volaille se rencontrent dans tous les types d'exploitations.

Les données présentées dans le Tableau 1a proviennent essentiellement de Sanogo et al. (2010a), et de la base de données de l'ESPGRN-Sikasso, mais les données présentées dans le Tableau 1b ont été calculées, notamment la production de lait en saison sèche, les résidus collectés, le son de céréale, la production totale de céréales par exploitation et la production des céréales par membre de famille.

La production de lait a été estimée à partir des données de la recherche participative, en multipliant le cumul de production de lait observé pour la gestion paysanne des vaches (Sanogo et al., 2010b) par le nombre de vaches laitières de chaque classe d'exploitation. Quant aux résidus, les quantités ont été estimées en utilisant les informations de terrain obtenues lors de l'évaluation du disponible fourrager au niveau de chaque paysan au moment du démarrage du test de supplémentation des vaches. Les résidus collectés (RC ; kg par exploitation) sont calculés comme:

$$RC = NbreCharRe * PoidsChar \quad (\text{Equation 1})$$

Où,

$NbreCharRe$: nombre de charretées de résidus transportés;

$PoidsChar$: poids moyen de la charretée de résidus sèches (mil et sorgho = 120 kg; maïs = 100 kg).

S'agissant du son de céréale, il est obtenu après pilage des céréales et les quantités disponibles par exploitation ont été estimées comme 2% de la production totale des céréales.

En outre, nous avons calculé la disponibilité annuelle des céréales par personne (DC_{pers} ; kg personne⁻¹) comme:

$$DC_{pers} = \frac{\sum prodcereale}{nbreperson} \quad (\text{Equation 2})$$

Où,

prodcereale: production totale des céréales (mil, sorgho et maïs) (kg exploitation⁻¹);
nbreperson: nombre total de personnes de l'exploitation.

5.2.3 Approche d'analyse

La présente étude combine des données de Sanogo et al. (2010a), des résultats d'expérimentation en milieu paysan (Sanogo et al., 2010b), des résultats de simulation (Sanogo et al., 2011) et des connaissances des experts dans une approche simple, calculs dans de tableurs d'Excel.

Caractérisation schématique des classes d'exploitation

Pour faciliter les analyses, les classes d'exploitation ont été simplifiées (Figure 1). Les exploitations des grands agro-éleveurs (classe 1) sont caractérisées par 4 vaches laitières en saison sèche (Sanogo et al., 2010b). L'assolement des cultures est dominé par le coton (41%) et les céréales (54%), bien que la culture du niébé fourrager, *Vigna unguiculata* (L.) Walp prend peu d'espace (4%). La classe 2 composée d'agro-éleveurs moyens est caractérisée par 2 vaches laitières en saison sèche. Les exploitations de cette classe sont plus petites, mais la répartition des soles de culture (assolement) est identique à celui de la classe 1. Pour les petits agro-éleveurs et petits cultivateurs (classes 3/4), il a été supposé qu'ils pouvaient posséder à l'avenir une vache laitière dans leur troupeau, et le reste du bétail est constitué de petits ruminants.

Scenarii

Les trois scenarii analysés pour les catégories d'exploitation portaient sur trois options d'alimentation des vaches laitières et sont comparés au scénario de base. Dans tous les cas, il est supposé que les exploitations produisent le niébé fourrager sur la terre occupée par le coton dans le scénario de base. Donc, il y a un échange entre le niébé fourrager et le coton. Les scenarii distingués sont nommés comme suite:

- (0) Pâturage en toutes saisons (Scenarii de base; Option 0): pâturage des vaches laitières sur les parcours communautaires durant toute l'année et apport de petits suppléments en saison sèche chaude, constitués de résidus de culture (2 kg vache⁻¹ j⁻¹) et de son de céréale (1 kg vache⁻¹ j⁻¹);
- (1) Pâturage restreint (Option 1): pâturage des vaches laitières en saison sèche chaude et apport de suppléments, constitués de tourteau de coton (2 kg vache⁻¹ j⁻¹) et de fourrages de niébé (2 kg vache⁻¹ j⁻¹);

- (2) Stabulation saisonnière (Option 2): stabulation en saison sèche chaude, des vaches laitières et leur supplémentation avec des fourrages de niébé ($3 \text{ kg vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$), de tourteau de coton ($2 \text{ kg vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$) et de résidus de cultures ($3 \text{ kg vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$);
- (3) Stabulation permanente (Option 3): stabulation durant toute l'année (zéro pâturage) des vaches laitières et leur alimentation avec des fanes de niébé ($3 \text{ kg vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$), de tourteau de coton ($2 \text{ kg vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$) et de résidus de cultures ($4 \text{ kg vache}^{-1} \text{ j}^{-1}$).

Paramètres pour la production animale

Pour l'évaluation de la productivité annuelle d'une vache laitière en fonction des différentes options d'alimentation et de gestion, nous avons utilisés les résultats de Sanogo et al. (2011).

La production annuelle de lait d'une vache laitière (*LaitProd*, en kg) a été déterminée comme:

$$LaitProd = \frac{LaitCycleVie}{Periodeproduction} \quad (\text{Equation 3})$$

Où,

LaitCycleVie: cumul de lait par cycle de vie de la vache (kg), et cycle de vie: dans le cas présent 12 ans;

Periodeproduction: période de production de la vache (ans), définie comme la différence entre le cycle de vie de la vache et l'âge au premier vêlage.

Dans chaque scenario, le lait est prioritairement donné au veau pour maintenir leur taux de mortalité bas (environ 10%). Pour une évaluation fiable du lait disponible pour la vente, nous avons gardé le même taux de mortalité des veaux pour tous les scenarii. La production de lait vendu est calculée comme étant la différence entre le cumul de lait produit et la quantité donnée au veau. En revanche, Coulibaly et Nialibouly, (1998) rapportent que seulement 35% du lait produit est disponible pour la vente et le reste est utilisé par le veau.

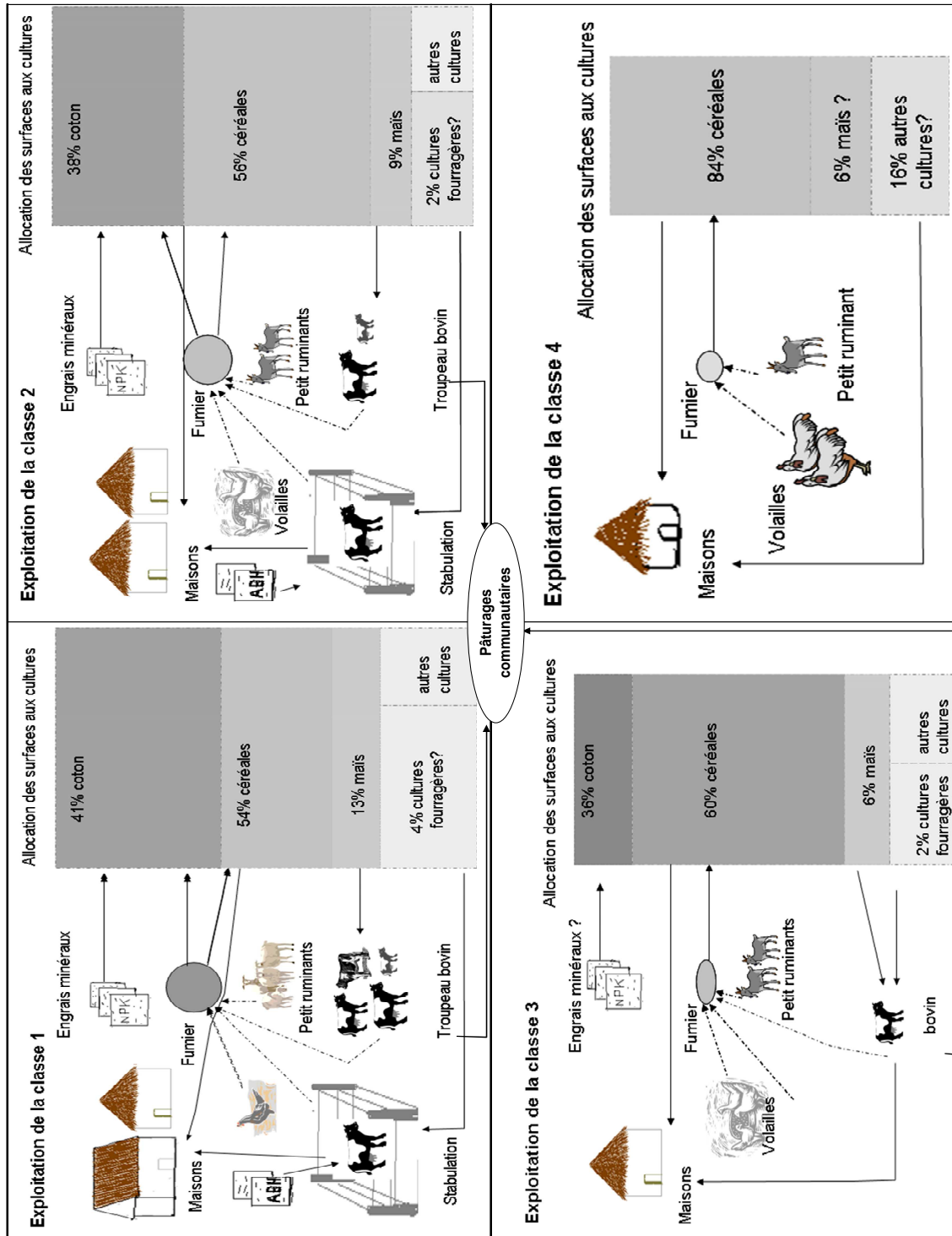


Figure 1: Représentation simplifiée des classes d'exploitation agricoles

La production moyenne annuelle de fumier par vache (*FumProd*, kg de matière sèche) a été calculée comme:

$$FumProd = \frac{FumCycleVie}{CycleVie} \quad (\text{Equation 4})$$

Où,

FumCycleVie: production de matière sèche de fumier durant le cycle de vie de la vache (kg); et

CycleVie: cycle de vie dans le cas présent 12 ans.

La proportion des excréments qui est disponible pour les cultures varie de 15 à 50% selon les stratégies de gestion des animaux (libre pâturage et/ou zéro pâturage), la méthode de collecte et la durée du stockage (Lekasi et al., 2002, Rufino et al., 2006; Tifton et al., 2010). Par exemple, sous conditions de pâturage libre durant toute l'année, la proportion des excréments est de 39% sur les terres de culture, 31% sur les pâturages, 20% sur les jachères et 10% dans les parcs (Schlecht et al., 2006a). Pour prendre en compte les pertes de fumier (pendant la pâturage et lors du stockage; Rufino et al., 2006), nous avons supposé que pour les options de pâturage en toutes saisons et pâturage restreint seulement 40% du fumier produit est disponible pour l'exploitation. Pour la stabulation saisonnière, la disponibilité de matière sèche de fumier est estimée à 70%, tandis que pour la stabulation permanente, elle est estimée à 80%.

Le gain de poids moyen de la vache par an (*GainPV* en kg) a été calculé comme:

$$GainPV = \frac{PoidsFinVie}{CycleVie} \quad (\text{Equation 5})$$

Où,

PoidsFinVie: poids vif de la vache en fin de vie (kg).

Le gain de poids des veaux (*GainPoidVeaux*, kg an⁻¹) a été déterminé comme:

$$GainPoidVeaux = \frac{PoidsVeau1an \times NbreVeaux}{PeriodeProduction} \quad (\text{Equation 6})$$

Où,

PoidsVeau1an: le poids vif du veau à 1 an (kg), dans le cas présent le poids vif moyen des veaux à 1 an était de 55, 64, 78 et 112 kg, respectivement pour les options de pâturage en toutes saisons, pâturage restreint, stabulation saisonnière et stabulation permanente;

NbreVeaux: le nombre de veaux pendant le cycle de vie.

Le besoin annuel de suppléments de niébé et le nombre d'hectare pour sa production ont été déterminés en multipliant la quantité de niébé journalière par vache par la durée de supplémentation pour chaque option d'alimentation (120 jours, période mars-juin pour la pâture restreinte et stabulation saisonnière, et 360 jours pour la stabulation permanente). La même approche a été utilisée pour estimer les besoins de suppléments de concentré. L'équation suivante a été utilisée pour calculer le besoin de surface de niébé (*BesoinSurfaceNiebe*, en ha):

$$BesoinSurfaceNiebe = \frac{BesoinFourNiebe}{RdtNiebe} \quad (\text{Equation 7})$$

Où,

BesoinFourNiebe: besoin annuel de fourrages de niébé par vache (kg);

RdtNiebe: rendement moyen du niébé (700 kg ha⁻¹ a été utilisé).

Les productions annuelles des vaches à l'échelle exploitation ont été déterminées en multipliant celles d'une vache par le nombre de vaches allaitantes pour chaque classe d'exploitation.

Analyse économique

Les revenus des unités de production agricole proviennent principalement des activités d'élevage et de cultures. Les activités de cultures peuvent porter sur le coton, le mil, le sorgho, le maïs et l'arachide. Tandis que celles de l'élevage concernent les bovins, les ovins/caprins et la volaille. Dans la présente étude, notre analyse économique de l'exploitation est partielle et focalisée principalement sur les vaches laitières et la culture du coton, puisqu'elles représentent les sources importantes de génération de revenus de la plupart des exploitations agricoles de la zone d'étude. Aussi, nous voulons explorer la valeur d'échange entre culture de coton et l'élevage des animaux.

Vache laitière: l'analyse de rentabilité économique de l'activité de supplémentation de vache laitière comprenait trois points essentiels. Le premier point portait sur l'évaluation de l'ensemble des coûts (*ChargesTotales* en US\$) liés à l'utilisation des options d'alimentation, notamment les aliments utilisés (niébé, tourteau de coton, son de céréale, résidus de cultures), les soins sanitaires, la main d'œuvre et l'amortissement du matériels (mangeoires, abreuvoirs). Les prix unitaires pour chaque type de supplément et service utilisé sont consignés dans le Tableau 2.

Le deuxième point était focalisé sur l'évaluation de la valeur des produits (*ValeurProduits* en US\$), principalement le lait, le fumier, le gain de poids de la vache et du veau. Et, le troisième point concernait le bénéfice net marginal de chaque option d'alimentation (*BeneficeNetMar*, \$US par vache), lequel a été évalué comme:

$$BeneficeNetMar = \sum ValeurProduits - \sum ChargesTotales \quad (\text{Equation 8})$$

Le ratio valeur coût (*RVC*) a été calculé comme:

$$RVC = \frac{ValeurProduitsOptionX - ValeurProduitsOption0}{ChargesTotalesOptionX - ChargesTotalesOption0} \quad (\text{Equation 9})$$

Quant à la productivité de la terre, elle est égale au bénéfice net marginal divisé par la surface cultivée (1,56 ha) pour la production de fourrages de niébé destinée aux vaches en stabulation permanente. Pour les autres options d'alimentation notamment la pâture, la pâture restreinte et stabulation saisonnières, la surface des pâturages disponible par UBT (2 ha, Sanogo et al., 2010b) plus la surface de niébé pour chaque scénario ont été considérées dans le calcul de la productivité de la terre.

Pour le cotonnier, en premier lieu, le rendement de cette culture a été déterminé pour chaque classe d'exploitation. En outre, les quantités d'intrants utilisés, notamment l'urée, le complexe coton, la fumure organique et les insecticides ont été calculées pour un ha de coton et pour chaque classe d'exploitation (données de base de L'ESPGRN-Sikasso). Les charges totales ont été calculées en utilisant les prix moyens des intrants aux producteurs aux cours de la période 2003-2007 dans la zone d'étude. Le prix du coton graine aux producteurs en 2007 et ceux des intrants utilisés dans les calculs sont consignés dans le Tableau 2.

Le revenu monétaire annuel de l'exploitation (*RevMonAnExp* en \$US) a été déterminé comme:

$$RevMonAnExp = \sum (RevAnVache \times nbreVache) + (RevAnCot \times nbrehaCot) \quad (\text{Equation 10})$$

Où,

RevAnVache: revenu monétaire annuel d'une vache allaitante (\$US);

nbreVache: nombre de vaches allaitantes par classe d'exploitation;

RevAnCot: revenu monétaire annuel d'un ha de coton (\$US);

nbrehaCot: nombre d'ha de coton par classe d'exploitation.

Pour prendre en compte les variations possibles des prix des produits au cours de l'année et dans le temps, une analyse de sensibilité a été faite en variant le prix moyen (0,38 \$US) du litre de lait aux producteurs (augmentation et diminution de 15%).

Tableau 2: Prix moyens des intrants utilisés et des produits animaux et services au niveau des producteurs (a) et prix des intrants utilisés sur le cotonnier (b), (1\$US = 460,5 F CFA).

Intrants utilisés et extrants	Prix aux producteurs (\$ US)
a) vache allaitante	
<i>aliments</i>	
fane niébé (kg ⁻¹)	0,05-0,12
son céréale (kg ⁻¹)	0,05
tourteau de coton (kg ⁻¹)	0,16
¹ résidus cultures (charretée ⁻¹ , 120 kg)	0,5
<i>soins sanitaires</i>	
trypanocides (berenil jaune) 12,5 ml (UBT ⁻¹)	1,63
déparasitant interne (ivermectine 1%) 5 ml (UBT ⁻¹)	0,54
prestation du vétérinaire, (UBT ⁻¹)	0,54
coûts d'opportunité de la main d'œuvre (H j ⁻¹)	1,63
<i>Produits</i>	
lait (l ⁻¹)	0,38
viande (kg ⁻¹)	1,63
fumier (kg ⁻¹)	0,02
b) coton	
urée, (kg ⁻¹)	0,49
complexe coton (CCO), (kg ⁻¹)	0,58
² fumure organique (kg ⁻¹)	0,016
insecticide coton, (l ⁻¹)	10,09
amortissement annuel du matériels agricoles (ha ⁻¹)	1,74
coûts d'opportunité de la main d'œuvre (Homme j ⁻¹)	1,63
<u>prix coton graine aux producteurs, (kg⁻¹)</u>	<u>0,35</u>

¹les résidus de cultures sont estimés en tenant compte du temps de coupe et de transport d'une charretée en moyenne 143 mn et du cout d'opportunité de la main d'œuvre 750 FCFA par jour (8 heures) soit 223,43 FCFA par charretée.

²la fumure organique est évaluée à partir de sa teneur en éléments nutritifs (12,1 g N kg⁻¹, 2 g P kg⁻¹ et 15,5 g K kg⁻¹) et du prix des engrais minéraux sur le marché (complexe céréale 240 FCFA kg⁻¹).

5.3 Résultats et discussions

Fonctionnement et production agricole

Les résultats du Tableau 1 montrent de faibles rendements de mil et de sorgho, lesquels oscillent entre 631 et 996 kg ha⁻¹ pour le mil, et de 658 à 1.184 kg ha⁻¹ pour le sorgho respectivement pour les petits (classes 3/4) et les grands agro-éleveurs (classe 1). Par contre, le rendement du maïs relativement élevé fluctue entre 810 (petits agro-éleveurs et cultivateurs) et 1.891 kg ha⁻¹ (agro-éleveurs moyens). Quant au coton, le rendement varie de 723 (petits agro-éleveurs et cultivateurs) à 1.106 kg ha⁻¹ (grands agro-éleveurs). Les faibles rendements du mil et sorgho en comparaison avec le maïs et le coton s'expliquent par le fait que les producteurs n'appliquent pas directement des fertilisants chimiques sur ces cultures. Seul le coton et le maïs bénéficient directement de la fertilisation chimique et organique. La production annuelle des céréales par habitant fluctue de 273 kg (petits agro-éleveurs et cultivateurs) à 394 kg (agro-éleveurs moyens). Ces résultats montrent une vulnérabilité des petits agro-éleveurs et cultivateurs (classe 3 et 4) en terme d'autosuffisance alimentaire, puisque le besoin minimal de céréale par personne et par an est estimé à 350 kg (Bosma et al., 1999; Put et Van Spengen, 1988). En période de soudure, ces exploitants ont besoin d'acheter de compléments de céréales pour les membres de la famille. Les grands agro-éleveurs, techniquement plus avancés, ne sont pas aussi bien sécurisés en termes de couverture des besoins alimentaires des membres de l'exploitation. Mais, les recettes obtenues de la vente du coton et des autres cultures de rente leurs permettent de faire face à ce problème (Tableau 1b).

Productivité des bovins laitiers et évaluation des besoins de fourrages et de surface

Les résultats montrent qu'il est possible d'augmenter significativement la productivité actuelle des vaches laitières à travers une bonne gestion et une amélioration de l'alimentation (Tableau 3). En effet, la pâture restreinte des vaches allaitantes et leur supplémentation avec des fanes de niébé (2 kg vache⁻¹ jour⁻¹) plus des concentrés (2 kg de tourteau de coton vache⁻¹ jour⁻¹) permet d'augmenter la production annuelle de lait de 33% en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Sans doute, cette augmentation est attribuée au niébé fourrager, mais surtout à la grande quantité de concentré utilisé. L'adoption de la pâture restreinte demande la production de 120 kg de fourrages de niébés par vache pour la supplémentation en saison sèche (mars-juin), soit une allocation de terre de culture de 0,17 ha vache⁻¹ aux cultures fourragères. Par ailleurs, la stabulation en saison sèche chaude assure une augmentation de la production annuelle de lait de 39% en comparaison de la pâture en toutes saisons, mais

Tableau 3: Productivité annuelle des vaches selon différentes stratégies d'alimentation, et les besoins de surface pour la production des fourrages (Options: 0 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 1 kg son céréale + 2 kg résidus cultures, 1 = pâture restreinte + supplémentation en saison sèche chaude avec 2 kg tourteau coton + 2 kg niébé 2 = stabulation en saison sèche chaude + 2 kg tourteau coton + 3 kg niébé + 3 kg résidus cultures, et 3 = stabulation permanente avec apport de 3 kg niébé + 2 kg tourteau coton + 4 kg pailles de brousse ou résidus cultures)

scenario	Production annuelle						Besoins suppléments			Besoins
	lait produit (kg an-1)	lait vendu (kg an-1)	fumier produit (kg an-1)	fumier disponible (kg an-1)	gain poids des vaches (kg an-1)	gain de poids des veaux (kg an-1)	niébé (kg an-1)	concentré (kg an-1)	surface niébé (ha)	
Classe 1 (production pour 4 vaches)										
Pâture (0)	2130	268	2672	1069	87	105	0	0	0	
Pâture restreinte (1)	2834	651	2820	1128	93	144	480	960	0,69	
Stabulation saisonnière (2)	2963	906	2739	1918	93	220	1440	960	2,06	
Stabulation permanente (3)	4484	1976	2348	2348	100	311	4380	1460	6,26	
Classe 2 (production pour 2 vaches)										
Pâture (0)	1065	134	1336	534	44	52	0	0	0	
Pâture restreinte (1)	1417	325	1410	564	47	72	240	480	0,34	
Stabulation saisonnière (2)	1481	453	1370	959	47	110	720	480	1,03	
Stabulation permanente (3)	2242	988	1174	1174	50	156	2190	730	3,13	
Classes 3/4 (production pour une vache)										
Pâture (0)	533	67	668	267	22	26	0	0	0	
Pâture restreinte (1)	709	163	705	282	23	36	120	240	0,17	
Stabulation saisonnière (2)	741	227	685	479	23	55	360	240	0,51	
Stabulation permanente (3)	1121	494	587	587	25	78	1095	365	1,56	

nécessite une production de fourrages de 360 kg par vache et une superficie de 0,51 ha vache⁻¹. De surcroît, elle assure une production plus élevée de fumier utilisable, grâce à l'accumulation des fèces à l'étable. Quant à la stabulation permanente, il semble difficile pour les agro-éleveurs possédant de grand troupeau d'adopter cette option d'alimentation à cause du besoin important en fourrage de niébé (1.095 kg vache⁻¹) et la demande élevée de surface pour sa culture (1,56 ha vache⁻¹). Cela concorde avec le résultat obtenu par Bosma et al. (1999), qui rapportent que différents paysans ont des troupeaux trop importants pour être maintenus en stabulation et la disponibilité des intrants (graines de coton, main d'œuvre parmi d'autres) deviendront très rares si une telle pratique est adoptée par le village entier. Toutefois, la stabulation saisonnière apparaît comme une bonne alternative de gestion des vaches laitières pour intensifier le système d'élevage des grands agro-éleveurs et des agro-éleveurs moyens (classes 1 et 2), puisqu'elle ne demande que 0,5 ha par vache pour la production de fourrage de niébé. Quant aux petites exploitations possédant une vache laitière, il semble aussi difficile pour elles d'adopter la stabulation, eu égard au besoin de fourrages et de surface (de 0,5 à 1,56 ha vache⁻¹).

Analyse économique

Culture du coton

Les résultats de l'analyse économique du coton (Tableau 4) montrent que les coûts des intrants (urée, complexe coton et insecticide) et de la main d'œuvre représentent respectivement 40 et 51% des charges totales de production du coton. Le bénéfice net marginal varie de 43 (agro-éleveurs moyens) à 74 \$US par ha (grands agro-éleveurs,), contre des pertes de 21 \$US par ha pour les petits agro-éleveurs et cultivateurs. Ces faibles revenus monétaires s'expliquent d'une part par la faiblesse des rendements, mais d'autre part par le faible prix du coton graine aux producteurs. Mais, habituellement les petits paysans n'évaluent pas le coût de la main d'œuvre familiale, ni de l'amortissement du matériels, ce qui peut expliquer pourquoi, ils ne s'aperçoivent pas de revenu négatif (Ruben et Van Ruijven, 2001; Ruben et al., 2006). Cependant, l'on ne saurait passer sous silence les subventions accordées aux producteurs de coton des pays du Nord et de l'USA, comme l'une des causes principales de la baisse du prix de coton sur le marché mondial (Poonyth et al., 2004). Dans ce contexte, les paysans sont forcés de trouver des alternatives rémunératrices pour diversifier les sources de revenus et adapter leur système de production aux changements en cours.

Culture du niébé pour la supplémentation de vache laitière

La supplémentation des vaches laitières génère d'importants revenus monétaires

annuels (Tableau 5), lesquels oscillent entre 105 \$US (pâturage restreint) et 139 (stabulation saisonnière) par vache, contre 89 \$US pour l'option de pâturage en toutes saisons, lorsque le prix d'achat du lait aux producteurs est de 0,38 \$US le litre (175 FCFA), soit des augmentations du bénéfice net marginal de 18 et 56% respectivement en faveur de l'utilisation de la pâturage restreint et la stabulation saisonnière. Par contre, Rietveld (2009) a estimé le revenu annuel moyen de la vente de lait à 109 \$US (50.000 FCFA) par exploitation (enquêtes).

Quant à la stabulation permanente, elle permet d'augmenter le bénéfice net marginal de 88% et révèle une productivité de terre élevée en comparaison avec les autres options d'alimentation. La productivité de la terre pour la stabulation permanente (107 \$US) peut être considérée comme le revenu généré par la culture d'un ha de niébé et est plus élevé que celui d'un ha de coton 74, 43 et -21 \$US respectivement pour les grands agro-éleveurs, agro-éleveurs moyens, et petits agro-éleveurs/cultivateurs. Il y a là une évidence d'augmentation des revenus avec l'allocation de plus de surface pour le niébé fourrager dans un but de supplémentation de vache en lactation en comparaison avec la culture d'un hectare de coton pour ces exploitations agricoles.

Tableau 4: Analyse de la rentabilité économique de la culture d'un ha de coton pour différentes classes d'exploitation agricole durant une campagne.

Rubrique	grands agro- éleveurs (Classe 1)	agro-éleveurs moyens (Classe 2)	petits agro-éleveurs petits cultivateurs (Classe 3/4)
Quantité des intrants et rendements			
rendement coton (kg ha ⁻¹)	1106	975	723
urée (kg ha ⁻¹)	51	49	37
complexe coton (kg ha ⁻¹)	126	118	111
fumure organique (kg ha ⁻¹)	1624	795	379
insecticide (l ha ⁻¹)	3,5	3,9	3,2
<i>valeurs produits</i> (\$ ha ⁻¹)	384	339	251
charges variables (\$ ha ⁻¹)			
urée	25	24	18
complexe coton	65	61	58
fumure organique	26	13	6
insecticide	35	39	32
charges fixes (\$ ha ⁻¹)			
amortissement matériels ¹	2	2	2
main d'œuvre ²	157	157	157
<i>charges totales</i>	310	296	272
Bénéfice net marginal	74	43	-21

¹amortissement du matériel réfère à la charrue/multiculter pour le labour d'un ha de coton

²nombre d'heures de travail pour un ha de coton est estimé à 769

En plus, pour les petits agro-éleveurs et petits cultivateurs, eu égard à la non rentabilité de la culture du coton, la bonne alternative, est la culture du niébé fourrager pour la supplémentation de vache allaitante pour celles qui en possèdent ou pour la vente. Mais, à cause des coûts de la main d'œuvre et des aliments (concentrés) relativement élevés pour la stabulation permanente, elle est moins profitable pour les agro-éleveurs en comparaison avec la stabulation saisonnière. Cela pourrait expliquer aussi, pourquoi en milieu paysan, il est pratiquement difficile de voir des vaches Méré en stabulation permanente.

Tableau 5: Analyse de la rentabilité économique d'une vache laitière selon différentes options d'alimentation et de gestion (valeurs en \$US) (Options d'alimentation: 0 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 1 kg son céréale + 2 kg résidus de cultures; 1 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 2 kg tourteau coton + 2 kg niébé; 2 = stabulation en saison sèche chaude + 2 kg tourteau coton + 3 kg niébé + 3 kg résidus de cultures et 3 = stabulation en toutes saisons avec apport de 3 kg niébé + 2 kg tourteau coton + 4 kg d'herbe ou résidus de cultures)

Rubriques	Options			
	Pâture en toute saison	Pâture restreinte	Stabulation saisonnière	Stabulation permanente
<i>charges</i>				
niébé	0	7	20	30
tourteau de coton	0	39	39	119
résidus de cultures	0,3	0	1,3	5,8
son de céréales	7	0	0	0
soins sanitaires	5	5	5	5
main d'œuvre	7	7	17	37
parc/étable	0,2	0,2	0,2	1,1
charges totales	19	58	82	198
<i>produits</i>				
lait	25	62	86	188
fumier	4	5	8	10
gain de poids vache	36	38	38	41
gain de poids du veau	43	59	89	127
total produits	108	163	221	365
bénéfice net marginal	89	105	139	167
RVC		1	2	1
Productivité terre (\$ US ha ⁻¹)	45	48	58	107

Cependant, l'option de stabulation permanente peut être bonne pour la préservation de l'environnement en comparaison avec les autres options d'alimentation. Il semble plutôt que c'est la rentabilité des technologies aussi bien que les risques encourus qui gouvernent l'adoption de nouvelle technologie par les paysans (Schlecht et al., 2006b). En plus, l'adoption d'une technologie semble être influencée par la demande de main

d'œuvre pour son utilisation aux moments critiques de la saison (Aune et Bationo, 2008). Les revenus monétaires actuels des exploitations peuvent être bien améliorés à travers un changement dans le fonctionnement des exploitations en termes d'allocation des surfaces entre cultures vivrières, cultures de rentes et légumineuses.

Répercussions économiques de l'introduction des options d'alimentation et de gestion des vaches laitières sur les exploitations agricoles

L'amélioration de la gestion et de l'alimentation des vaches laitières a un impact positif sur le revenu monétaire annuel des exploitations. Les résultats montrent que l'adoption de la stabulation saisonnière des vaches allaitantes par les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens (classes 1 et 2) entraîne une augmentation des revenus annuels respectivement de 6 et 16%, en comparaison avec la pâture en toutes saisons (Figure 2). Par contre, l'adoption de la pâture restreinte des vaches allaitantes assure une augmentation des revenus annuels de 2 et 5% respectivement pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Quant aux petits agro-éleveurs et petits cultivateurs (classe 3/4) possédant des vaches allaitantes, des augmentations significatives du revenu annuel, 31 et 95%, sont obtenus respectivement en faveur l'utilisation de la pâture restreinte et de la stabulation saisonnière en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Mais, il convient de noter que cette analyse ne considère pas toutes les sources de revenus comme la vente des céréales et de l'arachide. Cette dernière culture procure près de 20% des revenus des petites exploitations (Rietveld, 2009).

L'adoption de la stabulation permanente entraîne une réduction du revenu annuel de 18% (grands agro-éleveurs) en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Cette réduction s'explique par les coûts de production très élevés pour cette stratégie, constitués essentiellement de charges d'aliments (tourteau de coton, niébés) et de main d'œuvre représentant respectivement 78 et 19% des coûts totaux. Cependant, il existe d'autres avantages de la stabulation permanente, notamment la réduction de la pression des animaux sur les pâturages et la préservation des écosystèmes. L'évidence de l'Ethiopie montre que les paysans investissent dans la gestion collective des ressources communes lorsque le ratio main d'œuvre/terre augmente, et les paysans perçoivent les bénéfices de tel investissement (Gebremedhin et al., 2003). En résumé, la stabulation saisonnière semble beaucoup profitable pour la gestion des vaches allaitantes à cause des revenus annuels générés pour les agro-éleveurs en comparaison avec les autres options d'alimentation. Mais, l'adoption de cette option d'alimentation nécessite un changement dans le système de production à travers l'allocation de plus de surface pour la production du niébé fourrager, dont la bonne combinaison est l'allocation en

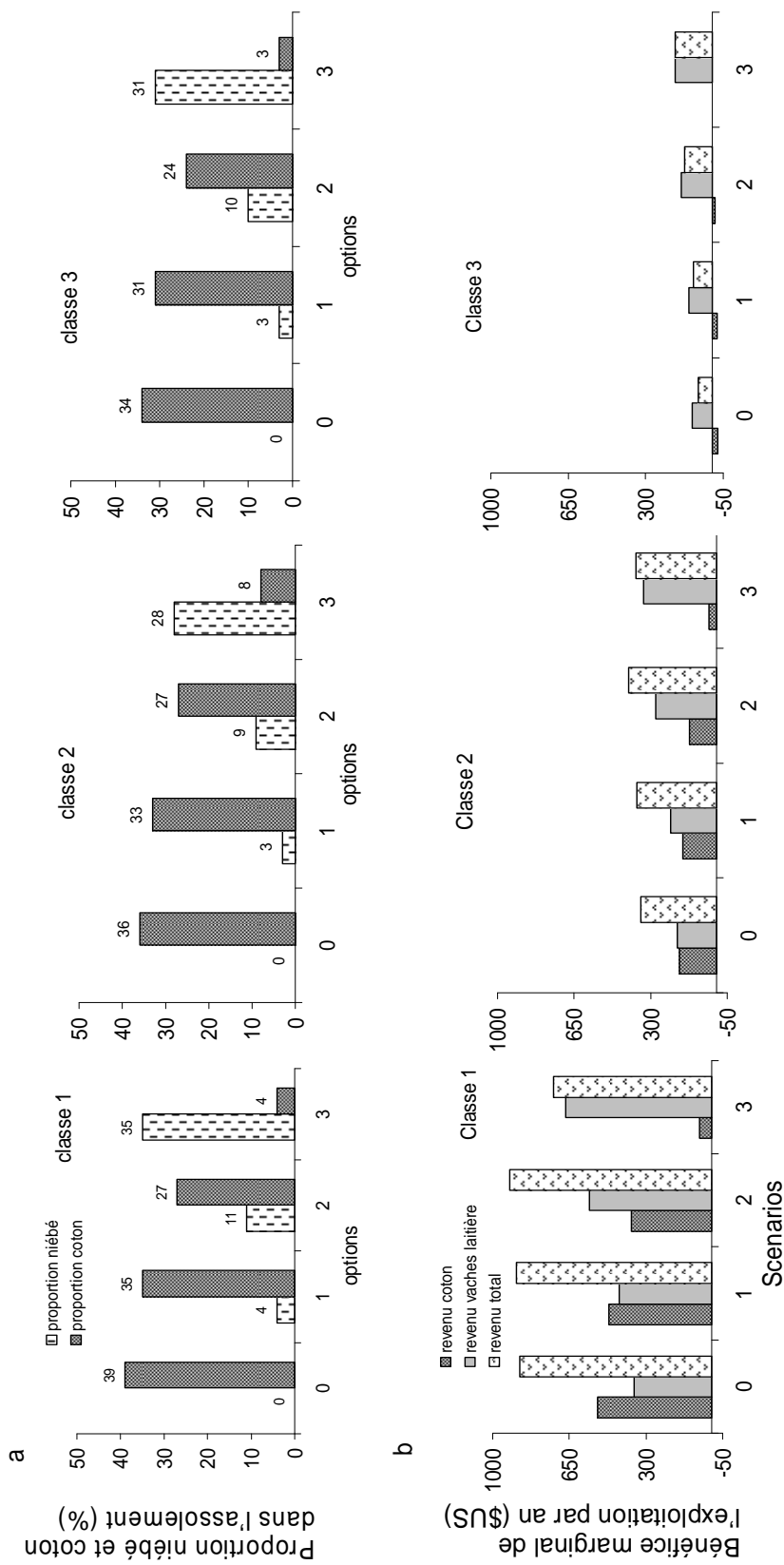


Figure 2: Surface de la culture de rente coton et légumineuse niébé dans l'assolement (en %) pour différentes classes d'exploitation agricole (a) et revenus annuels générés par classe d'exploitation selon différents scénarii (b), (Options d'alimentation: 0 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 1 kg son céréale + 2 kg résidus cultures, 1 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 2 kg tourteau coton + 2 kg niébé, 2 = stabulation en saison sèche chaude + 2 kg tourteau coton + 3 kg niébé + 3 kg résidus cultures, et 3 = stabulation permanente avec apport de 3 kg niébé + 2 kg tourteau coton + 4 kg pailles de brousse ou résidus cultures).

Tableau 6: Contribution des vaches allaitantes au revenu annuel de l'exploitation pour un prix moyen de vente du litre de lait aux producteurs de 0,38 \$US soit 175 FCFA

Classes	scenario	Proportion niébé et coton dans l'assolement (en %)	Revenu annuel		Contribution des vaches		Contribution du coton	
			Exploitation (\$US)	(\$US)	au revenu annuel (\$US)	au revenu annuel (\$US)	au revenu annuel (\$US)	au revenu annuel (%)
1 (Surface exploitation: 18 ha)	Pâtûre (0)	niébé (0) et coton (39)	876	356	41	521	59	
	Pâtûre restreinte (1)	niébé (4) et coton (35)	891	421	47	469	53	
	Stabulation saisonnière (2)	niébé (11) et coton (27)	924	557	60	367	40	
	Stabulation permanente (3)	niébé (35) et coton (4)	721	666	92	55	8	
2 (Surface exploitation: 11 ha)	Pâtûre (0)	niébé (0) et coton (36)	346	178	51	168	49	
	Pâtûre restreinte (1)	niébé (3) et coton (33)	364	211	58	154	42	
	Stabulation saisonnière (2)	niébé (9) et coton (27)	402	278	69	124	31	
	Stabulation permanente (3)	niébé (28) et coton (8)	366	333	91	33	9	
3/4 (Surface exploitation: 5 ha)	Pâtûre (0)	niébé (0) et coton (34)	64	89	139	-25	-39	
	Pâtûre restreinte (1)	niébé (3) et coton (31)	84	105	126	-21	-26	
	Stabulation saisonnière (2)	niébé (10) et coton (24)	125	139	112	-14	-12	
	Stabulation permanente (3)	niébé (31) et coton (3)	167	167	100	0	0	

moyenne de 10% de surface totale au niébé fourrager, 27% au coton, et le reste peut être utilisé pour la culture des céréales (Figure 2a). Par contre, l'allocation de plus de 30% de surface totale de l'exploitation pour la production des fourrages n'augmente pas le revenu annuel. Aussi, eu égard à la faible production de lait de la race Méré, il semble nécessaire de limiter les investissements d'alimentation (achat de concentré, fourrage de niébé), et de main d'œuvre pour éviter des pertes financières.

Effet des fluctuations de prix sur les revenus des exploitations

Les revenus monétaires des exploitations sont constitués essentiellement de ceux de l'élevage et du coton, dès lors un changement éventuel du prix de lait et/ou de coton graines a des répercussions économiques importantes sur les exploitations. Par exemple, lorsque le prix de vente du lait au niveau des producteurs est fixé à 0,38 \$US le litre, les exploitations de grands agro-éleveurs enregistrent des revenus annuels allant de 721 \$US (stabulation permanente) à 924 (stabulation saisonnière) (Tableau 6), celles de la classe 2 fluctuent de 346 (pâturage en toutes saisons) à 402 \$US (stabulation saisonnière), contre 64 (pâturage en toutes saisons) et 167 \$US (stabulation permanente) pour les petites exploitations. Mais, la baisse du prix de lait de 15%, entraîne des réductions des revenus annuels de 4% (pâturage restreint) à 6% (stabulation saisonnière) pour la classe 1, contre 5% (pâturage restreint) et 6% (stabulation saisonnière) pour la classe 2. S'agissant des petites exploitations des réductions de 10% sont observées à la fois pour les options de pâturage restreint et stabulation saisonnière, lorsque le prix du lait baisse de 15% (Figure 3). En plus de la variation de prix du lait, d'autres facteurs tels que l'accès des producteurs aux intrants (tourteaux et graine de coton) et le niveau de pression sur les pâturages pourraient aussi influencer les revenus annuels des exploitations et le bien-être des populations. Il convient également, de souligner que la culture d'un ha de coton peut devenir plus avantageuse que la culture d'un ha de niébé, lorsque le prix d'achat du coton au producteur augmente à 0,43 \$US, puisque le niébé nécessite plus d'énergie pour la transformation de la production primaire en production secondaire (lait). Selon les stratégies paysannes de production, lorsque le prix du coton graines au niveau des producteurs baisse beaucoup (0,35 \$US kg⁻¹), les producteurs ont tendance à réduire les surfaces de coton pour augmenter celles des céréales et des légumineuses fourragères (Rietveld, 2009).

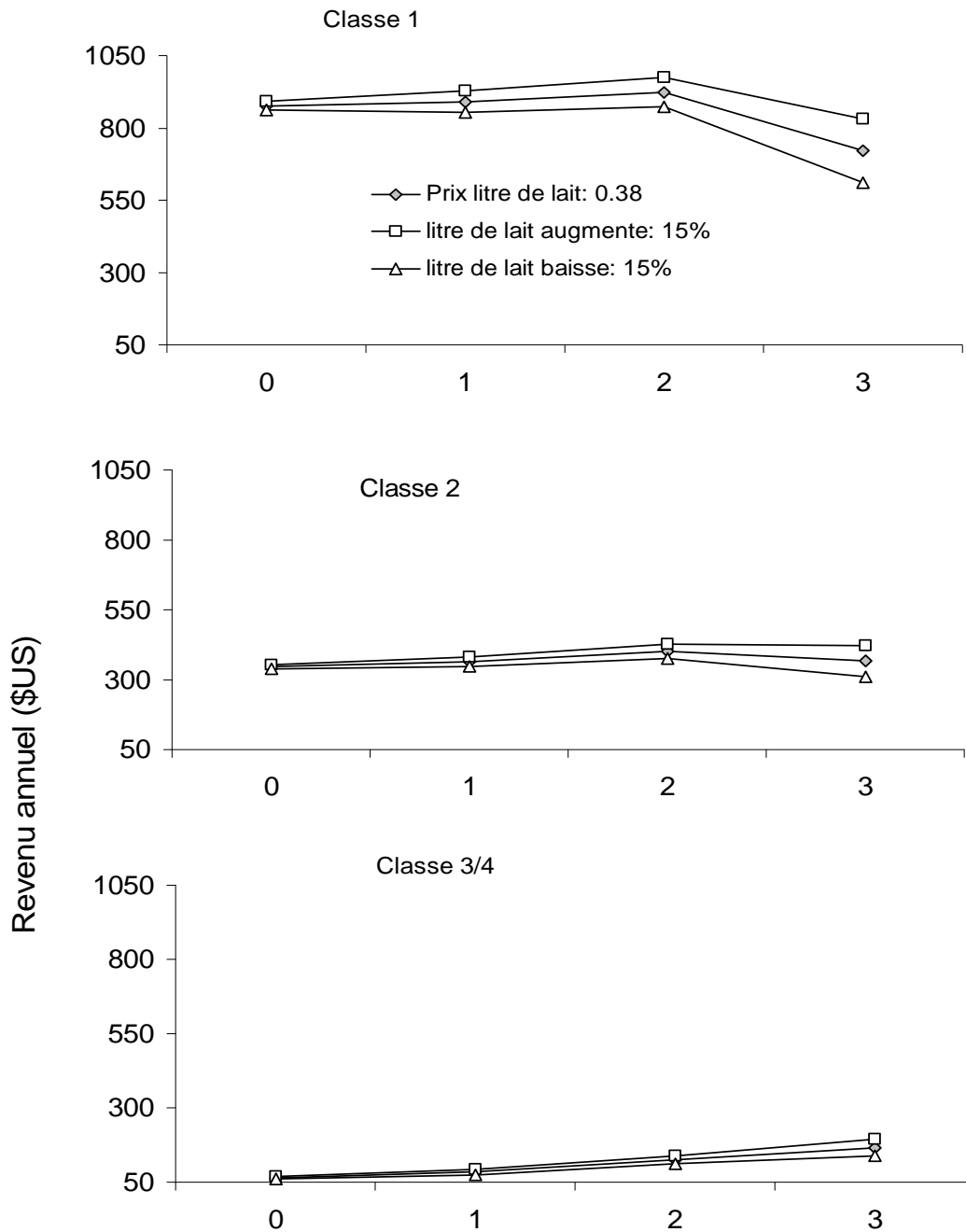


Figure 3: Impact de la variation des prix de lait sur les revenus annuels des classes d'exploitations agricoles selon différents scénarii: 0 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 1 kg son céréale + 2 kg résidus de cultures; 1 = pâture + supplémentation en saison sèche chaude avec 2 kg tourteau coton + 2 kg niébé; 2 = stabulation en saison sèche chaude + 2 kg tourteau coton + 3 kg niébé + 3 kg résidus de cultures et 3 = stabulation en toutes saisons avec apport de 3 kg niébé + 2 kg tourteau coton + 4 kg de paille de brousse/herbe ou résidus de cultures.

5.4 Conclusions

Cette recherche a montré sans doute que l'introduction de la stabulation saisonnière des vaches laitières dans les exploitations permet d'augmenter les revenus monétaires, grâce à une bonne combinaison des cultures en termes d'allocation des surfaces et de rapport courant des prix du lait et du coton aux producteurs. Une allocation de 10% des surfaces totales de l'exploitation pour la production du niébé fourrager utilisé pour la supplémentation des vaches allaitantes en stabulation en saison sèche chaude permet d'augmenter le revenu annuel des grands agro-éleveurs de 6% contre 16% pour les agro-éleveurs moyens. Cela doit encourager les agro-éleveurs à inclure plus de légumineuses fourragères dans l'assolement pour la production des fourrages, cependant l'allocation de plus de 30% des surfaces pour la production des fourrages n'augmente pas les revenus annuels de l'exploitation. La stabulation saisonnière apparaît comme une bonne alternative pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens pour augmenter les revenus, réduire la pauvreté et intensifier le système d'élevage pour mieux répondre à la demande de lait dans les centres urbains. Quant aux petits agro-éleveurs et cultivateurs possédant une vache en lactation, il semble difficile pour eux de mettre cette dernière en stabulation saisonnière eu égard au besoin de fourrages et de surface par vache. Par contre, ils pourront cultiver des fourrages pour la vente aux grands et moyens agro-éleveurs. Par ailleurs, les coûts de production très élevés pour la stabulation permanente ne permettent pas d'envisager actuellement cette option de gestion des vaches allaitantes pour l'augmentation des revenus monétaires des exploitations. En outre, le besoin élevé de main d'œuvre est un autre facteur qui limite l'utilisation de cette option.

Discussions générales

Le lait, de l'or blanc?

Amélioration de la productivité des exploitations mixtes cultures-élevage à travers une meilleure gestion et alimentation des vaches laitières dans la zone de Koutiala, Mali.

6. Discussions générales

6.1 Introduction

L'insécurité alimentaire et la pauvreté sont sévères dans les zones rurales où la majorité des populations pauvres en Afrique sub-Saharienne vit et tire sa subsistance de l'agriculture et l'élevage (FAO, 2006). En plus, le sous-secteur de l'élevage est l'activité la plus importante économiquement dans beaucoup de pays sahélien. Au Mali par exemple, l'agriculture et l'élevage contribuent environ 23% au revenu des exportations totales et 40% au revenu intérieur brut du pays (Bonfoh et al., 2005; Dicko et al., 2006). Le sous-secteur de l'élevage occupe une place importante dans l'économie du pays et celle des exploitations. Les animaux sont utilisés pour la culture attelée, le transport, la production de fumier et de lait, et jouent également un rôle d'épargne de capital pour des investissements. Malgré l'importance de l'élevage, sa productivité reste faible à cause de plusieurs facteurs, notamment les stratégies actuelles d'alimentation des troupeaux, basées sur l'utilisation des faibles quantités et qualités des ressources fourragères des pâturages durant la longue saison sèche (Bartholomew et al., 2003), la faible qualité des résidus de cultures utilisés comme fourrage et la faible production des cultures fourragères. A cela, s'ajoutent l'effet des maladies, les difficultés d'accès aux marchés dues au manque d'infrastructures (routes) et l'environnement socio-économique et politique.

Pour résoudre les contraintes de faible productivité agricole, il faut formuler des technologies pouvant contribuer à l'amélioration des performances des systèmes de production. Nous avons focalisé la recherche sur le sous-secteur de l'élevage des systèmes de production mixtes, particulièrement l'analyse de différentes stratégies d'alimentation et de gestion des vaches laitières pour l'amélioration de la productivité agricole, mais l'hétérogénéité des exploitations a été d'abord analysée, parce que les mesures efficaces dépendent de leurs ressources et structure.

6.2 Développement des exploitations agricoles.

Les petites exploitations Africaines sont hétérogènes en termes de dotation en ressources, d'orientation de la production et d'objectifs, de technicité, d'expérience antérieure et de stratégies de gestion (Crowley et Carter, 2000; Giller et al., 2006b; Tiftonell, 2007). Les exploitations de la zone Mali Sud ne font pas exception à cette règle. La prise en compte de cette diversité est primordiale pour mieux cibler les

activités de recherche agricole et d'aider les décideurs à mieux orienter les actions de développement agricole.

Les paramètres de structure et de fonctionnement des exploitations ont été utilisés pour catégoriser les exploitations agricoles de la zone Mali Sud en 4 classes (Chapitre 2). Les groupes d'exploitations formés diffèrent en termes de dotation en ressources, d'allocation des ressources, de systèmes de production, d'activités génératrices de revenus et de stratégies de production. Les grands agro-éleveurs (classe 1, 16%) et agro-éleveurs moyens (classe 2, 66%) sont caractérisées par un système de production mixte (cultures-élevage), avec beaucoup de bétail et de coton (orientées vers le marché), par contre les petits agro-éleveurs et cultivateurs (classes 3 et 4 ensemble 18%) pratiquent un système de production basé sur les céréales (orientation subsistance). Dans les grandes exploitations (grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens), on rencontre des animaux constitués principalement de bovins et d'ânes pour le transport. Tandis que dans les petites exploitations (petits agro-éleveurs et cultivateurs) c'est surtout les petits ruminants et la volaille qui dominent. En termes d'évolution des exploitations entre 1994 et 2004, une progression importante du nombre d'UBT (63%) est observée chez les grands agro-éleveurs contre 22% pour les petits cultivateurs. L'effectif élevé du cheptel des grands agro-éleveurs est due principalement au revenu de la culture du coton investi dans l'élevage et l'équipement. Selon Brons et al. (2004), la zone de Koutiala se caractérise par un niveau élevé d'équipement et de cheptel. Et dans cette zone, les dépenses par hectare sont aussi les plus élevées. Au cours de la même période (1994-2004), le nombre des actifs a augmenté de 14 à 21 pour les grands agro-éleveurs, et de 2 à 3 pour les petits cultivateurs. Quant aux surfaces cultivées, les résultats de l'étude ont montré une diminution de jachère dans les systèmes de production de toutes les classes d'exploitation, indiquant une mise en culture continue des mêmes champs tous les ans. Le manque de jachère observé est attribué d'une part à l'utilisation de la culture attelée et d'autre part à l'extension des surfaces cultivées (Figure 1). La culture continue des mêmes champs sans et/ou avec apport de faibles quantités d'engrais ne permet pas d'assurer le maintien de la fertilité des sols, en tant que support de la production agro-sylvo-pastorale.

S'agissant de la sécurité alimentaire, elle varie selon les classes: les grandes exploitations grâce à leur meilleure dotation en ressources, arrivent à produire suffisamment pour assurer leur autosuffisance alimentaire, par contre les petites exploitations sans ressources et faiblement équipées sont confrontées à l'insuffisance alimentaire. Ces dernières vendent leur force de travail aux autres exploitations pour l'obtention de liquidité nécessaire à la gestion des dépenses quotidiennes. Mais, cela entraîne une insuffisance de main d'œuvre familiale pour l'exécution des activités de

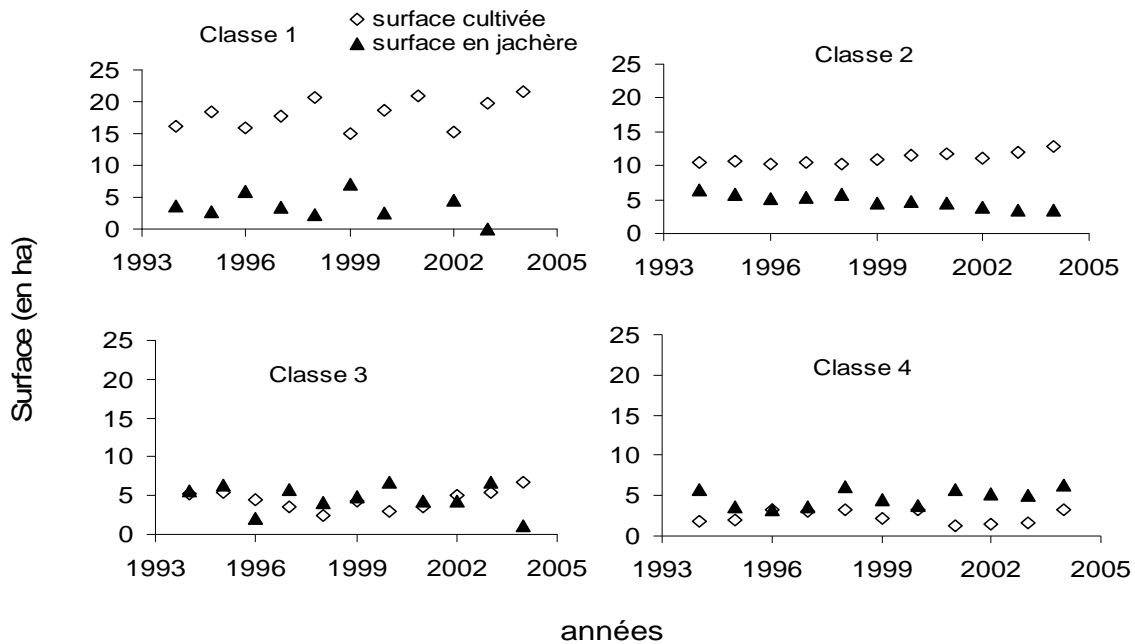


Figure 1: Evolution des surfaces cultivées et des jachères pour les différentes classes d'exploitation agricole

l'exploitation, retarde la préparation des champs en début de campagne et affecte l'installation à temps des cultures, ce qui a pour conséquence des rendements faibles.

Au cours de la période 1994-2004, une tendance d'augmentation de l'indice de développement (Chapitre 2) des grandes exploitations (grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens) a été observée en comparaison avec les petites (petits agro-éleveurs et cultivateurs), indiquant un enrichissement de plus en plus des grandes exploitations, grâce à l'augmentation du niveau de dotation en ressources. Par contre, les petites exploitations ont tendance à s'appauvrir davantage. Le développement des grandes exploitations est fortement attribué au revenu du coton et l'élevage à travers la traction animale et le recyclage des minéraux dans le système de production par le bien de la production du fumier (Figure 2), utilisée préférentiellement sur les parcelles de coton et/ou du maïs. Selon Djouara et al. (2006), 40 à 57% des revenus agricoles annuels des grandes exploitations proviennent de l'élevage.

S'il est vrai que pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens possédant beaucoup d'animaux (en moyenne 57 et 15 UBT respectivement) et de main d'œuvres (en moyenne 21 et 11 actifs respectivement, Chapitre 2), le coton a longtemps été la principale source de revenus et occupait en 2004 plus du tiers des surfaces totales cultivées, aujourd'hui on assiste de plus en plus à une réduction des surfaces en coton.

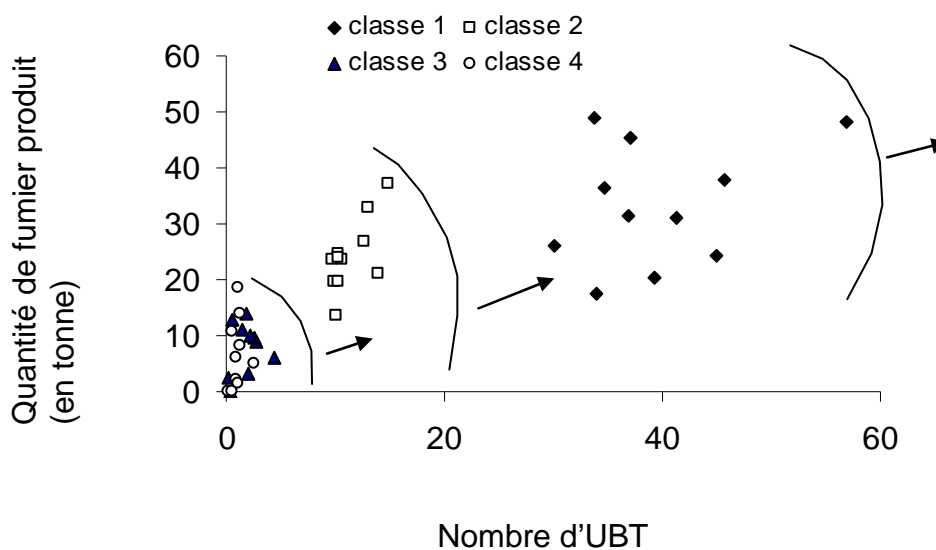


Figure 2: Facteur contribuant au développement des exploitations, la production de fumier en relation avec le nombre d'UBT selon les classes d'exploitation

Cela est une conséquence de la baisse de son prix sur le marché mondial et des problèmes actuels tels que la mauvaise organisation du paiement (Djouara et al., 2006; Rietveld, 2009), la gestion inappropriée de la part de l'encadrement de la Compagnie Malienne du Développement des Textiles (CDMT), le mécontentement des producteurs et la baisse des rendements. Brons et al. (2004) rapportent que les rendements du coton sont particulièrement bas dans la zone de Koutiala indiquant que les conditions agronomiques (teneur du sol en éléments nutritifs et la structure) et économiques (marché) sont devenues moins favorables pour la culture du coton.

Dans ce contexte, et en vue de la demande croissante en lait dans les centres urbains (Bonfoh, 2005; Dicko et al., 2006), la production laitière pourrait être une alternative pour les producteurs, pour diversifier leurs sources de revenu et assurer un développement soutenable. Ainsi, les groupes d'exploitations mieux dotés en ressources (animaux, main d'œuvre familiale, terre et capital) pour continuer à se développer et pour diminuer les risques de production des cultures doivent investir dans la production laitière pour l'augmentation des revenus de l'exploitation. Par contre, les exploitations pauvres (petits agro-éleveurs et cultivateurs) n'ayant pas de bovin laitier, pourraient se focaliser en premier lieu sur la production de maïs pour satisfaire l'autosuffisance alimentaire et en deuxième lieu sur la culture des légumineuses fourragères pour la vente comme source de génération de revenu monétaire. Cependant, il convient de souligner que tous les agriculteurs n'ont pas l'intention de rester dans le domaine de l'agriculture, cela se manifeste par la présence d'un grand nombre de ruraux (surtout de jeunes) dans les centres villes en saison sèche à la recherche d'emploi. Ceux qui arrivent à trouver de l'emploi permanent

abandonnent l'agriculture au profit d'autres activités dans les centres urbains. Il s'agit surtout des petits agro-éleveurs et cultivateurs (classes 3 et 4).

Donc, les activités d'amélioration de la productivité des systèmes de production proposés doivent tenir compte des aspects suivants: les objectifs des paysans, la structure et le fonctionnement des différentes classes d'exploitations agricoles. En effet, ceux-ci sont des conditions indispensables pour le succès des actions proposées.

6.3 Stratégies de gestion des animaux et productivité

Lait

La productivité de l'élevage dans la plupart des pays tropicaux est entravée par la faible quantité et qualité des ressources fourragères durant la longue saison sèche (Bartholomew et al., 2003). Au Mali, particulièrement dans la zone de Koutiala, le niveau de dégradation des pâturages est très avancé dû à la diminution des surfaces et au dépassement de la capacité de charge, ce qui menace directement la situation fourragère des animaux (Leloup et Traoré, 1989; Bosma et al., 1999; Brons et al., 2004), en même temps on assiste à une augmentation de la demande en produits laitiers dans les grandes villes (Dicko et al., 2006), et une diminution des revenus du coton.

Généralement, les agro-éleveurs pratiquent la conduite des troupeaux bovins en toutes saisons sur les pâturages naturels et sur les résidus de cultures et/ou la transhumance. Ces pratiques ne peuvent pas assurer une production suffisante de lait pour la famille, encore moins pour la vente. D'où une nécessité de changer le système de conduite des troupeaux pour augmenter la production de lait. Les stratégies de gestion et d'alimentation des troupeaux bovins proposées aux agro-éleveurs pour améliorer la productivité étaient (Chapitre 3) la conduite sur les pâturages avec apport de suppléments en saison sèche chaude (pâturage restreinte), et le pâturage en saison de pluie et la stabulation en saison sèche chaude (stabulation saisonnière: système d'élevage semi-intensif). Des tests ont été exécutés en milieu paysan avec ces stratégies de gestion des animaux et des suppléments tels que le niébé fourrager, le stylosanthes et le tourteau de coton pour évaluer leurs impacts sur la performance des vaches laitières, comprendre les contraintes par rapport à l'adoption des cultures fourragères et promouvoir leur utilisation (Chapitre 3). Il faut noter que dans cette étude la comparaison entre les traitements est complexe parce que les vaches impliquées dans le test n'étaient pas au même stade de lactation, en outre la durée de l'expérimentation était aussi courte, ceux-ci pourront avoir de l'influence sur les résultats. Les productions de lait étaient faibles et ont varié entre 41 et 152 litres par vache en saison sèche chaude (environ 100 jours; Figure 3a), soit une production de

0,4 (conduite aux pâturages) et 1,5 litre vache⁻¹ jour⁻¹ (stabulation saisonnière), similaires aux résultats de Bonfoh et al. (2005) et ceux de Dicko et al. (2006) qui rapportent une production d'environ 2 litres de lait par jour dans les systèmes d'élevage traditionnels au Mali. Ces faibles productions de lait peuvent s'expliquer par la mauvaise alimentation, basée sur l'utilisation de pauvres résidus de récoltes comme principales sources d'alimentation des animaux en saison sèche chaude dans la majorité des élevages. Les possibilités de collecte des herbes des pâturages et des résidus de cultures à temps (lorsqu'ils sont encore verts) pour augmenter la disponibilité et la qualité des fourrages sont limitées due à des contraintes de main d'œuvre familiale et d'équipement de transport (Ruben et Van Ruijven, 2001). A cela s'ajoutent la faible production des légumineuses fourragères pour la supplémentation, le prix élevé des produits agro-industriels (tourteaux de coton, graines de coton) et la non adaptation de la race locale pour la production laitière. De surcroit, la performance laitière est entravée par les maladies telles que la péripneumonie contagieuse bovine, la pasteurellose, les trypanosomes et les maladies tullériques (Dicko et al., 2006). Pour faire face à ces maladies, la plupart des agro-éleveurs administrent eux-mêmes des soins avec des médicaments achetés au marché libre.

La production de lait, relativement plus élevée pour des vaches en stabulation est liée à la stratégie de gestion et d'alimentation, particulièrement la supplémentation avec des concentrés et des fourrages légumineux. Mais, s'il est vrai que le niveau de production de lait dans le système de stabulation saisonnière était plus élevé comparé aux autres stratégies, il n'en demeure pas moins vrai que ses niveaux de production sont dans l'ensemble très faibles. Jenet et al. (2004) rapportent que des races indigènes, bien adaptées à la faible disponibilité de l'eau et de la nourriture, pourraient être le choix approprié pour les régions tropicales éloignées avec des conditions défavorables où souvent les bovins sont élevés pour divers objectifs et l'état d'embonpoint de la vache est souvent le plus important que la production de lait. Par ailleurs, Bayeni et al. (2007) rapportent qu'actuellement le lait est peu transformé et sa conservation est aussi difficile. Selon les mêmes auteurs le développement de la filière lait dépend du marché, et lorsque le prix du lait augmente, peu de lait est utilisé pour la consommation familiale. Dans cette perspective de développement de la filière lait, l'amélioration génétique par insémination artificielle peut être une option pour améliorer la production, à condition que les paysans réussissent à augmenter la disponibilité des fourrages de bonne qualité. Les autres enjeux restent le besoin élevé de main d'œuvre pour la stabulation (nettoyage étable, collecte de pailles, abreuvement etc.) et les maladies.

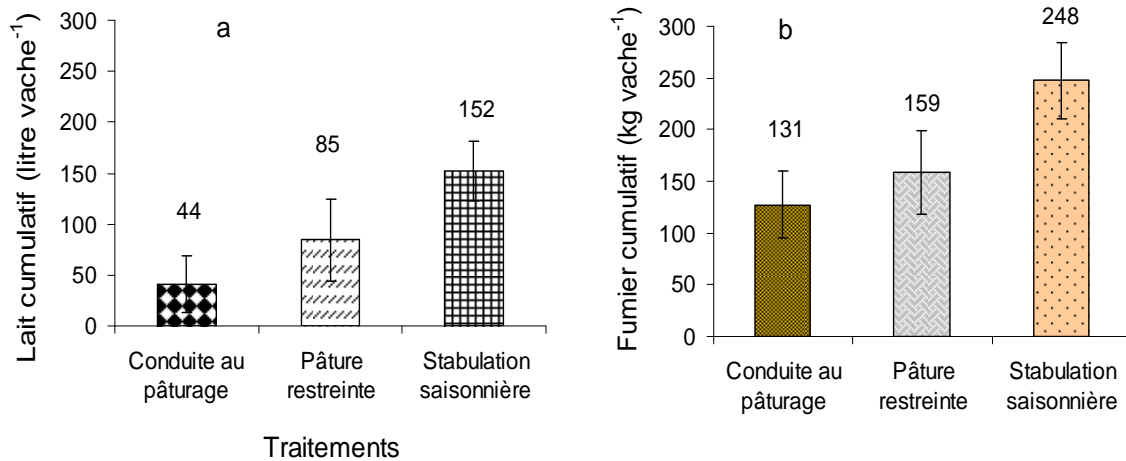


Figure 3: Production de lait cumulatif (a) et du fumier (b) pour trois stratégies d'alimentation des vaches allaitantes durant 3,5 mois d'expérimentation en milieu paysan dans la zone de Koutiala.

Pour bien nourrir les troupeaux durant la période de déficit des fourrages (saison sèche chaude) et répondre à la demande croissante en lait dans les centres urbains, il est nécessaire d'introduire des cultures fourragères dans le système de rotation, et créer un marché interne (au niveau village) pour leur vente. Ce qui pourrait permettre aux petites exploitations de profiter du développement de la filière. En outre, il faudrait maintenir les vaches laitières en stabulation et les supplémenter avec des fourrages de bonne qualité (légumineuses) et des aliments agro-industriels (tourteaux de coton, graines de coton, etc.). Mais, l'acquisition des derniers par les producteurs pourrait être problématique due aux prix élevés de ces intrants sur le marché, aggravé par la privatisation annoncée de la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT).

Il semble aussi plus économique pour les paysans d'opter pour la stabulation des vaches laitières durant la saison sèche chaude sans passer par l'option de transition (pâturage restreint plus supplémentation), pour éviter le gaspillage des ressources (investissement dans les concentrés). L'adoption de telle option de gestion des vaches (stabulation saisonnière), malgré des dépenses supplémentaires pour l'achat des concentrés, semble la solution appropriée pour augmenter la production de lait et des revenus des producteurs. En plus de cela, une amélioration génétique des races locales par insémination artificielle des races locales avec des exotiques et/ou avec d'autres races locales à plus haut potentiel productif semble aussi nécessaire, bien que cela n'ayant pas fait l'objet d'investigation dans la présente étude.

En conclusion, pour un développement futur des unités de production laitière ou une spécialisation des élevages de la zone de Koutiala dans la production de lait, les agro-éleveurs doivent accepter d'investir de l'argent dans l'achat des suppléments

(concentrés), de produire des fourrages de bonne qualité et en quantités suffisantes. Ces mesures doivent être accompagnées par une meilleure politique de promotion et de développement du secteur de l'élevage, notamment l'organisation des producteurs, la formation des acteurs de la filière, l'accès aux crédits, aux marchés, aux aliments agro-industriels et l'amélioration de la santé animale (Pomeranz, 2006).

Fumier

Le fumier joue un rôle important pour l'augmentation de la productivité des systèmes de production agricoles, cependant la production actuelle du fumier est encore loin de couvrir les besoins, et change en fonction de la taille du troupeau et de sa gestion. Par exemple, certains agro-éleveurs possédant de grands troupeaux n'arrivent pas à produire suffisamment de fumier pour la fertilisation de leurs parcelles, à cause du mode de gestion inappropriée des animaux (systèmes de transhumance, divagation, mauvaise alimentation, etc.). Par contre, d'autres produisent d'importantes quantités de fumier grâce à la bonne supplémentation des animaux avec des fourrages légumineux et de résidus de récoltes préalablement stockés et utilisés comme fourrage et litière. Les résultats de l'étude ont montré une production élevée de fumier pour les vaches en stabulation saisonnière en comparaison avec les autres stratégies de gestion des animaux (pâturage en toutes saisons et pâture restreinte) (Chapitre 3), et cela s'explique par la réduction des pertes de fumier sur les pâturages. Sans doute, l'augmentation de la production de fumier peut avoir des effets positifs sur la productivité agricole, mais le défi pour les paysans reste toujours la main d'œuvre nécessaire pour l'exécution des activités. Aussi, la durabilité du système de production dépend en partie du mode de gestion et de conduite des animaux, ces derniers assurant le recyclage des éléments nutritifs du système (Schiere et al., 2002; Rufino et al., 2006). En outre, la fluctuation saisonnière des fourrages des pâturages a aussi une influence sur la production de fumier, donc sur la durabilité du système de production agricole. Les agriculteurs devraient tenir compte de ces aspects, en modifiant le système de conduite de leurs troupeaux pendant la saison sèche chaude et en apportant de la litière dans le parc pour la production suffisante de fumier.

Reproduction

La performance de reproduction des vaches a été évaluée à partir de l'âge au premier vêlage et des intervalles de vêlage par simulation. Les résultats ont montré que l'âge moyen des génisses pour la première mise bas dans la stratégie de pâturage en toutes saisons est tardive (6 ans) en comparaison avec les autres stratégies, due principalement à la sous-nutrition qui retarde l'atteinte de poids de maturité chez les génisses en croissance (Chapitre 4; Bengaly et al., 1993). Ceci montre clairement qu'il

existe des marges de progrès à réaliser en matière d'alimentation des génisses pour réduire davantage leur âge au premier vêlage. S'agissant de l'intervalle de vêlage, il varie de 1,4 (stabulation permanente) à 1,6 ans (pâturage en toutes saisons). Les longs intervalles de vêlage des vaches dans la stratégie de pâturage en toutes saisons sont attribués à la pauvre disponibilité fourragère des pâturages, comme conséquence de la croissance de la population humaine et des animaux, dans une situation d'insuffisance et de variabilité de la pluviométrie, ce qui est probablement aggravée par le changement climatique (Dietz et al., 2004). Certains travaux ont montré que les intervalles de vêlages peuvent être réduits par une nutrition adéquate, entraînant une meilleure condition physique des femelles (Dicko, 1990; Le Cozler et al., 2008). En termes d'amélioration des performances de reproduction des vaches des paysans, la meilleure stratégie de gestion des vaches est la stabulation saisonnière, laquelle a permis de réduire l'âge au premier vêlage et de favoriser une production rapide de stock pour l'agrandissement du troupeau et l'augmentation de la productivité.

Viande

Les agro-éleveurs pratiquent aussi l'embouche bovine, ovine et volaille. Cette pratique consiste à nourrir l'animal en stabulation en apportant des aliments de qualité et en quantité suffisante pour assurer un engraissement rapide. Les animaux élevés pour la production de viande sont généralement vendus au marché à l'approche des fêtes religieuses et traditionnelles. Cependant, il faut souligner que le profit de l'agro-éleveur tiré de la vente de son animal est relativement bas à cause de la marge bénéficiaire qui revient aux nombreux intermédiaires intervenant dans le circuit de commercialisation (Dicko et al., 2006). La vente de viande est plus florissante dans les centres urbains et périurbains qu'en campagne. Le commerce de petits ruminants et de la volaille se fait au quotidien pour la gestion des petites dépenses journalières. Les autres produits animaux qui sont commercialisés incluent les cuirs, peaux, la laine et la force de traction (Dicko et al., 2006).

6.4 Intensification et revenu monétaire des exploitations

L'intensification réfère à tout processus permettant d'augmenter les extrants par ha à travers l'utilisation élevée et efficiente des intrants de main d'œuvre et de capital par unité de terre (Breman et Sissoko, 1998; Ramisch, 1998; Rietveld, 2009). Dans la zone de Koutiala, la culture du coton a longtemps été aux yeux des producteurs, le moyen approprié pour intensifier le système de production et augmenter la productivité de toute l'exploitation, puisqu'une partie des intrants (engrais chimique coton) obtenus

par crédit avec la CMDT est utilisée sur les céréales. En outre, la promotion de la culture du coton par l'état est faite à travers la CMDT.

En effet, la CMDT est une société mixte créée en 1974 par le gouvernement du Mali et la Compagnie Française pour le Développement des Textiles (CFDT). Elle s'occupe du développement de l'agriculture en général et en particulier de l'organisation de la production et de la commercialisation du coton, l'intégration de l'agriculture et de l'élevage, l'organisation du monde rural et la mise en valeur rationnelle des ressources naturelles. Elle assure la vulgarisation agricole, l'alphabétisation, l'approvisionnement en intrants, la collecte, l'égrenage et la commercialisation de la totalité de la production cotonnière de la zone Mali Sud. La CMDT, en plus de ses activités de vulgarisation et de développement, a longtemps assuré le crédit agricole. C'est au début des années 1980 que la Banque Nationale de Développement Agricole (BNDA) a été créée pour assurer la collecte de l'épargne paysanne et se substituer progressivement à la CMDT dans l'octroi du crédit agricole. Depuis 1977 la CMDT a encouragé la création d'Associations Villageoises (AV), mouvement pré-coopératif basé sur le transfert de certaines fonctions de l'appareil d'encadrement aux communautés villageoises (crédit agricole, appui technique, approvisionnement en intrants, commercialisation du coton, caution solidaire, alphabétisation, etc.). Les ressources de l'AV sont investies dans les actions de développement du village (forage, école, maternité, etc.). Mais, le surendettement des paysans pour des produits de consommation (moto, groupe électrogène, etc.) et la mauvaise application de la caution solidaire pour rembourser les prêts se sont traduits par des conflits entre les membres des AV. La plupart des AV ont ainsi éclaté et sont en train d'être remplacées par des APC (Association des Producteurs de Coton). Pour les exploitations faiblement équipées, les revenus générés par la culture du coton sont généralement utilisés pour l'achat d'équipement agricole et de bœufs de labour. Aujourd'hui, suite à la baisse du prix de coton sur le marché mondial, la culture n'arrive plus à jouer ces rôles et des changements sont entrain d'intervenir dans les systèmes de production pour diversifier les sources de revenu. Parmi ces alternatives figurent la production de lait, l'embouche bovine et ovine, la culture du maïs pour la vente, etc. C'est dans ce contexte de changements dans la zone de Koutiala que des alternatives d'amélioration de la productivité agricole ont été analysées (Chapitre 5), notamment la pâture restreinte, la stabulation saisonnière et permanente.

Les résultats ont montré qu'une introduction de la stabulation saisonnière et supplémentation des vaches laitières dans les exploitations des grands agro-éleveurs et des agro-éleveurs moyens (classes 1 et 2) permet d'augmenter les revenus annuels respectivement de 6 et 16%, en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Par contre, l'adoption de la pâture restreinte des vaches allaitantes assure une

augmentation des revenus annuels de 2 et 5% respectivement pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Le meilleur résultat obtenu avec la stabulation saisonnière est due en partie à la bonne combinaison entre cultures en termes d'allocation des surfaces, en moyenne 10% pour la production de fourrage de niébé et 27% pour le coton, et aussi au ratio prix de lait et prix de coton sur le marché. Cela doit encourager les paysans à inclure plus de niébé fourrager dans l'assolement pour la production des fourrages. Cependant, l'allocation de plus de 30% des surfaces totales, pour la production des fourrages destinés aux vaches en stabulation permanente, n'augmente pas les revenus annuels de l'exploitation, à cause des coûts de production très élevés, constitués principalement de charges d'aliments et de main d'œuvre. Pour les petits agro-éleveurs et cultivateurs (classes 3 et 4), eu égard aux pertes monétaires par rapport à la culture du coton (Chapitre 5), l'alternative est l'orientation vers la production du niébé fourrager pour la supplémentation de vache laitière pour ceux qui en possèdent ou pour la vente aux grandes exploitations, cela leur permettra de profiter du développement du marché de lait dans la zone.

Mais, il convient de souligner que les revenus générés par vache dépendent fortement aussi du prix de lait aux producteurs et des intrants externes (concentrés), donc des politiques agricoles et de l'environnement socio-économique. Par exemple, une augmentation éventuelle du prix de tourteau de coton d'environ 5-10% entraînerait une réduction des revenus de 10 à 15%. De même qu'une baisse du prix de lait de 15% entraînerait une réduction du revenu annuel de l'exploitation de 4 à 6%. Selon Von Braun (2007) les prix des produits alimentaires sont en train d'augmenter globalement due à l'augmentation de la demande en nourriture et en carburant. Une telle augmentation des prix des produits alimentaires pourrait faciliter l'intensification agricole au Sahel en rendant les investissements de la production plus profitable. Mais, la baisse des prix pourrait aussi entraîner une extensification agricole. En outre, il semble qu'en plus de la profitabilité de la technologie, aussi les risques encourus gouvernent l'adoption de nouvelle technologie par les paysans (Schlecht et al., 2006b, Aune et Bationo, 2008). Dans cet ordre idée, le risque de manque de marché pour la vente de lait pourrait être une contrainte pour l'adoption de la stabulation surtout lorsque la production devient importante.

Les revenus générés par l'élevage à travers la vente de lait sont généralement utilisés pour faire face aux dépenses quotidiennes de la famille, soins de santé, frais d'ordonnances, frais scolaires des enfants, l'achat du pétrole, et des dépenses de baptêmes et mariages. Egalement, les animaux jouent un rôle de source de financement des activités et d'assurance, ces derniers, en fonction de la localité, sont

souvent plus importants pour les agro-éleveurs par rapport à la génération d'argent liquide (Ayalew et al., 2003). En résumé, la meilleure performance économique observée pour la stabulation saisonnière est attribuée à la gestion appropriée et l'amélioration de l'alimentation des vaches laitière, et aussi à la bonne combinaison des cultures en termes d'allocation des surfaces. Mais, eu égard à la faible production de lait de la race Méré, il semble nécessaire de limiter les investissements de l'alimentation (achat de concentré) et de main d'œuvre pour éviter des pertes financières.

Aussi, le développement des infrastructures pourrait aider à augmenter la productivité du secteur agricole et les revenus monétaires, car la majorité des agro-éleveurs vivent dans les zones reculées, loin des centres de commercialisation. Il est nécessaire de disposer de routes praticables en toutes saisons pour faciliter l'acheminement du lait des zones de production vers les centres de commercialisation (grandes villes) et de diminuer les coûts de transaction. Dans ce sens, le rôle du gouvernement et des pouvoirs locaux devient important pour l'aménagement des infrastructures rurales exigeant de gros moyens, routes, points d'abreuvement des animaux, etc. Un autre facteur important pour le développement du secteur de l'élevage reste le renforcement des marchés du lait (mini-laiteries). Actuellement, les mini-laiteries assurent la transformation et l'écoulement des produits, avec des équipements peu modernes et en mauvais états. Or, les types d'infrastructures et d'équipements de transformation dont elles disposent ont un impact sur leur capacité. Un soutien de ces mini-laiteries pourrait leur permettre d'augmenter les capacités de transformation de lait et d'accroître la demande au niveau des producteurs, puisque la production actuelle est loin de couvrir les besoins des populations. Les mini-laiteries, en plus de la collecte, transformation et vente de lait, assurent gratuitement un service de traitements et de vaccination des animaux des groupements de paysans. Dans une perspective générale de développement de l'agriculture, la composante élevage peut donc contribuer substantiellement à la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté des populations (Kurt, 1999).

6.5 Possibilités futures de recherche

L'outil de modélisation utilisé (LIVSIM) n'est pas encore parfait, donc des efforts sont nécessaires pour l'améliorer, c'est-à-dire d'inclure des effets d'eau, de maladies et de stress sur la productivité des animaux. Dans le contexte des exploitations mixtes, il est aussi nécessaire d'adapter et valider le modèle pour les bœufs de labour, cela pour son

utilisation future pour toutes les catégories animales. Aussi, une gamme large de rations pourrait être testée pour mieux explorer les potentialités de la race locale Méré. Les systèmes de production mixtes cultures-élevage, caractérisés par l'interdépendance des deux activités, sont encore peu connus en termes d'interrelations complexes et dynamiques entre les deux types d'activités d'une part et l'environnement socio-économique, écologique et politique d'autre part. Pour mieux juger les possibilités futures des systèmes mixtes et d'identifier les mesures politiques les plus appropriées, plus d'investigations dans ces aspects sont nécessaires (Schiere et al., 2006). Quant au déficit des fourrages dans la zone d'étude durant la saison sèche, un accent doit être mis à la fois sur des tests de nouvelles cultures fourragères et des méthodes appropriées de collecte et conservation des fourrages et résidus de cultures pour les animaux.

Par rapport à la stabulation permanente (zéro pâture), des investigations participatives doivent être menées avec les agro-éleveurs en milieu paysan pour évaluer les avantages et les inconvénients d'une telle pratique.

En considérant le niveau actuel de pression sur les ressources naturelles dans la zone Mali Sud, causé par l'augmentation de la population et du nombre des animaux, la recherche de nouvelles alternatives d'intensification des systèmes de production et de diversification des sources de revenus doivent être toujours une priorité. La présente étude était focalisée principalement sur des systèmes de gestion et d'alimentation des vaches laitières, mais nous pensons qu'il serait nécessaire dans le future de considérer d'autres activités comme le maïs, l'horticulture, la production fruitière, etc. Aussi, il semble nécessaire de faire des investigations au niveau exploitation dans le contexte d'une utilisation efficiente des ressources rares (recyclage des minéraux) tels que l'azote, le phosphore et le potassium, comme base pour l'augmentation de la durabilité des systèmes de production.

6.6 Remarques de conclusion

Le coton est toujours connu en tant que l'or blanc au Mali Sud. Mais, cela peut changer à l'avenir, si les problèmes de la filière coton persistent. Le lait peut devenir de l'or blanc pour les producteurs, à condition que l'état accorde plus de priorité à l'amélioration génétique des races locales dans une perspective de spécialisation de certains agro-éleveurs dans la production laitière, la formation des acteurs de la filière (agro-éleveurs, opérateurs économiques), l'accès des producteurs aux produits agro-industriels (tourteaux de coton, graines de coton), amélioration de l'état des routes, le soutien des unités de transformation de lait (mini-laiteries) et la mise en place d'un

Fonds de Développement de l'Élevage (FDE) pour faciliter l'accès des acteurs aux crédits.

Bibliographie

- AFRC, 1993. *Energy and protein requirements of ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients*. CAB International, Wallingford, UK.
- Alvarez, F.J., Saucedo, A., Arriaga, A., Preston, T.R., 1980. Effect of milk production and calf performance of milking crossbred European x Zebu cattle in the absence or presence of the calf, and of rearing their calves artificially. *Tropical Animal Health and Production* 5, 25-57.
- Anonymus, 2005. *Matlab, the language of technical computing*. The Math Works Inc., Natick, USA.
- Ashby, J.A., 1990. *Evaluating Technology with Farmers: A Handbook*. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia.
- Assefa, A., 2005. *Farm management in mixed crop-livestock systems in the Northern Highlands of Ethiopia*. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Aune, J.B., Bationo, A., 2008. Agricultural intensification in the Sahel, the ladder approach. *Agricultural Systems* 98, 119-125.
- Ayalew, W., King, J.M., Bruns, E., Rischkowsky, B., 2003. Economic evaluation of smallholder subsistence livestock production: lessons from an Ethiopian goat development program. *Ecological Economics* 45, 473-485.
- Ayantunde, A.A., Fernández-Rivera, S., McCrabb, G., 2005. *Coping with feed scarcity in smallholder livestock systems in developing countries*. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya.
- Ayantunde, A.A., Fernández-Rivera, S., Hiernaux, P.H., Tabo, R., 2008. Implication of restricted access to grazing by cattle in the wet season in the Sahel. *Journal of Arid Environments* 72, 523-533.
- Bagayoko, S., Sangaré, M.I., Diabaté, D., 2005. Estimation de la biomasse et capacité de charge des terroirs villageois en zone Mali Sud. *Science et Technique, Sciences Naturelles et Agronomie*, spécial hors série n° 1, pp.75-88.
- Bannink, A., Ayantunde, A.A., Van Vuuren, A.M., 2005. Validity of feed evaluation under feed scarcity. In: A.A. Ayantunde, S. Fernández-Rivera, G. McCrabb, (Eds.), *Coping with Feed Scarcity in Smallholder Livestock Systems in Developing Countries*. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands/University of Reading, Reading, UK/ETH (Swiss Institute of Technology), Zurich, Switzerland/ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya.

-
- Bartholomew, P.W., Ly, R., Doumbia, M., Khibe, T., Kone, N'g., Traoré, B., Ba, S., 2003. Agro-industrial by-products, cowpea residues and urea-treatment of hay for supplementary dry season feeding of mature zebu oxen in Mali. *Livestock Research for Rural Development* 15(2), <http://www.Irrd.org/Irrd15/>.
- Bayeni, P.H., Webb, E.C., 2009. An integrated method for improving the dairy production sector in developing countries: the case of Cameroon. *Tropical Animal Health and Production* 41, 525-534.
- Bayeni, P.H., Webb, E.C., Manjeli, Y., Naoussi, P., 2007. Economic opportunity survey of small scale dairy farms of the north west province of Cameroon. *Tropical Animal Health and Production* 39, 583-592.
- Bebe, B.O., 2003. *Herd dynamics of smallholder dairy in the Kenya highlands*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Bengaly, K., Meurs, C.B.H., Berckmoes, W.M.L., 1993. *La productivité des bovins et des ovins dans les exploitations agricoles de Fonsebougou*. Rapport Annuel de Recherche 1993, ESPGRN-Sikasso, Mali.
- Berthé, A.L., Blokland, A., Bouaré, S., Diallo, B., Diarra, M.M., Geerling, C., Mariko, F., N'Djim, H., Sanogo, B., 1991. *Profil d'environnement Mali Sud, état des ressources naturelles et potentialités de développement*. Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali/Institut Royal des Tropiques (KIT), Amsterdam, The Netherlands.
- Bonfoh, B., Zinsstag, J., Farah, Z., Simbé, C.F., Alfaroukh, I.O., Aebi, R., Badertscher, R., Collomb, M., Meyer, J., Rehberger, B., 2005. Raw milk composition of Malian Zebu cows (*Bos indicus*) raised under traditional system. *Journal of Food Composition and Analysis* 18, 29-38.
- Bosma, R.H., Bengaly, K., Meurs, C.B.H., Berckmoes, W., 1992. *La productivité des ruminants dans les exploitations agricoles de la zone de Tominian*. Document Division de Recherche sur les Systemes de Production Rurale (DRSPR)-Sikasso, Mali.
- Bosma, R.H., Bengaly, K., Traoré, M., Roeleveld, A., 1996. *L'élevage en voie d'intensification. Synthèse de la recherche sur les ruminants dans les exploitations agricoles mixtes au Mali Sud*. Institut Royal des Tropiques (KIT), Amsterdam, The Netherlands/Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali.
- Bosma, R.H., Bos, M., Kanté, S., Kébé, D., Quak, W., 1999. The promising impact of ley introduction and herd expansion on soil organic matter content in southern Mali. *Agricultural Systems* 62, 1-15.
- Breman, H., Debrah, S.K., 2003. Improving African food security. *SAI Review* 23(1), 153-170.

- Breman, H., De Ridder, N. (Eds.), 1991. *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. KARTHALA, Paris, France.
- Breman, H., Sissoko, K., 1998. *L'intensification agricole au Sahel*. Karthala, Paris, France.
- Brons, J., Zaal, F., Kersbergen, L., Ruben, R., 2004. Livelihood strategies and development pathways at household and village level. The Impact of Climate Change on Dry lands: with a focus on West Africa. *Environment and Policy Series*, 267-291
- Cellule de Planification et Statistique du MAEP, 2003. *Politique Nationale de développement de l'élevage*. Document Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), Bamako, Mali.
- Chambers, R., Pacey, A., Thrupp, L.A., 1989. *Farmers First: Farmer Innovation and Agricultural Research*. Intermediate Technology Publication Ltd, London, UK.
- Chilliard, Y., 1991. *Physiological constraints to milk production: factors which determine nutrient partitioning, lactation persistency, and mobilization of body reserves*. In: A. Speedy, R. Sansoucy, (Eds.), *Feeding dairy cows in the tropics*. FAO, Rome, Italy.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. *Change in Marine Communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd Edition*. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.
- Collinson, M. (Ed.), 2000. *A History of Farming Systems Research*. FAO/IFSA/CABI, Wallingford, UK.
- Conrad, H.R., 1966. Symposium on factors influencing voluntary intake of herbage by ruminants: Physiological and physical factors limiting feed intake. *Journal of Animal Science* 25, 227-243.
- Coulibaly, M., Nialibouly, O., 1998. Effect of suckling regime on calf growth, milk production and offtake of Zebu cattle in Mali. *Tropical Animal Health and Production* 30, 179-189.
- Coulomb, J., 1972. *Opération de développement de l'élevage dans la région de Mopti (République du Mali)*. Etude du troupeau. IEMVT, Maisons-Alfort, France.
- Crowley, E.L., Carter, S.E., 2000. Agrarian change and the changing relationships between toil and soil in Maragoli, Western Kenya (1990-1994). *Human Ecology* 28, 383-414.
- Debrah, S., Sissoko, K., Soumaré, S., 1995. Etude économique de la production laitière dans la zone périurbaine de Bamako au Mali. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 48(1), 101-109.

-
- Defoer, T., De Groote, H., Hilhorst, T., Kanté, S., Budelman, A., 1998. Participatory action research and quantitative analysis for nutrient management in southern Mali: a fruitful marriage? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71, 215-228.
- De Jong, R., 1996. *Dairy Stock Development and Milk Production with smallholders*. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- De Leeuw, P.N., Reynolds, L., Rey, B., 1995. Nutrient transfers from livestock in West-African agricultural systems. In: Powell, J.M., Fernández-Rivera, S., Williams, T.O., Renard, C. (Eds.), *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa, vol. II: Technical Papers*. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 371–391.
- De Ridder, N., Breman, H., Van Keulen, H., Stomph, T.J., 2004. Revisiting a 'cure against land hunger': soil fertility management and farming systems dynamics in the West African Sahel. *Agricultural Systems* 80, 109-131.
- Diafarabé, 1979-1983. *Reproductive performance*. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. <http://www.ilri.org>
- Diallo, A., 1978. *Transhumance: comportement, nutrition et productivité d'un troupeau de zébus de Diafarabé*. Thèse CPS, Bamako, Mali.
- Dicko, M.S., 1990. *Effets de la nutrition sur les performances des ruminants sous les tropiques*. Cours donné au stage de formation sur les relations entre la santé et la production animale, 5-6 mars 1990, Centre International pour l'Élevage en Afrique (CIPEA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Dicko, M.S., Djitéye, M.A., Sangaré, M., 2006. Les systèmes de production animale au Sahel. *Sécheresse* 17(1-2), 83-97.
- Dietz, A.J., Ruben, R., Verhagen, A. (Eds.), 2004. *The impact of climate change on dry lands with a focus on West Africa*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Dijkman, J.T., Lawrence, P.R., 1997. The energy expenditure of cattle and buffaloes walking and working in different soil conditions. *Journal of Agricultural Science* 128, 95-103.
- Djouara, H., 2005. *Globalisation et stratégies paysannes dans la zone Mali Sud: cas des régions CMDT de Koutiala, Sikasso et Bougouni*. Mémoire de fin d'étude, Université Mande Bukari, Bamako, Mali.
- Djouara, H., Bélière, J.F., Kébé, D., 2006. Les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali face à la baisse des prix du coton-graine. *Cahiers Agricultures* 15(1), 64-71.
- DRSPR, 1988. *Rapport d'activités*. IER, Sikasso, Mali.

- Dufumier, M., 2005. *Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali*. Programme d'amélioration des systèmes d'exploitation en zone cotonnière (PASE). Institut National Agronomique Paris-Grignon (INAPG), Paris, France.
- Ellis, F., 2000. *Rural livelihoods and diversity in developing countries*. Oxford University Press, Oxford, U.K.
- FAO, 2006. *The State of Food Insecurity in the World 2006*. Eradicating world hunger taking stock ten years after the World Food Summit. FAO, Rome, Italy.
- Farrington, J., 1988. Farmer participatory research. Editorial introduction. *Experimental Agriculture* 24, 269-279.
- Felius, M., 1995. *Cattle Breeds: An Encyclopedia*. Misset, Doetinchem, The Netherlands.
- Fernández-Rivera, S., Salla, A., Hiernaux, P., Williams, T.O., 2003. Transhumance and dry season supplementation for cattle in the Sahel. *Journal of Animal Science* 81 (Supp 1), 15-16.
- Friggens, N.C., Newbold, J.R., 2007. Towards a biological basis for predicting nutrient partitioning: the dairy cow as an example. *Animal* 1, 87-97.
- Gebremedhin, B., Pender, J., Tesfay, G., 2003. Community natural resource management: The case of woodlots in Northern Ethiopia. *Environment and Development Economics* 8, 129-148.
- Giller, K.E., De Ridder, N., Rufino, M.C., Tittonell, P., Van Wijk, M.T., Zingore, S., 2006a. Manure as a key resource to sustainability of smallholder farming systems in Africa: An introduction to the NUANCES framework. In: *12th Ramiran International conference, Technology for Recycling of Manure and Organic Residues in a Whole-Farm Perspective*. Ministry of Food, Danish Institute of Agricultural Sciences, Denmark.
- Giller, K.E., Rowe, E., De Ridder, N., Van Keulen, H., 2006b. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. *Agricultural Systems* 88, 8-27.
- Hunter, R.A., Siebert, B.D., 1986. The effects of genotype, age, pregnancy, lactation and rumen characteristics on voluntary intake of roughage diets by cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 37, 547-560.
- Janssen, P.H.M., Heuberger, P.S.C., 1995. Calibration of process-oriented models. *Ecological Modelling* 83, 55-66.
- Jenet, A., Yimegnuhal, A., Fernández-Rivera, S., Tegegne, A., Osuji, P.O., McCrabb, G., Kreuzer, M., 2004. Long-term response to feeding level in lactational performance of Boran (*Bos indicus*) and Boran x Holstein cows. *Animal Science* 78, 331-343.

-
- Kabuga, J.D., Agyemang, K., 1984. Performance of Canadian Holstein-Friesian cattle in the humid forest zone of Ghana. 1. Milk production. *Tropical Animal Health and Production* 16, 85-94.
- Kanté, S., 2001. *Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali Sud*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Kebreab, E., Smith, T., Tanner, J., Osuji, P., 2005. *Review of undernutrition in smallholder ruminant production systems in the tropics*. International Livestock Research Institute (ILRI), Addis Ababa, Ethiopia.
- Kidane, W., Maetz, M., Dardel, P., 2006. *Sécurité alimentaire et développement agricole en Afrique Subsaharienne*. Rapport principal, FAO, Rome, Italy.
- Kleene, P., Sanogo, B., Vierstra, G., 1989. *A partir de Fonsébougou, Mali, Système de production rurale au Mali. Présentation, objectif et méthodologie du « volet Fonsébougou » (1977-1987)*. Document DRSPR/ Institut Royal des Tropiques (KIT), Amsterdam, The Netherlands.
- Köbrich, C., Rehman, T., Khan, M., 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multivariate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems* 76, 141-57.
- Konandreas, P.A., Anderson, F.M., 1982. *Cattle herd dynamics: An integer and stochastic model for evaluating production alternatives*. Report 2, International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Kruskal, J.B., 1964. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a non-metric hypothesis. *Psychometrika* 29, 1-27.
- Kurt, J.P., 1999. Elevage et sécurité alimentaire-quelles conséquences pour l'environnement? *Agriculture et Développement Durable* 6, 41-46.
- Lacrouts, M., Sarniguet, J., Tyc, J., 1965. *Exploitation du cheptel bovin au Mali*. Ministère du Développement, Bamako, République du Mali.
- Lambourne, L.J., Dicko, M.S., Sweeney, P., Butterworth, M., 1983. *Pastoral systems research in Sub-Saharan Africa: Animal nutrition*. International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Landais E., Lhoste P., 1990: l'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale: un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain. *Cah. Sci. Hum.* 26 (1-2) 217-235p.
- Le Cozler, Y., Lollivier, V., Lacasse, P., Disenhaus, C., 2008. Rearing strategy and optimizing first-calving targets in dairy heifers. *Animal* 2(9), 1393-1404.
- Lekasi, J.K., Tanner, J.C., Kimani, S.K., Harris, P.J.C., 2002. Manure management methods to enhance nutrient quantity and quality on smallholdings in the Central Kenya Highlands. *Biological Agriculture and Horticulture* 19, 315-332.

- Leloup, S., Traoré, M., 1989. *La situation fourragère dans le Sud-Est du Mali, Région CMDT de Sikasso et de Koutiala. Tome I*. Institut d'Economie Rurale (IER), Sikasso, Mali.
- Lengh, R.A., 1990. Factors affecting the utilization of "poor-quality" forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrients Research Reviews* 3, 277-303.
- Lenné, J.M., Fernández-Rivera, S., Blümmel, M., 2003. Approaches to improve the utilization of food-feed crops-synthesis. *Field Crops Research* 84(1-2), 213-222.
- Lenné, J.M., Thomas, D., 2006. Integrating crop-livestock research and development in Sub-Saharan Africa. Option, imperative or impossible? *Outlook on Agriculture* 35(3), 167-175.
- Lenné, J.M., Wood, D., 2004. Is there a logic of fodder legumes in Africa? *Food Policy* 29(5), 565-585.
- Lhoste P., 2004. Les relations agriculture-élevage: Nord-sud.
http://www.jle.com/fr/revues/agro_biotech/
- Mbetid-Bessane, E., Havard, M., Djamen Nana, P., Djonnewa, A., Djondang, K., Leroy, J., 2003. Typologies des exploitations agricoles dans les savanes d'Afrique centrale. In: J.Y. Jamin, L. Boukar, C. Floret (Eds.) *Savanes Africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. CIRAD, N'Djamena, Tchad/Prasac/Montpellier, France.
- M'Biandoun, M., Olina Bassala, J.P., 2007. Savoir paysan et fertilité des terres au Nord-Cameroun. *Cahiers Agricultures* 16(3), 185-197.
- Mukasa-Mugerwa, E., 1989. *A review of reproductive performance of female Bos indicus (Zebu) cattle*. Monograph No 6, International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Maule, J.P., 1990. *The cattle of the tropics*, University of Edinburgh, Centre for tropical medicine, Edinburgh, UK.
- Musalia, L.M., Wangia, S.M.M., Shivairo, R.S., Okutu, P., Vugutsa, V., 2007. Dairy production practices among smallholder dairy farmers in Butere/Mumias and Kakamega districts in western Kenya. *Tropical Animal Health and Production* 39, 199-205.
- Niehof, A., 2004. The significance of diversification for rural livelihood systems. *Food Policy* 29, 321-338.
- Ojiem, J.O., 2006. *Exploring socio-ecological niches for legumes in western Kenya smallholder farming systems*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

-
- Patil, B.R., 2006. *Dynamics of livestock development in Gujarat, India: Experiences of an Indian NGO*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Peters, M., Lascano, C.E., 2003. Forage technology adoption: linking on-station research with participatory methods. *Tropical Grasslands*, 37(4), 197-203.
- Plymouth Routines, 2006. PRIMER-E v6. In: Multivariate Ecological Research. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Pomeranz, S., 2006. *Les filières laitières au Mali*. <http://www.Sosfaim.org/>
- Poonyth, D., Sarris, A., Sharma, R., Shui, S., 2004. *The impact of domestic and trade policies on the world cotton market*. FAO Commodity and Trade Policy Research Working Paper No. 8, FAO, Rome, Italy. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/>
- Porter, V., Mason, I.L., 2002. *Mason's World Dictionary of Livestock Breeds, Types and Varieties*. CABI, Wallingford, U.K.
- Put, M., Van Spengen, W., 1988. A comparative analysis of cereal production and consumption patterns in semi-arid India. *Journal of Rural Studies* 4, 377-388.
- Ramisch, J.J., 1998. *Cattle, carts, and cotton; Livestock and agricultural intensification in southern Mali*. Ph.D. Thesis, East Anglia University, Norwich, UK.
- Reddy, B.V.S., Sanjana Reddy, P., Bidinger, F., Blummel, M., 2003. Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. *Field Crops Research* 84, 57-77.
- Rietveld, A., 2009. *Livelihood strategies in a globalizing world: Analysis of farmers' strategies in southern Mali with emphasis on milk production*. M.Sc. Thesis Groups Rural Sociology and Plant Production Systems, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Rivière, R., 1978. *Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical, 2e édition*. Collection Manuel et Précis d'Élevage, Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, France.
- Ruben, R., Van Ruijven, A., 2001. Technical coefficients for bio-economic farm Household models: A meta-modelling approach with applications for Southern Mali. *Ecological Economics* 36, 427-441.
- Ruben, R., Kruseman, G., Kuyvenhoven, A., 2006. Strategies for sustainable intensification in East African highlands: Labor use and input efficiency. *Agricultural Economics* 34, 167-181.
- Rufino, M.C., 2008. *Quantifying the contribution of crop-livestock integration to African farming*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

- Rufino, M.C., Herrero, M., Van Wijk, M.T., Hemerik, L., De Ridder, N., Giller, K.E., 2009. Lifetime productivity of dairy cows in smallholder farming systems of the Central highlands of Kenya. *Animal* 3 (7), 1044-1056.
- Rufino, M.C., Rowe, E.C., Delve, R.J., Giller, K.E., 2006. Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-livestock systems: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 261-282.
- Sall, A., 2003. *Viabilité des systèmes extensifs de production laitière dans la ceinture laitière de Bamako*. Mémoire Diplôme Zootechnie, IPR/IFRA, Bamako, Mali.
- Sanogo, O., De Ridder, N., Van Keulen, H., 2010a. Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au Sud du Mali. *Cahiers Agricultures*, 19(3), 185-193.
- Sanogo, O., De Ridder, N., Van Keulen, H., Vétois, Y., 2010b. Evaluation participative des technologies de supplémentation des vaches laitières en milieu paysan au Mali (Koutiala). *Revue canadienne d'études du développement* 31, no1-2(2010), 91-106.
- Sanogo, O.M., De Ridder, N., Van Keulen, H., Rufino, M.C., Dury, J., 2011. Test du modèle LIVSIM pour la race locale Méré de la zone Mali sud et simulation de la productivité du cycle de vie. (En préparation pour soumission).
- Schiere, J.B., Ibrahim, M.N.M., Van Keulen, H., 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 90, 139-153.
- Schiere, J.B., Baumhardt, R.L., Van Keulen, H., Whitbread, A.M., Bruinsma, A.S., Goodchild, A.V., Gregorini, P., Slingerland, M.A., Hartwell, B., 2006. Mixed crop-livestock systems in semiarid regions. In: Peterson, G.A., Unger, P.W., Payne, W.A. (Eds.), *Dry land agriculture*, 2nd Ed., Series Agronomy no. 23, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI., USA.
- Schlecht, E., Sangaré, M., Becker, K., 1999. Supplementation of Zebu cattle grazing Sahelian pasture. I. Diet selection and intake. *Journal of Agricultural Science* 133, 69-81.
- Schlecht, E., Hiernaux, P., Kadaouré, I., Hülsebusch, C., Mahler, F., 2006a. A spatio-temporal analysis of forage availability and grazing and excretion behaviour of herded and free grazing cattle, sheep and goats in Western Niger. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 226-242.
- Schlecht, E., Buerkert, A., Tielkes, E., Bationo, A., 2006b. A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76, 109-136.

-
- Singh, B.B., Ajeigbe, H.A., Tarawali, S.A., Fernández-Rivera, S., Abubakar, M., 2003. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. *Field Crops Research* 84(1-2), 169-177.
- Sumberg, J., 2003. Towards a dis-aggregated view of crop-livestock integration in Western Africa. *Land Use Policy* 20(3), 253-264.
- Thornton, P.K., Herrero, M., 2001. Integrated crop-livestock simulation models for scenario analysis and impact assessment. *Agricultural Systems* 70, 581-602.
- Thornton, P.K., Kruska, R.L., Henninger, N., Kristjanson, P.M., Reid, R.S., Atieno, F., Odero, A.N., Ndegwa, F., 2002. *Mapping poverty and livestock in the developing world*. ILRI, Nairobi, Kenya.
- Thornton, P.K., Kristjanson, P.M., Thorne, P.J., 2003. Measuring the potential impacts of improved food-feed crops: methods for ex ante assessment. *Field Crops Research* 84(1-2), 199-212.
- Tittonell, P., 2007. *Msimu wa Kupanda - Targeting resources within diverse, heterogeneous and dynamic farming systems of East Africa*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Tittonell, P., Rufino, M.C., Jansen, B.H., Giller, K.E., 2010. Carbon and nutrient losses during manure storage under traditional and improved practices in smallholder crop-livestock systems- evidence from Kenya. *Plant Soil* 328, 253-269.
- Tittonell, P., Vanlauwe, B., Leffelaar, P.A., Rowe, E.C., Giller, K.E., 2005. Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya: I. Heterogeneity at region and farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110, 149-165.
- Tolkamp, B.J., Ketelaars, J.J.M.H., 1994. Efficiency of energy utilisation in cattle given food ad libitum: Predictions according to the ARC system and practical consequences. *Animal Production* 59, 43-47.
- Turner, M., 1995. The sustainability of rangeland to cropland nutrient transfer in semi-arid West Africa: Ecological and social dimensions neglected in the debate. In: Powell, J.M., Fernandez-Rivera, S., Williams, T.O., Renard, C. (Eds.), *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa, vol. II: Technical Papers*. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 435-452.
- Turner, M.D., Hiernaux, P., Schlecht, E., 2005. The Distribution of Grazing Pressure in Relation to Vegetation Resources in Semi-arid West Africa. The Role of Herding. *Ecosystems* 8, 668-681.
- Van de Ven, G.W.J., De Ridder, N., Van Keulen, H., Van Ittersum, M.K., 2003. Concepts in production ecology for analysis and design of animal and plant-animal production systems. *Agricultural Systems* 76, 507-525.

- Van Keulen, H., Breman, H., 1990. Agricultural development in the West African Sahelian region: a cure against land hunger? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 32, 177-197.
- Vétois, Y., 2007. *Fodder legumes to reduce feed deficits of dairy cows during the hot dry season: A feeding trial under farming conditions in Koutiala, Mali*. M.Sc. Thesis, Group Plant Production Systems, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Vierich, H.I.D., Stoop, W.A., 1990. Changes in West African savanna agriculture in response to growing population and continuing low rainfall. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 3, 115-132.
- Von Braun, J., 2007. The world food situation: new driving forces and required actions. <http://www.ifpri.org/>
- Wagenaar, K.T., Diallo, A., Sayers, A.R., 1986. *Productivity of transhumant Fulani cattle in the inner Niger Delta of Mali*. ILCA Research Report No 13, International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Wagenaar, K.T., Kontrohr, E., 1986. *Appraisal of the ILCA cattle herd dynamics model using data from pastoral systems in Mali and Kenya*. International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya. <http://www.ilri.org>
- Wilson, R.T., 1986. *Livestock production in central Mali: Long-term studies on cattle and small ruminants in the agropastoral system*. ILCA Research Report No. 14, International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Ziébé, R., Thys, E., De Deken, R., 2005. Analyse de systèmes de production animale à l'échelle d'un canton: cas de Boboyo dans l'extrême-Nord Cameroun. *Revue d'Elevage Médecine Vétérinaire en Pays tropicaux* 58 (3), 159-165.



Sommaire

En Afrique sub-Saharienne, la productivité de l'élevage dépend de la disponibilité des pâturages et leur productivité, et celle des cultures de la fertilité naturelle des sols. Au Mali, de plus en plus on assiste à une réduction progressive des espaces de pâturages suite d'une part à l'agrandissement des champs pour nourrir le nombre croissant de la population, et d'autre part l'augmentation de la taille des effectifs d'animaux créant de forte pression sur l'espace de pâturage déjà limité. En saison de pluie, la production fourragère herbacée des pâturages est relativement abondante pour couvrir les besoins d'entretien et de production des animaux. Mais, en saison sèche un déficit fourrager est constaté dans la plupart des zones, particulièrement à Koutiala. Ce manque de fourrages pour l'alimentation des animaux en saison sèche constitue une des contraintes majeures limitant la productivité des animaux des petites exploitations agricoles. En même temps la demande des produits animaux augmente dans les centres urbains. C'est dans ce contexte que la présente étude a été menée dans les villages de Try et N'Goukan situés dans la zone de Koutiala.

L'étude était focalisée sur l'analyse de différentes options d'alimentation et de gestion des vaches laitières dans le but d'améliorer leur performance, l'objectif principale étant de contribuer au bien être des paysans par l'amélioration de la productivité agricole des exploitations mixtes cultures-élevage au Sud du Mali.

L'étude a commencé à cerner la diversité des systèmes de production agricoles, décrire la dynamique des exploitations et évaluer leur développement au cours de la période 1994-2004 en analysant la base de données de L'ESPRGN-Sikasso (Chapitre 2) avec des méthodes multivariées (Analyse en Composante Principale et en Cluster). Les résultats montrent une dominance des agro-éleveurs moyens (classe 2, 69%), suivie par les grands agro-éleveurs (classe 1, 13%). Ces deux classes sont caractérisées par un système de production mixte (cultures-élevage), avec beaucoup de coton (orienté vers le marché), par contre les petits agro-éleveurs et cultivateurs (classes 3 et 4, ensemble 18%) pratiquent un système de production basé sur les céréales (orientation: subsistance). En terme d'évolution des exploitations, entre 1994 et 2004 le nombre d'UBT a progressé de 35 à 57 pour les grands agro-éleveurs, contre 0,9 et 1,1 pour les petits cultivateurs, la différence entre les classes est significative ($P < 0,001$). Au cours de la même période, la main d'œuvre familiale a fluctué de 14 à 21 pour les grands agro-éleveurs et de 2 à 3 pour les petits cultivateurs. Dans l'assolement des cultures, la proportion de coton a progressé de 39 à 41% pour les grands agro-éleveurs, contre une réduction de 7 à 0% pour les petits cultivateurs. S'agissant de la possession des terres de cultures, elle varie entre 4 ha (petits cultivateurs) et 18 ha (grands agro-éleveurs).

Mais, toutes les classes sont confrontées au manque de jachère dans leurs systèmes de production indiquant une mise en culture continue des mêmes champs tous les ans. L'indice de changement des exploitations de la zone de Koutiala indique une tendance d'intensification et de développement des grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens. Par contre, les petits cultivateurs ont tendance à régresser. Les évolutions des exploitations ci-dessus indiquées sont prioritairement déterminées par la culture du coton et le nombre de bovins. Les activités d'amélioration de la productivité des systèmes de production doivent tenir compte de ces aspects, de structure et de fonctionnement des différentes classes d'exploitations agricoles, conditions indispensables pour le succès des actions proposées.

Des tests de supplémentation des vaches laitières ont été conduits en 2006 et 2007 en milieu paysan (Chapitre 3), pour évaluer l'effet de différentes options d'alimentation notamment la pâture en toutes saisons (Témoin), la pâture plus supplémentation avec des fanes de niébé et de tourteau de coton (Supplémenté), et la stabulation saisonnière plus alimentation avec des fanes de niébé, de tourteau de coton et des résidus de cultures, sur la productivité des vaches laitières en saison sèche chaude. L'étude a révélé un cumul de gain de poids moyen de 3 kg pour les vaches alimentées en stabulation contre des pertes de 14 et 25 kg respectivement pour les traitements supplémenté et témoin. De surcroît, la production de lait était plus élevée pour les agro-éleveurs ayant gardés leurs vaches en stabulation (1,5 litre vache⁻¹ j⁻¹) par rapport aux vaches du témoin (0,44 litre vache⁻¹ j⁻¹). Lorsque la vache en lactation est bien nourrit, elle produit beaucoup de lait ce qui assure une meilleure croissance du veau (17 kg, cumul moyen durant l'expérimentation). Par contre, une croissance lente (6 kg) est observée pour les veaux du témoin, à cause de la médiocre qualité des fourrages des pâturages limitant la production de lait pour les veaux. Les vaches supplémentées en stabulation ont montré une meilleure performance par rapport à celles en pâturages (témoin, supplémenté), grâce à la meilleure qualité de la ration et la réduction des pertes d'énergie à travers la stabulation. Les paysans ont beaucoup apprécié la stabulation des vaches, notamment l'état physique des vaches, la production de fumier et de lait. Si une telle option de gestion des animaux pouvait être adoptée par la majorité des paysans à l'échelle village, cela réduirait beaucoup la pression des animaux sur l'environnement.

L'effet de la supplémentation sur la performance de reproduction et de production laitière durant un cycle de vie des vaches, a été testé en utilisant un modèle de simulation LIVSIM (LIVestock SIMulator). En effet, les tests de supplémentation des vaches ne donnent que des informations sur le court terme (une lactation). Cependant,

la connaissance de la productivité du cycle de vie de la vache selon les options de gestion et d'alimentation pourrait aider les producteurs à prendre de bonne décision par rapport à l'utilisation des ressources rares. C'est dans ce contexte que nous avons premièrement paramétré le modèle LIVSIM pour des vaches locales Méré de la zone de Koutiala et, deuxièmement l'utilisé pour évaluer la productivité sur un cycle de vie, puisque le test du modèle avec les données d'expérimentation en milieu paysan était satisfaisant. Quatre options de gestion et d'alimentation des vaches laitières ont été analysées. Il s'agit notamment de la pâture des vaches en toutes saisons (option 1), la pâture en toutes saisons plus supplémentation en saison sèche chaude avec du niébé fourrager et de concentré (option 2), la pâture en saison de pluie et stabulation en saison sèche chaude plus l'alimentation avec des légumineuses, de grossiers et de concentrés (option 3), et la stabulation en toutes saisons plus alimentation avec des légumineuses, de grossiers et de concentrés (option 4), (Chapitre 4). Les résultats indiquent un meilleur développement pondéral des vaches de l'option 4 (poids moyen en fin de vie, 300 kg) en comparaison avec l'option 1 (262 kg). L'âge au premier vêlage observé pour l'option 1 était un peu tard (6 ans) en comparaison avec les options 2, 3 et 4 (5 ans). Le retard des génisses de l'option 1 pour le premier vêlage est dû à l'impact négatif de la pâture des animaux sur la performance. L'étude a révélé également des intervalles de vêlages prolongés pour l'option 1 (1,6 ans) par rapport à l'option 4 (1,4 ans), ceci semble être associé à la qualité et disponibilité saisonnière des fourrages des pâturages. Plus de veaux (5) durant la vie de production des vaches ont été obtenus avec les options 3 et 4 en comparaison avec les autres options. Cette meilleure performance de reproduction des vaches des options 3 et 4 est liée à leur bon embonpoint, ce dernier dépendant de la disponibilité des fourrages et de la réduction des conséquences des activités de pâturage (marche). En terme de production de lait durant le cycle de vie, un cumul de production plus élevé a été constaté pour les options 3 (5.259 kg) et 4 (8.072 kg) en comparaison avec l'option 1 (3355 kg). La faible production de lait de l'option 1 en moyenne 2 litres par vache par jour s'explique par l'insuffisance et la médiocre qualité des fourrages des pâturages. Cette pauvreté des pâturages est une conséquence du surpâturage, de l'insuffisance et de la variabilité pluviométrique causée en partie par le changement climatique.

Les résultats révèlent une production de fumier élevée pour l'ensemble des options d'alimentation. Cependant, pour les options 1 et 2, seulement 40% est disponible et le reste est perdu sur les pâturages. Tandis que, pour la stabulation permanente environ 80% de la production de fumier peut être récupérée. Les résultats des quatre options d'alimentation des vaches étudiées montrent des performances de production laitière et de reproduction élevées pour la stabulation en saison sèche et la stabulation permanente par rapport à celles des systèmes d'élevage laitier habituels (pâturages).

Ces résultats devraient encourager les agriculteurs à investir davantage d'effort pour la production des fourrages (niébé, stylosanthès) et maintenir les vaches laitières en stabulation, car ce système de gestion des animaux représente la clé de la réussite, non seulement en termes d'amélioration laitière et de reproduction, mais aussi pour l'augmentation de la production de fumier indispensable pour la fertilisation des champs.

La viabilité économique des options d'alimentation et de gestion des vaches laitières a été évaluée à travers différents scénarii dans le chapitre 5. Les résultats ont révélé que l'utilisation de la stabulation saisonnière des vaches laitières entraîne une augmentation du revenu monétaire annuel de 6% et 16%, respectivement pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Par contre l'adoption de la pâture restreinte des vaches laitières entraîne des augmentations du revenu monétaire annuel de 2 et 5% respectivement pour les grands agro-éleveurs et agro-éleveurs moyens en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Le meilleur résultat obtenu avec la stabulation saisonnière est due à la bonne combinaison entre cultures en termes d'allocation des surfaces, en moyenne 10% pour le niébé fourrager et 27% pour le coton. Quant aux petits agro-éleveurs et petits cultivateurs (classes 3/4) possédant une vache laitière, une augmentation significative des revenus annuels de 31 et 95% a été obtenue respectivement en faveur de l'utilisation de la pâture restreinte et de la stabulation saisonnière en comparaison avec la pâture en toutes saisons. Par contre, les coûts de production très élevés pour la stabulation permanente, constitués principalement de charges d'aliments (78%) et de main d'œuvre (19%) et le besoin important de fourrage de niébé ($1.095 \text{ kg vache}^{-1} \text{ an}^{-1}$) ne permettent pas d'envisager actuellement cette option de gestion des vaches laitières pour l'amélioration de la productivité agricole. En conclusion, un changement de gestion des vaches laitières de la pâture en toutes saisons à la stabulation saisonnière permet d'améliorer les revenus monétaires annuels des exploitations, mais cela nécessite également un changement dans l'allocation des surfaces aux cultures, en moyenne 10% pour le niébé fourrager et 27% pour le coton et le reste aux céréales. Compte tenu de la faible production de lait de la race Méré, il est nécessaire de limiter les investissements de l'alimentation (achat de concentré) et de main d'œuvre pour éviter des pertes financières.

Summary

The productivity of livestock in sub-Saharan Africa depends on the availability of pastures and their productivity, that of crops and on the natural soil fertility. In Mali, progressively the area of pastures diminishes as a consequence of extending cultivated land to feed the increasing number of people. At the same time the number of animals increases inducing strong and increasing grazing pressure on the remaining but shrinking area of pasture land. During the rainy season, the fodder production of the pastures is relatively abundant and covers the need of animals for maintenance and production. During the dry season, however, a shortage of fodder is observed in most parts of the country particularly in the zone of Koutiala. This shortage in nutrition of animals during the dry seasons is the ultimate limiting factor that constrains livestock productivity of the smallholder farmers. At the same time, demand for animal products in the urban centres grows. Within this context, the current study is done in the villages of Try and N'Goukan both in the Koutiala zone.

The focus of the study analyses the impact of different feeding regimes and the management on milking cows with the aim to improve their performance. The principle objective is to contribute to the wellbeing of the farmers by improving agricultural production of the mixed arable-livestock farming systems in southern Mali.

The study started to encompass the diversity of the agricultural production systems, to describe the dynamics in farms and evaluate their development during the period of 1994 to 2004 by analysing the data base collected through the ESPRGN based in Sikasso (Chapter 2). Methods of multivariate analysis are used (Principal Component and Cluster Analysis). The results show a dominant class of agro-pastoralists with average farm size (Class 2, 69%) followed by the larger agro-pastoralists (Class 1, 13%). These two classes are characterised by mixed (crop-livestock) farming system with a large area cultivated with cotton (showing market orientation). In contrast, the small agro-pastoralists and the arable farmers (Class 3 and 4, together 18%), practice a production system based on cereals (showing subsistence orientation). Between 1994 and 2004, the larger agro-pastoralist farms evolved in numbers of LSU from 35 to 57 whereas in the small farms this number grew from 0.9 to 1.1. The difference between the classes is significant ($P < 0.001$). During the same period, family labour fluctuated between 14 and 21 in the larger agro-pastoralist farms and between 2 and 3 in the smaller ones. The proportion of land occupied by cotton increased over time from 39 to 41% in the larger farms in contrast with a decrease of 7 to 0% in the small farms. Land possession varied between 4 ha (small farms) and 18 ha (larger farms). All four classes, however, faced a shortage of land to practice shifting cultivation pointing at a

system of continuous cultivation of the land. The index of change of the farms in the Koutiala zone shows a tendency of intensification and development in the large and average sized agro-pastoralists farms while in the smaller arable farms this index shows the opposite trend. This evolution in the index is preliminary determined by the cultivation of cotton and the number of cattle. Innovations suggested and meant to improve productivity of the systems must therefore take these aspects of structure and function differing between farms classes into account to condition success of the proposed innovations.

Trials supplementing cows in lactation were executed under farmer conditions in the dry seasons of 2006 and 2007 (Chapter 3) to evaluate the impact of different feeding options on cow performance. Feeding options were grazing dry pastures with no extra supplements (Control), grazing with supplementing cows pea straw and cotton cakes (Supplemented) and kept on stable (no grazing) but fed with cow pea straw, cotton cakes and cereal residues. The trials revealed a cumulative weight gain of 3 kg for cows in the stable compared to 14 and 25 kg weight loss of cows supplemented and the control treatment, respectively. Moreover, the milk production over the 3.5 months of the trials was much higher for the cows kept in the stable (1.5 litter cow⁻¹ day⁻¹) compared to the control (0.44 litter cow⁻¹ day⁻¹). If cows are well fed, they produce enough milk to ascertain a better growth of the calf (17 kg over the trial period for cows kept in the stable). In contrast, little growth of calves (6 kg) was observed with calves of the cows in the control that only had access to medium quality fodder of the pastures limiting their milk production to feed their calves. Grazing cows that were supplemented and kept in the stable performed better compared to those grazing, supplemented or not, due to the better quality of the ration fed and to the reduction in energy loss by grazing. Farmers appreciated the cows kept in the stable, particular because of the body condition, the manure and milk production they observed. If the majority of the farmers at village level could adopt this management option, the pressure on grazing land would be considerably reduced.

The impact of supplementary feeding on the reproduction performance and milk production over a life cycle of cows is estimated using a simulation model LIVSIM (LIVestock SIMulator). In fact, the supplementation trials only gave information on the short term (during one lactation). Knowledge on the entire life cycles of cows with different feeding regimes could assist farmers to take better informed decisions in relation to scarce resources. Therefore, the model is first parameterised for the local Méré breed and tested against the data of the feeding trials. Subsequently the model was used to evaluate the live time productivity of cows under four different feeding

and management regimes. Option 1 was grazing the animals all seasons. Option 2 was similar but supplementing with cow pea hay and concentrates during the dry hot season. Option 3 is similar to option 2 but with the exception that cows were also kept in the stable during the dry hot season and fed with legume hay, roughage (cereal straw) and concentrates. Option 4 resembles option 3 in feeding but differs in the treatment that cows are kept in the stable during all seasons (zero-grazing) (Chapter 4). The results show a better weight development of cows in option 4 with at the end of the live cycle a weight of 300 kg in comparison to 262 kg in option 1. Estimated age at first calving is late (6 years) in option 1 in comparison to 5 years in options 2, 3 and 4. The late first calving of the heifers in option 1 is due to the negative impact of grazing bad quality pastures on animal condition and development. The results also show that the calving interval is long in option 1 (1.6 years) and shorter in option 4 (1.4 years). This is related to seasonality in quality and availability of fodder in the pastures. Number of calves per cow in a life cycle is higher in options 3 and 4 compared to options 1 and 2. Better reproduction performance of cows in options 3 and 4 are related to good body condition that is determined by availability of fodder and reduction in energy use for grazing. In terms of milk production per live cycle impact of treatments is also large with 5.259 kg (option 3) and 8.072 kg (option 4) in comparison to option 1 with 3.355 kg.

The low production of milk in option 1 (on average 2 litter cow⁻¹ day⁻¹) can be explained by insufficient fodder of low quality of the grazed pastures. Poor condition of the pastures is caused by overgrazing and insufficient, variable rainfall, the latter due to climatic change. The results show a relatively high production of manure in all feeding options. In options 1 and 2, however, only 40% is collected and the remaining stays in the pastures. With zero grazing about 80% of the produced manure can be collected. Furthermore, comparison between the four feeding options show that cows raised with partial dry season or year round stabilisation perform better in milk production and in reproduction than those that are grazed year round. These results should encourage farmers to invest more in the production of forages (cow pea, stylosanthes) and keep lactating animals in stables, because this management system seems to be key not only to produce more milk and better reproduction but also to increase the manure that can be collected for the indispensable maintenance and increase of soil fertility of the fields.

The economic feasibility of the feeding options and management of lactating cows is evaluated considering different scenario's (Chapter 5). The results revealed that seasonal stabilisation of lactating cows in comparison to the current practices (control) results in 6 and 16% increase in annual monetary income for the large and medium

size agro-pastoralists, respectively. Supplementing lactating cows grazing the pastures leads to lower values of monetary increase, i.e. 2 and 5% increase in comparison to the control. The better result with seasonal stabilisation is combined with an appropriate combination of land allocated to the cultivation of fodder cow pea (10%) and cotton (27%). The small agro-pastoralists and arable farmers who own a milking cow can increase annual monetary income significantly in comparison to the current situation with 31 and 95% if they introduce supplementary feeding for grazing cows or partial stabilisation, respectively. The very high production costs for permanent stabilisation (no-grazing) mainly being the costs for feed (78%) and labour (19%) and the considerable quantity of fodder cow pea needed ($1.095 \text{ kg cow}^{-1} \text{ year}^{-1}$) makes this management option for lactating cows not very likely to be adopted to improve agricultural production.

Concluding, a change management of lactating cows from grazing all seasons to seasonal stabilisation results in higher annual monetary income of the farmers, but that demands a change in land allocation cultivating in average 10% fodder cow pea and 27% cotton. The remaining of the land is then cultivated with cereals. Given the low milk production capability of the Méré breed it is advisable to limit investments in feeding (buying concentrates) and labour to avoid that too high investments turn into financial losses.

Samenvatting

De productiviteit van de veeteelt in Afrika bezuiden de Sahara is afhankelijk van de beschikbaarheid aan weidegronden en hun productiviteit, die van gewassen en van de natuurlijke bodemvruchtbaarheid. Het areaal aan weidegronden in Mali wordt steeds kleiner als gevolg van uitbreiding in akkerbouwgronden nodig om de groeiende bevolking te voeden. Tegelijkertijd groeit het aantal stuks vee daarbij de begrazingsdruk op overblijvende weidegronden vergrotend. Gedurende het regenseizoen is er relatief veel voer op de weidegronden en kan de behoefte aan voer voor het onderhoud van vee en diens productie worden gedekt. Echter, gedurende de lange droge tijd is er in het gehele land, maar zeker in Koutiala, een tekort aan voer. Deze tekorten zijn de hoofdoorzaak dat de veeteeltproductiviteit van kleine boeren wordt beperkt. Tegelijkertijd is er een groeiende vraag in stedelijke gebieden naar dierlijke producten. Deze studie is in bovenstaande context uitgevoerd in de dorpen Try en N’Goukan, beide gelegen in Koutiala.

De studie is geconcentreerd op het analyseren van het effect van verschillende voederrantsoenen en het management van melk koeien op de productiviteit met als doel hun prestaties te verbeteren. De belangrijkste doelstelling van deze studie is om een bijdrage te leveren aan een beter welzijn van boeren in het zuiden van Mali door de productiviteit in hun gemengde bedrijfssystemen te verbeteren.

Ten einde de diversiteit in agrarische productiesystemen te omvatten, begon de studie met de beschrijving van de dynamiek van bedrijven en met het evalueren van de ontwikkeling in die bedrijven gedurende de periode van 1994 tot 2004. Daartoe werden gegevens die door het ESPRGN in Sikasso in die periode zijn verzameld, gebruikt (Hoofdstuk 2). Er is daarvoor gebruik gemaakt van meervoudige variantie analyse methoden zoals ‘Principal Component’ en ‘Cluster’ analyse.

De resultaten geven aan dat er een dominante klasse is van akkerbouw-veehouders met een gemiddelde boerderijgrootte (Klasse 2; 69%) gevolgd door een klasse met grotere bedrijven (Klasse 1; 13%). Deze klassen worden gekarakteriseerd door een gemengd (gewassen en vee) bedrijfssysteem met een groot deel van het land waarop katoen wordt geteeld (oriëntatie op de markt). Dit in tegenstelling tot de kleine, gemengde dan wel enkel op akkerbouw gerichte bedrijven (Klassen 3 en 4; 18% bij elkaar), die op de productie gericht zijn van graan (gericht op zelfvoorziening).

Tussen 1994 en 2004 vertonen de grotere gemengde bedrijven een ontwikkeling die tot uiting komt in het aantal vee-eenheden dat toenam van 35 tot 57 stuks terwijl in de kleine bedrijven dit aantal slechts van gemiddeld 0.9 tot 1.1 toenam. Het verschil tussen de klassen is significant ($P < 0.001$). In diezelfde periode fluctueerde familiewerk tussen 14 en 21 in de grotere bedrijven en in de kleine bedrijven tussen 2

en 3. Het deel van het land waarop katoen werd geteeld nam toe van 39 tot 41 % in de grote bedrijven terwijl dat deel afnam van 7 tot 0% in de kleine bedrijven. Landbezit varieert tussen 4 hectare (kleine bedrijven) en 18 hectare (grote bedrijven). Echter, in alle klassen leidde het tekort aan land tot vermindering van braaklegging wat aangeeft dat het systeem overgaat naar continue teelt van het land. De index die verandering in bedrijven in Koutiala meet, geeft een tendens aan van verdere intensivering en ontwikkeling in de grote en gemiddeld grote gemengde bedrijven terwijl deze bij kleinere bedrijven tegenovergesteld is. De teelt van katoen en het aantal stuks vee bepaalt de index in sterke mate. Voorgestelde vernieuwingen die tot hogere productiviteit van de systemen moeten leiden moeten rekening houden met de verschillen in structuur en het functioneren zoals die tussen de bedrijven bestaan, willen voorgestelde vernieuwingen succes hebben.

Gedurende de droge seizoenen van 2006 en 2007 zijn er proeven uitgevoerd waarbij melkgevende koeien werden bijgevoerd (Hoofdstuk 3) tijdens een periode van 3.5 maanden ten einde de inpakt van de verschillende rantsoenen en graassystemen op de prestatie van de dieren te evalueren. De rantsoen-graassysteem combinaties waren begrazen van de weidegronden met hooi op stand en geen bijvoeren (Controle), gelijk aan de controle maar met bijvoeren van hooi van koeien-bonen, katoen zaad en koeken daarvan (Bijvoeren) en gedurende de proefperiode op stal houden en voeren met hooi van koeien-bonen, koeken van katoen zaad en stro van graangewassen (Op stal).

De cumulatieve toename in gewicht gedurende de proefperiode was 3 kg bij de koeien die op stal stonden in vergelijking tot een cumulatieve afname in gewicht tijdens de proefperiode bij koeien die alleen graasden (25 kg verlies) en die graasden en werden bijgevoerd (14 kg verlies). Bovendien was de melkproductie gedurende de 3.5 maanden proefperiode veel hoger bij koeien die op stal werden gehouden (1.5 liter koe⁻¹ dag⁻¹) dan bij de controle koeien (0.44 liter koe⁻¹ dag⁻¹). Als de koeien goed worden gevoed, dan produceren ze genoeg melk om een betere groei van het kalf te verzekeren (17 kg gewichtstoename voor kalveren van koeien die op stal worden gehouden). Dit was maar 6 kg voor kalveren van koeien die op de traditionele manier werden gehouden. Deze koeien hebben alleen de beschikking over matige kwaliteit hooi op stand op de weidegronden wat de melk productie zodanig beperkt dat er onvoldoende wordt geproduceerd voor hun kalveren. Koeien die op stal gehouden worden presteren beter dan koeien die grazen op de weidegronden en wel dan niet worden bijgevoerd. Dit als gevolg van het betere voer maar ook doordat energie verlies door grazen wordt beperkt. Boeren waarderen de koeien die op stal worden gehouden, naar eigen zeggen vooral omdat de conditie, mest- en melkproductie goed

is. Als de meerderheid van de boeren in een dorp deze optie zouden adopteren dan zou de graasdruk op weidegronden aanzienlijk afnemen.

Het effect van bijvoeren op de reproductie en de melkproductie over een levenscyclus van een koe is berekend met behulp van een simulatiemodel LIVSIM (LIVestock SIMulator). In feite gaven de voederproeven alleen informatie over de korte termijn van slechts één lactatie. Kennis over het effect van voederrantsoenen over de gehele levenscyclus van een koe zou boeren helpen betere beslissingen te nemen in relatie tot de schaarse middelen die zij hebben. Daarom is eerst het model gekenmerkt voor het lokale ras Méré en vervolgens getest met de gegevens voorkomend uit de voederproeven. Daarna is het model gebruikt om de productiviteit van melk koeien in relatie tot verschillende voederrantsoenen over een gehele levenscyclus te berekenen.

De volgende situaties zijn onderscheiden: Optie 1 ging uit van koeien die in alle seizoenen alleen weidegronden begrazen; Optie 2 was hieraan gelijk maar de koeien werden bijgevoerd met hooi van koeien-bonen en met krachtvoer gedurende het hete seizoen; Optie 3 was gelijk aan 2 maar de koeien worden dan in het droge seizoen ook op stal gehouden en er wordt ruwvoer (stro van granen) gegeven; en, Optie 4 is gelijk aan 3 maar de koeien worden het gehele jaar op stal gehouden (Hoofdstuk 4). De berekeningen geven aan dat de koeien in Optie 4 een betere gewichtsonwikkeling hebben tot 300 kg aan het einde van de levenscyclus in vergelijking tot 262 kg in Optie 1. De leeftijd voor het eerste kalveren is laat (6 jaar) in Optie 1 in vergelijking tot die in de Opties 2, 3 en 4 (5 jaar) en is het gevolg van de slechte conditie en vertraagde ontwikkeling van de vaarzen door het grazen op slechte kwaliteit weiden. Bovendien is de tussen kalvertijd lang in Optie 1 (1.6 jaar) en korter in de Optie 4 (1.4 jaar). Dit is gerelateerd aan de seizoensgebonden kwaliteit van en beschikbaarheid aan voer uit de weiden. Het aantal kalveren per koe in een levenscyclus is hoger in Opties 3 en 4 in vergelijking tot Opties 1 en 2. De betere prestatie in reproductie van koeien in Opties 3 en 4 is gerelateerd aan de goede conditie van de dieren die weer bepaald wordt door beter en meer beschikbaar voer en door reductie in energieverlies als gevolg van niet grazen. Het effect van rantsoenen en grazen is ook groot op de melkproductie met 5.259 kg en 8.072 kg per koe per levenscyclus in respectievelijk Optie 3 en Optie 4 in vergelijking tot 3.355 kg in Optie 1.

De lage melk productie in Optie 1 (gemiddeld 2 liter per koe per dag) kan worden verklaard door onvoldoende voer van lage kwaliteit wanneer koeien alleen voer krijgen van de weides die zij begrazen. De beperkte conditie van de weides is een gevolg van overbegrazing en onvoldoende, variabele regenval, de laatste als gevolg van klimaatsveranderingen. Een relatief hoge productie aan mest wordt berekend in

alle opties. Echter in Opties 1 en 2 kan slechts 40% worden verzameld omdat de rest achterblijft in de weiden. Als de dieren op stal staan kan dit percentage oplopen tot 80%. Verder blijkt in de vergelijking van de vier opties dat koeien die gedurende de droge hete tijd of gedurende alle seizoenen op stal staan een betere melk productie hebben en beter reproduceren dan dieren die het hele jaar door grazen. Dit resultaat zou een stimulans moeten zijn voor boeren om meer te investeren in het produceren van voer (hooi van koeien-bonen, stylosanthes) en in het houden van de koeien op stal omdat deze verandering in het systeem niet alleen meer melk en kalveren oplevert, maar ook meer mest waarmee onderhoud en de noodzakelijke verbetering van de bodemvruchtbaarheid in de velden kan worden bewerkstelligd.

De economische haalbaarheid van de voederopties en manieren van het houden van lacterende koeien is ook bekeken waarbij verschillende scenario's zijn doorgerekend (Hoofdstuk 5). Het resultaat van deze berekeningen geeft aan dat op stal zetten van lacterende koeien gedurende de droge, hete tijd van het jaar in vergelijking tot de huidige praktijk een winst oplevert in jaarlijks inkomen van 6 en 16% bij respectievelijk de grote en middel grote boeren. Bijvoeren van dieren die het hele jaar rond grazen leidt tot lagere toename in jaarlijks inkomen en wel 2 en 5% in vergelijking tot de huidige praktijk. De optie van op stal zetten tijdens het hete, droge seizoen met bijvoeren leidt wel tot een bouwplan waarbij 10% van het land onder koeien-bonen en 27% onder katoen moet worden gezet. Kleine boeren met een lacterende koe kunnen hun inkomen ook significant verbeteren in vergelijking tot het huidige door hun koe bij te voeren naast het begrazen (31%) of door bijvoeren en op stal zetten van de koe in de droge, hete tijd (95%). De erg hoge productiekosten verbonden aan het jaar rond op stal zetten door vooral het moeten aankopen van krachtvoer en de extra benodigde arbeid, én de aanzienlijke hoeveelheid hooi van koeien-bonen (1.095 kg per koe per jaar) maakt het niet waarschijnlijk dat deze optie door boeren wordt geadopteerd om hun landbouw productie te verhogen.

Concluderend, een verandering van het houden van lacterende koeien die grazen gedurende het gehele jaar naar een systeem waarbij de koeien op stal worden gezet en gevoerd gedurende de hete, droge tijd leidt tot hogere inkomens van boeren, maar dat vergt wel dat ook het bouwplan verandert met gemiddeld 10% bebouwd met koeien-bonen en 27% met katoen. Het overige land staat onder graan. Gegeven de lage melk productiecapaciteit van het lokale ras Méré lijkt het niet verstandig de boeren te adviseren te veel te investeren in aankoop van krachtvoer en extra arbeid (jaar rond op stal) omdat dan de hoge investeringen leiden tot financiële verliezen.

Remerciements

Les travaux de cette thèse ont été conduits auprès de l'Equipe sur les Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN), au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso (CRRA/Sikasso). L'ESPGRN-Sikasso en collaboration avec l'Université de Wageningen, a entrepris en 2005 l'exécution d'un projet intitulé AfricaNUANCES «Utilisation des éléments nutritifs par les animaux et les cultures: efficacité et échelle». Le projet a été exécuté dans la zone cotonnière du Mali Sud (Koutiala).

L'objectif était d'identifier des technologies pouvant promouvoir avec succès et de façon durable, le développement des petites exploitations agricoles d'Afrique subsaharienne. C'est dans ce contexte que les activités de cette recherche focalisées sur, les possibilités d'intensification et d'amélioration de la productivité agricole à travers élevage ont démarré en 2005.

Plusieurs personnes ont participé à l'exécution des travaux auxquelles, je tiens à présenter mes sincères remerciements. Je remercie tout d'abord «ALLAH, le tout puissant et créateur» de m'avoir donné la force nécessaire pour la réalisation de cette thèse. Mes sincères remerciements vont à Dr Salif Kanté et à Dr Zana J.L. Sanogo pour m'avoir proposé en thèse dans le cadre de l'exécution du projet AfricaNUANCES. J'adresse mes vifs remerciements à:

- La Direction de l'IER;
- La Direction du Centre Régionale de Recherche Agronomique (CRRA)/Sikasso, dont le soutien matériels et administratif mérite d'être souligné;
- Au chef de l'Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN), Dr N'Golo Coulibaly pour le soutien moral et conseils durant cette formation;
- Au personnel du CRRA et de l'ESPGRN, notamment Bitchibaly Kounkandji, Moulaye Sangaré, M'Piè Bengaly, Hamady Djouara, Salif Doumbia, Diakaridia Diabaté, Mamadou Sanogo, feu Robert Berthé, Sanata Koné, Aminata Sidibé, Siaka Traoré, Boubacar Diaw, pour leur participation à la l'exécution des activités du projet;
- Drissa Sanogo et Woudou Cissé pour leur active participation à la collecte des données sur le terrain et à la restitution des résultats préliminaires aux paysans; qu'ils retrouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance;
- Aux agro-éleveurs des villages de N'Goukan et Try pour leur disponibilité, leur bonne collaboration et sans lesquels ce travail ne serait pas possible.

Je remercie sincèrement mon promoteur, Professeur Herman Van Keulen pour l'intérêt porté sur mon travail, pour son soutien technique et matériel, sa patience et tous les efforts fournis pour l'aboutissement de cette thèse. Merci prof. Herman pour tous les commentaires, corrections et suggestions, et pour votre franche et fructueuse collaboration.

Je remercie sincèrement mon 1^{er} co-promoteur, Dr Nico de Ridder, pour les visites terrains, les encouragements, les conseils, les commentaires et critiques constructives faites pour la réalisation de ce travail. Merci Dr Nico pour toutes les corrections et excellentes suggestions prodiguées durant la phase de rédaction de cette thèse; Votre contribution significative et franche collaboration me resteront toujours en mémoire.

Je remercie mon 2^e co-promoteur, Dr Mariana Rufino, pour tout le soutien concernant la réalisation de se travail et la modélisation. Merci Dr Rufino pour toutes les corrections, suggestions et commentaires prodigués et pour votre franche collaboration.

Mes vifs remerciements au Professeur Ken Giller pour son soutien et mon inscription à l'Université de Wageningen. Je vous remercie aussi pour la visite terrain effectuée au Mali en 2007 avec Pablo Tittonell, Nico de Ridder et Mariana Rufino. Au cours de votre visite au Mali, nous avons eu des moments d'intense travail, merci pour tous les conseils et les critiques constructifs que vous avez eu à faire durant ce travail.

Mes remerciements à Dr Mark van Wijk et Jérôme Dury pour leur grande contribution pour la rédaction du chapitre 4 de cette thèse.

Je remercie également tout le personnel du groupe Systèmes de Production des Plantes (PPS), particulièrement mes sincères remerciements aux secrétaires Ria van Dijk et Charlotte Schilt pour leurs efforts par rapport à l'obtention du permis de résidence et pour l'arrangement de la chambre avant mon arrivée.

Je remercie aussi mes collègues thésards du groupe PPS notamment Kenneth Niomby, Amos Mwijage et Peter Ebanyat pour tout le temps passé ensemble, et pour le partage des idées et des informations. Les discussions, communications et échanges que nous avons eu ensemble ont souvent aidé à surmonter certaines difficultés.

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

Curriculum vitae

Ousmane Sanogo est né le 06 août 1969 à N’Kourala, cercle de Sikasso au Mali. Il fit ses études primaires à N’Kourala-Sikasso. Après les études primaires, il entra à l’Institut Polytechnique Rural (IPR) de Katibougou en octobre 1985 pour des études secondaires, qu’il termine avec succès en juin 1989. Après l’IPR de Katibougou, il obtient une bourse pour des études supérieures en Russie (ex URSS) où il fit ses études supérieures à l’Université Russe de l’Amitié des Peuples de Moscou (ex Université Patrice Lumumba) de 1991 à 1998. A L’Université de Moscou, il obtient son diplôme de «Bachelor of Science» en Agronomie en juin 1996 et son DEA «Master of Science in agriculture» en juin 1998. Entre 1999 et 2004, il travailla comme agroéconomiste au sein de l’Equipe Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (ESPGRN), Centre Régional de la Recherche Agronomique de Sikasso (CRRRA-IER/Sikasso). Au cours de cette période (1999-2004), il participa à l’exécution du projet «Amélioration du fonctionnement des unités de production». Il participa également à l’exécution de plusieurs travaux de recherche et de projets tels que le projet «Intégration agriculture élevage et gestion durable des ressources naturelles »; le projet « Diagnostic des élevages périurbains en zone Mali Sud ». Depuis 1999, il a travaillé avec les paysans et groupements de paysans dans le cadre de la recherche développement en zone Mali Sud. Il a récemment travaillé sur l’amélioration de la production laitière dans les exploitations mixtes cultures-élevage, comme nouvelle voie de développement de ces systèmes de production, activité exécutée dans le cadre d’une bourse Sandwich, pour faire un PhD à l’Université de Wageningen. Il a commencé ce programme de thèse en janvier 2005, avec le département Systèmes de Production des Plantes (PPS) de l’Université de Wageningen (Pays Bas). Il parle couramment: Senoufo, Bambara, Français, Anglais et Russe. Il est marié à Agnès Marie Yanaba et est père d’une fille Binta Sanogo.

PE & RC PhD Education Statement Forum

With the educational activities listed below the PhD candidate has complied with the educational requirements set by the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation (PE&RC) which comprises of a minimum total of 32 ECTS (=22 weeks of activities)

Review of literature (5.6 ECTS)

- Improving mixed crop-livestock productivity through better management and feeding of lactating cows in Koutiala zone, Mali (2005).

Writing of Project Proposal (7 ECTS)

- Milk, the white gold? Improving mixed crop-livestock productivity through better management and feeding of lactating cows in Koutiala zone, Mali (2005).

Post-Graduate Courses (6.3 ECTS)

- The Art of Modelling; PE&RC (2008)
- Introduction to R for statistical analysis; PE&RC (2008)

Deficiency, Refresh, Brush-up and General Courses (8 ECTS)

- Quantitative Analysis of Land Use System (QUALUS); PPS/WUR (2005)
- Systems analysis, simulation and systems management, PPS/WUR (2005)
- Basic and advanced statistics; PE&RC (2008)

Competence Strengthening/Skills courses (6 ECTS)

- English; Language Centre WUR, (2005)
- English advanced course; Language Centre WUR (2008)
- Techniques for Writing and Presenting a Scientific Paper; PE&RC (2008)

PE&RC annual meeting, Seminars and PE&RC Weekend, (1 ECTS)

- Perennial Rye Grass Symposium Wageningen (2005)
- PE&RC Weekend (2008)
- PE&RC day (2008)

Discussion group /local seminars and other scientific meetings (5.8 ECTS)

- Program Committee IER-Mali and CTR (2006-2007)
- AfricaNUANCES workshop, Wageningen (2005)
- AfricaNUANCES workshop, Arusha (2007)

International Symposia, Workshops and Conferences (4 ECTS)

- PCP (Partenariat of Competence Pole): Annual seminar with presentation Bamako, Mali (2005)
- Towards exploring tradeoffs around farming livelihoods and the environment: the AfricaNUANCES framework with presentation: Rapid farm characterization in Mali; Wageningen, The Netherlands (2006)
- Lack of resilience in African smallholder farming: Exploring measures to enhance the adaptive capacity of local communities to pressures of climate change with presentation: Implication on smallholder farming in Mali. what do we know? Harare, Zimbabwe (2007)
- Nutrient Use in Animal and Cropping Systems: Efficiency and Scales, the AfricaNUANCES framework. Final workshop, Arusha in Tanzania (2007)

Supervision of MSc Students (2 Students, 50 Days)

- Research topic Yann Vétois: Fodder legumes to reduce feed deficits of dairy cows during the hot dry season. A feeding trial under farming conditions in Koutiala, Mali
- Research topic Anne Rietveld: Livelihood strategies in a globalizing world. Analysis of farmers' strategies in Southern Mali with emphases on milk production

Remerciements pour le financement

Mes vifs remerciements à l'Union Européenne pour avoir financé le projet AfricaNUNANCES (Contract no INCO-CT-2004-003729), ce qui m'a permis de faire cette formation de thèse.

I thank the European Union for funding this research through the AfricaNUANCES Project (Contract no INCO-CT-2004-003729).

