

BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE
MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES (DEA)
EN GESTION INTEGREE DES RESSOURCES NATURELLES
SPECIALITE : SYSTEME DE PRODUCTION ANIMALE

Thème : Intérêt de la programmation linéaire pour l'analyse des pratiques des producteurs et la conception des innovations : cas des villages de Koumbia et Kourouma à l'Ouest du Burkina Faso

Soutenu, le 02 Octobre 2010 par :

ZONGO Bétéo

MEP
362 ZON

Directrice de mémoire : Pr. Chantal Yvette KABORE-ZOUNGRANA

Composition du jury :

Président du jury : Pr. Abdoulaye GOURO, Directeur Général du CIRDES

Membres: Dr. Souleymane OUEDRAOGO, Directeur Général de DGPER/MAHRH
Pr. Chantal Yvette KABORE-ZOUNGRANA, Directrice du Laboratoire d'Etude et de Recherche sur les Ressources Naturelles et des Sciences de l'Environnement (LERNSE), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

A toute la Famille ZONGO ;

A ma mère, mon père, mes frères et sœurs ;

A toutes les personnes qui me sont chères.

MEI
369 ZON

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce document résulte de la contribution de plusieurs personnes. De ce fait, j'adresse mes sincères remerciements à toutes ces personnes pour le soutien et les conseils qu'ils m'ont apporté. Je tiens à remercier particulièrement :

- Pr. Chantal Yvette KABORE-ZOUNGRANA, Enseignant-chercheur à l'IDR, notre Directrice de mémoire, d'accepter me recevoir dans son Laboratoire d'Etude et de Recherche sur les Ressources Naturelles et Sciences de l'Environnement ;
- Pr. Abdoulaye S. GOURO, Directeur Général du Centre International de Recherche-Développement sur l'Elevage en zone Sub-humide pour l'accueil au sein de son établissement ;
- Mes co-encadrants :
 - o Dr. Souleymane OUEDRAOGO, Chercheur à l'INERA et Directeur de la Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale au sein du MAHRH qui m'a soutenu depuis l'ingénieurat jusqu'à mon inscription au troisième cycle. Il a accompagné la réalisation de ce document. Je lui exprime infiniment ma profonde gratitude ;
 - o Dr. Nadine ANDRIEU, Chercheur agronome au CIRAD, mise à la disposition du CIRDES et coordinatrice du projet Corus, pour l'initiation du projet de recherche et sa disponibilité constante au cours de la rédaction de ce mémoire. Sa contribution à la réussite de notre étude est inestimable ;
- Dr. Augustin B. KANWE (Chef de l'URPAN) qui m'accueilli au sein de son unité de recherche et du projet Corus, Dr Zakaria BENGALY (Chef de l'URBAN) et Dr Augustin BANCE (chef de la CCFOR), pour leurs encouragements et conseils ;
- Dr. Barbier BRUNO, Chercheur agroéconomiste au CIRAD, mis à la disposition des 2IE pour avoir m'initier au logiciel GAMS et corriger le modèle que j'ai élaboré ;
- M. Mathieu OUEDRAOGO, chercheur agroéconomiste à l'INERA/Farako-Ba, pour ses nombreuses suggestions pour le mémoire provisoire et la documentation sur la modélisation qu'il a mis à ma disposition;
- M. Gaspar VOGNAN, Chercheur agroéconomiste au Programme coton, pour ses encouragements et les documents qu'il m'a fournis ;
- Mme. Isabelle DABIRE, Chercheur agroéconomiste à l'INERA/Kamboinsé pour avoir accepter de faire l'audit du modèle ;
- corps professoral de l'IDR, pour l'inestimable contribution à notre formation ;
- étudiants stagiaires et personnel du CIRDES pour leur franche collaboration tout au long du stage ;
- producteurs des villages de Kourouma, Koumbia pour m'avoir permis de travailler sur leurs exploitations ;
- familles ZONGO et NEBIE, pour leurs encouragements et soutien de tout genre ;

Enfin à tous ceux dont les noms n'apparaissent pas ici. Je leur exprime ma profonde reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
RESUME.....	vii
INTRODUCTION.....	1
I. PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS ET REVUE DE LA LITTERATURE	3
1.1 Problématique	3
1.2 Objectifs de la recherche.....	4
1.3 Hypothèses de recherche.....	4
1.4 Revue de la littérature	5
1.4.1 Définition et principes de la programmation linéaire	5
1.4.2 Application de la programmation linéaire en agriculture.....	6
1.4.3 Analyse des principales approches de la programmation linéaire à l'échelle des exploitations d'Afrique de l'Ouest.....	7
1.4.4 Limites et avantages de la programmation linéaire	9
II. CADRE DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE	10
2.1 Cadre de l'étude	10
2.1.1 Justification du choix de la zone d'étude	10
2.1.2 Caractéristiques physiques	10
2.1.3 Caractéristiques socio-économiques	12
2.1.4 Typologie des producteurs des villages de l'étude.....	12
2.1.5 Choix des exploitations et méthode de collecte des données.....	13
2.1.6 Traitement et analyse des données	14
2.2 Méthodologie de recherche	14
2.2.1 Formulation du modèle de programmation linéaire.....	14
2.2.1.1 Schématisation du système de production de l'exploitation.....	14
2.2.1.2 La planification des activités des exploitations.....	15
2.2.1.3 Les activités au sein des exploitations	16
2.2.1.4 Disponibilité et allocation de la terre aux cultures.....	17
2.2.1.5 Disponibilité des ressources animales.....	18
2.2.1.6 Disponibilité et allocation de la main d'œuvre de l'exploitation.....	20
2.2.1.7 Le capital financier de l'exploitation	22
2.2.1.8 Les produits végétaux et leurs utilisations	25
2.2.1.9 Les produits animaux et leurs utilisations.....	26
2.2.1.10 La fonction objectif.....	26
2.2.2 Validation du modèle.....	27
2.2.3 Proposition de scénarii à partir du modèle construit.....	27
2.2.4 Présentation de l'outil de programmation.....	28
III. RESULTATS ET DISCUSSION	29
3.1 Analyse des pratiques des producteurs dans les villages	29
3.1.1 Analyse des pratiques des producteurs de Koumbia.....	29
3.1.1.1 L'allocation des terres aux différentes cultures.....	29
3.1.1.2 Les stocks de résidus de cultures nécessaires à l'alimentation des animaux ...	31
3.1.1.3 Les quantités de produits agricoles	32
3.1.1.4 Le revenu des producteurs	33
3.1.2 Analyse des pratiques des producteurs de Kourouma.....	34

3.1.2.1 L'allocation des terres aux différentes cultures	34
3.1.2.2 Les stocks de résidus de cultures nécessaires à l'alimentation des animaux ...	36
3.1.2.3 Les quantités de produits agricoles	37
3.1.2.4 Le revenu des producteurs	38
3.2 Analyse de sensibilité.....	39
3.2.1 Premier scénario : introduction de l'embouche bovine dans les exploitations ...	39
3.2.1.1 Pratique de l'embouche bovine.....	39
3.2.1.2 Impact sur le revenu des producteurs.....	39
3.2.2 Deuxième scénario : réduction de la superficie du coton dans l'assolement.....	40
3.2.2.1 Contexte	40
3.2.2.2 Impact sur le revenu des producteurs.....	40
3.3 Discussion générale.....	41
CONCLUSION GENERALE	43
BIBLIOGRAPHIE	45
ANNEXES.....	i

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques socio-économiques des sites	12
Tableau 2. Typologie des producteurs à Koumbia et Kourouma	13
Tableau 3. Surface cultivable dans les exploitations (ha)	17
Tableau 4. Flux des animaux des troupeaux des producteurs à Koumbia par période	18
Tableau 5. Flux des animaux des troupeaux des producteurs à Kourouma par période	18
Tableau 6. Disponibilité de la main d'œuvre familiale dans les exploitations	21
Tableau 7. Utilisation du capital dans les exploitations	22
Tableau 8. Equations d'estimation des coûts d'intrants.....	24
Tableau 9. Equations d'estimation des indicateurs du revenu agricole des producteurs.....	25
Tableau 10. Equations d'estimation des indicateurs du revenu d'élevage des producteurs..	26
Tableau 11. Les quantités de produits agricoles (en kg)	32
Tableau 12. Le revenu des producteurs de Koumbia (en FCFA)	33
Tableau 13. Les quantités de produits agricoles des exploitations de Kourouma (en kg) ...	37
Tableau 14. Le revenu des producteurs de Kourouma (en FCFA).....	38
Tableau 15. Impact de l'introduction de deux bovins d'embouche sur le revenu des producteurs.....	39
Tableau 16. Impact de l'abandon du coton sur le revenu des producteurs	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte administrative de l'Ouest du Burkina Faso.....	11
Figure 2. Schéma fonctionnel du modèle conceptuel du système de production dans les exploitations de Kourouma et Koumbia	15
Figure 3. Allocation des superficies aux cultures dans les exploitations d'agriculteurs de Koumbia.....	29
Figure 4. Allocation des superficies aux cultures dans les exploitations d'agro-éleveurs de Koumbia.....	30
Figure 5. Allocation des superficies aux cultures dans les exploitations d'éleveurs de Koumbia.....	31
Figure 6. Allocation des stocks de résidus de cultures aux animaux des exploitations de Koumbia.....	32
Figure 7. Allocation des superficies dans les exploitations d'agriculteurs de Kourouma ...	34
Figure 8. Allocation des superficies dans les exploitations d'agro-éleveurs de Kourouma	35
Figure 9. Allocation des superficies dans les exploitations d'éleveurs de Kourouma.....	36
Figure 10. Résidus de cultures nécessaires à l'alimentation des animaux dans les exploitations de Kourouma	36

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BM:	Banque Mondiale
CIRAD :	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CIRDES :	Centre International de Recherche Développement sur l'Élevage en zone Sub- humide
CORUS :	Coopération pour la recherche universitaire et scientifique
FCFA :	Franc de la Communauté Financière d'Afrique
GAMS :	General Algebraic Modeling System
Ha :	hectare
INERA :	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
Kg :	Kilogramme
L:	Litre
MAHRH :	Ministère l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MS :	Matière sèche
NPK:	Azote, Phosphore, Potassium
PL :	Programmation linéaire
PM :	Programmation mathématique
SOFITEX :	Société des Fibres et Textiles du Burkina Faso
STC :	Surface Totale Cultivée

RESUME

A l'ouest du Burkina Faso, la pression croissante sur les ressources agro-pastorales, la variabilité des conditions climatiques, la hausse du prix des intrants et l'instabilité du prix des produits agricoles confrontent les exploitants à une complexité permanente de prise de décision pour allouer les ressources productives (terre, main d'œuvre, capital financier) aux différentes activités. Ils ont besoin ainsi d'outils d'aide à la décision. Une telle aide nécessite cependant une connaissance préalable de leurs pratiques de production. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente recherche dont l'objectif global est d'analyser les pratiques actuelles des producteurs par le biais d'un modèle générique de programmation linéaire (PL) des exploitations d'agriculture, agriculture-élevage et élevage des villages de Koumbia et Kourouma. Dans cette étude, nous avons développé un modèle de PL basée sur une maximisation du revenu des producteurs sous différentes contraintes (main d'œuvre, capital, terre). Ce modèle a utilisé les données des cahiers de suivi des exploitations du projet Corus : Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage en Afrique de l'Ouest. Les résultats du modèle montrent que les pratiques actuelles de l'ensemble des producteurs via l'allocation des ressources aux activités de l'exploitation ne permettent pas de maximiser leur revenu. Dans les exploitations de Koumbia, l'écart entre le revenu optimisé par le modèle et celui observé dans la réalité est de 16,10% pour les agriculteurs, 12,15% pour les agro-éleveurs et 7,43% pour les éleveurs. A Kourouma, cet écart est de 13,25%, 1,31% et 12,51% respectivement pour les agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs. De cette analyse, ce sont les éleveurs de Koumbia et les agro-éleveurs de Kourouma qui ont la meilleure allocation de leurs facteurs de production puisque l'écart entre le revenu optimisé et leur revenu réel est faible. Le modèle indique également que l'introduction d'innovations comme l'embouche bovine entraîne une augmentation des revenus des producteurs. Cette augmentation est estimée à 21,27% pour les éleveurs de Koumbia, 13,04% pour les agriculteurs et 2,34% pour les agro-éleveurs de Kourouma. En définitive, l'intérêt de la PL réside dans sa capacité à représenter le fonctionnement des exploitations, à analyser les pratiques des producteurs, les effets de l'introduction d'innovations et de la transformation du système de production sur leur revenu.

Mots clés : *exploitations, agriculteurs, agro-éleveurs, éleveurs, programmation linéaire, revenu, pratiques*

INTRODUCTION

Dans la plupart des pays en voie de développement, le secteur agricole continue de jouer un rôle majeur dans l'économie nationale. Il participe pour plus d'un tiers au produit intérieur brut (PIB) de nombreux pays d'Afrique subsaharienne (Banque Mondiale, 2008). Situé au cœur de l'Afrique occidentale, le Burkina Faso ne fait pas exception. En effet, le secteur agricole contribue en moyenne à environ 40% au PIB (25% agriculture, 12% élevage, 3% foresterie et pêche) et occupe plus de 87 % de la population (MAHRH_a, 2009).

L'agriculture et l'élevage sont les principales sources de revenus pour les populations les plus pauvres et constituent le pilier de la sécurité alimentaire du pays (MAHRH_b, 2009). Plus de 1 200 000 petites exploitations disséminées dans le pays sont orientées vers la production agro-pastorale (OUEDRAOGO, 2005). Les productions végétales concernent essentiellement les céréales, les cultures de rente et d'autres cultures vivrières. Quant aux productions animales, elles sont constituées principalement par les bovins, les petits ruminants, les porcs et la volaille. Au niveau des exploitations, les modes d'articulation de l'agriculture et de l'élevage au sein et entre les systèmes de production sont fortement liés à la densité de la population et à la pluviométrie des différentes régions.

Dans la région des Hauts-Bassins (Tuy, Kéné Dougou, Houet) à l'Ouest du Burkina, l'abondance de la pluviométrie et la disponibilité de terres fertiles ont provoqué d'importantes migrations de population au cours des dernières décennies (Lalba et al., 2005). Cet environnement, favorable à la production agro-pastorale, a conduit de nombreux agriculteurs et éleveurs à se sédentariser dans la zone (Corus, 2007). De ce fait, la densité de la population dans cette région a doublé en deux décennies, passant de 29,4 (en 1985) à 40,7 (1996) et 58,0 habitants/km² (INSD, 2009).

Cet accroissement de la population dans la région a marqué un tournant décisif dans les pratiques agro-pastorales reflétant la dynamique des systèmes de productions (Lalba et Vognan, 2004). En effet, il a favorisé l'intensification des systèmes de cultures basés sur la céréaliculture, la cotonculture et des systèmes d'élevage dominés par les petits ruminants, la volaille et surtout les bovins (McIntire et al., (1992), Steinfeld et al., (1996) cité par Lalba et al., 2005, Blanchard, 2005). Il a également permis une intégration croissante mais encore perfectible entre cultures et élevage à travers la forte adoption de la traction animale, l'utilisation croissante de la fumure animale et des résidus de récoltes (Daho, 2006).

Selon Augusseau et Salouka (2003), le développement conjoint de l'agriculture et de l'élevage dans la région est cependant basé sur une exploitation extensive des terres cultivables et des parcours naturels. Cette exploitation inadaptée des ressources engendre des saturations foncières se traduisant par une insuffisance des terres cultivables, une disparition des jachères et une réduction des pâturages (Daho, 2006). D'où les conflits pour l'usage des ressources naturelles entre agriculteurs et éleveurs en raison de l'extension des parcelles cultivées sur les zones de parcours des animaux ou les dégâts des cultures occasionnées par les animaux des pasteurs (Blanchard, 2005). Par ailleurs, les producteurs sont soumis aux facteurs exogènes tels que l'instabilité des prix agricoles (coton, céréales, animaux), la hausse généralisée des prix des intrants (engrais, produits vétérinaires, etc.), l'inégale répartition de la pluviométrie etc. En somme, les pratiques culturales et d'élevage des producteurs se réalisent dans un environnement complexe (pressions anthropique et agro-pastorale) et incertain (risque climatique et économique) dans les Hauts-Bassins situés en zone cotonnière.

Par conséquent, les préoccupations des exploitants sont de savoir quelles sont les meilleures stratégies à adopter pour atteindre leurs objectifs. Selon Adegbidi (2003), les objectifs du producteur peuvent se traduire par (i) la garantie de la sécurité alimentaire, (ii) la préservation d'un (ou l'accession à un) statut social élevé et (iii) la maximisation du revenu (résultat d'exploitation). Le dernier objectif vise l'accroissement de la valeur nette de l'exploitation. Il est identifié comme l'objectif primordial visé par la plupart des producteurs en zone cotonnière (Kokou, 2007; Adegbidi, 2003) puisque par son intermédiaire le producteur peut atteindre les deux autres objectifs identifiés par Adegbidi (2003). Pour contribuer à répondre à ces préoccupations, il s'avère nécessaire pour la recherche-développement d'analyser, au préalable, le fonctionnement technico-économique des systèmes de production de l'exploitation. C'est dans cette optique que, nous avons choisis les villages de Koumbia et Kourouma dans le bassin cotonnier comme cadre d'étude et la programmation linéaire (PL) comme outil d'analyse.

Le document est organisé en quatre parties. La première présente la problématique, les objectifs et la revue de la littérature sur la PL à l'échelle de l'exploitation en Afrique de l'ouest. La seconde partie est consacrée au cadre de l'étude et à la méthodologie de recherche adoptée. L'analyse des pratiques des producteurs et les résultats des simulations du modèle sont présentés dans la dernière partie.

I. PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS ET REVUE DE LA LITTERATURE

1.1 Problématique

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, les pratiques culturales et d'élevage des producteurs dans le bassin cotonnier à l'ouest du Burkina Faso se réalisent dans un environnement en mutation : pressions anthropique et agro-pastorale couplées à une instabilité des prix des produits agro-pastoraux et une hausse de ceux des intrants. Dans ce contexte, il est évident que les producteurs soient confrontés perpétuellement à une complexité de prise de décision pour allouer les ressources productives (terre, travail, équipement, etc.) aux différentes activités agro-pastorales en vue d'atteindre les objectifs qu'ils se sont fixés (Aubry, 2007). Les exploitants sont donc dans un contexte de recherche de nouvelles stratégies pour produire. Ils ont ainsi besoin d'outils d'aide à la décision.

Pour contribuer à relever ce défis, le projet Corus « Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes de production coton-céréales-élevage », piloté par le Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (CIRDES) en partenariat avec des institutions nationales (Institut national de l'environnement et recherches agricoles, Institut du développement rural/Université polytechnique de Bobo Dioulasso) et internationale (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement), vise à analyser et modéliser les stratégies d'adaptation des producteurs en zone cotonnière afin d'en évaluer les impacts et aider le producteur à concevoir des stratégies plus performantes. L'enjeu du projet est donc de construire et évaluer l'intérêt de différents modèles pour analyser le fonctionnement des systèmes de production et co-concevoir des innovations. C'est dans cette optique qu'il a contribué à la conception de deux modèles de simulation : un tableur Excel pouvant être utilisé dans une démarche de conseil avec les producteurs (planification de la prochaine campagne et analyse de situations innovantes) et un simulateur programmé dans un langage orienté objet visant à analyser sur le long terme les stratégies d'adaptation des producteurs. Ces modèles contribuent à analyser le processus de prise de décision des différents producteurs à l'échelle de l'exploitation.

Malgré l'intérêt de ces modèles d'aide à la décision, ils ne permettent pas d'identifier une solution optimale d'allocations des ressources productives (facteurs de production) aux différentes activités agro-pastorales de l'exploitation (Coleno *et al.*, 1999). Les modèles d'optimisation permettent d'analyser l'écart entre les pratiques actuelles des producteurs et une solution optimale pour analyser le fonctionnement de l'exploitation ou

évaluer comment atteindre les objectifs qu'ils se sont fixés. C'est dans cette perspective, que le projet Corus a envisagé de construire une troisième méthode, basée sur les techniques d'optimisation, pour compléter les deux modèles précédemment élaborés. D'où l'intérêt de la présente recherche utilisant la programmation linéaire comme technique d'optimisation pour analyser les pratiques actuelles des producteurs à l'échelle des exploitations.

1.2 Objectifs de la recherche

L'objectif global de notre recherche est d'analyser les pratiques actuelles des producteurs par le biais d'un modèle générique de programmation linéaire (PL) des exploitations d'agriculture, agriculture-élevage et élevage.

Spécifiquement, l'étude se fixe les objectifs suivants:

- modéliser les systèmes de production dans les exploitations ;
- analyser le fonctionnement technico-économique des exploitations en se basant sur une typologie des producteurs (en évaluant si les pratiques actuelles permettent de maximiser ou non leur revenu) ;
- évaluer l'impact d'innovations comme l'embouche bovine et la transformation du système de production à travers notamment la réduction de l'assolement du coton sur le revenu des producteurs.

1.3 Hypothèses de recherche

Pour atteindre les objectifs ci-dessus, nous supposons que dans la zone cotonnière de l'Ouest du Burkina :

- il est possible de modéliser les systèmes de production dans les exploitations malgré leur diversité ;
- le fonctionnement technico-économique actuel des exploitations ne permet pas au producteurs de maximiser leur revenu ;
- l'introduction d'une innovation technique et la transformation du système de production permettent d'améliorer le revenu des producteurs.

1.4 Revue de la littérature

1.4.1 Définition et principes de la programmation linéaire

D'une manière générale, la programmation mathématique (PM) est une représentation simplifiée mais qualifiée d'un phénomène réel (Pacaud et Cournut, 2007). Elle consiste à optimiser, dans le sens de maximiser ou de minimiser, un objectif ou une utilité sous diverses contraintes (Boussard 1987 cité par Ouédraogo, 2005).

La programmation linéaire (PL) est un cas particulier de la PM où la fonction objectif et les contraintes techniques sont spécifiées de manière linéaire par rapport à des variables de décision (Gohin et Chantreuil, 1999). L'adjectif « linéaire » désigne que toutes les fonctions mathématiques du modèle sont nécessairement de caractère linéaire. Elles sont du premier degré avec des représentations graphiques sous forme de droite (Boichard, 1969). Autrement dit, la fonction objectif et les contraintes sont toutes des combinaisons linéaires de variables (IDD, 2003). Le mot « programmation » est un synonyme de planification (Hillier et Lieberman 1967 cité par Valazquez 2004). La PL est alors la planification de plusieurs activités dans le but d'atteindre un résultat optimal, c'est-à-dire un résultat qui permet d'atteindre de la façon la plus satisfaisante un but spécifique parmi toutes les autres alternatives possibles (en accord avec le modèle mathématique). En d'autres termes, elle cherche la valeur extrême d'une combinaison linéaire d'activités possibles soumises à des contraintes qui limitent leurs dimensions et la nature de leurs combinaisons.

La PL apparaît comme un outil d'aide à la prise de décision car elle permet de comparer les résultats d'une situation de référence et différents scénarii (Boussard, 1987; Fall, 2002). Les décisions sont toujours prises par comparaison (Brossier, 1980) : qu'est ce que le décideur perd ou gagne en prenant telle décision plutôt que l'autre ?

L'énoncé mathématique d'un modèle de PL peut s'écrire comme suit :

$$M_{\max} F = \sum_i B_i x_i$$

Sous contraintes :

$$\sum_i a_{ki} X_i \leq b_k$$
$$X_i \geq 0$$

Avec :

F : la fonction objectif à maximiser ;

B_i : la contribution unitaire (exemple: marge brute/ha) de l'activité *i* à la fonction objectif ;

X_i : la variable de décision (exemple : surface par activité *i*) dont la valeur est déterminée de manière endogène ;

b_k : les disponibilités en facteurs de production *k* ;

a_{ik} : les coefficients techniques correspondant aux besoins en facteurs de production *k* de l'activité *i*.

Le système d'inéquations représenté par l'écriture matricielle ($AX \leq b$) exige que les quantités de ressources utilisées (AX) ne dépassent pas les quantités disponibles (b)

1.4.2 Application de la programmation linéaire en agriculture

La première PL a été appliquée en agriculture dans les années 60. En effet, elle avait pour objectif de définir le plan de production optimal pour l'agriculteur suite à l'application de nouvelles mesures économiques décidées à Bruxelles (la nouvelle Politique Agricole Commune des années 60) (Velazquez, 2004). Elle a permis ainsi de mesurer l'effet de la politique agricole (choix technologique) sur la production agricole et le revenu des producteurs.

La PL repose sur une hypothèse selon laquelle l'exploitant agricole cherche à maximiser son profit par la conduite de ses activités agricoles, tout en satisfaisant une série de contraintes concernant par exemple, la terre, la main d'œuvre, et le capital disponible au niveau de son exploitation (Fall, 2002). Cette hypothèse, issue de la théorie néoclassique, a fortement contribué au développement de cette approche en tant qu'outil d'analyse et d'aide à la décision car elle correspond parfaitement à celle de la microéconomie classique: rationalité et caractère optimisateur de l'agent (producteur) (Bortzmeyer, 1992). De ce fait, la PL permet d'explorer la rationalité du changement technique comme le choix des activités ou des systèmes de production (culture, élevage), ou des substitutions entre intrants (Barbier, 1994).

Selon Barbier et Benoît-Cattin (1997) et Kokou (2007), la PL apparaît comme un outil qui offre la meilleure possibilité de prendre en compte la complexité des liens entre les différents facteurs qui interagissent dans le fonctionnement des systèmes de production paysans. En effet, elle permet de représenter le fonctionnement technico-économique des exploitations agricoles et de simuler les impacts de chocs exogènes (un changement de

politique agricole par exemple) sur les variables de décision des producteurs (Gohin et Chantreuil, 1999). Pour cela, elle oblige à faire un inventaire très complet de toutes les productions possibles et de toutes les contraintes auxquelles est, ou croit être, soumis le producteur. Elle permet ainsi de s'interroger sur les conséquences, pour les décisions des producteurs, de modifications envisageables dans l'environnement technique et économique (Brossier, 1980).

Chaque type d'exploitation peut être modélisé suivant l'importance des différentes activités agro-pastorales (Lalba et *al.*, 2005). Dans ce cas, la PL détermine les niveaux des variables de l'exploitation qui optimisent l'objectif de chaque type de producteur. Autrement dit, pour chaque type d'exploitation, le modèle maximise une fonction objectif (F) par une meilleure allocation des ressources ou facteurs de production aux activités les plus productives (Ouédraogo, 2005). En définitive, la PL est un outil d'analyse des pratiques des producteurs et de planification des exploitations agricoles.

1.4.3 Analyse des principales approches de la programmation linéaire à l'échelle des exploitations d'Afrique de l'Ouest

En Afrique de l'ouest, il existe différentes utilisations de la PL comme outil d'analyse à l'échelle de l'exploitation et du terroir villageois. Les distinctions entre les utilisations sont liées aux types de questions abordées par les auteurs. Globalement, elles sont axées sur l'analyse de la durabilité des systèmes de production, l'intensification agricole, l'évaluation des impacts des politiques agricoles ou de l'introduction de technologies.

Cabanilla et *al.*, (2004) ont développé un modèle de PL pour analyser l'impact de l'introduction du coton Bt sur le revenu des exploitants agricoles des pays C4 (Burkina Faso, Benin, Mali, Sénégal) d'Afrique de l'ouest. Diagna et *al.*, (1996) analysent les effets de la dévaluation du franc CFA sur le choix des cultures et de technologies de production agricole effectuée par les ménages ruraux du bassin arachidier du Sénégal. Au Benin, Adegbidi (2003) a élaboré le plan de production optimal des exploitants agricoles à travers une analyse de l'incidence de la pluviométrie sur le revenu. Il s'agit spécifiquement du village de Bagou situé en zone cotonnière au nord du pays. Kokou (2007) a centré ses travaux sur la recherche de stratégies optimales d'intensification agricole réalisables par les exploitations familiales du village de Poissongui au Togo. Au Burkina Faso, Barbier (1994) a utilisé un modèle de PL pour analyser la durabilité agricole du village de Bala dans la zone cotonnière à l'Ouest. Dans le même village, Barbier et Benoît-Cattin (1997) ont

analysé la viabilité à moyen et long terme du système agraire. Lalba et *al.*, (2005) ont évalué l'impact économique et environnemental de mécanismes de régulation de la gestion des parcours, à l'échelle d'un terroir de Ouara à l'ouest. L'analyse de Ouédraogo (2005) a porté sur les possibilités d'une intensification de l'agriculture dans le plateau central du Burkina Faso à partir de nouvelles technologies. Au Sud-Ouest, Youl et *al.*, (2008) ont modélisé les principaux déterminants socio-économiques de la gestion des exploitations agricoles.

A l'exception de Ouédraogo (2005), les auteurs ont utilisé la PL comme outil pour modéliser une exploitation représentative ou un village en raison de la complexité et du nombre des exploitations. L'exploitation représentative est définie comme une exploitation hypothétique mais représentative de l'ensemble des exploitations agricoles (Maatman, 2000; Adegbedi, 2003).

Les modèles construits à partir d'une exploitation représentative ne prennent pas en compte la variabilité observée entre les différentes exploitations (Kokou, 2007). Par conséquent, ils introduisent de nombreux biais dans les résultats obtenus (Ouédraogo, 2005). Ces biais montrent la nécessité de tenir compte de la diversité des exploitations dans la modélisation. Selon Hazell et Norton (1986) cité par Ouédraogo (2005), l'idéal serait de construire un modèle pour chaque exploitation afin d'éviter ces biais. Dans la pratique, il est quasiment impossible de construire ces modèles au regard du nombre élevé des exploitations. Cependant, il est possible de minimiser les biais en identifiant des critères de classification des producteurs. Il s'agit précisément de déterminer une typologie des producteurs.

Contrairement aux études précédemment citées, basées sur une exploitation représentative, la présente étude adopte la démarche utilisée par Ouédraogo (2005). Cependant, elle reste tout de même différente de celle de cet auteur puisqu'il s'agira non seulement d'analyser l'impact de technologies innovantes mais aussi d'analyser le fonctionnement de différents types d'exploitations (analyse des écarts entre réalité et optimum) dans une perspective de dialogue avec les acteurs. Un modèle de PL sera construit par catégorie de producteurs. L'originalité de notre recherche réside donc dans la modélisation de la typologie des producteurs des villages étudiés et dans l'analyse du fonctionnement de ces types pour co-concevoir avec les producteurs des innovations.

1.4.4 Limites et avantages de la programmation linéaire

A l'instar des autres méthodes d'analyse scientifique, la PL n'est pas sans limite. Le modèle est nourri d'un grand nombre de comptabilités analytiques individuelles d'exploitations qui permettent de produire des marges brutes par activité de production et par exploitation. De ce fait, la qualité des résultats dépend de celle des données (Sourie et *al.*, 1998). De plus, la PL ne permet pas de prendre en compte l'aspect organisationnel de la production au sein de l'exploitation (Andrieu, 2004).

Malgré ces limites, la PL reste bien l'outil privilégié pour représenter individuellement les exploitations agricoles. Chaque exploitation peut être modélisée suivant l'importance des différentes activités qui intègrent les productions végétales et animales. Les interactions entre les deux activités agricoles et pastorales sont explicites dans le modèle (Lalba et *al.*, 2005). De plus, la PL constitue un puissant outil d'analyse pour évaluer les effets des politiques agricoles sur le comportement et le revenu des producteurs (Ouédraogo, 2005). Elle est également un instrument de planification et de gestion des exploitations. En définitive, elle facilite l'élaboration de politiques de soutien aux exploitants agro-pastoraux.

II. CADRE DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE

2.1 Cadre de l'étude

2.1.1 Justification du choix de la zone d'étude

La présente recherche concerne deux villages localisés au cœur de la zone cotonnière à l'Ouest du Burkina Faso. Il s'agit précisément de Koumbia et Kourouma retenus par le projet Corus comme sites d'étude. Le choix de la zone d'étude repose sur deux critères de sélection :

- la pression anthropique et agro-pastorale forte sur les ressources, conduisant à des seuils de rupture/crise (sociale, économique, environnementale) dans un avenir proche et se traduisant notamment par une baisse de la fertilité des sols et une crise fourragère ;
- la disponibilité de données existantes sur les deux sites.

2.1.2 Caractéristiques physiques

Kourouma et Koumbia sont deux villages situés en zone cotonnière dans la région des Hauts-Bassins à l'Ouest du Burkina Faso (Cf. figure 1). Ils sont caractérisés par des conditions agro-climatiques quasi-identiques et favorables à la production agro-pastorale. En effet, la pluviométrie varie entre 900 et 1000 mm/an (Vall et *al.*, 2005). Les sols sont de types ferrugineux.

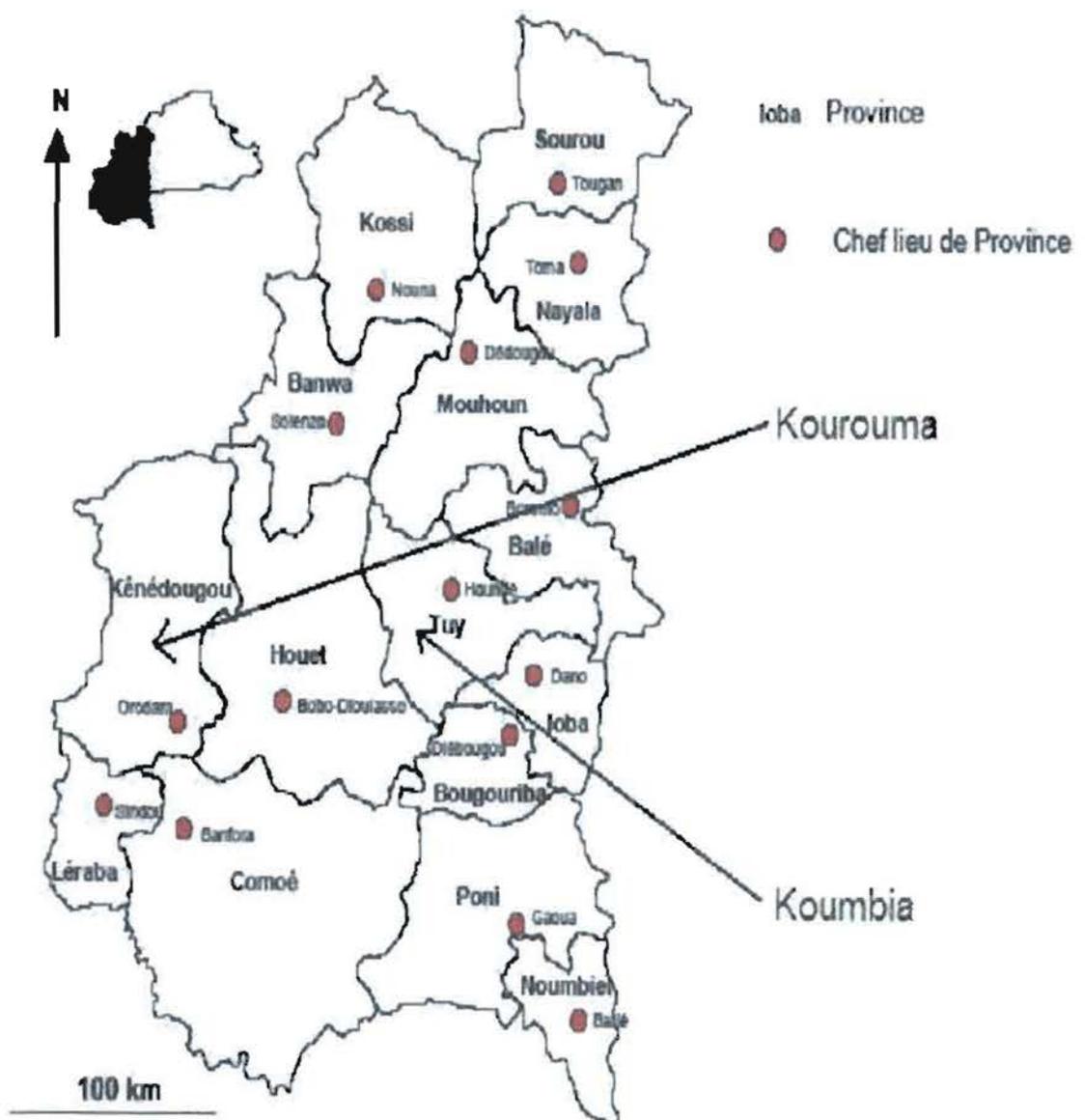


Figure 1. Carte administrative de l'Ouest du Burkina Faso

Source : Daho, 2006

2.1.3 Caractéristiques socio-économiques

Avec des densités respectives de 45 et 50 habitants/km², Koumbia et Kourouma comptent parmi les villages ayant une pression forte sur les ressources naturelles (Cf. Tableau 1). La majorité des terres fertiles sont exploitées et les possibilités d'extension des surfaces cultivées sont réduites. Les pratiques culturales concernent essentiellement les activités comme la cotonculture et la culture des céréales (maïs, sorgho, riz et mil). De même, les pratiques d'élevage se focalisent sur les modes de gestion des troupeaux de bovins, de petits ruminants (allotement, alimentation, valorisation des déjections, etc.). L'extension des cultures aux zones traditionnellement réservées au pâturage et à l'abreuvement (bas-fonds) entrave la mobilité des troupeaux. Généralement pratiquée en fin de saison sèche, la transhumance tend à se prolonger en hivernage en raison de l'emprise agricole.

Tableau 1. Caractéristiques socio-économiques des sites

Variables	KOUMBIA	KOUROUMA
Superficie du territoire villageois (ha)	9 000	16 000
Population (habitants)	5 800	82 000
Ethnies autochtones	Bwaba	Sénoufo
Population autochtone (%UP)	38	61
Mossi allochtones (% UP)	54	33
Peulh allochtones (% UP)	8	6
Unité de production (UP)	590	530
Densité de la population (habitant/km2)	55	44
Densité du bétail (UBT/km2)	45	50
Emprise agricole (%)	35	45

Source: Document de projet Corus (2007)

2.1.4 Typologie des producteurs des villages de l'étude

Dans les exploitations des deux villages, les producteurs ont été classés en trois types: les agriculteurs, les agro-éleveurs et les éleveurs (Blanchard et *al.*, 2005 ; Daho, 2006) (cf. tableau 2). Les principaux critères de classification des producteurs sont les superficies cultivées, le niveau d'équipement en matériel agricole, les effectifs de bovins de trait et d'élevage.

Tableau 2. Typologie des producteurs à Koumbia et Kourouma

Types de producteurs	Kourouma		Koumbia	
	Effectif	%	Effectif	%
Agriculteurs	385	74,18	474	83,60
Agro-Eleveurs	91	17,53	40	7,05
Eleveurs	43	8,29	53	9,35
Total	519	100	567	100

Source: Blanchard (2005) et Daho (2006)

Les agriculteurs (a) sont les producteurs qui pratiquent prioritairement la culture du coton et des céréales, avec des effectifs d'animaux réduits. La vente du coton et des céréales constituent les principales sources de revenus de ces producteurs.

Les agro-éleveurs (ae) sont les producteurs cultivant non seulement le coton et disposant aussi d'un nombre assez important d'animaux. Ils tirent leur revenu de la vente du coton, des céréales et des animaux.

Les éleveurs (e) sont les exploitants ayant pour activité principale l'élevage. Ces producteurs investissent dans l'élevage et c'est la vente des animaux qui rapporte l'essentiel des revenus. Les cultures choisies sont rarement destinées à la vente, mais ont surtout pour but d'assurer l'autosuffisance alimentaire de la famille et éventuellement de contribuer à l'affouragement des troupeaux en saison sèche. Le coton n'est donc que rarement cultivé dans ces exploitations.

Cette typologie élaborées par Blanchard et *al.*, (2005) et Daho (2006) a servi de base à (i) définir les coefficients technico-économiques du modèle et (ii) estimer les ressources de chaque type d'exploitation.

2.1.5 Choix des exploitations et méthode de collecte des données

Les producteurs retenus dans le cadre de notre étude sont suivis de façon régulière depuis décembre 2008 par l'équipe du projet Corus 2. Des cahiers de suivi ont été établis. Les données collectées portent sur les quantités de produits agricoles, les superficies emblavées, le rendement, la taille des troupeaux (bovins, ovins, caprins), le niveau d'équipement, les quantités d'intrants achetés, la main d'œuvre familiale, les jours de travail par période, la vente et les achats d'animaux.

2.1.6 Traitement et analyse des données

Le traitement et l'analyse des données consistent à organiser les données des cahiers de suivi des différentes exploitations. En effet, cela suppose une répartition des données selon les coefficients technico-économiques de chaque type d'exploitation. Ces coefficients sont notamment le rendement, les doses d'intrants, la quantité de main d'œuvre et l'allotement des catégories d'animaux. Le calcul des moyennes des coefficients, les tableaux et les graphiques ont été réalisés avec le logiciel MS EXCEL 2007.

2.2 Méthodologie de recherche

2.2.1 Formulation du modèle de programmation linéaire

Elle consiste à représenter sous forme d'équations et/ou d'inéquations les éléments du système de production de l'exploitation et leurs interactions suivant les décisions de production de l'exploitant. Cette représentation nécessite au préalable une schématisation des systèmes de production de l'exploitation.

2.2.1.1 Schématisation du système de production de l'exploitation

Globalement, au sein des systèmes de production dans notre zone d'étude on peut distinguer trois grandes entités à savoir : les ressources, les activités et les productions qui sont les sorties du modèle (Blanchard, 2005 ; Daho, 2006 ; Schaller, 2008) (Cf. figure 2). Les ressources sont constituées des terres de l'exploitation, des intrants, de la force de travail (main d'œuvre) et des animaux achetés. Ces ressources peuvent également être considérées comme des contraintes techniques pouvant restreindre la production dans l'exploitation (Adegbidi, 2003). Les activités portent sur les différentes cultures (assolement et choix d'intrants) et l'élevage des ruminants (allotement et complémentation). Ce sont autant de variables de décision du modèle. Les productions sont constituées par les récoltes, les résidus de cultures, les animaux et leurs fèces. Ce sont là des variables d'état du modèle issues des variables de décision (Vallin et Vanderpooten, 2002). Les récoltes et les animaux sont soit autoconsommés, vendus ou stockés par l'unité de production. Les fèces produites par les animaux sont utilisés par le producteur pour fertiliser les champs. Les résidus de cultures servent à alimenter le bétail. Ainsi, les activités d'agriculture et d'élevage sont liées par des relations de complémentarité (production de fumier par les animaux pour les cultures ou de résidus de récoltes pour les animaux).

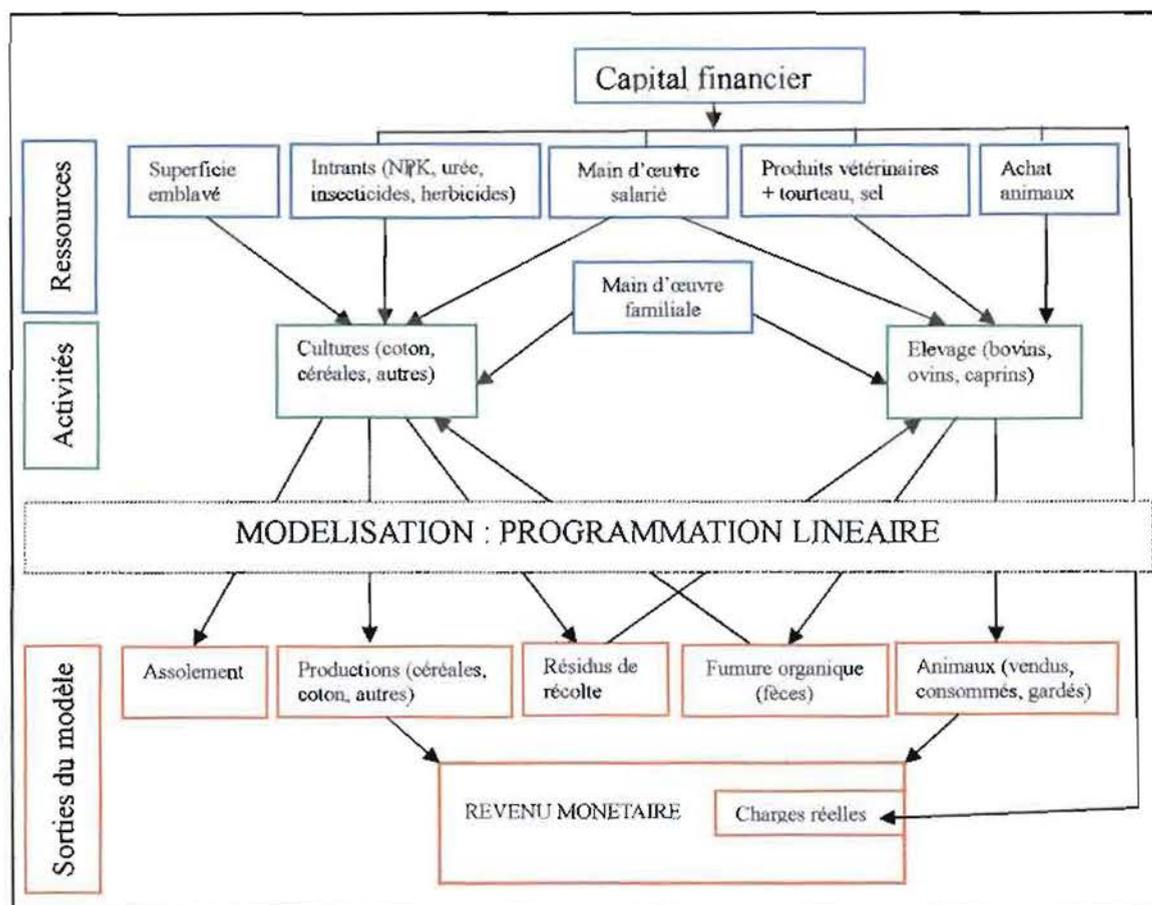


Figure 2. Schéma fonctionnel du modèle conceptuel du système de production dans les exploitations de Kourouma et Koumbia

En ce qui concerne l'environnement extérieur de l'exploitation, nous nous sommes focalisés sur les relations du marché via les prix des intrants et produits agropastoraux. Il s'agit de paramètres du modèle c'est-à-dire des facteurs exogènes sur lesquels les exploitants n'ont aucune influence directe à travers leurs décisions de production. En effet, le producteur achète d'une part des intrants agricoles, des animaux, de la main d'œuvre, du tourteau de coton, des produits vétérinaires et d'autre part, vend ses productions sur le marché. Les coûts d'achat des intrants, des soins vétérinaires, des animaux et de la main d'œuvre salariée constituent les charges réelles de l'exploitation tandis que la valeur monétaire des productions représente le produit brut. Ainsi, le revenu du producteur est déterminé par une déduction des charges réelles du produit brut.

2.2.1.2 La planification des activités des exploitations

Les activités des producteurs au sein des exploitations sont planifiées suivant trois périodes de l'année (Lalba et al., 2005 ; Blanchard, 2005).

La première période ($t1$) ou hivernage s'étale de début mai à fin octobre (181 jours). Elle correspond à la mise en place, l'entretien et la récolte des cultures. Pendant cette période, les animaux (bovins, ovins, caprins) se nourrissent du pâturage naturel : parcours collectifs et zones non cultivées du terroir villageois.

La deuxième période ($t2$) ou saison sèche froide correspond à la période post-récolte. Elle s'étale de début novembre à fin décembre (60 jours). Durant cette période, les animaux peuvent pâturer les résidus de récoltes laissés sur les parcelles des exploitations ; les fourrages sont considérés comme non limitant.

La troisième période ($t3$) s'étale de début janvier à fin avril (124 jours). Elle correspond à la saison sèche chaude qui est caractérisée par l'absence d'activités agricoles. Pendant cette période, l'alimentation du bétail est très contraignante. Par conséquent, le cheptel, en particulier les bovins, reçoivent une complémentation en plus du pâturage pour équilibrer leur alimentation. Cette complémentation est composée des stocks de cultures fourragères conservées (encore peu fréquents mais en développement) et des résidus de récoltes (pailles de maïs, fanes de légumineuses et pailles de sorgho), du tourteau de coton et du sel.

Nous désignons T l'ensemble des périodes de l'année.

$$T = \{t1, t2, t3\} \quad (1)$$

2.2.1.3 Les activités au sein des exploitations

Dans les exploitations, la céréaliculture, la cotonculture, les cultures secondaires et l'élevage constituent les principales activités des producteurs (Cf. figure 1).

La céréaliculture est composée de maïs (*mai*), mil (*mil*), sorgho (*sor*) et le riz (*riz*). Les cultures secondaires sont essentiellement le niébé (*nie*) et l'arachide (*ara*). A ces cultures sont associés des itinéraires techniques combinant différents niveaux d'apport d'intrants et des pratiques culturales. Soit J l'ensemble des cultures.

$$J = \{mai, mil, sor, riz, nie, ara, cot\} \quad (2)$$

Les élevages d'ovins (*ovi*), caprins (*cap*), bovins d'élevage (*bov*), bovins de trait (*bdt*) et bœufs d'embouche (*bemb*) sont les principales activités pastorales. Nous définissons I l'ensemble des activités d'élevage de chaque exploitation.

$$I = \{bov, bdt, ovi, cap, bemb\} \quad (3)$$

Dans les exploitations, le degré d'intégration agriculture-élevage varie cependant suivant la typologie des producteurs qui sont les agriculteurs (*a*), les agro-éleveurs (*ae*) et éleveurs (*e*).

Pour cela, nous mentionnons P l'ensemble des types de producteurs.

$$P = \{a, ae, e\} \quad (4)$$

2.2.1.4 Disponibilité et allocation de la terre aux cultures

La disponibilité des terres se traduit par la superficie totale cultivable (stc) de l'exploitant de type p . Elle est constituée d'une part des terres réellement emblavées par le producteur pendant la saison pluvieuse (tl) et de la jachère ($JACH$) même si elle est en voie de disparition en raison de la pression agro-anthropique.

La stc varie d'un type de producteur à l'autre dans les deux villages. Elle est plus importante dans les exploitations d'agro-éleveurs comparativement aux agriculteurs et éleveurs (cf. tableau 3).

Tableau 3. Surface cultivable dans les exploitations (ha)

Villages	Koumbia			Kourouma		
	Agriculteur	Agro-éleveur	Éleveur	Agriculteur	Agro-éleveur	Éleveur
Superficie totale cultivable	8,08	17,75	2,28	8,65	24,63	1,5
Ecart type	1,12	4,60	0,63	1,34	4,75	0,50
Superficie/actif	1,35	1,61	0,57	1,73	2,24	0,75

A Koumbia, la stc par les agro-éleveurs (17,75ha) représente le double de celle des agriculteurs (8,08ha) et huit fois celle des éleveurs (2,28ha). Cette différence est plus marquée à Kourouma. Chez les agro-éleveurs, elle (24,63ha) est trois fois supérieure à celle des agriculteurs (8,65 ha) et représente plus de dix (10) fois celle des éleveurs (1,5ha). Ainsi, dans les deux villages, la stc par les agro-éleveurs est supérieure à celles des agriculteurs et des éleveurs. Tout comme la superficie totale, la superficie par actif dans les exploitations d'agro-éleveurs est plus importante.

Les besoins en terres pour chaque spéculation sont représentés par la variable $X(j,p)$ qui détermine la superficie emblavée (en hectare) de la culture j ($j \in J$) par le producteur de type p ($p \in P$). C'est une variable endogène dans la mesure où l'on cherche à ce que le modèle détermine le meilleur assolement possible de la terre aux différentes activités de cultures (Ouédraogo, 2005).

Pour un producteur de type p ($p \in P$), la contrainte de terre exprimée en hectare (ha) pour les cultures est donnée par l'équation suivante :

$$\sum X(j, p, tl) + JACH(p) \leq stc(p) \quad (5)$$

L'équation montre que l'allocation de la terre aux différentes cultures et à la jachère (terme de gauche de l'équation) par le producteur ne peut pas excéder la superficie totale (terme de droite de l'équation) au début de la saison pluvieuse ($t1$). On suppose que la superficie totale cultivable est fixe dans le modèle mais varie d'un producteur à l'autre.

2.2.1.5 Disponibilité des ressources animales

Les ressources animales disponibles dans l'ensemble des exploitations sont constituées par les bovins d'élevage, les bœufs de trait, les ovins, les caprins et le fumier. Les flux des animaux se traduisent par les achats et les ventes d'animaux au cours des différentes périodes de l'année (cf. tableaux 4 et 5).

Tableau 4. Flux des animaux des troupeaux des producteurs à Koumbia par période

Catégories	Agriculteur				Agro-éleveur				Eleveur			
	début	Achats	ventes	Fin	début	Achats	ventes	Fin	début	Achats	ventes	Fin
Flux d'animaux en hivernage (période t1)												
Bovin d'élevage	2	0	0	2	83	0	0	83	45	0	0	45
Bœufs de trait	3	0	0	3	13	0	0	13	2	0	0	2
Bœufs d'embouche	0	1	0	1	0	4	0	4	0	0	0	0
Ovins	5	0	0	5	25	0	0	25	15	0	1	14
Caprins	1	0	0	1	30	0	0	30	10	0	0	10
Flux d'animaux en saison sèche humide (période t2)												
Bovin d'élevage	2	1	0	3	83	0	1	82	45	0	1	44
Bœufs de trait	3	1	0	4	13	0	0	13	2	0	0	2
Bœufs d'embouche	1	0	0	1	4	2	0	6	0	0	0	0
Ovins	5	0	0	5	25	0	1	24	14	0	1	13
Caprins	1	0	0	1	30	0	2	28	10	0	0	10
Flux d'animaux en saison sèche chaude (période t3)												
Bovin d'élevage	3	0	0	3	82	0	2	80	44	0	0	44
Bœufs de trait	4	0	0	4	13	0	0	13	2	0	0	2
Bœufs d'embouche	1	0	1	0	6	0	6	0	0	0	0	0
Ovins	5	0	2	3	24	0	0	24	13	0	0	13
Caprins	1	0	0	1	28	0	3	25	10	0	2	8

Tableau 5. Flux des animaux des troupeaux des producteurs à Kourouma par période

Catégories	Agriculteur				Agro-éleveur				Eleveur			
	début	Achats	ventes	Fin	début	Achats	ventes	Fin	début	Achats	ventes	Fin
Flux d'animaux en hivernage (période t1)												
Bovin d'élevage	6	0	0	6	49	0	0	49	15	0	0	15
Bœufs de trait	3	0	0	3	7	0	0	7	2	0	0	2
Bœufs d'embouche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
Ovins	3	0	0	3	4	0	0	4	4	0	0	4
Caprins	2	0	0	2	2	0	0	2	6	0	0	6
Flux d'animaux en saison sèche humide (période t2)												
Bovin d'élevage	6	0	2	4	49	0	2	47	15	0	1	14
Bœufs de trait	3	0	0	3	7	0	0	7	2	0	0	2
Bœufs d'embouche	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4
Ovins	3	0	1	2	4	0	0	4	4	0	0	4
Caprins	2	0	0	1	2	0	1	1	6	0	1	5
Flux d'animaux en saison sèche chaude (période t3)												
Bovin d'élevage	4	0	0	4	47	0	0	47	14	0	0	14
Bœufs de trait	3	0	0	3	7	0	0	7	2	0	0	2
Bœufs d'embouche	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0
Ovins	2	0	0	2	4	0	0	4	4	0	0	4
Caprins	1	0	0	1	1	0	0	1	5	0	0	5

L'analyse des tableaux montre qu'à l'exception des bœufs d'embouche, les ventes et les achats d'animaux sont très faibles dans l'ensemble des exploitations. Le faible taux d'exploitation des troupeaux est lié au fait que l'élevage peut constituer à la fois un prestige et une épargne pour les producteurs (Vall et *al.*, 2006, Ouédraogo, 2005).

Pour un producteur de type p ($p \in P$), le nombre d'animaux (NAN) de catégorie i ($i \in I$) en fin de saison hivernage ($t1$) est donc déterminé par l'effectif des animaux présents ($ANPRTS$) en début d'hivernage, ceux achetés ($ANCHT$) et ceux vendus ($ANVEN$). Les animaux morts et les naissances ne sont pas pris en compte au cours de ladite période. De ce fait, le nombre d'animaux de catégorie i en fin de la saison hivernale est déterminé par l'équation suivante :

$$NAN(i, p, t1) = ANPRTS(i) + ANCHT(i, p, t1) - ANVEN(i, p, t1) \quad (6)$$

Quant au nombre d'animaux de catégorie i en fin de la saison sèche froide ($t2$) est donnée par :

$$NAN(i, p, t2) = NAN(i, p, t1) + ANCHT(i, p, t2) - ANVEN(i, p, t2) \quad (7)$$

L'expression indique que le nombre d'animaux de catégorie i que possède un exploitant en fin de la saison sèche froide est la somme des animaux en fin de saison hivernage (en début de la saison sèche froide), des animaux achetés diminués des animaux vendus.

De même, les animaux de catégorie i en fin de la saison sèche chaude ($t3$) est déterminé par :

$$NAN(i, p, t3) = NAN(i, p, t2) + ANCHT(i, p, t3) - ANVEN(i, p, t3)$$

Pour prendre en compte l'alimentation du bétail dans le modèle, nous supposons que les besoins en matière sèche des bovins d'élevage, des caprins et des ovins est couvert par le pâturage naturel et les résidus de récolte durant les trois périodes. Pour les bœufs de trait et d'embouche, nous faisons l'hypothèse que leurs besoins alimentaires sont couverts également par le pâturage naturel en hivernage et en saison sèche froide. Par contre, pendant la saison sèche chaude, nous supposons qu'ils sont gardés sur l'exploitation et leur alimentation est uniquement assurée par les stocks de résidus de culture (céréales, fanes de niébé, d'arachide) et l'achat d'aliments concentrés (tourteau de coton, sel).

Pour cela, nous définissons :

$RDU(p)$: la quantité stockée de résidus (en kg) de cultures nécessaire au bétail du producteur durant la saison sèche chaude ;

$consan(i)$: le besoin journalier en matière sèche (MS) de la catégorie i d'animal en kg

Le besoin alimentaire en MS en saison sèche chaude est donné par l'équation :

$$RDU(p) \geq \sum consan(i) * NAN(i, p, t3) ; i = bdt, emb ; t3 = 124 \text{ jours} \quad (8)$$

Cette expression signifie que l'offre totale en résidus de cultures récoltés et stockés (terme gauche de l'équation) doit couvrir les besoins en MS des différentes catégories d'animaux si les animaux (bœufs de trait et d'embouche) sont stabilisés en saison sèche chaude. Ces besoins sont fonction de l'espèce, de l'âge, du poids vif et du type de production auquel l'animal est destiné. Ils sont estimés à 6,25kg/jour pour 1 UBT, soit 6,25 kg/jour par bovins puis 0,75kg/jour par ovins et caprins (Bosma, 1992 ; 1993).

Par ailleurs, les animaux contribuent à la production de fumier pour la fertilisation des sols. De ce fait, nous allons prendre en compte leurs déjections comme fertilisants dans notre analyse puisque qu'elles contribuent à assurer la durabilité du système. Selon, Bosma (1992 ; 1993) les déjections d'une unité bovine tropicale (UBT) sont estimées à un tiers de sa consommation alimentaire journalière, soit environ 2,5 kg /jour pour les bovins et 0,25 kg / jour pour les petits ruminants (caprins, ovins). La quantité de ce fumier va dépendre donc du nombre et du type d'animal que possède le producteur du type p .

Nous désignons :

$dej(i)$ = quantité de déjection journalière (kg) produite par un animal de type i

$QFORG(p)$: quantité de total de déjections des animaux du producteur p

$$QFORG(p) = \sum dej(i) * NAN(i, p, t3) \text{ avec } t3 = 124$$

Les modalités de valorisation des déjections varient suivant le type de producteurs. Pour certains, les fèces des animaux sont laissés directement dans les champs pour la fertilisation. En revanche, chez d'autres, elles sont ramassées puis mélangées aux résidus de cultures et ordures ménagères dans les fosses fumières. Par soucis de simplifications, nous supposons que les déjections des animaux sont ramassées et apportées aux différentes cultures par chaque type d'exploitant en début d'hivernage suivant.

Nous considérons :

$dorg(j)$: la dose de fumure organique (kg/ha) à l'hectare de la culture j .

La contrainte de fumure organique pour les cultures s'exprime par l'expression :

$$\sum dorg(j) * X(j, p, t1) \leq QFORG(p) \quad (9)$$

L'équation montre que la quantité de fumure organique apportée par le producteur (terme de gauche) aux cultures ne peut pas excéder la quantité totale de déjections produite par les animaux (terme de droite) du type d'exploitant p .

2.2.1.6 Disponibilité et allocation de la main d'œuvre de l'exploitation

Pour déterminer la main d'œuvre familiale disponible (en homme-jour) dans une exploitation, il est nécessaire de connaître l'effectif des actifs (mof) de l'unité de

production et le nombre de jours (*nbjr*) de travail de chaque période. On suppose qu'un actif est une personne ayant 15 ans au moins et soixante cinq ans au plus et travaillant au champ à titre principal. Les enfants de 10 à 15 ans sont considérés comme des demi-actifs en raison de leur faible force de travail. Deux enfants sont considérés ainsi comme un actif dans l'exploitation. Outre leur participation aux travaux champêtres, les enfants assurent la garde des animaux pendant la saison pluvieuse dans certaines exploitations. Le nombre de jours de travail disponible par actif pour les activités de l'exploitation est de 26 jours/mois, si l'on tient compte des jours de repos (4 jours/mois).

La disponibilité de la main d'œuvre varie d'une exploitation à l'autre dans chaque village. Elle dépend du nombre d'actifs et de bouches à nourrir (cf. tableau 6).

Tableau 6. Disponibilité de la main d'œuvre familiale dans les exploitations

Villages	Kourouma			Koumbia		
	Agriculteur	Agro-éleveur	Eleveur	Agriculteur	Agro-éleveur	Eleveur
Nombre de bouches à nourrir	10	34	8	11	27	5
Ecart type	2	4	1	2	3	1
Nombre d'actifs	6	11	4	5	11	2
% nombre d'actifs	60	32,35	50	45,45	40,74	40
Main d'œuvre disponible (h-j)	936	1716	624	780	1716	312

A Koumbia, on estime à 6 (60% du nombre de bouche à nourrir), 11 (32,35%) et 4 (50%) le nombre d'actifs respectifs dans les exploitations d'agriculteurs, d'agro-éleveurs et d'éleveurs. Cette répartition de la main d'œuvre est légèrement différente de celle de Kourouma. Dans ce village, le nombre d'actifs est 5 (60%) pour les agriculteurs, 11 (40,74%) pour les agro-éleveurs et 2 (40%) pour les éleveurs. De cette analyse, la disponibilité en main d'œuvre est plus importante chez les agro-éleveurs que chez les autres producteurs (agriculteurs, éleveurs). Dans chaque village, on estime à environ 1716 homme-jours, la disponibilité de la main d'œuvre des agro-éleveurs pour les activités durant l'hivernage. Parallèlement, ces exploitations comptent plus de bouches à nourrir. Nous dénombrons ainsi 34 et 27 bouches à nourrir respectivement dans les unités de production d'agro-éleveurs de Koumbia et Kourouma.

Les besoins de la main-d'œuvre varient non seulement en fonction des périodes mais aussi des différentes activités. En effet, la demande en main d'œuvre familiale est forte en hivernage (*t1*) avec le déroulement simultané des activités pastorales et culturelles. Lorsque la main d'œuvre familiale est insuffisante, le producteur de type *p* fait appel à la main d'œuvre salariée.

La demande de la main d'œuvre salariée pour la culture j est déterminée par le produit du nombre d'actifs salariés (mos) et du nombre de jours de travail (njr) pendant l'hivernage ($t1$). En hivernage les producteurs travaillent pendant six (06) jours par semaine ; ce qui correspond à 157 jours de travail et 24 jours de repos au cours de l'hivernage.

Nous désignons pour chaque type de producteur p (cf. annexe 16):

$bmo(j,t1)$ le besoin en main d'œuvre par ha de la culture j (en homme-jour) ;

La contrainte en main d'œuvre pour une culture j est déterminée par l'équation :

$$\Sigma bmo(j,p, t1) \leq \Sigma mos(j,p, t1) * njr + \Sigma mos(j,p, t1) * njr \quad (10)$$

Cette équation signifie que le besoin en main-d'œuvre (terme de gauche de l'équation) pour les cultures ne doit pas excéder la disponibilité totale de la main-d'œuvre familiale et salariée (terme de droite de l'équation).

Pour estimer le coût de la main d'œuvre salariée, nous considérons :

$cmosc(j, p, t1)$, le coût de la main d'œuvre salariée à l'hectare pour la culture j en hivernage ;

$cmosa(p,t)$, le cout de la main d'œuvre salariée pour l'élevage du producteur à chaque période ;

$CMOS$ le coût total de la main d'œuvre salariée au cours de l'année est donné par l'équation.

$$CMOS(p) = \Sigma X(j,p, t1) * cmosc(i,p, t1) + \Sigma cmosa(p, t) \quad (11)$$

L'équation signifie que le coût total de la main d'œuvre salarié est la somme des dépenses de la main d'œuvre engagée pour les différentes cultures et les catégories d'animaux.

2.2.1.7 Le capital financier de l'exploitation

Le capital (cap) exprime la disponibilité monétaire au comptant et à crédit que possède l'exploitant p pour le financement des activités agricoles et d'élevage. Ce financement est fonction du type de producteurs (cf. tableau 7).

Tableau 7. Utilisation du capital dans les exploitations

Villages	Koumbia			Kourouma		
	Producteur	Agriculteur	Agro-éleveur	Eleveur	Agriculteur	Agro-éleveur
Capital cultures	316140	650160	22600	140600	428180	145960
Capital animaux	151150	616140	16136	16136	6272	416140
Capital total	467290	1266300	38736	156736	434452	562100

A Koumbia, les agriculteurs allouent 67, 21% (316 140 FCFA) de leur capital aux cultures. De même, les agro-éleveurs attribuent plus de 50% (650 160 FCFA) aux activités agricoles. Quant aux éleveurs, ils allouent 58,34% (22 600 FCFA) aux activités pastorales. Dans les exploitations de Kourouma, les agriculteurs et les agro-éleveurs affectent respectivement 89,70% et 98,55% de leur capital aux cultures. Les éleveurs attribuent 74,14% aux activités pastorales. En somme dans les deux villages, les agriculteurs et les agro-éleveurs privilégient l'agriculture contrairement aux éleveurs.

Dans l'ensemble des exploitations, les charges relatives aux cultures sont l'achat des intrants (semences, engrais, insecticides, herbicides) et la rémunération de la main d'œuvre salariée. Quant à l'élevage, ce financement est relatif aux charges liées à la rémunération de la main-d'œuvre salariée, à l'achat des intrants agricoles (semences, engrais, insecticides, herbicides), des animaux, des sous produits agro-industriels (tourteau de coton, sel) et des soins vétérinaires.

Pour les cultures, les charges concernent l'achat des intrants pour essentiellement la cotonculture et dans une moindre mesure le maïs, les autres cultures ne recevant quasiment pas d'intrants. Les intrants du coton sont les engrais (NPK et urée), les insecticides, les pesticides et les semences. Ceux du maïs se résument seulement aux engrais. Quant à l'élevage, il s'agit du tourteau de coton, du sel et des produits vétérinaires. La détermination des coûts des intrants du producteur de type p ($p \in P$) suppose une connaissance des doses apportées, des quantités totales achetées et des prix d'achats (Cf. tableau 8 et annexes 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 et 15).

Tableau 8. Equations d'estimation des coûts d'intrants

N°	Indices	Unités	Modes de calcul	Signification des variables
12	quantité de NPK : $QNPK(j,p,t1)$	Kg	$QNPK(j,p,t1) = dnpk(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	dnpk=dose de NPK (kg/ha) X= superficie de la culture j = coton ou maïs
13	Coût de NPK : $CNPK(j,p,t1)$	F CFA	$CNPK(j,p,t1) = QNPK(j,p,t1) * pnpk$	pnpk=prix du NPK (FCFA/kg) j = coton ou maïs
14	Quantité d'urée : $QURE(j,p,t1)$	Kg	$QURE(j,p,t1) = dure(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	dnpk=dose d'urée (kg/ha) x= superficie de la culture j j = coton ou maïs
15	Coût d'urée : $CURE(j,p,t1)$	F CFA	$CURE(j,p,t1) = QURE(j,p,t1) * pure$	pure=prix d'urée (FCFA/kg) j = coton ou maïs
16	Quantité de la semence : $QSEM(j,p,t1)$	Kg	$QSEM(j,p,t1) = dsem(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	dsem=dose de semence (kg/ha)
17	Coût de la semence : $CSEM(j,p,t1)$	F CFA	$CSEM(j,p,t1) = QSEM(j,p,t1) * psem$	psem=prix de semence (FCFA/kg)
18	Quantité d'insecticides : $QINS(j,p,t1)$	Kg	$QINS(j,p,t1) = dins(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	dins=dose d'insecticides (kg/ha); j= coton
19	Coût d'insecticides : $CINS(j,p,t1)$	F CFA	$CINS(j,p,t1) = QINS(j,p,t1) * pins$	pins=prix d'insecticides (FCFA/kg); j= coton
20	Quantité d'herbicides : $QHERB(j,p,t1)$	Litre	$QHERB(j,p,t1) = dherb(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	dherb= dose d'herbicides (l/ha); j= coton
21	Coût d'herbicides : $CHERB(j,p,t1)$	F CFA	$CHERB(j,p,t1) = QHERB(j,p,t1) * pherb$	pherb=prix d'herbicides (FCFA/kg); j= coton
22	Coût total intrants cultures : $CTV(p)$	FCFA	$CTV(p) = \Sigma CNPK(j,p,t1) + \Sigma CURE(j,p,t1) + \Sigma CSEM(j,p,t1) + \Sigma CINS(j,p,t1) + \Sigma CHERB(j,p,t1)$	-
23	Quantité de tourteau : $QTOU(i,p,t)$	Kg	$QTOU(i,p,t) = dtou(i,p,t) * NAN(i,p,t)$	dtou=quantité de tourteau NAN= nombre d'animaux ¹
24	Coût de tourteau : $CTOU(i,p,t)$	F CFA	$CTOU(i,p,t) = QTOU(i,p,t) * ptou$	ptou=prix du tourteau (FCFA/kg)
25	Coût du sel : $CSEL(i,p,t)$	F CFA	$CSEL(i,p,t) = QSEL(i,p,t) * psel$	psel : prix du sel (F CFA/kg) QSEL : quantité de sel
26	Coût de soins vétérinaires	F CFA	$CSOIN(i,p,t) = NAN(i,p,t) * psoin$	psoin=prix de soin par animal
27	Coût total intrants animaux : $CTA(p)$	FCFA	$CTA(p) = \Sigma CTOU(i,p,t) + \Sigma CSOIN(i,p,t)$	-
28	Coût total des intrants dans l'exploitation : $CTI(p)$	F CFA	$CTI(p) = CTV(p) + CTA(p)$	-

La contrainte de financement des intrants et de la main d'œuvre salariée de l'exploitation est déterminée par l'expression suivante:

$$CTI(p) + CMOS(p) \leq cap(p) \quad (29)$$

Cette expression signifie que les dépenses d'intrants ne doivent pas excéder la disponibilité monétaire de l'exploitant p .

¹ Animaux faibles, bœufs de trait et d'emboche

2.2.1.8 Les produits végétaux et leurs utilisations

Les produits végétaux de l'exploitation sont constitués des résidus de récoltes et des productions agricoles. Les résidus de récoltes sont déjà pris en compte dans l'alimentation des animaux. Le revenu brut de l'ensemble des produits agricoles du producteur de type p est déterminé par la différence entre le produit brut (valeur monétaire) et le coût de production des différentes cultures (cf. tableau 9).

Tableau 9. Equations d'estimation des indicateurs du revenu agricole des producteurs

N°	Indices	Unités	Mode de calcul	Signification des variables
30	Production de la culture j : $PROD(j,p,t1)$	kg	$PROD(j,p,t1) = rdt(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	rdt= rendement moyen de la culture j (kg/ha) (cf. annexe 9)
31	Produit brut des productions végétales : $PBV(p)$	F CFA	$PBV(p) = \sum PROD(p,j,t1) * pc(j)$	pc= prix au producteur de produit (FCFA/kg) (cf. annexe 5)
32	Revenu Brut des productions végétales : $RBV(p)$	F CFA/ha	$RBV(p) = PBV(p) - CTV(p) - \sum CMOSC(j,p,t1) - \sum CREDC(j,p,t1) * tin$	PB= Produit brut et CVT= coûts variables totaux CREDC : crédit pour le coton tin : taux d'intérêt du crédit coton

En réalité, les produits agricoles, à l'exception du coton, sont destinés en priorité à la consommation. Ils sont souvent vendus lorsque le producteur dégage un surplus ou dans les cas de force majeure pour faire face aux besoins domestiques. De ce fait, les décisions de vente des produits vivriers dépendent surtout des besoins alimentaires des membres de l'unité de production. Il est donc nécessaire d'introduire dans le modèle une contrainte de consommation qui prend en compte cette préoccupation du producteur. Selon le MAHRH (2009-a), les besoins céréaliers par individu et par an sont estimés à 190 kg. Ces besoins sont constitués de 35,40% (67,26kg) de sorgho, 25,60% (48,68kg) de riz et 39% (74,10kg) de maïs (Sidibé, 1994).

Ainsi, nous désignons:

pop le nombre de bouches à nourrir dans l'unité d'exploitation

$cons(j)$ la quantité de la culture j consommée par personne avec $j = mai, mil, sor, riz$

La contrainte alimentaire annuelle en céréales est exprimée comme suite:

$$\sum PROD(j,p,t1) \geq cons(j) * pop(p) \text{ avec } j = mai, mil, sor, riz \quad (33)$$

L'expression signifie que la production céréalière doit couvrir les besoins de l'unité de production durant toute l'année.

2.2.1.9 Les produits animaux et leurs utilisations

L'ensemble des animaux et le fumier sont les produits animaux. Nous avons déjà tenu compte des déjections animales dans l'analyse comme un intrant. Les animaux ont souvent un rôle d'épargne. En effet, la plupart des producteurs ne les vendent que lorsqu'ils doivent faire face à des dépenses urgentes et qu'il n'y a pas de productions végétales à vendre. Il s'agit donc d'un élevage qui n'est pas principalement destiné à la vente, mais qui joue le rôle d'une assurance sociale chez la majorité des producteurs. Le revenu brut des productions animales est déterminé par la différence entre les recettes issues de la vente des animaux et les coûts de production et d'achats (cf. tableau 10).

Tableau 10. Equations d'estimation des indicateurs du revenu d'élevage des producteurs

N°	Indices	Unités	Mode de calcul	Signification
34	Cout d'achats animaux : $CACH(p)$	F CFA	$CACH(p) = \sum ACHAN(i,p,t) * pa(i)$	$pa(i)$ = prix d'achat de l'animal i (cf. annexe 6)
35	Produit brut des animaux : $PBA(p)$	F CFA	$PBA(p) = \sum NAN(i,p,t) * pv(i)$	$pv(i)$ = prix de vente de l'animal i à la saison t (cf. annexe 6)
36	Revenu Brut des productions animales : $RBA(p)$	F CFA	$RBA(p) = PBA(p) - CTA(p) - CACH(p) - \sum MOSA(i,p,t)$	

2.2.1.10 La fonction objectif

Nous avons fait l'hypothèse que l'objectif du producteur est de maximiser son revenu sous différentes contraintes. De ce fait, la fonction objectif exprime le revenu du producteur. Elle prend en compte, non seulement, les ressources, les contraintes et les produits, mais également les charges réelles et les produits bruts des différentes spéculations de l'exploitation analysées plus haut.

Nous estimons le revenu (REV) du producteur par la somme du revenu des activités pastorales et agricoles (Cf. annexe 1 à 4).

$$\begin{aligned}
 REV(p) &= RBV(p) + RBA(p) & (37) \\
 &= \sum rdt(j,p,t1) * X(j,p,t1) * pc(j) - \sum MOSC(j,p,t1) - \sum CREDC(j,p,t1) * tin \\
 &\quad - (\sum CURE(j,p,t1) + \sum CNPK(j,p,t1) + \sum CSEM(j,p,t1) \\
 &\quad + \sum CINS(j,p,t1) + \sum CHERB(j,p,t1)) + \sum NAN(i,p,t3) * pv(i) \\
 &\quad - \sum MOSA(i,p,t) - (\sum ANPRTS(p,t1) - (ACHAN(i,p,t2) \\
 &\quad + ACHAN(i,p,t3)) * pa(i)) - (\sum CTOU(i,p,t3) + \sum CSOIN(i,p,t3))
 \end{aligned}$$

La fonction objectif peut se formuler de la manière suivante :

$$\text{Maximiser } REV(p), \quad (38)$$

sous différentes contraintes qui se traduisent par une disponibilité limitée des facteurs de production ci-dessus cités.

2.2.2 Validation du modèle

La validation doit déterminer si le modèle est, dans son cadre expérimental, une représentation acceptable du système réel cohérente avec l'utilisation souhaitée (Kleinien et Sargent, 2000 cité par Andrieu, 2004). Il s'agit de confronter le modèle à la réalité afin de tester sa précision et sa fiabilité. Dans le cas de notre étude, cette confrontation a consisté à vérifier avec le concours de spécialistes que les théories et simplifications sont correctes ou justifiables, et que la structure et les relations entre les composantes du système sont raisonnables compte tenu de l'objectif du modèle (maximiser le revenu des producteurs). Selon Rykiel (1996), cité par Andrieu (2004), cette méthode de validation est dite conceptuelle. Elle ne garantit pas que le modèle donnera des prédictions exactes (LE BARS, 2002). Pour cela, elle doit être complétée par une validation des données qui permet de certifier qu'elles rendent compte du système réel. Par conséquent, le modèle que nous élaborons se base sur les mêmes quantités de ressources que le type d'exploitation testé avec une optimisation de leurs allocations aux différentes activités de l'exploitation en vue de maximiser le revenu du producteur. Ainsi, l'allocation optimum des ressources aux activités de l'exploitation fournit par le modèle peut être comparée à celle observée chez des producteurs. Cette comparaison permet de mesurer l'écart entre l'allocation optimale des ressources prédites par le modèle et celles empiriques dans les exploitations. En somme, la validation va permettre de s'assurer que le modèle est capable (i) de représenter correctement les choix de production des exploitants et (ii) de comparer leur allocation des ressources aux activités à celle optimale.

2.2.3 Proposition de scénarii à partir du modèle construit

Deux scénarii de simulations nous paraissent intéressants dans le contexte actuel des deux villages d'étude.

Le premier scénario (I) est lié à l'analyse de l'impact de l'introduction d'innovation technique telle que l'embouche bovine sur le revenu des producteurs. Ce scénario suppose que le producteur pratique l'embouche bovine en saison sèche et substitue les intrants chimiques (engrais) par les déjections pour la fertilisation des cultures

en saison hivernale. Cette innovation connaît un engouement dans les deux villages d'étude car elle permet de diversifier les sources de revenu de l'exploitation bien qu'elle nécessite un capital de départ et une certaine maîtrise technique de l'affouragement d'animaux maigres.

Le deuxième scénario (2) consiste à évaluer l'effet de la réduction de la sole du coton sur le revenu des producteurs. Ce scénario est fondé sur l'analyse du contexte actuel marqué par un abandon tendanciel de la cotonculture par certains producteurs. Cet abandon serait lié à la baisse du prix du coton graine au cours des dernières décennies. A cela s'ajoutent la hausse généralisée des prix des intrants tels que les engrais, les insecticides et les herbicides.

Ces différents scénarii définis ont été discutés avec les producteurs des deux villages pour prendre en compte leurs préoccupations. La démarche a permis de mieux illustrer comment l'utilisation de la PL peut accompagner le processus de prise de décision chez les producteurs à l'échelle des exploitations.

2.2.4 Présentation de l'outil de programmation

Plusieurs outils de programmation peuvent être utilisés pour construire les modèles PL. Il s'agit entre autre des logiciels tels que Lindo, GAMS (General Algebraic Modeling System), solveur d'Excel. Parmi ces outils, le GAMS a été le plus fréquemment utilisé lors des travaux de la plupart des auteurs en raison de sa pertinence et simplicité. Il s'agit en particulier des travaux de Barbier (1994), Lalba et *al.*, (2005), Ouédraogo (2005), Kokou (2007), Adegdesi (2003) et Fall (2002). A l'image de ces auteurs, nous avons utilisé le GAMS comme outil de programmation.

Conclusion partielle

Le modèle de PL que nous avons élaboré est une représentation synthétique des systèmes de production observés dans les exploitations. Il est certes une simplification de la réalité mais il permet de représenter le fonctionnement actuel des exploitations. Il permet une allocation optimale des ressources aux différentes activités en vue de maximiser le revenu des différents types de producteur.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Analyse des pratiques des producteurs dans les villages

Nous allons à présent analyser les pratiques des producteurs c'est-à-dire comparer les pratiques observées chez les producteurs aux résultats optimisés par le modèle. L'analyse porte notamment sur les assolements, les matières sèches stockées pour les animaux en saison sèche chaude et les revenus.

3.1.1 Analyse des pratiques des producteurs de Koumbia

3.1.1.1 L'allocation des terres aux différentes cultures

- Allocation des terres dans les exploitations d'agriculteurs

Toutes les cultures que nous avons décrites dans le modèle sont pratiquées par les agriculteurs. Il s'agit des spéculations suivantes : coton, céréales (maïs, sorgho, riz), niébé. Pour analyser l'allocation des superficies aux différentes cultures, nous avons fixé (variable non calculée) la superficie du coton dans le modèle pour tenir compte du crédit réel contracté auprès de la SOFITEX par les types de producteurs. Ce crédit est de 195 180 FCFA, soit 56,35 % du capital alloué à l'ensemble des cultures. La superficie du coton observée (2,58ha) correspond donc à celle dans le modèle (cf. figure 3).

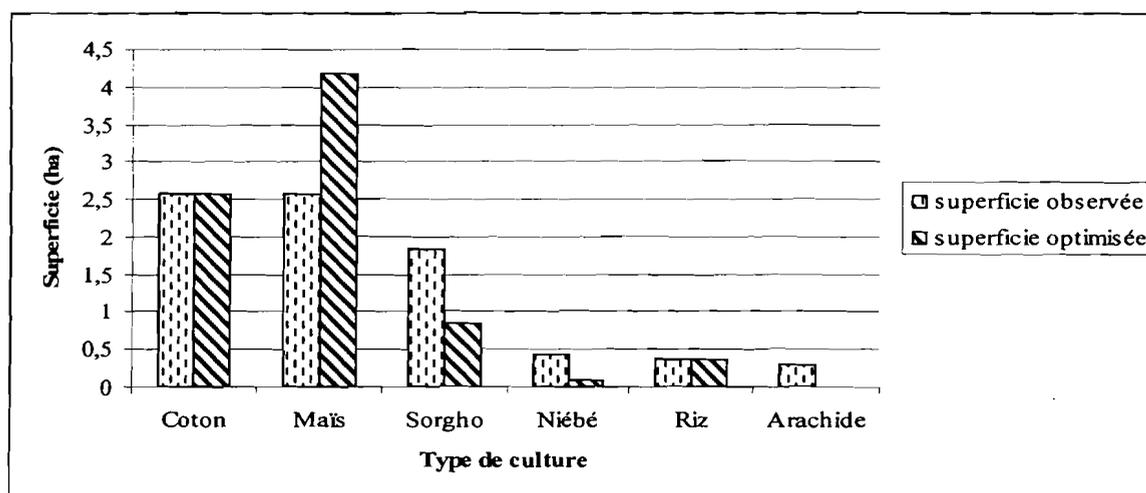


Figure 3. Allocation des superficies aux cultures dans les exploitations d'agriculteurs de Koumbia

L'analyse des résultats du modèle montre que l'allocation de la surface du riz est optimale. La superficie optimisée du riz est ainsi similaire à celle observée (0,36 ha). A

l'opposé, l'allocation des superficies aux autres cultures n'est pas optimale. A l'optimum, le modèle propose de cultiver 4,18ha de maïs contre une superficie observée de 2,58 ha, soit une augmentation de la superficie du maïs 62,02 %. Cette augmentation est liée à la forte contribution du maïs en tant que céréales dans les habitudes alimentaires des agriculteurs (Vall et *al.*, 2006). En revanche, le modèle suggère une baisse de 53,55% (1,83 à 0,85 ha) de la superficie de sorgho et de 76,74% (0,43 à 0,10 ha) de celle du niébé. Quant à l'arachide, il disparaît de l'assolement optimal. Des résultats analogues sont obtenus par Adégbidi (2003) qui a constaté que l'arachide et le niébé présentent de mauvais résultats économiques mais que les producteurs ne sont pas prêts à y renoncer compte tenu de leur importance sociale (cérémonies coutumières, funérailles, dote, etc.) et l'utilisation des fanes pour l'alimentation des animaux en saison sèche. En définitive, les superficies de sorgho, de niébé et d'arachide sont réduites au profit de celle du maïs à l'optimum.

- Allocation des terres dans les exploitations d'agro-éleveur

Les principales cultures pratiquées par les agro-éleveurs sont le maïs, le sorgho et le niébé. Le coton et le riz ne sont pas représentés dans l'assolement (cf. figure 4). L'absence du coton et du riz dans l'assolement peut s'expliquer respectivement par la baisse du prix du coton graine et l'insuffisance des bas-fonds pour la pratique de la riziculture.

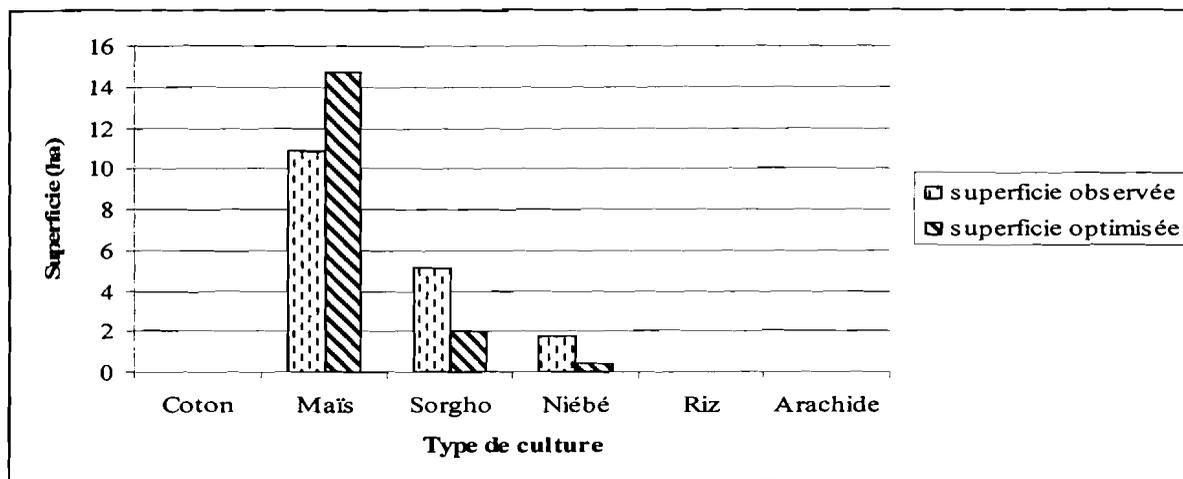


Figure 4. Allocation des superficies aux cultures dans les exploitations d'agro-éleveurs de Koumbia

Les résultats optimisés du modèle indiquent quelques différences avec la réalité. En effet, le modèle montre que l'allocation de la superficie aux cultures n'est pas optimale. Il propose pour atteindre l'optimum, d'augmenter la superficie du maïs de 35,29% (10,88 à 14,72 ha) contre une baisse de celles du sorgho de 61,01% (5,13 à 2,00 ha) et du niébé de 76,00% (1,75 à 0,42 ha). La hausse de la superficie du maïs au détriment de celles du niébé

et du sorgho par le modèle s'explique par le fait qu'il est plus consommé par les producteurs.

- Allocation des terres dans les exploitations d'éleveurs

Dans les exploitations d'éleveurs, le maïs, le sorgho, le niébé et l'arachide sont les principales cultures observées dans l'assolement (cf. figure 5). Le coton et le riz sont absents de leur assolement.

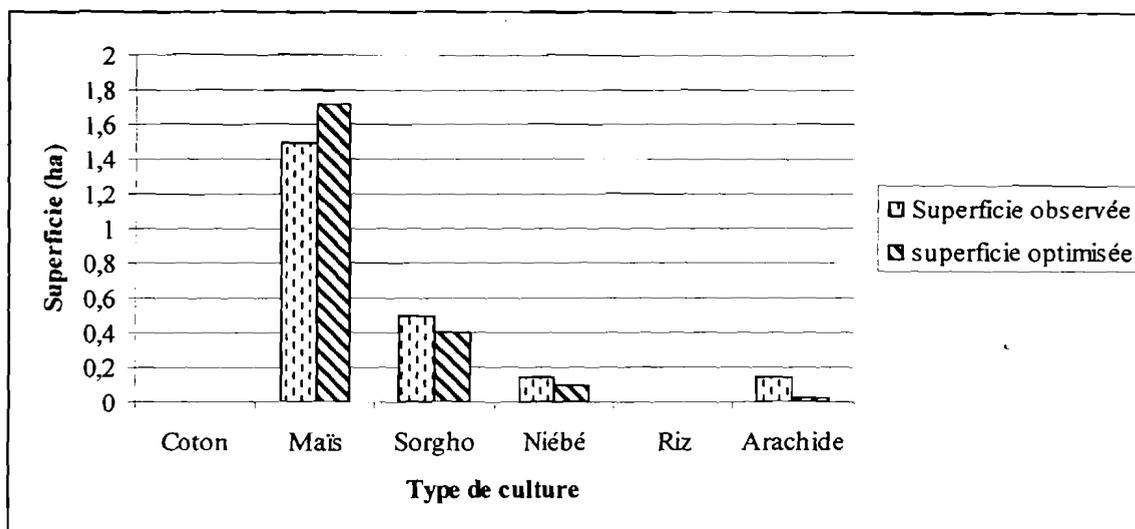


Figure 5. Allocation des superficies aux cultures dans les exploitations d'éleveurs de Koumbia

L'allocation optimale des surfaces aux cultures diffère également de celle observée chez les producteurs. A l'optimum, on remarque une légère hausse de la superficie du maïs (3,34%) contre une baisse de celles du sorgho (25,00%), du niébé (35,71%) et de l'arachide (85,72%) par rapport à la réalité. La baisse des surfaces de sorgho, de niébé et d'arachide est liée à leur faible consommation par les éleveurs (Vall *et al.*, 2003).

3.1.1.2 Les stocks de résidus de cultures nécessaires à l'alimentation des animaux

La saison sèche chaude est la période durant laquelle les besoins alimentaires sont difficilement couverts par le pâturage naturel. De ce fait, les producteurs stockent les résidus de cultures pour combler le déficit fourrager des animaux (bœufs de trait et d'embouche). Pour analyser les pratiques d'alimentation des animaux par les producteurs, nous avons supposé qu'ils sont parqués en saison sèche chaude et leur alimentation est uniquement couverte par les résidus de culture stockés par le producteur. Le besoin en résidus de cultures des animaux va ainsi dépendre de leur nombre qui est lié au type de producteur (cf. figure 6).

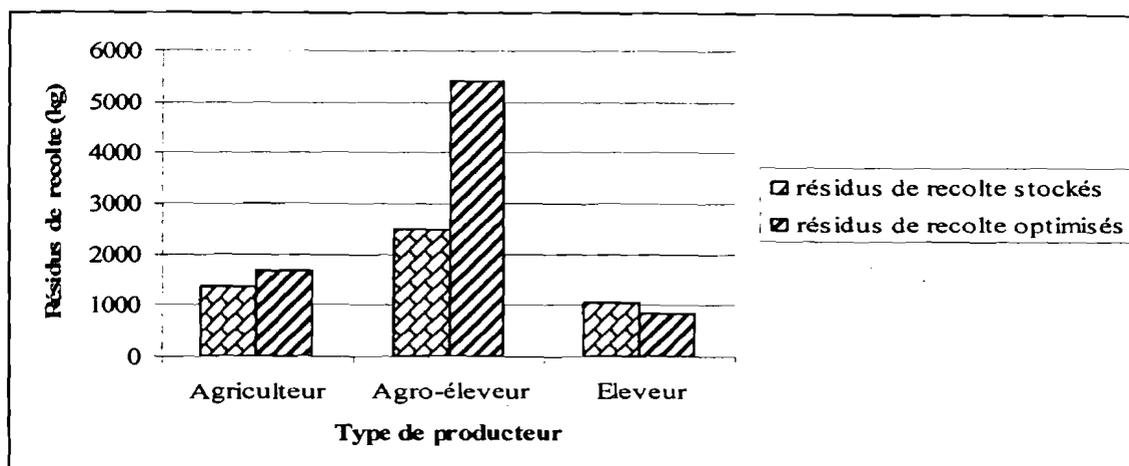


Figure 6. Allocation des stocks de résidus de cultures aux animaux des exploitations de Koumbia

Au regard de la figure 6, un important écart entre les quantités de fourrages prédites par le modèle et celles réellement stockées par les producteurs est observé pour l'ensemble des exploitations. Cet écart est estimé à 301,73 kg pour les agriculteurs, 2 933, 00 kg pour les agro-éleveurs et -218,00 kg pour les éleveurs. Autrement dit, les résidus de récolte stockés par les éleveurs couvrent les besoins alimentaires des bœufs de trait et d'embouche en saison sèche chaude. A l'opposé, chez les agriculteurs et les agro-éleveurs, ils sont insuffisants. Il est alors évident que ces exploitants pratiquent la transhumance en saison sèche chaude pour couvrir les besoins en matières sèches des animaux (Lalba et *al.*, 2005). Ils achètent également les sous produits agro-industriels pour les animaux. Les écarts plus ou moins importants observés entre les types de producteurs sont liés au nombre et au type d'animaux (cf. tableau 4).

3.1.1.3 Les quantités de produits agricoles

Le tableau 11 présente les quantités de produits agricoles observées chez les producteurs et celles optimisées par le modèle. Ces quantités sont le reflet de l'allocation des surfaces aux différentes cultures (cf. tableau 11).

Tableau 11. Les quantités de produits agricoles (en kg)

Producteur	Agriculteur			Agro-éleveur			Eleveur		
	Observé	optimisé	écart	Observé	optimisé	écart	Observé	Optimisé	écart
Coton	3075,74	3075,74	0	0	0	0	0	0	0
Maïs	6799,17	11005,82	4206,65	26917,88	37630,01	10712,13	4688,89	5486,70	797,81
Sorgho	1450,44	672,6	-777,84	5527,70	2286,84	-3240,86	648,15	538,08	-110,07
Niébé	205,39	938,57	733,18	704,86	170	-534,86	60,2	40	-20,20
Riz	938,57	50	-888,57	0	0	0	0	0	0
Arachide	573	20	-553	0	0	0	134,4	16	-118,4

L'écart entre la quantité de coton optimisée et celle produite par les agriculteurs est nul puisque nous avons fixé sa superficie dans le modèle en fonction du crédit contracté. L'écart entre les quantités optimales et réelles de sorgho, de riz et l'arachide est négatif puisqu'à l'optimum leurs surfaces sont réduites contre une augmentation de celle de maïs. Ainsi, l'écart entre la production optimale de maïs et celle observée est estimé 4 206,65 kg. Dans les exploitations d'agro-éleveurs, le modèle calcule également une baisse de la production de sorgho et du niébé au profit du maïs. Cette baisse est estimée à 3 240,86 kg pour le sorgho, 534,86 kg pour le niébé contre une hausse de 10 712,13 kg de maïs. Chez les éleveurs, on observe une diminution de production du sorgho (110,07kg), du niébé (20kg) et du riz (118,4kg) contre une hausse de celle de maïs (797,81kg).

3.1.1.4 Le revenu des producteurs

Le tableau 12 présente les revenus observés, ceux prédits par le modèle et les écarts. Ces revenus sont la somme des profits des activités d'élevage et agricoles dans les différentes exploitations.

Tableau 12. Le revenu des producteurs de Koumbia (en FCFA)

Producteur	Agriculteur			Agro-éleveur			Eleveur		
	observée	Modèle	écart	observée	modèle	écart	observée	Modèle	écart
Eleveage	8864	8864	0	553860	553860	0	158860	158860	0
Culture	1279900	1487400	207500	3097500	3541400	443900	593200	649080	55880
Revenu total	1288764	1496264	207500	3651360	4095260	443900	752060	807940	55880

Dans l'ensemble des exploitations, l'on note un écart nul entre le revenu des productions animales observées et celui optimisé puisque que nous avons fixé le nombre d'animaux acheté et vendu dans le modèle (cf. tableau 2 et 3). De ce fait, l'écart entre le revenu optimisé et celui observé résulte du revenu dégagé par les activités agricoles. Cet écart est de 16,10% (207 500 FCFA) et de 12,16% (443 900 FCFA) respectivement pour les agriculteurs et les agro-éleveurs. Il est estimé à 7,43% (55 880 FCFA) pour les éleveurs. Tous types confondus, les revenus optimisés sont supérieurs aux revenus réels. De l'analyse des écarts, les éleveurs optimisent mieux l'allocation des facteurs de production (capital, superficie, main d'œuvre) par rapport aux autres producteurs à Koumbia, compte tenu du mode de calcul du revenu lié à l'élevage.

3.1.2 Analyse des pratiques des producteurs de Kourouma

3.1.2.1 L'allocation des terres aux différentes cultures

- Allocation des superficies dans les exploitations d'agriculteurs

Les cultures pratiquées par les agriculteurs sont également celles retenues dans le modèle. L'allocation des surfaces du modèle diffère cependant de celle observée dans la réalité (cf. figure 7).

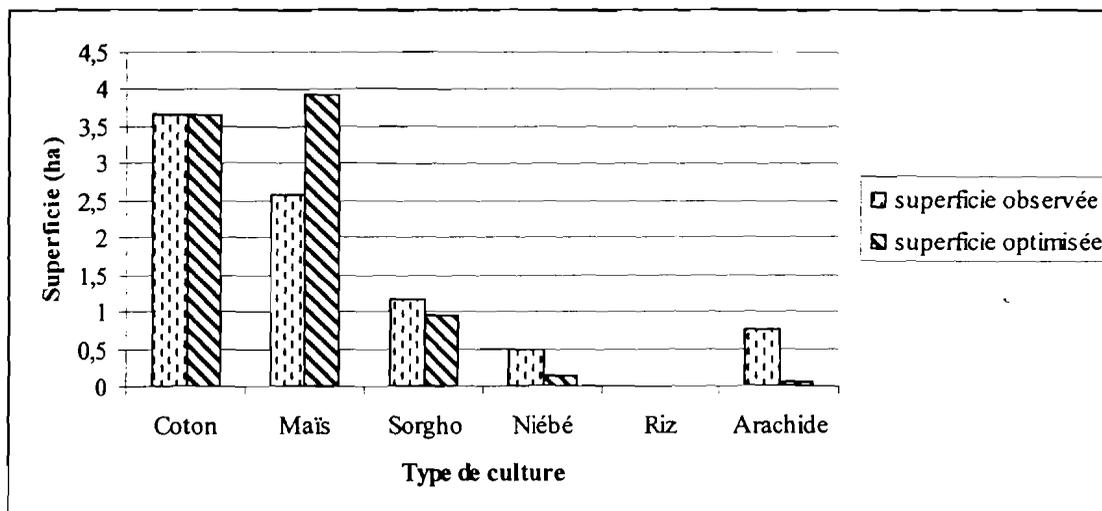


Figure 7. Allocation des superficies dans les exploitations d'agriculteurs de Kourouma

A l'instar des agriculteurs de Koumbia, nous avons attribué au modèle la surface de coton observée (3,5ha) dans la réalité en raison du crédit emprunté. Pour les autres cultures, le modèle propose à l'optimum 3,92 ha de maïs, 0,96 ha de sorgho, 0,13 ha de niébé et 0,05 ha d'arachide. Par contre dans la réalité l'on observe 2,58 ha de maïs, 1,17 ha de sorgho, 0,5ha de niébé et 0,75 ha d'arachide. Par rapport à la réalité, à l'optimum, on observe une hausse des superficies du maïs (51,94%) contre une baisse de celles du sorgho (21,87%) du niébé (74,00%) et de l'arachide (93,34%). La hausse de la superficie du maïs à l'optimum peut s'expliquer par sa forte contribution au régime alimentaire des producteurs par rapport aux autres cultures vivrières.

- Allocation des superficies dans les exploitations d'agro-éleveurs

Contrairement aux agro-éleveurs de Koumbia, ceux de Kourouma pratiquent la cotonculture. De ce fait, nous avons également fixé la superficie du coton dans le modèle compte tenu du crédit octroyé par la SOFITEX pour sa production. Ainsi, la superficie du coton observée (11,13ha) chez les agro-éleveurs est identique à celle calculée par le modèle (cf. figure 8).

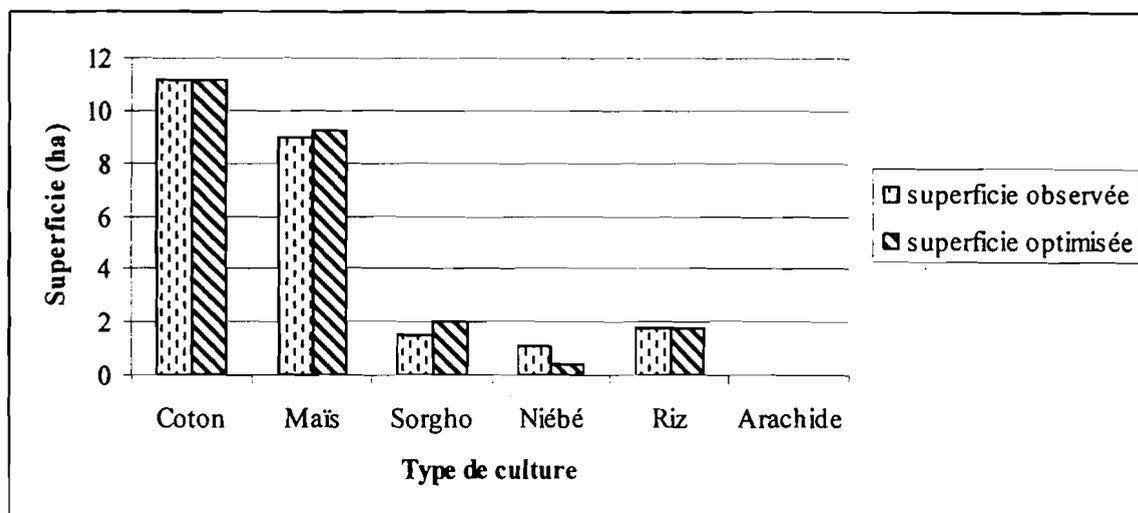


Figure 8. Allocation des superficies dans les exploitations d'agro-éleveurs de Kourouma

Tout comme pour Koumbia, les surfaces de coton (11,13ha) et de riz (1,80 ha) sont similaires à celles observées dans la réalité. Par contre, celles des autres cultures ne sont pas optimales. En effet, les autres superficies observées dans l'exploitation sont estimées à 9,00 ha pour le maïs, 1,75ha pour le sorgho et 1,13 ha pour le niébé. A l'optimum, le modèle fixe à 9,22 ha la superficie de maïs, 2ha de sorgho et 0,42 ha de niébé. L'on constate ainsi une réduction de la superficie du niébé (62,83%) contre une légère hausse de celles du maïs (2,45%) et du sorgho (14,28%) à l'optimum. L'augmentation de la superficie du maïs à l'optimum au détriment de celle du niébé peut s'expliquer par le fait que le maïs fait partie des habitudes alimentaires des producteurs.

- Allocation des superficies dans les exploitations d'éleveurs

Le maïs, le niébé et le sorgho sont les principales cultures pratiquées par les éleveurs. Le coton, le riz et l'arachide ne sont pas représentés dans l'assolement (cf. figure 9).

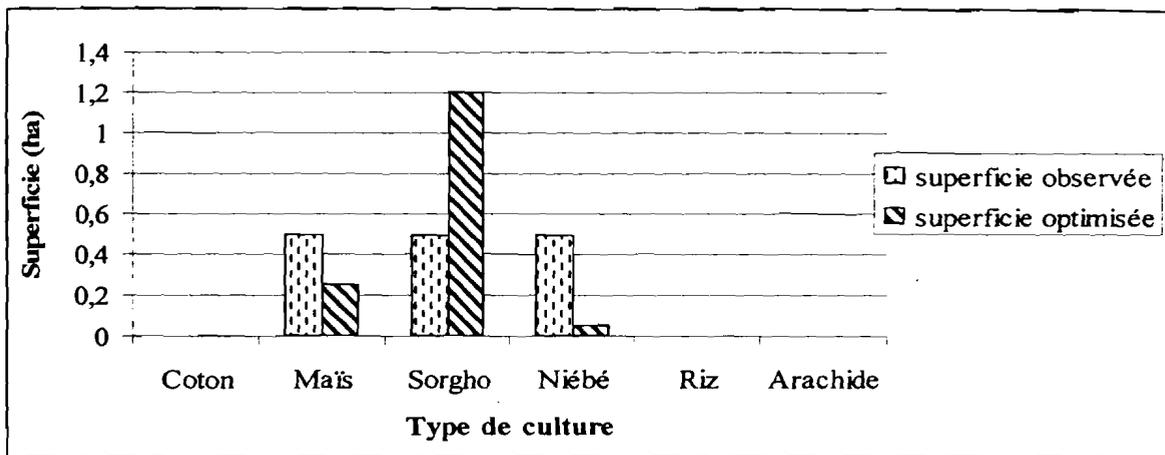


Figure 9. Allocation des superficies dans les exploitations d'éleveurs de Kourouma

Dans les exploitations d'élevage, on estime à 0,5ha la surface de chaque culture. Par contre, le modèle octroie 0,25 ha au maïs, 1,2ha au sorgho et 0,05 ha de niébé. La comparaison des résultats du modèle et des surfaces observées chez les éleveurs montre une hausse de la superficie du sorgho de 140% contre une baisse de celle du maïs de 50% et du niébé de 90%. La superficie du sorgho est en forte hausse car la superficie emblavée par le producteur est insuffisante pour couvrir les besoins alimentaires. Par contre, la réduction de la superficie du maïs montre que les besoins en maïs sont couverts par la moitié de la surface réelle.

3.1.2.2 Les stocks de résidus de cultures nécessaires à l'alimentation des animaux

A l'instar des exploitations de Koumbia, nous avons considéré que les animaux dans les exploitations de Kourouma sont parqués et nourris par les résidus de cultures stockés par les producteurs. Les résultats de la comparaison entre les résidus stockés par les exploitants et ceux optimisés par le modèle sont illustrés à la figure 10.

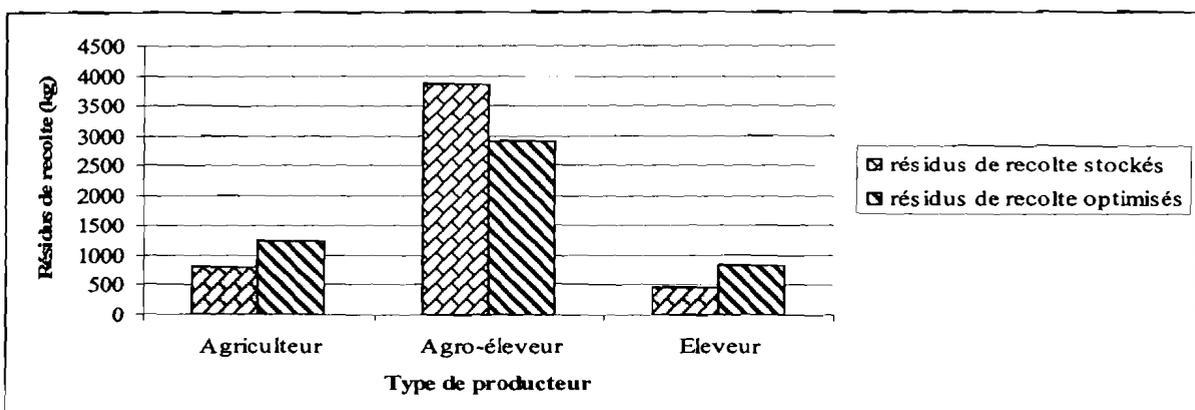


Figure 10. Résidus de cultures nécessaires à l'alimentation des animaux dans les exploitations de Kourouma

Dans l'ensemble des exploitations, nous constatons un important écart entre les quantités de matières sèches optimisées du modèle et celles stockées par les producteurs. Cet écart est estimé à 428,00 kg pour les agriculteurs, -943,00 kg pour les agro-éleveurs et 382,00 kg pour les éleveurs. En d'autres termes, les résidus de récolte stockés par les agriculteurs et les éleveurs sont insuffisants pour l'alimentation des bœufs de trait et d'embouche parqués en saison sèche chaude. En revanche, ils sont couverts chez les agro-éleveurs. A l'instar de Koumbia, la différence entre producteurs est liée au nombre et au type d'animaux (cf. tableau 5).

3.1.2.3 Les quantités de produits agricoles

Le tableau 13 indique les quantités de produits agricoles observées dans les exploitations de Kourouma, celles prédites par le modèle et les écarts. Ces quantités sont le reflet l'allocation des superficies aux différentes cultures (cf. figure 7, 8 et 9).

Tableau 13. Les quantités de produits agricoles des exploitations de Kourouma (en kg)

Producteur	Agriculteur			Agro-éleveur			Eleveur		
	Observé	optimisé	écart	Observée	optimisé	écart	Observé	optimisé	écart
Coton	3295,80	3295,80	0	19379,55	19379,55	0	0	0	0
Maïs	5805	5938,43	133,43	35123,38	35898,43	775,05	730,55	370	-360,55
Sorgho	954,41	1796,18	841,77	1702,78	2286,84	584,06	567,6	1361	793,4
Niébé	217	55	-162	460,3	170	-290,3	225	25	-200
Riz	0	0	0	1643,75	1653,76	10,01	0	0	0
Arachide	510	22	-488	0	0	0	0	0	0

Les résultats montrent que l'écart entre la quantité de coton optimisée et celle observée chez les agriculteurs est nul puisque nous avons fixé sa superficie dans le modèle en raison du crédit emprunté. Cet écart est négatif pour le niébé (-162 kg) et l'arachide (-488kg) puisqu'à l'optimum leur surface a été réduite contre une augmentation de celles des autres cultures. Contrairement au niébé et à l'arachide, l'écart entre la production optimum et celle observée de sorgho, et de maïs est positif. Il est estimé à 811,77kg et 133,43 kg respectivement pour le maïs et le sorgho. Dans les exploitations d'agro-éleveurs et d'éleveurs, le modèle calcule une baisse de la production de niébé au profit des autres cultures.

3.1.2.4 Le revenu des producteurs

Le tableau 14 illustre les revenus observés des producteurs, ceux prédits par le modèle et les écarts. Ces revenus sont la somme des profits des activités d'élevage et agricoles dans les différentes exploitations (cf. tableau 14).

Tableau 14. Le revenu des producteurs de Kourouma (en FCFA)

Producteur	Agriculteur			Agro-éleveur			Eleveur		
	observé	optimisé	écart	observé	optimisé	écart	observé	optimisé	écart
Elevage	228860	228860	0	238730	238730	0	433860	433860	0
Cultures	1001500	1164600	163100	6614800	6705100	90300	96615	163020	66404
Totale	1230360	1393460	163100	6853530	6943830	90300	530475	596880	66404

Dans l'ensemble des exploitations, on note une égalité entre le revenu des productions animales observé et celui optimisé parce que nous avons fixé dans le modèle le nombre d'animaux achetés et vendus réellement (cf. tableau 9). De ce fait, l'écart entre le revenu optimisé et celui observé résulte du revenu dégagé par les activités agricoles. Cet écart est estimé à 13,26% (163 100 FCFA) et 1,32 % (90 300 FCFA) respectivement dans les exploitations d'agriculteurs et d'agro-éleveurs. Dans les exploitations d'éleveurs, cet écart est de 12,52% (66 404 FCFA). Nous constatons une hausse des revenus des producteurs à l'optimum par rapport à la réalité. En somme, les agro-éleveurs ont une meilleure allocation des facteurs de productions comparativement aux éleveurs et agro-éleveurs en raison du faible écart (1,32%) entre leur revenu réel et celui prédit par le modèle.

Conclusion partielle

L'analyse des résultats du modèle montre que les pratiques actuelles des producteurs ne leur permettent pas de maximiser le revenu. En effet, la comparaison du revenu optimisé et celui observé montre un écart de 13,26% pour les agriculteurs, 1,32% pour les agro-éleveurs et 12,52% pour les éleveurs de Kourouma. Concernant les agriculteurs, les agro-éleveurs et les éleveurs de Koumbia, cet écart est respectivement 16,10%, 12,16% et 7,43%. Au total, l'écart entre les revenus des agro-éleveurs de Kourouma et des éleveurs de Koumbia et ceux optimisés ne sont pas significatifs (inférieurs à 10%).

3.2 Analyse de sensibilité

Le premier scénario concerne l'analyse des effets de l'introduction de l'embouche bovine sur le revenu des producteurs. Le deuxième concerne l'impact de la réduction de la superficie du coton sur le revenu des producteurs qui en produisent.

3.2.1 Premier scénario : introduction de l'embouche bovine dans les exploitations

3.2.1.1 Pratique de l'embouche bovine

L'embouche bovine consiste à acheter des animaux maigres, à les engraisser et les revendre à un prix rémunérateur au moment où la demande est importante. Elle permet d'obtenir dans un délai court, des bovins de bonne conformation pour la commercialisation. De ce fait, quel pourrait être son effet sur le revenu des producteurs ? L'analyse des effets de l'introduction de l'embouche sur le revenu concerne les exploitants qui n'en pratiquent pas. Il s'agit des éleveurs à Koumbia puisque les agriculteurs et les agro-éleveurs en possèdent déjà. A Kourouma, cette analyse porte sur les exploitations d'agriculteurs et agro-éleveurs. Dans chacune de ces exploitations, nous avons fixé dans le modèle à deux (02), le nombre de bœufs d'embouche.

Les charges de production sont constituées du coût d'achat des bovins, du tourteau de coton, du sel, du son cubé et des frais des soins vétérinaires.

3.2.1.2 Impact sur le revenu des producteurs

L'introduction de l'embouche bovine dans les exploitations induit une augmentation du revenu des différents producteurs. Cette augmentation varie cependant d'un producteur à l'autre (cf. tableau 15).

Tableau 15. Impact de l'introduction de deux bovins d'embouche sur le revenu des producteurs

Village	Koumbia		Kourouma			
	Eleveur		Agriculteur		Agro-éleveur	
Revenu	Observée	modèle	observée	modèle	observée	Modèle
Elevage	158860	318860	228860	388860	238730	398730
Cultures	593200	593200	1001500	1001500	6614800	6614800
Total	752060	912060	1230360	1390360	6853530	7013530

Les revenus simulés comparés à ceux actuels connaissent une hausse de 21,27 % pour les éleveurs de Koumbia, 13,01 % et 2,34 % respectivement pour les agriculteurs et agro-éleveurs de Kourouma. L'embouche bovine permet ainsi d'améliorer le revenu des producteurs.

3.2.2 Deuxième scénario : réduction de la superficie du coton dans l'assolement

3.2.2.1 Contexte

Avec la baisse du prix du coton, certains producteurs tels les agro-éleveurs de Koumbia ont abandonné la cotonculture. Cet abandon permet-il au producteur d'accroître son revenu ? Pour répondre à cette question, nous avons fixé à zéro la superficie du coton dans le modèle et mesuré son impact sur le revenu des agriculteurs de Koumbia, des agro-éleveurs et agriculteurs de Kourouma.

3.2.2.2 Impact sur le revenu des producteurs

Les revenus simulés et observés sont consignés dans le tableau 16. Nous remarquons que le revenu observé des productions animales est identique à celui simulé puisque la simulation ne concerne pas les productions animales. En revanche, nous constatons une différence variable entre les revenus observés des cultures et ceux simulés qui influe sur la variation du revenu total des producteurs.

Tableau 16. Impact de l'abandon du coton sur le revenu des producteurs

Village	Koumbia		Kourouma			
Producteur	Agriculteur		Agriculteur		Agro-éleveur	
Revenu	Observée	modèle	observée	modèle	observée	Modèle
Elevage	8864	8864	228860	228860	238730	238730
Cultures	1279900	1663500	1001500	1566000	6614800	8321000
Totale	1288764	1672364	1230360	1794860	6853530	8559730

De façon générale, l'absence du coton dans le modèle entraîne une augmentation du revenu de l'ensemble des producteurs. Chez les agriculteurs de Koumbia, on observe une hausse de 29,76% du revenu simulé par rapport à la réalité. En ce qui concerne les agriculteurs et agro-éleveurs de Kourouma, cette augmentation est estimée respectivement à 45,88% et 24,89%. L'augmentation des revenus des producteurs peut être liée au fait que dans la réalité l'itinéraire technique du cotonnier n'est pas respecté et donc ne permet pas d'obtenir les niveaux de production espérés. Les doses d'intrants (engrais, herbicides, insecticides) recommandées par la SOFITEX ne sont pas respectées dans les exploitations. Une partie des engrais, en particulier, sont détournés en générale au profit du maïs (Lalba et Vognan, 2004).

Conclusion partielle

L'introduction de l'embouche bovine dans les exploitations permet une amélioration du revenu des producteurs. Elle se traduit par une augmentation de 21,27% du revenu des éleveurs de Koumbia, 13,01% et 2,34% respectivement pour ceux des agriculteurs et agro-éleveurs de Kourouma. Le modèle montre également que l'absence du coton dans l'exploitation entraîne une hausse du revenu des producteurs qui en produisent actuellement. Cette hausse est estimée à 29,76% pour les agriculteurs de Koumbia, 45,88% pour les agriculteurs et 24,89% pour les agro-éleveurs de Kourouma.

3.3 Discussion générale

La PL nous a permis non seulement de modéliser et d'analyser les pratiques des producteurs mais aussi de mesurer l'effet de l'introduction de l'embouche bovine et de l'abandon de la cotonculture sur leurs revenus.

Cette analyse montre que l'allocation actuelle des superficies aux cultures, du capital et de la main d'œuvre aux différentes activités ne leur permet pas de maximiser leur revenu. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Kokou (2007). Selon cet auteur, les pratiques actuelles des paysans sont loin d'être optimales, aussi bien dans le choix des cultures que dans celui des méthodes culturales. Les stratégies anti-risque aux aléas (par exemple mauvaise pluviométrie) des producteurs et le manque d'outil de planification des activités des exploitations pourraient expliquer cette situation. De ce qui précède, la PL peut être considérée comme un outil d'analyse des conséquences des décisions des producteurs sur leurs revenus. Elle permet ainsi de comparer les résultats des pratiques des producteurs à la solution optimale proposée par le modèle (Ouédraogo, 2005).

L'analyse des effets de l'embouche bovine dans les exploitations a concerné surtout les producteurs qui n'en pratiquent pas. Il s'agit des éleveurs à Koumbia, des agriculteurs et agro-éleveurs à Kourouma. Cette analyse montre que l'introduction de deux bœufs d'embouche dans les exploitations entraîne une augmentation d'au moins 10 % des revenus des producteurs. Ces résultats corroborent ceux de Lomoine (2004) qui a montré que l'engraissement des taurillons induisait un accroissement des revenus des éleveurs de la Réunion. Cette hausse des revenus des producteurs montre l'intérêt de l'introduction bovine dans les exploitations comme innovation (Lomoine, 2004). Cependant, elle nécessite une bonne maîtrise de l'alimentation des bovins et des fonds de départ. Par ailleurs, le modèle révèle que l'abandon du coton induit une hausse des revenus de tous les

producteurs qui en produisent. Cette augmentation du revenu des producteurs s'explique différemment selon les auteurs. Selon Kokou (2007), l'augmentation du revenu simulé des types de producteurs (agriculteur de Koumbia, agriculteur et agro-éleveur de Kourouma) montre que le coton est de moins en moins rentable dans le contexte actuel marqué par la hausse des prix des intrants et la baisse du prix du coton graine au producteur. Pour Lalba et Vognan (2004), cette hausse s'explique par le non respect de l'itinéraire technique de la cotonculture. En effet, les producteurs appliquent moins d'intrants (NPK, urée, herbicides, insecticides) que les recommandations de la SOFITEX (cf. annexe 14 et 15). Les engrais (NPK, urée) destinés au coton sont généralement détournés vers les autres cultures telles le maïs, le niébé. En somme, la hausse du revenu des producteurs est imputable simultanément aux ciseaux des prix (coton graine, intrants) et au non respect des recommandations techniques pour la cotonculture.

Malgré ces résultats, la PL à l'instar des autres modèles, n'est qu'une simplification de la réalité. Dans notre étude, le système de culture représenté est une approximation de la réalité puisque que les autres cultures (vanzou, mucuna, sésame, etc.) ne sont pas prises en compte. En ce qui concerne les flux périodiques des animaux, nous avons fait abstraction du revenu généré par la vente de lait, des naissances et morts d'animaux en raison de l'incapacité des producteurs à fournir des informations précises. La non prise en compte des facteurs culturels et sociologiques pouvant influencer sur les choix de production sont également des simplifications de la réalité. Elle pourrait expliquer pourquoi la superficie du niébé est supérieure à celle prédite par le modèle dans les exploitations. Par ailleurs, le modèle aurait du intégrer les variations de la pluviométrie. Cependant, en raison des données dont nous disposons pour l'élaboration du modèle (suivis bimestriels depuis décembre 2008), nous étions contraints de limiter notre analyse sur une seule campagne.

CONCLUSION GENERALE

Le contexte actuel du bassin cotonnier de l'ouest du Burkina Faso est marqué par une forte pression anthropique et agro-pastorale couplé à une instabilité des prix des produits agro-pastoraux et à une hausse de ceux des intrants. Pour s'adapter à cette situation, les producteurs allouent au mieux les facteurs de production disponibles pour assurer la sécurité alimentaire et maximiser leurs revenus. Cependant, il leur manque d'outil permettant de comparer cette allocation à l'optimum afin d'orienter leurs décisions. Par conséquent, ils ont besoin d'outil d'aide à la décision pour mesurer l'écart entre leurs pratiques et l'optimum.

C'est dans ce cadre que nous avons utilisé la programmation linéaire, qui est un modèle d'aide à la décision, permettant de mesurer l'écart entre l'allocation réelle des ressources aux activités et l'allocation optimale. Outre leurs pratiques, nous avons analysé l'impact sur les revenus des producteurs de l'introduction d'une innovation comme l'embouche bovine et de la réduction du coton dans l'assolement.

Les résultats du modèle montrent que l'allocation actuelle des superficies aux cultures, du capital et de la main d'œuvre aux différentes activités ne permet pas de maximiser le revenu des producteurs (agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs). Par conséquent, chez les agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs de Koumbia, on estime respectivement à 16,10%, 12,15% et 7,43% l'écart entre le revenu optimisé prédit par le modèle et celui observé. Cet écart est 13,25% et 1,31% respectivement dans les exploitations d'agriculteurs et d'agro-éleveurs de Kourouma. En ce qui concerne les éleveurs, il est estimé à 12,51 %. De ces producteurs, les éleveurs de Koumbia et les agro-éleveurs de Kourouma ont la meilleure allocation des facteurs de production aux différentes activités de l'exploitation. L'analyse des effets de l'introduction de l'embouche bovine montre que l'introduction de deux bœufs d'embouche dans les exploitations entraîne une augmentation de 21,27% du revenu des éleveurs de Koumbia. En ce qui concerne les agriculteurs et les agro-éleveurs de Kourouma, cette augmentation est estimée respectivement à 13,01% et 2,34%. L'abandon du coton induit une hausse des revenus de tous les producteurs. On observe une augmentation du revenu des agriculteurs de 29,76% à Koumbia, de 45,88% des agriculteurs et de 24,89% des agro-éleveurs de Kourouma.

Les conclusions de cette étude pourraient faire l'objet de discussion avec les acteurs (producteurs et conseillers) pour mieux comprendre les raisons stratégiques ou socioculturelles des écarts constatés entre les pratiques et les valeurs optimales. Dans ce cadre l'outil construit pourrait servir de support de discussion sur la transformation des

systemes de production et la conception d'innovations à condition de bien informer les acteurs sur les simplifications réalisées. Par ailleurs, l'étude mérite une poursuite avec la prise en compte des autres cultures, de la pluviométrie et des variables telles que la vente de lait, les taux de mortalité et de naissances des animaux pour améliorer le modèle.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEGBIDI A B E A., 2003. Elaboration du plan de production agricole en milieu paysan dans l'agriculture pluviale du Bénin. Une analyse de l'incidence de la pluviométrie dans la zone cotonnière du Nord-Bénin ; Cas du village de Bagou, Thèse de Ph.D., Centre for Development Studies, Université de Groningen, Pays-Bas, 350 p.
- ANDRIEU N., 2004. Diversité du territoire de l'exploitation d'élevage et sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques : étude empirique et modélisation. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 320 pp.
- AUBRY C., 2007. La gestion des exploitations agricoles composantes de la théorie agronomique, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Institut national polytechnique de Toulouse, France, 101p.
- AUGUSSEAU X et SALOUKA S., 2003. Etude des systèmes agropastoraux dans un terroir agricole du Sud-ouest du Burkina Faso, utilisation et accès aux ressources agropastorales. Rapport PROCORDEL, CIRDES, Burkina Faso, 12 p.
- BANQUE MONDIALE., 2008. L'agriculture au service du développement, 30 p.
- BARBIER B et BENOIT-CATTIN M., 1997. Viabilité d'un système agraire. Economie Rurale, 239p.
- BARBIER, B., 1994. Modélisation Agronomique et Economique de la Durabilité d'un Système Agraire Villageois : le cas du village de Bala au Burkina Faso. Thèse de Doctorat, ENSAM-Montpellier, France, 328 p + annexes.
- BLANCHARD M, VALL E, CESAR J., 2005. Diagnostic agropastoral de Koumbia. Document de travail, CIRDES, Bobo-Dioulasso, 53 p.
- BLANCHARD M., 2005. Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales. Mémoire de DESS, Université Paris XII, Val de Marne, 97 p.
- BOICHARD J., 1969. Gestion agricole et géographie rurale. Revue de géographie de Lyon, Volume 44, Numéro 4, p 323 – 374.
- BORTZMEYER M., 1992. Impact de la réforme de la politique agricole commune sur les exploitations bovines de la zone charolaise. Mémoire D.E.A, Université de Bourgogne, 95 p.
- BOSMA R., 1992. La stabulation des bovins de trait en saison sèche dans les exploitations agricoles de Tominian. Rapport DRSPR, Mali, 73 p.
- BOSMA R., 1993. Le fumier dans les parcs. Sa production et sa valeur dans les exploitations agricoles du Mali-Sud. Rapport DRSPR/Sikasso, Mali, 67p.
- BOUSSARD J M., 1987. Economie de l'agriculture. Paris : Economica, 320 p.
- BROSSIER J., 1980. De la recherche sur les décisions des agriculteurs à la formation économique des agriculteurs. Economie rurale, Volume 136, Numéro 1, p 39 – 46.

CABANILLA L, ABDOULAYE T, AND SANDERS J., 2004. Economic costs of non-adoption of Bt-cotton in West Africa: with special reference to Mali. *International Journal of Biotechnology X*, p 1 - 16.

COLENO F C et DURU M., 1999. A model to find and test decision rules for turnout date and grazing area allocation for a dairy cow system in spring. *Agricultural Systems*, volume 61, Numéro1, p151-164.

DAHO B., 2006. Diagnostic des systèmes agropastoraux dans l'Ouest du Burkina : Cas des relations agriculture-élevage dans le terroir de KOUROUMA. Mémoire d'ingénieur. Bobo-Dioulasso, IDR/UPB, CIRDES – URPAN, 100 p.

DIAGANA B et KELLY V., 1996. La dévaluation du Franc CFA : quelles perspectives pour une intensification Durable de la production agricole dans le bassin arachidier du Sénégal ? Michigan State University, 9 p.

GOHIN A et CHANTREUIL F., 1999. La programmation mathématique positive dans les modèles d'exploitation agricole, INRA, 19 p.

IDD., 2003. Modélisation et aide à la décision pour un développement durable : état de l'art et perspectives. Rapport final au SPP Politique Scientifique (SPP-PS). Action de support AS/F5/01, Belgique, 160 p.

INSD., 2009. Annuaire statistique du Burkina Faso, édition 2008, 453 p.

KOKOU K D., 2007. Capacités d'ajustement des exploitations agricoles aux processus de libéralisation de la filière cotonnière au Togo. Thèse doctorat, université de Groningen, Pays-Bas, 374 p.

LALBA A, ZOUNDI J S, TIENDREBEOGO J P., 2005. Politiques agricoles et accès aux parcours communs dans le terroir de Ouara à l'ouest du Burkina Faso : une analyse économique et environnementale à l'aide de la programmation linéaire, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, p 43–52.

LALBA A et VOGNAN G., 2004. Dynamique de l'intensification durable des systèmes de production mixtes «coton-céréales-élevage» dans l'Ouest du Burkina Faso In «*Bonnes pratiques agricoles dans l'Ouest du Burkina Faso*», Atelier du 18-20 mars 2004, Bobo-Dioulasso/Burkina Faso, 30 p.

LE BARS M., 2002. Un simulateur multi-agent pour l'aide à la décision d'un collectif : application à la gestion d'une ressource limitée agro-environnementale. Thèse de doctorat, université Paris IX-Dauphine, 334 p.

LEMOINE F., 2004. Perspectives de diversification des exploitations de cannières de l'île de la Réunion : exemple du modèle canne-engraissement dans la zone des bas, CIRAD, 44p.

MAATMAN A., 2000. Si le fleuve se tord que le crocodile se torde : une analyse des systèmes de production de la région Nord-Ouest du Burkina Faso à l'aide des modèles de programmation mathématique, Thèse de Ph.D, Centre for Development Studies, Université de Groningen, Pays-Bas, 411 p.

MAHRH_a., 2009. Evolution du secteur agricole et des conditions de vie des ménages au Burkina Faso, 101 p.

MAHRH_b., 2009. Recensement général de l'agriculture au Burkina Faso, 80 p.

OUEDRAOGO S., 2005. Intensification de l'agriculture dans le Plateau central du Burkina Faso : une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies. Thèse de doctorat, université de Groningen, Pays-Bas, 336 p.

PACAUD T et COURNUT S., 2007. Modélisation des systèmes d'élevage : synthèse bibliographique, 62 p+ annexes.

SCHELLER N., 2008. Analyse et modélisation des relations agriculture-élevage au sein des exploitations cotonnières dans l'ouest du Burkina Faso. Diplôme d'Agronomie Approfondie, CIRAD -CIRDES, 58 p + annexes.

SIDIBE A., 1994. Analyse du système de production et d'exploitation du riz par les femmes dans le sud-ouest du Burkina Faso : le cas des femmes de Kawara dans la Comoé In Recherche intégrée en production agricole et en gestion des ressources naturelles : projet d'appui à la recherche et à la formation agricole (ARTS), p 143-152.

SOURIE J.C, BONNAFOUS P, MILLET G., 1998. Etude de l'offre de grande culture à l'aide de modèles économiques régionaux basés sur la programmation mathématique. La filière aujourd'hui demain. OCL Vol. 5 n°1, p 17-20.

VALL E, CESAR J, ABDOU N., 2005. Diagnostic agropastoral de Kourouma. Document de travail CIRDES- URPAN Bobo-Dioulasso/Burkina Faso, 41 p.

VALL E, DIGUE P, BLANCHARD M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. Cahiers d'agriculture vol.15, n°1, p72-79.

VALL E, LHOSTE P, ABAKAR O, DONGMO L A N., 2003. La traction animale dans le contexte en mutation de l'Afrique subsaharienne : enjeux de développement et de recherche, Cahiers d'agriculture, Vol.12, n°4, p 219-26.

VALLIN P et VANDERPOOTEN D., 2002. Aide à la décision Une approche par les cas. 2ème édition. Ellipses : Paris, 224 p.

VELAZQUEZ H F J., 2004. A la recherche de méthodes et d'instruments d'aide a la décision pour les petits agriculteurs d'un pays en voie de développement : le cas de deux communautés au Mexique. Thèse doctorat, INRA, 173 p+ annexes.

YOUL S, BARBIER B, MOULIN H C, MANLAY J R, BOTONI E, MASSE D, HIEN V, FELLER C., 2008. Modélisation empirique des principaux déterminants socioéconomiques de la gestion des exploitations agricoles au Sud-Ouest du Burkina Faso. In Biotechnol. Agron. Soc. Environ, vol 12, n°1, p 9-21

ANNEXES

Annexe 1 : Récapitulatif des ensembles

Ensembles	Eléments	Numéro/référence
<i>T</i>	= { <i>t1, t2, t3</i> }	(1)
<i>J</i>	= { <i>mai, mil, sor, riz, nib, cot,</i> }	(2)
<i>I</i>	= { <i>bov, ovi, cap, ane</i> }	(3)
<i>P</i>	= { <i>a, ae, e</i> }	(4)

Annexe 2 : Récapitulatif des paramètres

Paramètres	Signification	Numéro/référence
<i>dej(i)</i>	Déjections de l'animal <i>i</i>	(9)
<i>nbjr</i>	Nombre de jours de travail	(10)
<i>act(p)</i>	Actifs de l'unité de production	(10)
<i>bmo(j, t)</i>	Besoins en main d'œuvre de la culture <i>j</i> (en homme-jours)	(10)
<i>bmo(i, t)</i>	Besoins en main d'œuvre des animaux <i>i</i> (en homme-jours)	(10)
<i>pnpk</i>	Prix d'achat du NPK (en FCFA/kg)	(13)
<i>pure</i>	Prix d'achat de l'urée (en FCFA/kg)	(14)
<i>psem</i>	Prix d'achat de la semence (en FCFA/kg)	(16)
<i>pins</i>	Prix d'achat des insecticides (en FCFA/kg)	(18)
<i>pherb</i>	Prix d'achat des herbicides (en FCFA/kg)	(19)
<i>ptou</i>	Prix d'achat du tourteau de coton (en FCFA/kg)	(23)
<i>psoin</i>	Prix de soin des animaux (en FCFA/ animaux <i>i</i>)	(25)
<i>pc(j)</i>	Prix de vente des produits des cultures (en FCFA/tête)	(30)
<i>pv(i) =</i>	Prix de vente des animaux (en FCFA/tête)	(34)
<i>pach(i)</i>	Prix d'achat des animaux (en FCFA/tête)	(33)
<i>rdt(j,p)</i>	Rendement de la culture <i>j</i> (en kg/ha)	(29)
<i>pop(p)</i>	Nombre de bouche à nourrir de l'unité de production	(32)
<i>stc(p)</i>	Superficie totale cultivé par l'exploitant (en ha)	(5)
<i>anais(i,p,t2)</i>	Nombre de naissance d'animaux <i>i</i> en saison sèche humide	(6)
<i>anmor(i,p,t2)</i>	Nombre d'animaux <i>i</i> mort en saison sèche humide	(6)
<i>anais(i,p,t3)</i>	Nombre de naissance d'animaux <i>i</i> en saison sèche chaude	(7)
<i>anmor(i,p,t3)</i>	Nombre d'animaux <i>i</i> mort en saison sèche chaude	(7)
<i>dorg(j,p)</i>	Besoin en fumure de la culture <i>j</i> en (kg/ha)	(9)

Annexe 3 : Récapitulatif des variables des productions agricoles

Variable	Signification	Numéro/référence
<i>X (j,p,t1)</i>	superficie emblavée (en hectare) de la culture j par le producteur	(5)
<i>ANPRTS(i,p,t1)</i>	Nombre d'animaux i en hivernage	(6)
<i>NAN (i,p,t2)</i>	Nombre d'animaux i en saison sèche humide	(6)
<i>ANCHT (i,p,t2)</i>	Nombre d'animaux i achetés en saison sèche humide	(6)
<i>ANVEN(i,p,t2)</i>	Nombre d'animaux i vendu en saison sèche humide	(6)
<i>NAN (i,p,t3)</i>	Nombre d'animaux i en saison sèche chaude	(7)
<i>ANCHT(i,p,t3)</i>	Nombre d'animaux i achetés en saison sèche chaude	(7)
<i>BMOSC (j,p,t)</i>	Besoins en main d'œuvre salarié de la culture j en hivernage	(10)
<i>BMOSA (p,t)</i>	Besoins en main d'œuvre salarié des animaux i par saison	(10)
<i>CMOSC(j,p,t1)</i>	Coût de la main d'œuvre salarié de la culture j en hivernage	(11)
<i>CMOSA (p,t)</i>	Coût de la main d'œuvre salarié des animaux i par saison	(11)
<i>RDU(j,p)</i>	Résidus de la culture j	(8)
<i>CAPC(j,p,t1)</i>	Capital prévu pour la culture j en début hivernage	(28)
<i>CAPA(i,p,t)</i>	Capital prévu pour les animaux i en début de saison	(28)
<i>CREDC(i,p,t1)</i>	Crédit pour la culture j en en hivernage	(28)
<i>CREDA(j,p,t1)</i>	Crédit pour les animaux i par saison	(28)
<i>BMOSC(j,p,t1),</i>	Main d'œuvre salarié consacrée à la culture j en hivernage (en homme- jour)	(10)
<i>BMOSA (j,p,t),</i>	Main d'œuvre salarié consacrée aux animaux i en hivernage (en homme- jour)	(10)
<i>CMOSC(j,p,t1),</i>	Coût de la main d'œuvre salarié de la culture j (en F CFA)	(11)
<i>CMOSA(i,p,t),</i>	Coût de la main d'œuvre salarié des animaux i (en F CFA)	(11)
<i>CMOS(p)</i>	Coût total de la main d'œuvre salarié (en F CFA)	(11)
<i>QNPK(j,p,t1)</i>	quantité de NPK apporté à la culture j en hivernage (en kg)	(12)
<i>CNPK(j,p,t1)</i>	Coût du NPK de la culture j (en F CFA)	(12)
<i>QURE(j,p,t1)</i>	quantité d'urée apportée à la culture j en hivernage (en kg)	(14)
<i>CURE(j,p,t1)</i>	Coût de l'urée de la culture j(en F CFA)	(15)
<i>QSEM(j,p,t1)</i>	quantité d'urée apportée à la culture j en hivernage (en kg)	(16)
<i>CSEM(j,p,t1)</i>	Coût de l'urée de la culture j (en F CFA)	(17)
<i>QINS(j,p,t1)</i>	quantité d'insecticides apportés à la culture j en hivernage (en kg)	(18)
<i>CINS(j,p,t1)</i>	Coût des insecticides de la culture j (en F CFA)	(19)
<i>QHERB(j,p,t1)</i>	quantité d'herbicides apportés à la culture j en hivernage (en kg)	(20)
<i>CHERB(j,p,t1)</i>	Coût d'herbicides de la culture j (en F CFA)	(21)
<i>CTV(p)</i>	Coût total des intrants apportés aux cultures (en F CFA)	(22)
<i>QTOU(i,p,t3)</i>	quantité de tourteau de coton apporté aux animaux i en saison sèche chaude (en kg)	(23)
<i>CTOU(i,p,t3)</i>	Coût du tourteau de coton apporté aux animaux i en saison sèche chaude (en F CFA)	(24)
<i>CSOIN(i,p,t)</i>	Coût de soins vétérinaires animaux i en saison sèche chaude (en F CFA)	(25)
<i>CTA(p)</i>	Coût total des intrants apportés aux animaux (en F CFA)	(26)
<i>CTI(p)</i>	Coût total des intrants apportés cultures et aux animaux (en F CFA)	(27)
<i>REV(p)</i>	Revenu du producteur p	(36)

Annexe 4 : Récapitulatif des équations du modèle

Equations du modèle	Numéro/référence
Maximiser $REV(p)$	(37)
$REV(p) = RBV(p) + RBA(p)$	
$= \Sigma PROD(j,p,t1) * pc(j) - \Sigma MOSC(j,p,t1) - \Sigma CREDC(j,p,t1) * tin$ $- \Sigma CNPK(j,p,t1) - (\Sigma CURE(j,p,t1) + CNPK(j,p,t1) + \Sigma CSEM(j,p,t1) +$	(36)
$\Sigma CINS(j,p,t1)$ $+ \Sigma CHERBt(j,p,t1) + \Sigma NAN(i,p,t3) * pv(i) - \Sigma CREDA(i,p,t)$ $- (\Sigma (ANPRTS(p) - (ACHAN(i,p,t2) + ACHAN(i,p,t3)) * pa(i))) - (\Sigma CTOU(i,p,t3)$ $+ \Sigma CSOIN(i,p,t3))$	
$RBV(p) = PBV(p) - CTV(p) - \Sigma MOSC(j,p,t1) - \Sigma CREDC(j,p,t1)$	(30)
$PBV(p) = \Sigma rdt(j,p,t1) * X(j,p,t1) * pc(j,t)$	(31)
$CTV(p) = \Sigma CNPK(j,p,t1) + \Sigma CURE(j,p,t1) + CNPK(j,p,t1) + \Sigma CSEM(j,p,t1) +$ $\Sigma CINS(j,p,t1) + \Sigma CPECT(j,p,t1)$	(22)
$CNPK(j,p,t1) = qnpk(j,p,t1) * pnpk$	(13)
$qnpk(j,p,t1) = dnpk(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	(12)
$CURE(p) = qure(j,p,t1) * pure$	(15)
$CSEM(j,p,t1) = qsem(j,p,t1) * Psem$	(17)
$Qsem(p) = dsem(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	(16)
$CINS(j,p,t1) = qins(j,p,t1) * Pnpk$	(19)
$qins(j,p,t1) = dins(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	(18)
$CHERB(j,p,t1) = qherb(j,p,t1) * Pherb$	(21)
$qherb(j,p,t1) = dherbt(j,p,t1) * X(j,p,t1)$	(20)
$RBA(p) = PBA(p) - CTA(p) - CACH(p) - \Sigma creda(i,p,t) - \Sigma mosca(i,p,t)$	(35)
$PBA(p) = \Sigma NAN(i,p,t3) * pv(i,t)$	(34)
$CACH(p) = \Sigma (anprts(p) + achan(i,p,t2) + achan(i,p,t3)) * Pa(i)$	(33)
$CTA(p) = \Sigma ctou(i,p,t3) + \Sigma csain(i,p,t3)$	(26)
$CSOIN(i,p,t3) = NAN(i,p,t3) * Psoin(i,t3)$	(25)
$CTOU(i,p,t3) = qtou(i,p,t3) * Ptou(i,t3)$	(24)
$qtou(i,p,t3) = qtou(i,p,t3) * AN(i,p,t3)$	(23)
$\Sigma bmo(j,p,t) + \Sigma bmo(i,p,t) \leq \Sigma act(p) * nbjr(t) + \Sigma BMOSC(j,p,t1) + \Sigma BMOSA(i,p,t)$	(10)
$\Sigma MOSC(i,p,t1) + \Sigma MOSA(i,p,t) = CMOS(p)$	(11)
$\Sigma dorg(j,p) * X(j,p) \leq \Sigma i (dej(i) * NAN(i,p,t3))$	(9)
$\Sigma RDU(j,p) \geq \Sigma consan(i) * NAN(i,p,t3) * 124$	(8)
$NAN(i,p,t3) = NAN(i,p,t2) + ANCHT(i,p,t3) + anais(i,p,t3) - ANVEN(i,p,t3) - anmor$ $(i,p,t3)$	(7)
$NAN(i,p,t2) = ANPRTS(p) + ANCHT(i,p,t2) + anais(i,p,t2) - ANVEN(i,p,t2) - anmor$ $(i,p,t2)$	(6)
$\Sigma X(j,p,t1) + JACH(p) \leq STC(p)$	(5)
$CTI(p) \leq \Sigma CAPC(i,p,t) + \Sigma CAPA(i,p,t) + \Sigma CREDC(j,p,t1) +$ $\Sigma rdt(j,p,t1) * X(j,p,t1) \geq 190 * pop * 365$	(27) (32)

Annexe 5 : Prix de vente des produits agricoles

Produit	coton	maïs	sorgho	riz	arachide	niébé
Prix (FCFA/kg)	175	110	115	110	100	200

Annexe 6 : Prix des animaux en F CFA

Catégories d'animaux	Bœuf de trait	Bœuf d'élevage	Bœuf d'embouche	ovins	caprins
Prix de vente	100 000	115 000	180 000	15 000	15 000
Prix d'achat	125 000	75 000	100 000	10 000	10 000

Annexe 7 : Prix d'achat des engrais et insecticides

Intrants	Engrais		Insecticides			
	NPK (kg)	Urée (kg)	fury	avaunt	conquest	lamdakada
Prix (FCFA)	288	264	4342	4342	8684	4342

Annexe 8: Prix d'achat des herbicides

	califor	agrazine	gliphonet	Awduma	rondop	cotondom	atralum
Prix (FCFA)	2 658	4 500	5 000	4 500	4 000	4 500	5 500

Annexe 9 : Rendement des cultures dans les exploitations en kg

Village	Exploitations de Koumbia			Exploitations de Kourouma			
	Producteur	Agriculteur	Agro-éleveurs	Eleveurs	Agriculteur	Agro-éleveurs	Eleveurs
Coton		1192,15	-	-	902,96	1741,20	-
Maïs		2635,34	2474,07	3125,93	2250,00	3921,29	1461,11
Sorgho		792,56	1079,07	1296	815,74	1135,19	1135,19
Riz		2607,59	-	-	-	875,00	-
Niébé		477,67	402,78	430	435,00	407,35	450
Arachide		1910,00	-	960	680,00	-	-

Annexe 10 : Doses d'intrants à l'hectare dans les exploitations d'agriculteurs de Koumbia

intrants	unité	coton	maïs	sorgho	riz	niébé	arachide
NPK	Kg/ha	110,23	110,03	0	10	14,49	0
Urée	Kg/ha	27,86	54,76	0	0	0	0
Fury	l/ha	3,87	0	0	2,5	0	0
Avaunt	l/ha	1,48	0	0	0	0	0
Conquest	l/ha	0,83	0	0	0	0	0
Califor	l/ha	0,84	0	0	0,40	0	0
Gliphonet	l/ha	0,50	0,20	0	2,5	0	0
Awduma	l/ha	0,02	0	0	0,20	0	0

Annexe 11 : Doses d'intrants à l'hectare dans les exploitations d'agro-éleveurs de Koumbia

intrants	unité	coton	maïs	sorgho	riz	niébé	arachide
NPK	Kg/ha	0	149,43	0	0	0	0
Urée	Kg/ha	0	44,83	0	0	0	0
Califor	l/ha	0	0,41	0	0	0	0
Awduma	l/ha	0	0,21	0	0	0	0
Agrazine	l/ha		0,18	0	0	0	0

Annexe 12 : Doses d'intrants à l'hectare dans les exploitations d'éleveurs de Koumbia

intrants	unité	coton	maïs	sorgho	riz	niébé	arachide
NPK	Kg/ha	0	0	0	0	0	0
Urée	Kg/ha	0	0	0	0	0	0
Awduma	l/ha	0	1,5	0	0	0	0
Atralum	l/ha	0	2	0	0	0	0

Annexe 13 : Doses d'intrants à l'hectare dans les exploitations d'agriculteurs de Kourouma

intrants	unité	coton	maïs	sorgho	riz	niébé	arachide
NPK	Kg/ha	11,23	105,06	0	0	0	0
Urée	Kg/ha	0	64,52	0	0	0	0
Avaunt	l/ha	3,36	0	0	0	0	0
Conquest	l/ha	0,88	0	0	0	0	0
Lamdakada	l/ha	1,26	0	0	0	0	0

Annexe 14 : Doses d'intrants à l'hectare dans les exploitations d'agro-éleveurs de Kourouma

intrants	unité	coton	maïs	sorgho	riz	niébé	arachide
NPK	Kg/ha	77,97	88,33	0	55,56	0	0
Urée	Kg/ha	31,55	43,90	0	0	0	0
Lamdakada	l/ha	0,88	0	0	0	0	0
Rundup	l/ha	0,38	0,11	0,34	0	0	0
Cotondom	l/ha	1,37	0,60	0	0	0	0
Atralum	l/ha	0	0,13	0	0,13	0	0

Annexe 15 : Doses d'intrants à l'hectare dans les exploitations d'éleveurs de Kourouma

intrants	unité	coton	maïs	sorgho	riz	niébé	arachide
NPK	Kg/ha	100	100	0	0	0	0
Urée	Kg/ha	0	0	0	0	0	0
Agrazine	l/ha	0	2	2	0	0	0

Annexe 16 : Besoins en homme jour par hectare de culture

Cultures	Besoins en homme-jour
Coton	110
Maïs	98
Sorgho	73
Riz	120
Niébé	80
Arachide	73

RESUME

A l'ouest du Burkina Faso, la pression croissante sur les ressources agro-pastorales, la variabilité des conditions climatiques, la hausse du prix des intrants et l'instabilité du prix des produits agricoles confrontent les exploitants à une complexité permanente de prise de décision pour allouer les ressources productives (terre, main d'œuvre, capital financier) aux différentes activités. Ils ont besoin ainsi d'outils d'aide à la décision. Une telle aide nécessite cependant une connaissance préalable de leurs pratiques de production. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente recherche dont l'objectif global est d'analyser les pratiques actuelles des producteurs par le biais d'un modèle générique de programmation linéaire (PL) des exploitations d'agriculture, agriculture-élevage et élevage des villages de Koumbia et Kourouma. Dans cette étude, nous avons développé un modèle de PL basée sur une maximisation du revenu des producteurs sous différentes contraintes (main d'œuvre, capital, terre). Ce modèle a utilisé les données des cahiers de suivi des exploitations du projet Corus : Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage en Afrique de l'Ouest. Les résultats du modèle montrent que les pratiques actuelles de l'ensemble des producteurs via l'allocation des ressources aux activités de l'exploitation ne permettent pas de maximiser leur revenu. Dans les exploitations de Koumbia, l'écart entre le revenu optimisé par le modèle et celui observé dans la réalité est de 16,10% pour les agriculteurs, 12,15% pour les agro-éleveurs et 7,43% pour les éleveurs. A Kourouma, cet écart est de 13,25%, 1,31% et 12,51% respectivement pour les agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs. De cette analyse, ce sont les éleveurs de Koumbia et les agro-éleveurs de Kourouma qui ont la meilleure allocation de leurs facteurs de production puisque l'écart entre le revenu optimisé et leur revenu réel est faible. Le modèle indique également que l'introduction d'innovations comme l'embouche bovine entraîne une augmentation des revenus des producteurs. Cette augmentation est estimée à 21,27% pour les éleveurs de Koumbia, 13,04% pour les agriculteurs et 2,34% pour les agro-éleveurs de Kourouma. En définitive, l'intérêt de la PL réside dans sa capacité à représenter le fonctionnement des exploitations, à analyser les pratiques des producteurs, les effets de l'introduction d'innovations et de la transformation du système de production sur leur revenu.

Mots clés : *exploitations, agriculteurs, agro-éleveurs, éleveurs, programmation linéaire, revenu, pratiques*